



SELLUVILLAERISTEISEN PASSIIVIPUUTALON ÄÄNITEKNIikka

Jenni Mäkelä

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2014
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talorakennustekniikka

JENNI MÄKELÄ:

Selluvillaeristeen passiivipuutalon äänitekniikka

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Kesäkuu 2014

Rakennusten ääniolosuhteille on annettu määräyksiä, ohjeita ja muita asiakirjoja, mutta melualueilla kaava osoittaa rakennuksen ulkovaipalle vaaditun ääneneristävyyden, jonka sen alueen uusien rakennusten on täytettävä. Opinnäytetyössä kerrotaan esimerkkikohteen avulla, kuinka kohteelle kaavassa annettu ääneneristävyysvaatimus on saavutettu ja mitkä tekijät rakennuksen ulkovaipparakenteiden ääneneristävyyteen vaikuttaa. Esimerkkikohteenä on GreenBuild Oy:n selluvillaeristeen passiivipuutalo, case Verso, joka valmistuu Vantaan Asuntomessuille 2015.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään rakennusten äänitekniikkaa keskittyen passiivirakenteisten pientalojen ulkovaipparakenteisiin. Rakennusten äänitekniikka pitää sisällään käsitteitä ja ilmiöitä, jotka selitetään työn alussa helpottamaan asioiden ymmärtämistä. Tämän lisäksi työssä selvitetään, mitkä tekijät vaikuttavat rakenteiden ääneneristävyyteen, ja kerrotaan äänen vaikutuksista asumisviihtyvyyteen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää passiivirakenteisten rakennusten ulkovaipan ilmaääneneristävyyksiä. Ilmaääneneristyslukujen avulla tehdään suuntaa antava vertailu, jossa selluvillaeristisiä rakenteita vertaillaan muihin passiivirakenteisiin ja pohditaan, kuinka niiden ääneneristävyyttä voisi parantaa. Lopputuloksena saatiin havainnollistavaa materiaalia GreenBuildin selluvillaeristeen passiivipuutalon rakenteiden ilmaääneneristävyyden toteutuksesta.

Asiasanat: äänitekniikka, ilmaääneneristävyys, selluvillaeristys, passiivirakenteet

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme of Construction Engineering
Building Construction

JENNI MÄKELÄ:

Sound engineering of cellulose insulated wood framed passive house

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 15 pages
June 2014

The sound conditions of buildings are regulated with specifications, guidelines and other documents, but in areas with a lot of noise the city plan indicates the required soundproofing for the elevation. The requirements must be fulfilled by all new buildings in concerned area. This thesis illustrates with example case, how given soundproofing requirements are achieved and which factors affect the soundproofing of elevation structures. The example house is a cellulose insulated wood framed passive house by GreenBuild Oy, case Verso, which will be built to the Vantaa Housing Fare 2015 -area.

This thesis addresses the sound engineering of buildings, focusing in elevations of passive structured detached houses. The sound engineering includes terms and phenomena, which are explained to help the reader understand the matter. In addition, this thesis clarifies, which factors affect the soundproofing of structures and how sound affects habitability.

The purpose of this thesis is to clarify the airborne sound insulation qualities of elevations of passive structured buildings. The airborne sound insulation indexes are used to compare cellulose insulated structures to other passive structures and to discuss how to improve their soundproofing. This comparison resulted in illustrating material of implementation of soundproofing in GreenBuild's cellulose insulated wood framed passive structures.

Key words: sound engineering, airborne sound insulation, cellulose insulation, passive structures

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ÄÄNITEKNIikka	7
2.1	Akustiikka	7
2.1.1	Ääni	7
2.1.2	Äänen taajuus	8
2.1.3	Äänenpaine ja äänenpainetaso	8
2.1.4	A-painotus ja äänitasot	9
2.2	Ilmaääneneristävyys.....	10
2.2.1	Ilmaääneneristysluku.....	11
2.2.2	Ilmaääneneristävyyteen vaikuttavat tekijät	11
2.2.3	Rakenteiden yhteisääneneristävyys.....	13
2.3	Vaikutus asumisviihtyvyyden.....	14
2.3.1	Määräykset ja ohjeet	15
2.3.2	Melu	16
2.3.3	Ohjearvot.....	17
3	CASE: VERSO.....	19
3.1	Vantaan Asuntomessut 2015	19
3.2	Kaavamääräykset	19
3.3	Ääneneristuksen toteuttaminen	21
3.3.1	Ääneneristys selvitys.....	21
3.3.2	Ulkoseinät	22
3.3.3	Yläpohja	24
3.3.4	Ikkunat ja ovet.....	26
3.3.5	Liitoskohdat	27
4	ÄÄNITEKNISTEN OMINAISUUKSIEN VERTAILU	29
4.1	Vertailun lähtökohdat	29
4.2	Rakennuksen ulkovaippa	29
4.2.1	Ulkoseinät	31
4.2.2	Yläpohjat.....	33
5	POHDINTA.....	37
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	40
	Liite 1. Verson arkkitehtipiirustukset	40
	Liite 2. Verson ääneneristys selvitys	42
	Liite 3. Verson rakennedetaljit	43
	Liite 4. Vertailussa käytetyt rakennedetaljit	47

LYHENTEET JA TERMIT

C	Spektripainotusermi (asunto-, raide- ja lentoliikennemelu)
C_{tr}	Spektripainotusermi (teliikennemelu)
f	Taajuus [Hz]
f_c	Koinsidenssitaajuus [Hz]
f_0	Resonanssitaajuusalue [Hz]
p	Äänenpaine [Pa]
p_0	Vertailuäänepaine [Pa]
K_1	Absorptioalan korjausermi [dB]
K_2	Korjausermi [dB]
L_p	Äänenpainetaso [dB]
L_A	Äänitaso (A-äänitaso), voidaan merkitä myös L_{pA} [dB]
$L_{A,eq,S}$	Sisämelutaso [dB]
$L_{A,eq,T}$	Keskiäänitaso (equivalentti A-äänitaso tietyllä ajanjaksolla) [dB]
$L_{A,eq,U}$	Ulkomelutaso [dB]
$L_{A,max}$	Enimmäisäänitaso (A-äänitaso) [dB]
ΔL	Äänentasoero [dB]
R	Ilmääneneristävyys [dB]
R_{yhteis}	Kokonaisääneneristävyys [dB]
R_w	Ilmääneneristysluku [dB]
$R_{A,tr}$	Liikennemelun ilmääneneristysluku ($R_w + C_{tr}$) [dB]
W	Ääniteho [W]

1 JOHDANTO

Suomessa väestöä on siirtynyt maalta kaupunkiin jo toista sataa vuotta, mutta kaupungit jatkavat kasvuaan yhä, keskittyen kasvukeskuksiin ja niiden ympäristöön. Kaupungeissa äänitekniikan merkitys rakentamisessa korostuu, sillä rakennettu ympäristö tuottaa koko ajan ääntä. Erityisesti kaupungeissa ääneneristyksellä pyritään luomaan asuntoihin mahdollisimman hyvät ääniolosuhteet parantamaan ihmisten yksityisyyttä ja rauhaa. Tämä asetti työn tavoitteeksi esitellä, kuinka selluvillaeristeisessä passiivipuutalossa ääneneristys toteutetaan, ja vertailla selluvillaeristettyjä rakennuksen ulkovaipan rakenteita vastaaviin eri lämmöneristeillä toteutettuihin rakenteisiin.

Opinnäytetyö tehtiin GreenBuild Oy:n toimeksiannosta. GreenBuild Oy on vuonna 2009 perustettu, kotimaisen selluvillaeristeiden valmistajan Termex-Eriste Oy:n tytäryhtiö. GreenBuild on valmistaloyritys, joka on erikoistunut passiivitalorakentamiseen. GreenBuild -passiivipuutalot ovat selluvillaeristeisiä ja muilta rakennosiltaan hengittäviä materiaaleja, jotka yhdessä muodostavat rakennusfysikaalisesti toimivat rakenteet.

Usein tavanomaisilla rakenteilla, jotka täyttävät normaalit rakennustekniset vaatimukset, päästään kohtalaisiin ääniolosuhteisiin. Jos kuitenkin tavoitellaan hyviä ääniolosuhteita, on kiinnitettävä huomiota rakenteisiin, niiden materiaaliominaisuuksiin ja kustannuksiin. Ääneneristävyden huomioiminen jo uuden rakennuksen suunnittelussa ei välttämättä aiheuta kovinkaan suuria lisäkustannuksia, toisin kuin jälkepäin korjaustoimenpiteenä toteutettu ääneneristys. Hyvien ääniolosuhteiden luomisesta aiheutuvat kustannukset eivät juuri poikkea muista rakenteiden ominaisuuksien, kuten lämmöneristysten, paranteluista.

Esimerkkikohteen avulla esitetään ääneneristysten huomioiminen jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa ja havainnollistetaan ääneneristysten toteuttaminen passiivipuutalossa. Tämän lisäksi työssä vertaillaan ja kommentoidaan erilaisten passiivirakenteiden äänitekniistä toimivuutta sekä pohditaan, kuinka ääneneristävyttä näissä rakenteissa voisi parantaa.

2 ÄÄNITEKNIikka

2.1 Akustiikka

Akustiikka tutkii äänen käyttäytymistä. Hyvä ääniympäristö edistää sitä tilaa, mihin se on tarkoitettu. Siksi ääni on yksi tärkeimmistä rakennuksen ja tilan ominaisuuksista. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.9)

Rakennusten ääniolosuhteilla on vaikutus kansanterveyteen ja -talouteen, joten yhteiskunta vaikuttaa ääniolosuhteisiin lainsäädännöllä, määräyksillä ja ohjeilla. Erilaisille rakennuksille on omat asiakirjat akustisen suunnittelun avuksi. Näistä rakennuksiin vaikuttavista määräyksistä ja ohjeista lisää kappaleessa *2.3.1 Määräykset ja ohjeet*. Seuraavissa kappaleissa esitellään tärkeimpiä rakennusten äänitekniikkaan liittyviä termejä, jotka toistuvat tässä opinnäytetyössä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.16)

2.1.1 Ääni

Ääni on väliaineessa tapahtuvaa pitkittäistä aaltoliikettä. Väliaine voi olla nestettä, kaasua tai kiinteää ainetta, joka vaikuttaa muun muassa äänen nimeämiseen. Esimerkiksi ilmassa liikkuvaa ääntä, kuten puhetta ja musiikkia, kutsutaan ilmaääneksi, rakennuksen rungon kautta kulkevaa ääntä runkoääneksi ja välipohjaan kohdistuneiden iskujen aiheuttamaa ääntä askelääneksi. Äänilähteen tuottamaa ääntä kuvataan usein äänitehona W [W]. (Wood Focus Oy 2004, s.10)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään eri äänilähteistä vain ilmaääntä, sillä työssä keskitytään omakotitalon äänitekniikkaan. Runkoäänien ja askeläänien merkitys tulee huomioida etenkin isoissa rakennuksissa, joissa on useampia huoneistoja ja toimijoita, kuten esimerkiksi kerrostaloissa ja hoitolaitoksissa.

2.1.2 Äänen taajuus

Taajuus on jaksollinen ilmiö ja sen yksikkö on hertsi [Hz]. Ihminen aistii äänen, kun aaltoliikkeen tiheyden vaihtelut eli ilman tihentymät ja harventumat saa korvan rumpukalvon värähtelemään. Tiheä aaltoliike koetaan korkeina ääнинä ja loivempi matalina ääнинä. Ihminen voi kuulla noin 20 – 20 000 Hz:n taajuuksisia ääniä, mutta herkimmillään kuulo on taajuusalueella 2000 – 5000 Hz. Esimerkkejä eri äänientaajuuksista näkee taulukosta 1. Myös äänen voimakkuus vaikuttaa kuuloaistimukseen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.35 ja s.39)

TAULUKKO 1. Esimerkkejä eri äänien tajuuksista (Rakennustieto Oy 2006, s.2)

Hertsi [Hz]	Äänen taajuus esimerkiksi
20	kuuloalueen alaraja
100	miehen puheäänien perustaajuus
200	naisen puheäänien perustaajuus
500	keskitaajuus
4000	puheäänien konsonnatit
8000	musiikin diskanttialue
20 000	heinäsirkan sirtys

2.1.3 Äänenpaine ja äänenpainetaso

Ihmisen aistimaa ääntä eli ilmanpaineen muutosta kutsutaan äänenpaineeksi p , jonka yksikkö on Pascal. Äänenpaine kuvaa siis äänen voimakkuutta alueella 0,00002 – 200 Pa. Äänenpaineen ollessa noin 20 Pa, ääniaistimus muuttuu kipuaistimukseksi. Kuulokynnyksen ja kipukynnyksen ero lukuarvoina on hyvin pieni, mutta ero on suhteellisesti hyvin suuri, jonka takia äänenpainetta on hankala käyttää esimerkiksi käytännön laskentatyössä. Tämän takia äänen voimakkuutta kuvataan äänenpainetasona L_p [dB]. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.36)

Äänenpainetaso saadaan vertaamalla tarkasteltavaa äänenpainetta vertailuäänepaineeseen p_0 [Pa]. Tämä saadaan logaritmisesta kaavasta ja se tulee huomioida, kun äänen voimakkuuksia vertaillaan toisiinsa. Esimerkiksi samassa tilassa olevat kaksi äänilähdettä, jotka tuottavat saman äänenpainetason yhtä aikaa, saavat

aikaan 3 desibeliä korkeamman äänen, kuin yksittäinen äänilähde yksinään. Jos taas äänilähteiden äänenpainetasoero on suurempi kuin 10 dB, voimakkaamman äänen tuottava äänilähde määrittää tilan äänenpainetason. Ihminen voi kuulla äänenpaineen äänenpainetason ollessa 0 dB:n ja 120 dB:n välillä. Taulukosta 1 voi nähdä A-painotettuja äänitasoja rakennusten sisätiloissa. A-painotus selitetään tarkemmin seuraavassa kappaleessa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.36-37)

TAULUKKO 2. Äänitasoja rakennuksen sisällä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.37)

Äänenpainetaso $L_{p,A}$	Äänilähde
25 dB	Hiljainen asuinhuoneisto yöaikaan
35 dB	Toimistonhuoneen tausta melu
45 dB	Pankkisalin toimistomelu
55 dB	Toimisto, jossa kuuluu puhetta
65 dB	Normaali puheääni 1 metrin päässä
75 dB	Voimakas puheääni 1 metrin päässä
85 dB	Suurtalouskeittiössä koneiden käydessä
95 dB	Sinfoniaorkesterin voimakkaimmat äänet
105 dB	Kovaäänisen rock-konsertin aikana

2.1.4 A-painotus ja äänitasot

Kuten luvussa 2.1.2 kerrottiin, ihmisen kuuloaisti on herkimmillään taajuusalueella 2000-5000 Hz. Kuuloaistin herkkyys otetaan huomioon A-painotuksella, joka vähentää matalien ja korkeiden taajuuksien vaikutusta. Tällöin kuuloaistimukseen vaikuttaa myös äänen voimakkuus, jonka takia A-painotuksen lisäksi on muitakin painotuksia. Näitä käytetään kuitenkin harvoin, sillä A-painotus on vakiintunut käyttöön äänitasomittauksissa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.39)

Äänitaso $L_{p,A}$ [dB] on A-taajuuspainotettu äänenpainetaso, joka ilmaisee äänen voimakkuutta ja sen merkinnästä jätetään usein alaindeksi p pois. Äänitaso L_A saadaan, kun A-painotus lisätään keskitaajuuksittain äänenpainetasoihin L_p . Rakentamismääräykset perustuvat sallittuihin äänitasoihin, joten melumittaukset tehdään äänitasomittarilla. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.39)

Osa äänilähteistä tuottaa tasaista ääntä ympäristöönsä jatkuvasti, kuten rakennuksen ilmanvaihto ja vilkas liikenneväylä. Toisaalta osa äänilähteistä vaikuttaa hetkellisesti, kuten hissi ja rakennuksen yli lentävä lentokone. Tämän takia äänilähteiden äänenhallinnassa on otettava huomioon pitkäaikainen keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ [dB] sekä hetkellinen enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ [dB]. Keskiäänitaso eli ekvivalentti A-äänitaso on jatkuva vakioäänitaso, joka on sama kuin hetkellinen äänitaso määritetyllä ajanjaksolla T. Enimmäisäänitaso on korkein äänitaso, joka on esiintynyt tarkasteluajanjaksolla määritetyllä aikapainotuksella. Enimmäisäänitason mittauksessa käytetään yleensä F-aikapainotusta, jossa kirjain F tulee sanasta fast (suom. nopea). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.39) (SFS 5907, s.5)

2.2 Ilmaääneneristävyys

Usein arkikielessä sekoitetaan äänen absorptio ja ääneneristys toisiinsa. Äänen absorptiolla tarkoitetaan pintamateriaalien kykyä vaimentaa sisällä syntyvää ääntä, kun taas ääneneristyksellä tarkoitetaan tiiviin rakenteen kykyä estää äänen kuulumista tilasta toiseen. Rakenteeseen kohdistuneen äänitehon avulla saadaan laskettua absorptiosuhde, joka kuvaa rakenteen ominaisuutta imeä ääntä, asteikolla 0 – 1. Ääneneristävyys voi saada mitä tahansa positiivisia desibeliarvoja. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.46-47)

Ilmaääneneristävyys R [dB] on sama asia kuin ääneneristys. Tarkemmin määriteltynä se on tiloja erottavan rakenteen kyky eristää ilman välityksellä kulkevaa ääntä, kuten puhetta ja musiikkia. Ilmaääneneristävyys riippuu äänitehon lisäksi äänen taajuudesta. Tämän takia ilmaääneneristävyuden mittaustulokset esitetään yleensä ihmisen kuuloaistin kannalta merkittävillä taajuuksilla 100 – 3 150 Hz tai tarkemmin 50 – 5 000 Hz. Matalat taajuudet tulee huomioda etenkin tieliikennemelualueilla, sillä moottoriajoneuvon aiheuttama ääni on matalataajuisena herkimmin kuultavissa. (SFS 5907, s.6) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.59 ja 134)

2.2.1 Ilmääneneristysluku

Ilmääneneristävyyden mittaustulosten käytön helpottamiseksi on kehitetty ilmääneneristysluku R_w [dB]. Ilmääneneristysluku on kahden tilan välistä ilmääneneristävyyttä kuvaava luku, joka saadaan vertaamalla mitattuja arvoja standardoituun vertailukäyrään. Standardi ISO 717-1 esittää vertailukäyrän, jonka muoto perustuu puheäänien taajuusjakaumaan ja kuulon herkkyyteen. Ilmääneneristävyyden luku merkitään eri tavalla mittauksen mukaan. Kun mittaus on tehty laboratoriossa, ilmääneneristävyyden luku merkitään normaalisti R_w [dB] ja kun kyseessä on mittaus rakennuksessa, merkintä muuttuu muotoon R'_w [dB]. Laboratoriossa mitattu ilmääneneristävyyden luku on yleensä muutaman desibelin parempi kuin rakennuksessa mitattu.

Ilmääneneristävyys tilojen välillä on sitä parempi, mitä isompi ilmääneneristysluku on. Tilojen väliset rakentamismääräykset ja suositukset ilmoitetaan pienimpinä sallittuina ilmääneneristyslukuina R'_w tai ilmääneneristysluvun ja spektrisovitustermin C summana. Spektrisovitustermi ottaa huomioon eristettävän melun äänispektrin. Esimerkiksi tieliikennemelun ilmääneneristysluku saadaan laboratoriossa mittaamalla ja se merkitään $R_{A,tr}$ ($R_w + C_{tr}$) [dB]. (SFS 5907, s.6) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.59)

2.2.2 Ilmääneneristävyyden vaikuttavat tekijät

Rakenteen ja rakennustuotteen ilmääneneristävyyden vaikuttaa suuresti rakenteen tiiveys. Rakenteeseen saattaa jäädä rakoja työvirheiden, puutteellisen työmaaohjeistuksen tai rakenteen liikkeiden vuoksi. Myöskään kaikilla rakennusmateriaaleilla ei ole riittävää tiiveyttä, kuten mineraalivilloilla, kevytsorabetonilla, avosoluisella vaahtomuovilla tai huokoisella tiilellä. Näiden tiiveys tulee varmistaa sopivalla pintakerroksella, kuten esimerkiksi rappauksella, tasoitteella tai tiivisteellä. Yleisimmin äänivuotoja havaitaan kuitenkin ikkunoissa, ovissa ja huonosti valetuissa liitoksissa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.59) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s.14)

Rakenteessa olevan raon tai aukon eristävyys on yleensä 0 dB, mutta paksuissa seinissä olevissa pienissä raoissa syntyy kitkan aiheuttamia häviöitä, jolloin raon eristävyys paranee hieman. Tiivistämättömän raon eristävyys ei kuitenkaan ole enempää kuin 10 – 15 dB. Jos rako tiivistetään kunnolla, voi raon eristävyys olla 20 – 30 dB. Raon vaikutuksen seinämän ääneneristävyyteen voi nähdä taulukosta 3. Taulukon arvot on saatu kun keskelle seinämää on oletettu syntyvän seinämän korkuinen rako. Seinämän eristävyys on arvioitu 60 dB. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s.14)

TAULUKKO 3. Raon tai aukon vaikutus seinämän ilmaääneneristävyyteen (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s.14)

Raon leveys	Saavutettu eristävyys, kun raon eristävyys on		
	0 dB	10 dB	30 dB
mm			
400	10	20	40
40	20	30	49,5
4	30	40	57
0,4	40	49,5	59,5
0,04	49,5	57	60
0,004	57	59,5	60
0,0004	59,5	60	60
0,00004	60	60	60

Rakojen lisäksi ilmaääneneristävyyteen vaikuttaa rakenteen pintamateriaali. Kun tiiviin rakenteen pinnalla on huokoinen materiaali, sitä kutsutaan absorboivaksi pinnaksi. Vaikka absorptio ja ääneneristävyys ovat eri asia, voidaan absorboivalla pinnalla parantaa rakenteen ääneneristävyyttä erityisesti korkeilla taajuuksilla. Absorboiva pinta voi olla esimerkiksi kantavan rakenteen päälle liimattu villalevy tai sisäkatto. Yleensä absorboivat pinnat ovat korkeintaan 100 mm paksuja ja ääneneristävyyden parannus sijoittuu taajuusalueesta 200 – 400 Hz:stä ylöspäin. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.88-90)

Rakenteen massalla on enemmän tai vähemmän, rakenneosasta riippuen, vaikutusta ilmaääneneristävyyteen ja sitä kutsutaan massalaiksi. Kun ääniaalto kohtaa rakenteen, se aiheuttaa rakenteeseen värähtelyä ja mitä enemmän rakenne värähtelee sitä enemmän se aiheuttaa ääniaaltoja rakenteen toiselle puolelle. Jos saman suuruinen äänenpaine

kohtaa kevyen ja raskaan rakenteen, kevyt rakenne värähtelee enemmän kuin raskas rakenne ja tämä tarkoittaa sitä, että raskaampi rakenne eristää paremmin ääntä. Massalain mukaan ilmaääneneristävyys kasvaa 6 dB rakenteen taajuuden tai massan kaksinkertaistuessa. Tämä pätee tiiveillä rakennuslevyillä pienillä ja keskisuurilla taajuuksilla sekä paksuilla ja tiheillä kivirakenteilla 100 – 3150 Hz alueella. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.70)

Rakenteen ääneneristävyys vaikuttaa myös resonanssi-ilmiö. Resonanssi-ilmiö syntyy, kun rakenteeseen kohdistuvat ääniaallot ovat samalla taajuusalueella kuin rakenteen ominaistaajuus. Resonanssi-ilmiössä rakenne värähtelee ja säteilee ääntä voimakkaasti, joka aiheuttaa rakenteen ääneneristävyys heikentymisen. Resonanssi-ilmiö voi syntyä myös värähtelyä tuottavan esimerkiksi pesukoneen ja rakenteen välille. Tämä voidaan ottaa huomioon määrittämällä rakenteen resonanssitaajuusalue rakenteen alimman resonanssitaajuuden f_0 [Hz] avulla. (Wood Focus Oy 2004, s.20)

Muun muassa ulkoseinärakenteet ovat yleensä yksinkertaisia rakenteita ja tällaisilla rakenteilla ääneneristävyys vaikuttaa koinsidenssi-ilmiö. Koincidenssi-ilmiö syntyy esimerkiksi seinärakenteessa käytetyissä rakennuslevyissä. Kyseinen ilmiö syntyy, kun ääniaallot osuvat levyn pintaan tietyssä kulmassa samalla nopeudella kuin levyssä oleva äänen aiheuttama taivutusaalto etenee. Tällöin jatkuvan äänen seurauksena syntyvä yli- ja alipainerintama osuu levyssä olevan taivutusaallon pohjaan ja huippuun. Tästä syystä ääniaallot läpäisevät seinässä käytetyn rakennuslevyn ja samalla levyn ääneneristävyys heikkenee. Yksinkertaisten rakenteiden koincidenssitaajuuden f_c [Hz] olisi hyvä olla ihmisen kuulon kannalta taajuusalueen 100 – 3150 Hz yläpuolella, sillä koincidenssitaajuuden ylittävät äänentaajuudet heikentävät rakenteen ääneneristävyttä. (Wood Focus Oy 2004, s.21)

2.2.3 Rakenteiden yhteisääneneristävyys

Rakenteiden yhteisääneneristävyys tulee huomioida silloin, kun tiloja erottava rakenne koostuu useammasta komponentista, kuten seinästä, ikkunasta, ovesta ja läpivienneistä. Tällaisen rakenteen yhteisääneneristävyys merkitään R_{yhteis} [dB] ja sen laskenta huomioi äänen taajuudet. Yhteisääneneristävyys määrittämiseksi tarvitaan tieto jokaisen eri komponentin pinta-alasta ja ääneneristävydestä.

Rakennuksen ulkovaipan ääneneristykseen mitoittamisessa käytetään yleensä yksinkertaisempaa mitoitusmenetelmää kuin kokonaisääneneristävyyden laskemisessa. Ulkovaipan ääneneristävyyden mitoitus perustuu rakenteen komponenttien pinta-aloihin ja liikennemelun ilmaääneneristyslukuihin, jolloin laskentaa eri taajuuksilla ei tarvita. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.102-105)

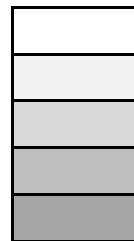
2.3 Vaikutus asumisviihtyvyyteen

Ääniolosuhteilla on suuri merkitys asumisviihtyvyyteen, sillä ihminen kokee erilaiset äänet eri tavalla. Äänen kokemiseen vaikuttaa muun muassa äänen kesto-aika, äänen voimakkuus sekä taustääänet. Ihmisen kokema ääneneristävyys ei ole sama kuin rakenneosalle tai kokonaisuudelle annettu ilmaääneneristysluku R_w [dB]. Koettuun ääneen vaikuttaa myös taustäänitaso $L_{A,eq}$ [dB]. Taulukossa 4 on esitetty, kuinka ilmaääneneristysluku ja taustäänitaso vaikuttavat koettuun ääneneristävyyteen. Samasta taulukosta voi myös nähdä, että sopivasta taustäänitasosta on hyötyä koettuun ääneneristävyyteen. (Kylliäinen M. 2011, s.33) Esimerkiksi, jos keittiössä jääkaappi aiheuttaa noin 35 dB:n taustääänen ja seinän ääneneristävyys on 50 dB, ei puhe kuulu seinän toiselta puolelta keittiöön. Mutta jos ollaan yöllä makuuhuoneessa ja ilmanvaihdon aiheuttama taustääni on noin 20 dB, puhe seinän läpi on kuultavissa.

TAULUKKO 4. Ilmaääneneristysluvun R'_w ja taustäänitason $L_{A,eq}$ vaikutus koettuun ääneneristävyyteen (Kylliäinen M. 2011, s.34)

R'_w	Keskiäänitaso $L_{A,eq}$					
	20 dB	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB
30 dB						
35 dB						
40 dB						
45 dB						
50 dB						
55 dB						
60 dB						
65 dB						

Keskustelu tilasta toiseen mahdollista
 Sanoista voi saada selvää
 Puhe kuultavissa
 Puhe ei häiritse
 Puhe ei kuulu



Nykyään suuren osan suomalaisista arvioidaan asuvan liikennemelualueilla eli vilkkaiden liikenneväylien, rautateiden tai lentoreittien läheisyydessä. Tällaisille melualueille rakentaessa on huolehdittava, että ulkoa sisälle siirtyvä melun A-painotettu keskiäänitaso pysyy riittävän alhaisena, jotta viihtyisyys asunnossa voi toteutua. Jos ääneneristävyys koetaan puutteelliseksi, johtuu se yleensä puutteellisesta suunnittelusta tai huonosti toteutetuista rakenteista. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.133)

2.3.1 Määräykset ja ohjeet

Epämiellyttävänä koetulla äänellä voi olla haitallisia terveysvaikutuksia, joten rakennusten ääniolosuhteille on asetettu määräyksiä ja ohjeita. Tässä kappaleessa esitellään tärkeimmät asuinrakentamiseen vaikuttavat määräykset, ohjeet ja muut asiakirjat.

Yhtenä tärkeimmistä asuinrakennuksia koskevista määräyksistä voidaan pitää Suomen Rakentamismääräyskokoelman osia C1 ja D2, sillä niissä on annettu tarkkoja äänitekniisiä arvoja koskien uudisrakennuksia. Osassa C1 *Ääneneristys ja meluntorjunta*

rakennuksessa käsitellään rakennuksen ääneneristystä, jälkikaiunta-aikaa ja LVIS-laitteiden sallittuja äänitasoja. Osassa D2 *Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet* annetaan ohjearvoja eri tilojen äänitasoille sekä sallittavia äänitasoja, jotka aiheutuvat LVIS-laitteista. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry on julkaissut edellisten määräysten tueksi kirjan *RIL 243-1-2007 Rakennusten akustinen suunnittelu – Akustiikan perusteet*. Rakentamismääräyskokoelma ei ole asettanut vaatimuksia rakennusten ulkovaipan ääneneristykselle, mutta tarvittaessa se annetaan kaavamääräyksessä. Rakentamismääräyskokoelman lisäksi Sosiaali- ja terveysministeriö on julkaissut oppaan *Asumisterveysohje – Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fyysiset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät*, jossa akustiikkaa koskevat määräykset ottavat huomioon melun terveysvaikutukset sekä asumisviihtyvyyden.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n standardi *SFS 5907:2004 Rakennusten akustinen luokitus* esittää akustiikan ohjearvoja erilaisille tiloille ja rakennustyypeille. Sen tarkoitus on ohjata rakennusten akustista suunnittelua mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Meluhaittojen ehkäisemiseksi, ympäristön viihtyvyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyitä varten on julkaistu päätös *993/1992 Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista*. Päätöksessä annetaan ohjearvot melutasosta rakennuksen sisällä, ja päätös on perustana rakennusten ulkovaipan ääneneristykselle asemakaavassa annettaville kaavamääräyksille. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.16-21)

2.3.2 Melu

Melu on ääntä, jonka ihminen kokee pääasiassa kuulosta välityksellä. Melu koetaan epämiellyttäväksi ja häiritseväksi sekä sillä voi olla terveydelle ja hyvinvoinnille haitallisia vaikutuksia. Äänen häiritsevyyteen vaikuttaa äänen fyysikaalisten ja ihmisen yksilöllisten ominaisuuksien lisäksi merkittävästi eri tilanteet. Esimerkiksi nukkuessa vaatimukset ääniolosuhteille ovat tiukemmat kuin valveilla oltaessa. Melun aiheuttamia terveyshaittoja ovat muun muassa erilaiset kuulovauriot, väsymys ja stressi. Vaikka melun kokeminen on yksilöllistä, jo muutama altistuminen kipukynnyksen (130 dB)

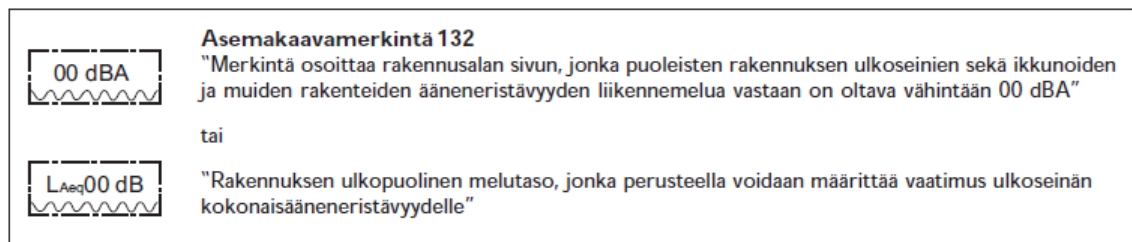
ylittävälle äänelle voi olla haitaksi terveydelle. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, s.31)

Tämä opinnäytetyö käsittelee pientalon äänitekniikkaa ja melu huomioidaan rakennuksen ulkovaipan osalta. Ulkovaipan suunnittelussa tulee huomioida erityisesti ympäristömelunlähteet, joita ovat tie-, raide- ja lentoliikennemelu, teollisuusmelu sekä rakennuksen aiheuttama oma melu. Näistä merkittävimpinä tämän opinnäytetyön kannalta ovat liikennemelulähteet. Liikennemelulähteen aiheuttamaan äänitasoon L_{eq} [dB] vaikuttaa muun muassa tiellä liikkuvien ajoneuvojen määrä ja laatu eli kevyet ja raskaat ajoneuvot, tien nopeusrajoitus, häirityn kohteen esimerkiksi asuinrakennuksen etäisyys ja korkeus tiestä, maaston muodot ja kasvillisuus sekä ympäröivät rakennukset ja esteet, niiden korkeus ja sijainti häirittyyn kohteeseen nähden. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s.152)

2.3.3 Ohjearvot

Ääneneristysvaatimuksilla pyritään luomaan asuinrakennukseen hyvät ääniolosuhteet. Ne voi saada aikaan hyvin ääntäeristävillä rakenteilla, hyvällä arkkitehti- että rakennesuunnittelulla sekä hyvää rakennustapaa noudattaen. Rakennuksen meluhaittoja voidaan vähentää esimerkiksi sijoittamalla makuuhuoneet pois meluisten tiealueiden puolelta, sijoittamalla ääntä aiheuttavat tilat yhteen ja välttämällä autopaikan sijoitusta makuuhuoneen alapuolelle. (Wood Focus Oy 2004, s.16) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s.11)

RakMK:ssa äänitasoero ΔL [dB], tarkemmin A-äänitasoero, tarkoittaa ulkomelutason ja sallittavan sisämelutason erotusta ($L_{A,eq,u} - L_{A,eq,s}$). Tämä esitetään usein asema- tai yleiskaavassa äänitasoerovaatimuksena, jos rakennetaan melualueelle (kuva 1). Vaikka kaavamääräystä ei olisi annettu, rakennushankkeeseen ryhtyvän on kuitenkin varmistettava, että hyvät ääniolot saavutetaan. Tässä opinnäytetyössä esitettyjen melutasojen ohjearvoilla tarkoitetaan niitä melutasoja, joille ihminen saisi enimmillään altistua sisällä rakennuksessa. (Ympäristöministeriö 2003, s.21)



KUVA 1. Kaavamerkintä julkisivun ääneneristystarpeesta (Ympäristöministeriö 2003, 9)

Valtioneuvoston päätöksessä 993/1992 ohjearvot suurimmille sallituille liikennemelun keskiäänitasoille on määritelty erikseen päivä- ja yöajalle. Päivällä melun A-painotetun ekvivalenttitason $L_{A,eq,7-22}$ ohjearvoksi on määritelty 35 dB ja yöllä $L_{A,eq,22-7}$ 30 dB. On huomioitava, että ohjervot koskevat rakennuksen koko ulkovaippaa, eikä yksittäisiä rakenteita. Piha-alueilla kyseiset arvot ovat $L_{A,eq,7-22}$ 55 dB ja $L_{A,eq,22-7}$ 45 dB. (Finlex 993/1992)

Standardissa SFS 5907 on käytössä rakennusalan toimihenkilöiden töitä helpottava rakennustyyppien akustinen luokittelu. Luokittelu helpottaa akustiikan huomioimisen mahdollisimman varhain rakennushankkeessa. Luokittelu jakaa tilat neljään luokkaan A, B, C ja D, joista luokka C vastaa rakentamismääräyskokoelman määräyksiä eli vähimmäistason ja A vastaa akustiikaltaan tavanomaista parempaa rakennusta. Suunnittelukriteereitä rakennuksen ulkovaipalle eri luokissa on esitetty taulukossa 5. (SFS 5907, s.2)

TAULUKKO 5. Rakennuksen ulkokuoren suunnittelukriteeri melualueilla eri luokissa (SFS 5907, s.22)

Tila	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D
Asuinhuoneissa	Kaavamääräys +10 dB	Kaavamääräys +5 dB	Kaavamääräys	Kaavamääräys

3 CASE: VERSO

3.1 Vantaan Asuntomessut 2015

Kesän 2015 asuntomessut järjestetään Vantaan Kivistössä lähellä samana vuonna valmistuvaa Kehäradan asemaa ja muita liikenneväyliä, kuten Helsinki-Vantaan lentoasemaa ja kehä kolmosta. Messun teemana on sujuva ja turvallinen arki, joka ilmenee siten, että rakentajaperheitä on kannustettu huomioimaan tulevaisuus rakentamisessa. Yksi messuille valmistuvista omakotitaloista on ympäristövastuullisen GreenBuild Oy:n passiivipuutalo OKT Verso (myöhemmin: Verso). (Suomen Asuntomessut)

Verso on kaksikerroksinen selluvillaeristeinen passiivipuutalo, jossa on 192 m². Verso on monen rakennusalan ammattilaisen yhteistyön tulos ja se rakennetaan paikalla pitkästä tavarasta hyvää rakennustapaa noudattaen. Verson rakenteet täyttävät tai ovat tehokkaampia kuin passiivitalolle asetetut vaatimukset muun muassa lämmönläpäisyn, energiatehokkuuden ja ilmastoineristävyyden osalta. Passiivitalon määrityksen mukaan taloon ei tarvita varsinaista lämmitysjärjestelmää, mutta Suomen pakkasissa se on kuitenkin välttämätön. Versoon tulee päälämmönlähteeksi poistoilmalämpöpumppu sekä mukavuuslattialämmitys. Arkkitehti- ja piirustukset Verson julkisivusta, joilla rakennuslupa haettiin, löytyy liitteistä 1-2.

3.2 Kaavamääräykset

Messualueesta on tehty meluselvitys *Marja-Vantaa: Asuntomessut 2015- Kaava-alueen 231000 meluselvityksen päivitys*, joka on tehty ennustaen alueen liikennemäärät vuodelle 2035. Tämän selvityksen tulokset perustuvat siihen, että messualueen reunoilla olevat korkeat kerrostalot muodostavat tehokkaan melusuojan alueen muille rakennuksille ja piha-alueille.

Messualue sijaitsee lentomelualueella, joten rakennuksen ulkovaipalle on annettu sen mukainen ääneneristysvaatimus. Asuntomessualueen hyväksytyissä kaavamääräyksissä ilmoitetaan asuinhuoneiden ulkovaipan ääneneristävyyksivaatimukseksi eli sallituksi

äänitasoeroksi lento- ja liikennemelua vastaan $\Delta L = 35$ desibeliä. Ilman määräävää liikennemelua, tässä tapauksessa lentomelua, julkisivun ääneneristävyyksivaatimus olisi $\Delta L = 25$ desibeliä. Piha-alueilla eli myös parvekkeilla ja terasseilla ääneneristävyyksivaatimukseksi meluselvityksessä on annettu Valtioneuvoston päätöksen 993/1992 mukainen ohjearvo yöaikana $L_{A,eq,22-7} 45$ dB. Tämä tulee huomioida, sillä Versoon rakennetaan iso kaksikerroksinen lasitettu terassi talon kaakonpuoleiselle seinälle (liite 1, s.1). Meluselvityksessä on annettu myös rakennekohtaisia ääneneristysvaatimuksia, joissa korjaustermit on huomioitu (taulukko 6). (WSP Finland Oy, s.6)

TAULUKKO 6. Rakennekohtaiset äänieristysvaatimukset Vantaan Asuntomessualueella (WSP Finland Oy, s.24)

Ulkovaipan osa		Ääneneristysvaatimus
Ulkoseinä	$R_{A,tr,seinä}$	≥ 47 dB
Kattorakenne lentomelua vastaan	$R_{A,tr,katto}$	≥ 49 dB
Ikkunat ja ovet	$R_{A,tr}$	≥ 42 dB
Koko julkisivu	$R_{A,tr,vaad}$	$= 44$ dB

Korjaustermit huomioidaan rakennuksen julkisivua koskevissa ääneneristysvaatimuksissa $R_{tr,vaad}$ [dB] siten, että ääneneristysvaatimukseen lisätään rakennusosalle laskettu korjaustermi K_1 [dB]. Korjaustermi K_1 :n arvo saadaan julkisivupinta-alan S [m²] ja huonetilan lattiapinta-alan S_H [m²] suhteella (taulukko 7). Korjaustermien lisäksi on myös huomioitava, että ulkoseinä- ja kattorakenteiden ääneneristysvaatimukset ovat tiukemmat kuin julkisivun yhteisääneneristävyydeksi on annettu. Ulkoseinä-rakenteen ääneneristävyyden $R_{A,tr,seinä}$ [dB] tulee olla 3 dB isompi kuin koko julkisivun vaadittu ääneneristävyys sekä kattorakenteen eli vesikaton ja yläpohjan ääneneristävyys lentomelualueella $R_{A,tr,katto}$ [dB] on oltava vähintään 5 dB isompi kuin $R_{tr,vaad}$. Ikkunoilta ja parvekeovilta vaadittu ääneneristävyys $R_{A,tr}$ [dB] saadaan, kun julkisivulta vaadittuun ääneneristävyyteen lisätään korjaustermi K_2 [dB]. Arvo korjaustermille K_2 saadaan jakamalla julkisivussa olevien ikkunoiden ja parvekeovien yhteispinta-ala $\sum S_i$ [m²] tarkasteltavan julkisivun pinta-alalla S [m²] (taulukko 8). (Ympäristöministeriö 2003, s.11-13)

TAULUKKO 7. Korjaustermin K_1 arvot (Ympäristöministeriö 2003, s.12)

S / S_h	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
K_1	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

TAULUKKO 8. Korjaustermin K_2 arvot (Ympäristöministeriö 2003, s.13)

$\Sigma S_i / S$	$\leq 0,10$	0,13	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	$\leq 0,50$
K_2	-6	-5	-4	-3	-3	-2	-1	0

3.3 Ääneneristysten toteuttaminen

Rakennuspaikan ympäristön meluselvitys antoi lähtökohdat Verson ääneneristysten toteutukseen. Hyvin toteutettu ääneneristys on huomioitu jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa ja siksi Versosta tehtiin ääneneristys selvitys Vantaan kaupungille jo rakennuslupaa varten. GreenBuildin selluvillaeristeisillä ulkovaipan rakenteilla on hyvät ääneneristävyysarvot, mutta rakennesuunnittelun yhteydessä tuli kiinnittää huomiota erityisesti rakennusosien liitosten tiiveyteen sekä ulkovaipan kokonaisääneneristävyteen. Ulkovaipan rakenteille mitatut ääneneristävyysarvot esitellään työssä myöhempanä.

Verson rakennesuunnittelusta vastaa GreenBuildin yhteistyökumppani Insinööritoimisto Henri Mäkinen Oy, jonka toimesta myös ääneneristys selvitys tehtiin. Yhteistyössä Insinööritoimisto Henri Mäkinen Oy:n kanssa GreenBuild on rakentanut useampia kohteita Pirkanmaalle muun muassa Tampereen Vuoreksen Asuntomessuille vuonna 2012.

3.3.1 Ääneneristys selvitys

Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävydestä tehdään ääneneristys selvitys, jolla voidaan osoittaa, että rakennuksen rakenteiden ja rakennusosien yhteisääneneristävyydellä saavutetaan vaadittu ääneneristävyystaso. Menettelemällä näin, ei äänitekniisiä mittauksia tarvitse tehdä kaavamääräysten toteutumisen valvomiseksi (Ympäristöministeriö 2003, s.11). Rakennuksen ulkovaipan ääneneristys selvitys laaditaan Ympäristöministeriön ympäristöoppaan 208

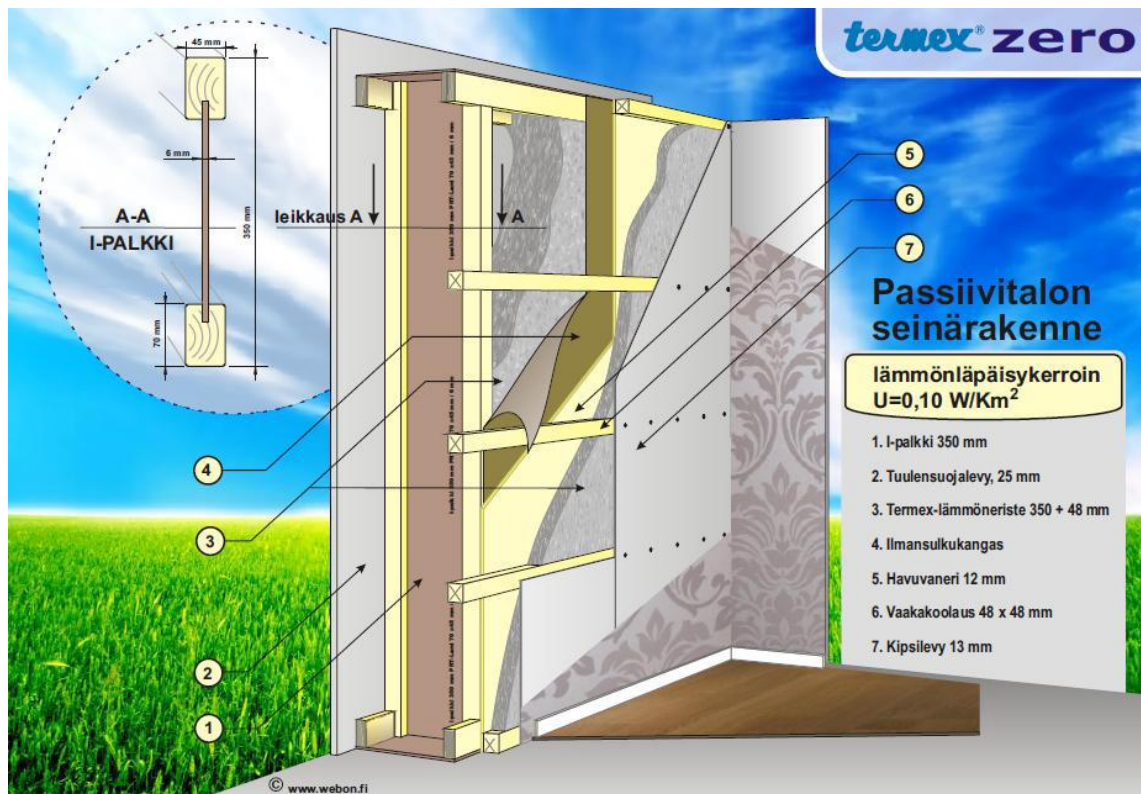
mitoitusmenetelmällä tai RIL 129 -julkaisun äänitasoeromenetelmällä. (Vantaan kaupunki)

Vantaan kaupunki esittää nettisivuillaan ääneneristys selvityksen laadintaohjeessa, että ääneneristys selvityksen tulee pitää sisällään muun muassa kohteelle asetettu ääneneristävyysvaatimus, kohteen pohja- ja leikkauspiirustukset, käytettävät rakenteet, rakennusosien kokonaisääneneristävyys sekä detaljit räystäiden vaimennetuista raoista eli ääniloukuista. Näiden lisäksi ääneneristys selvityksestä tulee esittää tarkemmat tiedot, joita on käytetty ulkovaipan ääneneristys selvityksen laadinnassa, kuten huonekohtaiset tiedot pinta-aloista, pinta-alasuhteet ja pinta-alasuhteiden korjaustermit. Selvityksestä on käytävä ilmi myös käytetty mitoitusmenetelmä sekä ääneneristys selvityksen laatijan tiedot.

Laskelmat Verson ääneneristys selvitykseen on tehty käyttäen Insinööritoimisto Henri Mäkinen Oy:n omaa laskentaExceliä, joka perustuu ulkovaipan rakennusosien ääneneristys ksen mitoituksessa ympäristöoppaan mitoitusmenetelmään. Ulkovaipan rakenteiden, joiden ilmaääneneristävyyttä ei ole testattu, ääneneristävyiden arvot laskentaExceliin saadaan tarvittaessa RIL 129 -julkaisusta. Versossa käytettyjen ulkovaipan rakennusosien ilmaääneneristävyiden arvot on tiedossa, joten ääneneristys selvitykseen ei ole tarvittu RIL 129 -julkaisua. Tuloste Verson ääneneristys selvityksestä löytyy liitteestä 2, jonka perusteella rakennuksen akustinen luokitus on kaavamääryksen mukainen eli C.

3.3.2 Ulkoseinät

Rakennus voidaan katsoa passiivitaloksi, kun sen lämmitysenergiankulutus jää alle vaaditun raja-arvon. Raja-arvot energiankulutukselle on annettu rakennuspaikan mukaan ja ne ovat Suomessa korkeintaan 20 – 30 kWh/m² (Lylykangas, K & Nieminen, J. 2009). Jotta raja-arvo voidaan saavuttaa, rakennuksen on oltava ulkovaipaltaan hyvin eristetty ja tiivis. Tämä vaikuttaa paitsi rakennuksen energiankulutukseen myös rakenteiden ääneneristävyteen. Versoon tulee GreenBuildin oma Termex Zero -ulkoseinärakenne (kuva 2). Termex Zero on testatusti energiaa säästävä rakenneratkaisu ja sen ilmaääneneristävyys on tutkittu VTT:n tutkimushallissa.



KUVA 2. Termex Zero -seinärakenne (VTT Expert Services Oy 2010, liite 2 s.2)

Rakenteen ilmaääneneristävyyteen vaikuttaa suuresti sen tiiveys ja massa. Termex Zero -ukoseinärakenne on vahvuudeltaan noin 500 mm, riippuen julkisivun verhouksmateriaalista. Seinän vahvuudesta 400 mm on Termex-lämmöneristettä eli selluvillaa, jolla on iso merkitys rakenteen ilmaääneneristävyyden kannalta, sillä puurunkoinen ulkoseinä on rakenteena kevyt eikä yksinään eristä ääntä. Seinän runkona on I-palkki k/k -jaolla 600 mm ja runkojen välit on täytetty pystyontelo-Termexillä, jonka tilavuuspaino on VTT:n ympäristöselosteen mukaan $55 - 65 \text{ kg/m}^3$ (VTT Expert Services Oy, liite 2 s.1). Seinän vaakakoolauksen 48×48 k 600 välit on myös puhallettu täyteen selluvillaa märkäpuhalluksena. Ulkoseinän tiiveyteen vaikuttaa positiivisesti se, että puhallettu selluvilla on saumaton ja hyvän tiheyden ansiosta painumaton lämmöneriste. Rakenteen tiiveys on varmistettu vielä limittämällä ja teippaamalla ilmansulkukangas jatkos- ja liitoskohdissa. Verson ulkoverhouksena on 23×95 mm vaakapaneeli, joten taulukon 9 mukaan ulkoseinän ilmaääneneristävyytlukuna R_w voidaan käyttää 57 dB. Verson ulkoseinärakennedetalji esitetty liitteessä 3 sivulla 1.

TAULUKKO 9. Termex Zero-ulkoseinärakenteelle määritetyt ilmaääneneristävyyksluvut R_w , R_w+C ja R_w+C_{tr} . – Standardit ISO 140-3 ja ISO 717-1 (VTT Expert Services Oy 2010, s.2)

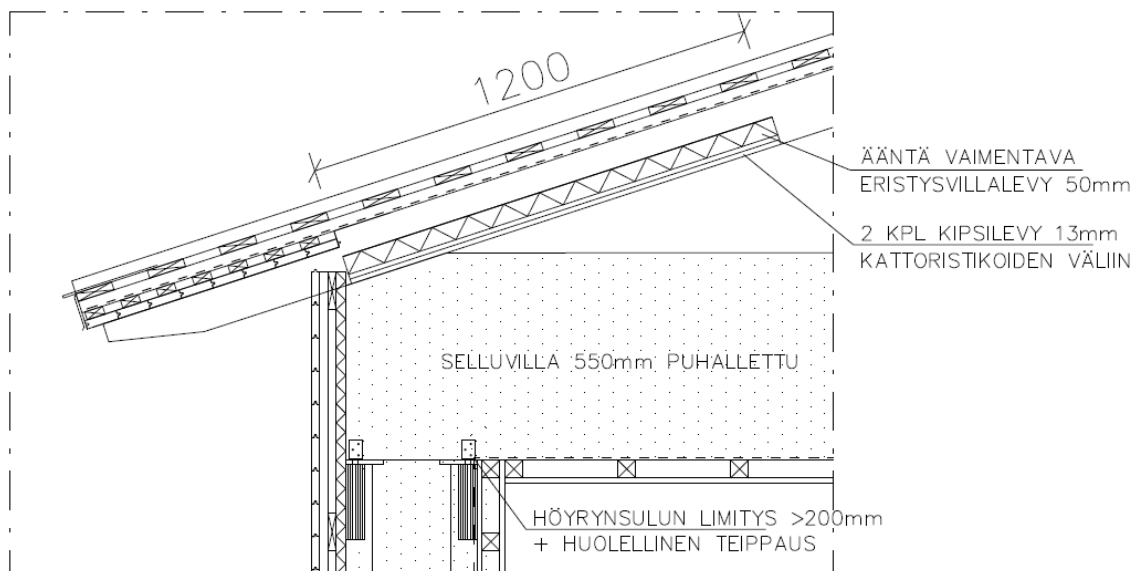
Termex Zero -ulkoseinä	R_w (dB)	R_w+C (dB)	R_w+C_{tr} (dB)
Rakenne rappauslevy asennettuna	59	57	52
Rakenne rappauslevy poistettuna	57	55	50

3.3.3 Yläpohja

Verso sijaitsee 10 kilometrin päässä Helsinki-Vantaan lentokentästä, joten rakennuksen ulkovaipasta juuri yläpohjaan tulee kiinnittää erityisesti huomiota. Verson yläpohja toteutetaan, kuten muutkin GreenBuildin yläpohjarakenteet, puuristikoilla ja puhalletulla selluvillalla. Versossa vesikatteeksi arkkitehti on valinnut peltikatteen sekä ristikot toteutetaan harjaristikoilla, jolloin yläpohjaan jää suurehko ilmatila, joka on ilmaääneneristävyyden kannalta hyvä asia. Verson yläpohjan rakennetyyppi on esitelty tarkemmin liitteessä 3 sivulla 2.

Verson yläpohjarakenteen suunnittelussa ääneneristävyyden osalta huomiota tuli kiinnittää muun muassa avoräystäisiin sekä peltikatteeseen, sillä ne heikentävät yläpohjan ääneneristävyyttä. Avoräystäät heikentävät yläpohjan ääneneristävyyttä, sillä näin ääni pääsee suoraa kulkeutumaan yläpohjan tuuletusrakoon vaimenematta. Massalakiin nojaten peltikate voi heikentää kevytrakenteisen yläpohjan ääneneristävyyttä erityisesti silloin, jos yläpohjarakenteen massa on pieni. Peltikatto voi myös tietyillä taajuuksilla resonoida sekä koinsidenssi-ilmiön mahdollisuus on olemassa. GreenBuildin yläpohjarakenteessa on lämmöneristeenä 550 mm puhallettua selluvillaa, joka on saumattomuutensa ansiosta hyvin ilmatiivis. Selluvilla on myös materiaaliominaisuuksiltaan sekä hyvä lämmön- että ääneneristemateriaali. Selluvillan hyvät ääneneristysominaisuudet perustuvat sellukuitujen kykyyn heikentää ääniaallon etenemistä materiaalissa. Selluvillan kuidut hidastavat ääniaallon liikettä ja mitä enemmän kuituja materiaalissa on sitä tehokkaammin se vaimentaa ääntä (Panula E-J).

Yläpohjan tuuletus hoidetaan siten, että ristikoiden yläpaarteiden väleihin asennetaan 50 mm vahva ääntä eristävä huokoinen villalevy tuulenohjaimeksi. Kun tuuletus ohjataan suhteessa kapean ja ääntä vaimentavan materiaalin kautta yläpohjaan, ääneneristävyys paranee huomattavasti. Tällaista sivuräystäsrakennetta kutsutaan meluloukuksi, katso kuva 3. Myös yläpohjan ilmatilan suuruus vaikuttaa ääneneristävyyteen positiivisesti (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s.158). Rakennus sijaitsee lentomelualueella, joten yläpohjan sisäpuoliseen verhoukseen on valittava tiivis rakennuslevy esimerkiksi kipsilevy, sillä pelkällä paneloinnilla ei saavuteta riittäviä ääniolosuhteita. (Kylliäinen M. 2011, s.49) Sisäpuolisen levytyksen vaikutusta ääneneristävyyteen käsitellään tarkemmin kappaleessa 4.2.2.



KUVA 3. Verson yläpohjan ääneneristykseen toteutus, meluloukku

Vastaavalle yläpohjarakenteelle mitattu ilmaääneneristävyyslukuksi lähellä ulkoseinää on Helimäen raportin mukaan saatu taulukon 10 mukaiset arvot. Taulukossa on esitetty arvot myös tiilikatteelle. (Helimäki Akustikot 2014, s.3)

TAULUKKO 10. Lasketut ilmaääneneristysluvut R_w , ilmaääneneristysluvut lento- ja raideliikennettä vastaan $R_w + C$ ja tieliikennemelua vastaan $R_w + C_{tr}$ (Helimäki Akustikot, s.3)

Laskettu rakenne	Rakennekerrokset	R_w (dB)	$R_w + C$ (dB)	$R_w + C_{tr}$ (dB)
Yläpohja, peltikate	0,6 mm Teräs 150 mm Puurunko + ilmaväli 12 mm Tuulileijona 700 mm Puurunko k900 + villa 600 mm 12,5 mm Kipsilevy	52	49	43
Yläpohja, tiilikate	20 mm Savitiili 150 mm Puurunko 12 mm Tuulileijona 700 mm Puurunko k900 + villa 600 mm 12,5 mm Kipsilevy	60	57	52

3.3.4 Ikkunat ja ovet

Ikkunat ja ovet ovat usein ääneneristävyiden kannalta rakennuksen ulkovaipan heikoimmat kohdat. Versoon on valittu ikkunat ja ovet Skaalan Alfa FrostFree -mallistosta. Nämä ovat huurtumattomia, hyvin ääntäeristäviä ja energiatehokkaita. Skaala Alfa FrostFree -malliston tuotteiden karmit ja muut runkorakenteet ovat kotimaista mäntyä sekä ulkopinnat on alumiinia ja lasia. (Skaala Ikkunat ja Ovet Oy)

Ulko-ovissa on tuplatiivistys, polystyreenilämmöneristys ja energiatehokas lasitus.

Parvekeovissa ääneneristävydeksi tieliikennemelua vastaan ($R_w + C_{tr}$) on ilmoitettu 30 – 35 dB (Skaala Ikkunat ja Ovet Oy, Skaala Ovikirja s.50). Ikkunoiden ilmaääneneristävyiden arvot riippuvat siitä, ovatko ikkunat kiinteitä vai avattavia. Skaala Alfa -malliston ikkunoiden ilmaääneneristävydet ovat avattavilla nelilasisilla ikkunoilla 32 – 43 dB ja kiinteillä kolmilasisilla ikkunoilla 24 – 38 dB, riippuen ikkunoiden koosta ja karmirakenteesta. (Skaala Ikkunat ja Ovet Oy)

Ikkunoiden ja ovien, joissa on lasituksia, ääneneristävyyteen vaikuttaa selvästi hyvien tiivisteiden käytön lisäksi muun muassa niiden karmisyvyys. Versossa ovien karmisyvyys on 210 mm. Ikkunoiden karmisyvyudeksi on valittu myös 210 mm, jolloin lasien väliin jäävä ilmaväli on suurempi kuin kapeammilla karmisyvyyksillä. Lisäksi ääneneristykseen vaikuttaa huomattavasti lasien massat. Käyttämällä erivahvuisia laseja samassa ikkunassa ne yhdessä eristävät sekä matala- että korkeataajuisia ääniä paremmin kuin, että kaikki lasit olisivat yhtä vahvoja. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2007, s. 97-99)

Umpiovien pinta-ala suhteessa koko julkisivun pinta-alaan jää melko pieneksi, joten niiden ääneneristävyydellä ei ole suurta vaikutusta koko julkisivun ilmaääneneristävyyteen. Umpiovista poiketen ovet, joissa on lasituksia, ilmaääneneristävyyden olisi hyvä olla vähintään sama kuin ikkunoilla, etteivät ne heikennä liiaksi ulkovaipan ääneneristävyyttä (Wood Focus Oy 2004, s.53). Jos ikkunoiden ja ovien ääneneristävyyttä halutaan parantaa, se onnistuu vain asentamalla ne rakenneosaan, jonka eristävyys on noin 10 – 15 dB parempi kuin ikkunan tai oven ääneneristävyys (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s. 127). Verson ulkoseinärakenteen mitattu ilmaääneneristävyys on 57 dB ja ikkunoiden 38 – 42 dB, joten yhdistelmälle saavutettu eristävyys on parempi kuin pelkällä ikkunalla.

3.3.5 Liitoskohdat

Rakennuksen tiiveys on yksi tärkeimmistä lähtökohdista ääneneristykseen suunnittelulle että toteutukselle. Rakennusosien ja niihin lisättyjen ikkunoiden, ovien ja läpivientien asennuksessa oleellisinta on niiden väliset liitokset. Liitokset tulee tiivistää kunnolla valmistajan asennusohjeen mukaisella eristeellä, esimerkiksi mineraalivillalla tai polyuretaanilla ja elastisella kitillä. (Kylliäinen M. 2011, s.49-50)

GreenBuildin rakenteiden liitoksissa käytetään ProClima -Tiivistalojärjestelmää, jolla estetään liitosten ilmapuodot. Kuten GreenBuildin ulkovaipan rakenteet ovat kosteutta tasaavia ja ilmatiiviä, samantyyppisiä ovat myös liitosten tiivistyksessä käytetyt materiaalit. Tiiveys osassa liitoksista voidaan varmistaa muun muassa ilmansulun riittävällä limityksellä ja teippauksella, jos sitä ei onnistuta viemään yhtenäisenä liitoskohdan yli. Rakennuksen ulkovaipan liitoksia ovat:

- ikkunan /oven ja seinän välinen liitos (katso liite 3, s.3 ja 4)
- ikkunan ja vesikaton välinen liitos, esimerkiksi kattoikkuna
- ikkunan/oven ja perustuksen välinen liitos
- seinän ja perustuksen välinen liitos
- seinän ja yläpohjan välinen liitos
- seinän ja välipohjan välinen liitos.

Verson ilmatiiveys tarkistetaan, kuten aina valmiit talot, ilmatiiveysmittauksella. Ilmatiiviit rakenteet ja liitokset mahdollistavat rakennuksen ääneneristävyyden toteutumisen.

GreenBuildin käyttämien ulkovaipan rakennusosien liitoksista seinän ja yläpohjan liitos on toteutettu siten, että puhallettu selluvillaeriste seinissä ja yläpohjassa on yhtenäinen. Tällainen avoin liitos seinä- ja yläpohjarakenteen välille toteutetaan siten, että seinän runkotolppina toimiviin I-palkkeihin kolotaan seinäpalkit niin, ettei normaalisti käytettyä yläohjauspuuta tarvita (liite 3, s.3). Saumaton liitos mahdollistaa lämmöneristeen mahdollisen painuman ilman, että liitoksen syntyisi avoin sauma. Rakenteessa olevilla avoimilla raoilla ei ole ääneneristävyyttä, minkä takia rakenteen ilmatiiveys on lähtökohtana ilmaääneneristävyydelle. Verso on kaksikerroksinen, joten ulkoseinän ja välipohjan välinen liitos tuli huomioida ääneneristävyyden kannalta. Versossa ulkoseinien runkotolpat viedään vesikatolle saakka yhtämittäisinä, joten liitos ei katkaise ulkoseinärakennetta eikä täten heikennä rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyttä.

Puurakenteiden välisissä liitoksissa käytetään EPDM eli solukumitiivisteitä sekä elastisia tiivistysmassoja ja -nauhoja. Tiivisteille tulee varata riittävästi tilaa, jotta ne voidaan ajan kuluessa uusia. (Wood Focus Oy 2004, s.51). Versossa liitoskohtien tiivistämiseen käytetään muun muassa elastista Sikaflex tiivistysmassaa sekä hyvin ääntä ja lämpöä eristävää pellavaeristenauhaa.

4 ÄÄNITEKNISTEN OMINAISUUKSIEN VERTAILU

4.1 Vertailun lähtökohdat

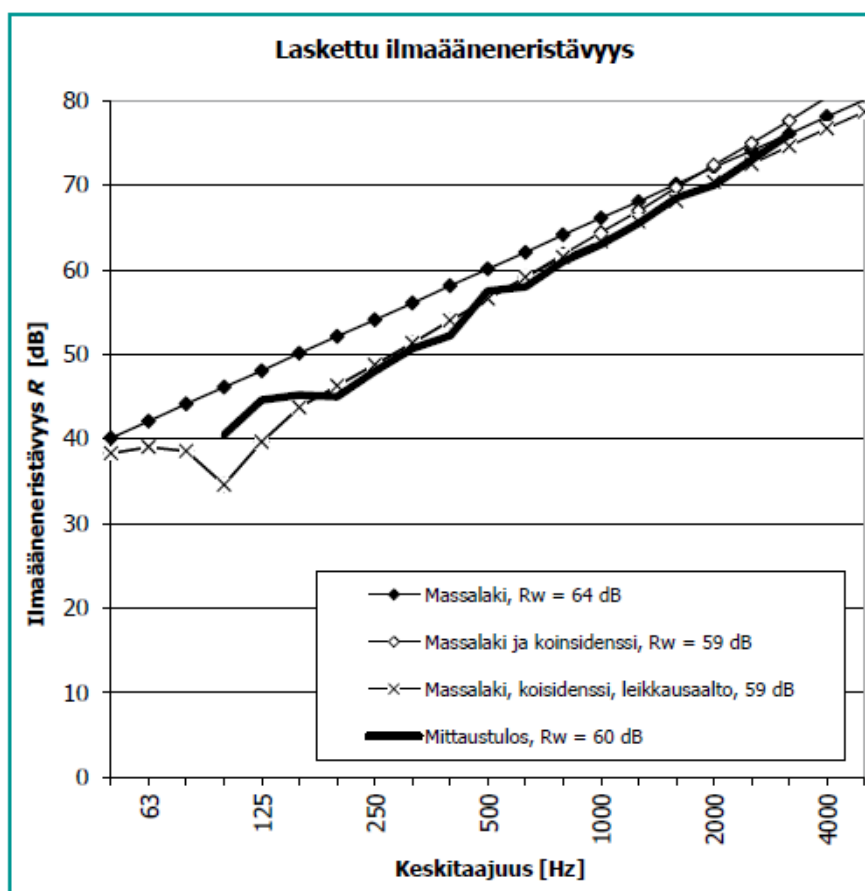
Tässä kappaleessa vertaillaan lämmönjohtavuudeltaan samankaltaisten passiivirakenteiden äänitekniisiä ominaisuuksia ja pohditaan, kuinka ilmaääneneristävyyttä näissä voidaan parantaa. Rakenteiden ilmaääneneristävyyteen vaikuttaa paitsi käytetyt materiaalit myös niiden vahvuudet, ilmaraot, tiiveys, massa sekä niiden yhteinen toimivuus. Rakennusten ääniolosuhteisiin on kiinnitetty huomiota jo pitkään sekä asiaa on tutkittu melko paljon, mutta kohteina ovat lähes poikkeuksetta isot rakennukset kuten asuinkerrostalot, toimistot, koulut ja hoitolaitokset. Ihmiset arvostavat yksityisyyttä ja omaa rauhaa, joten ääniteknikan tärkeys korostuu nykyään yhä enemmän myös pientaloissa.

Vertailuaineistoa on kerätty eri materiaalivalmistajien nettisivuilta sekä muutamien sähköpostikeskusteluiden perusteella. Valmiiden passiivipientalojen ulkovaipparakenteiden äänitekniisiä ominaisuuksia on mitattu melko vähän tai niitä ei ole jostain syystä haluttu julkaista. Syynä voi olla toki sekin, että riittävät ääniolosuhteet saavutetaan tavanomaisilla rakenteilla. Eri rakenteiden välinen vertailu tässä opinnäytetyössä on suuntaa antava ja tarkoitus havainnollistaa eri materiaalien ääniteknistä toimintaa.

4.2 Rakennuksen ulkovaippa

Puurakenteisessa asuinrakennuksessa tulee kiinnittää huomiota ääneneristävyyden suunnittelussa siihen, että puu on materiaalina kevyttä eikä pelkästään puurakenteen omalla painolla päästä vaadittuihin ääneneristävyyssarvoihin. Tällöin rakenteen ääneneristävyyteen vaikuttaa suuresti rakenteeseen valittujen muiden materiaalien äänitekniset ominaisuudet sekä niiden toimivuus yhdessä. Puurunkoiseen rakenteeseen on järkevää valita esimerkiksi massaltaan suuria levymateriaaleja, sillä massalain mukaan tällaisten kevyiden rakenteiden massan lisääminen ilmaääneneristävyyden kannalta on taloudellisesti järkevää. (Wood Focus Oy 2004, s.14 ja s.18)

Toisin kuin puurakenteisissa rakennuksissa, massiivirunkoisissa asuinrakennuksissa ääneneristävyyden kannalta merkittävin on runkomateriaalin ääneneristävyys, sillä sen massa on suuri. Massiivirunkoisilla rakenteilla on kuitenkin myös ääneneristävyyttä heikentäviä ominaisuuksia, kuten koinsidenssi-ilmiö sekä leikkausaallot. Kuvasta 3 voi nähdä koinsidenssi-ilmiön ja leikkausaallon vaikutuksen massiivirunkoisen rakenteen ääneneristävyyteen. Tällaisten massiivirunkoisten eli betoni-, tiili- ja muiden kivirakenteiden ääneneristävyyttä tulee parantaa muuten kuin massaa kasvattamalla, sillä pieni massan lisäys raskaaseen rakenteeseen ei paranna sen ääneneristävyyttä oleellisesti. (Kylliäinen M. 2011, s.19-20)



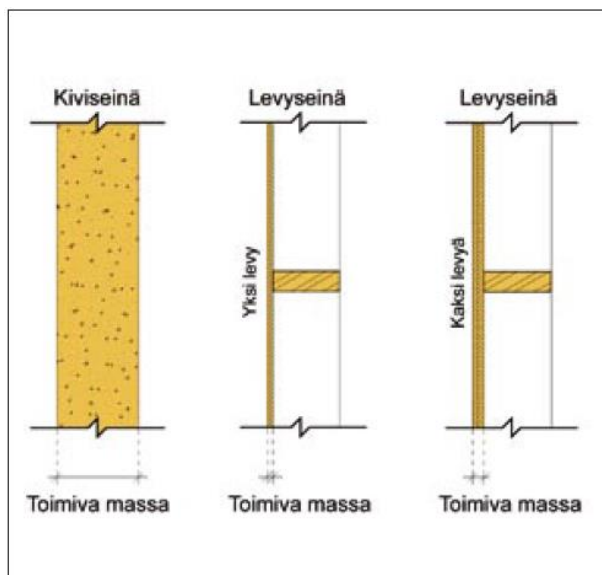
KUVA 3. 180 mm paksun betoniseinän laskettu ilmaääneneristävyys verrattuna rakenteen laboratoriossa mitattuun ääneneristävyyteen. Koinsidenssin ja leikkausaaltoalueen ottaminen huomioon tuottaa paremman laskennallisen arvion ilmaääneneristävydestä. (Kylliäinen M. 2011, s.20)

Rakennusten ulkovaipparakenteista vertaillaan ulkoseinä- ja yläpohjarakenteita, sillä niillä on suurin vaikutus rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyteen. Vertailuun on pyritty valitsemaan rakenteet, joiden U-arvot eli lämmönläpäisykertoimet ovat lähes samansuuruiset kuin esimerkkikohde Versossa käytettyjen GreenBuildin

ulkovaipparakenteiden. Valittujen ulkoseinärakenteiden lämmönläpäisykertoimet ovat noin $0,10 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$ ja yläpohjarakenteilla noin $0,07 \text{ W/ m}^2\cdot\text{K}$. Vertailuun valittujen ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden rakennedetaljit on esitetty liitteessä 3.

4.2.1 Ulkoseinät

Yleensä ulkoseinärakenteet ovat ääniteknisesti yksinkertaisia rakenteita (kuva 4) eli eri materiaalikerrokset ovat kiinteässä yhteydessä toisiinsa ja ne värähtelevät yhtenä kokonaisuutena. Ääneneristävyys tällaisissa rakenteissa perustuu pääasiassa rakenteen ilmatiiveyteen ja massaan (Wood Focus Oy 2004, s.19).



KUVA 4. Ääniteknisesti yksinkertaisia rakenteita. (Wood Focus Oy 2004, s.20)

GreenBuildin Termex Zero -ulkoseinärakenne on puurunkoinen ja täten kevytrakenteinen. Sen hyvä ilmaääneneristävyys saadaan aikaan rakennuslevyjen hyvillä ääniteknisillä ominaisuuksilla kuten massalla, tiheäksi puhalletulla huokoisella selluvillalla ja liitoskohtien tiiveydellä. Seinärakenteessa on käytetty tuulensuojalevyn lisäksi 12 mm vahvaa OSB- eli havuvanerilevyä sekä seinän sisäpuolisena verhoiluna kipsilevyä. Levytykset toimivat seinärakennetta jäykistävinä rakenneosina sekä ne lisäävät rakenteen massaa ja täten myös parantavat seinän ääneneristävyttä. Termex Zero -seinärakenteelle on mitattu ilmaääneneristävydeksi, ilman ääneneristystä parantavaa julkisivuverhousta, 57 dB (taulukko 9, s.25). Hyvästä ääneneristävydestä huolimatta seinän ääneneristävyttä voi parantaa valitsemalla julkisivuverhoukseksi

rappauslevyn, jolla ilmaääneneristävyudeksi on mitattu 59 dB (taulukko 9, s.25). Vaikka edellä mainitut ilmaääneneristävyuden arvot ovat verrattain hyviä, ääneneristävyyttä voisi vielä ohjata parempaan suuntaan lisäämällä toinen kipsilevy sisäverhouslevytykseen. Seinärakenne esiteltiin jo aiemmin opinnäytetyön kappaleessa 2 sivulla 22 ja seinärakennedetalji löytyy liitteestä 3 sivulta 1.

Käytettäessä mineraalivillaa puurunkoisessa seinärakenteessa, tulee huomioida samat asiat kuin käytettäessä puhallettua selluvillaa. Mineraalivilla ulkoseinärakenteessa ISOVER PAUS1005 (liite 4, s.1) on levyvillaa, joten huomiota on kiinnitettävä myös mineraalivillan saumojen limitykseen, jotta villalevyjen saumoihin ei jää muun muassa ulkoseinärakenteen ääneneristävyyttä heikentäviä rakoja. Isover ilmoittaa ulkoseinärakenteelle ISOVER PAUS1005 ilmaääneneristävyudeksi 47 dB (Helimäki Akustikot 2011, liite 1, s.1). Kyseisen seinärakenteen ilmaääneneristävyyttä voi parantaa lisäämällä tuulensuojamineraalivillan ja lämmöneristeminaalivillan väliin, 9 mm vahvan seinää jäykistävän ja seinärakenteen massaa lisäävän, kipsilevyn (katso liite 4, s.2). Kipsilevyllä seinärakenteen ISOVER PAUS1005 ääneneristävyys paranee kahdella desibelillä 49 desibeliin (Helimäki Akustikot 2011, liite 1, s.2). Nämä ilmaääneneristysluvut on saatu käyttämällä julkisivuverhouslautaa, joten vaihtamalla se rappauslevyyn ja lisäämällä sisäverhoukseen toinen kipsilevy, saavutettaisiin vielä muutaman desibelin parannus ääneneristävyteen.

Kolmantena vertailuun otetun kevytrakenteisen ulkoseinän runkona on puu ja lämmöneristeinä polyuretaani (liite 4, s.3). Polyuretaanin parhaimpana ominaisuutena on sen kyky eristää lämpöä, mutta ääneneristävyudessa se ei pärjää muille lämmöneristeille. Helimäen raportissa kyseiselle seinärakenteelle on ilmoitettu mitatuksi ilmaääneneristävyudeksi 36 dB (Helimäki Akustikot 2011, liite 1, s.3), joka on huomattavasti heikompi kuin edellä esitetyillä seinärakenteilla. Kuten on jo edellä mainittu, tämänkin rakenteen ääneneristävyyttä voidaan parantaa lisäämällä levytyksiä esimerkiksi rakenteen sisä- ja ulkopintaan. On myös mahdollista parannella rakenteen ääneneristävyyttä lisäämällä sisäpuoliseen koolaukseen mineraalivillaa, jolloin saavutetaan 41 desibelin ilmaääneneristävyys (liite 4, s.4) (Helimäki Akustikot 2011, liite 1, s.4). Tällä ulkoseinärakenteella ei kuitenkaan päästä niihin vaatimuksiin, joita esimerkiksi Vantaan Asuntomessualueella talojen ulkoseinärakenteilta vaaditaan.

Massiivirunkoisten passiiviulkoseinärakenteiden ilmasteneristävyydestä on huonosti saatavilla mittaustuloksia, sillä niillä on suuri massa ja sen nojalla luultavasti oletetaan, että ilmasteneristävyys on kunnossa. Näin onkin, mikäli se on toteutettu kunnolla ja kiviaineinen runko on yli 150 mm paksu, jolloin sen massa on riittävän suuri myös siihen, ettei koinsidenssi-ilmiö heikennä sen ääneneristävyyttä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s.17) (Wood Focus Oy 2004, s.21). Esimerkiksi tiili- ja harkkorunkoisessa ulkoseinärakenteessa on huolehdittava, että muuratessa saumat on täytetty huolellisesti siten, että myös pystysaumamat ovat täynnä laastia ja siten, ettei halkeamia pääse syntymään. Lisäksi tällaisten ohuiden yksinkertaisten kivrakenteiden ulkoseinärakenteiden koinsidenssi-ilmiö tulee tutkia, jotta voidaan varmistaa rakenteen ääneneristävyyden toteutuminen. Isoverin mineraalivillalla eristetyt tiilirunkoiset passiiviulkoseinärakenteet voidaan RIL 129 julkaisun mukaan todeta olevan enemmän kuin 60 dB (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s.285). Kyseisestä seinärakenteesta on detalji liitteessä 4 sivulla 5.

Vertaamalla edellä mainittujen passiiviulkoseinärakenteiden ääneneristävyyden arvoja keskenään, voidaan todeta, että selluvillaeristeisellä Termex Zero -seinärakenteella on hyvä ääneneristävyys verrattuna vastaavanlaisiin kevytrunkoisiin rakenteisiin. Verson Termex Zero -seinärakenteen ääneneristävyys täyttää helposti vaatimukset, joita usein kaavamääräyksissä melualueilla esitetään, ja on ääneneristävyydeltään kilpailukykyinen massiivirunkoisten ulkoseinärakenteiden kanssa. Seinärakenteet eivät ole rungoltaan samanlaisia, joten suoria päätelmiä eristemateriaalien vaikutuksesta rakenteiden ääneneristävyyteen ei voi tehdä. Esitetyistä ääneneristävyyksistä voi kuitenkin nähdä sen, että polyuretaanieristeestä ei ole ääniteknisesti huokoisten eristemateriaalien eli sellu- tai mineraalivilla kilpailijaksi.

4.2.2 Yläpohjat

Ääniteknisesti rakennuksen yläpohja toimii kaksinkertaisena rakenteena ja on täten paremmin ääntä eristävä kuin yksinkertainen rakenne. Kaksinkertaisessa rakenteessa on kaksi omaa runkoa eli yläpohjassa vesikate ja alakatto ovat omien runkojensa varassa, muodostaen toisistaan erillään olevat levymäiset massat. Niiden väliin jäävä ilmatila toimii ilmajousena, jonka välityksellä äänen aiheuttama värähtelyliike siirtyy rungosta

toiseen. (Wood Focus Oy 2004, s.23) Myös yläpohjarakenteissa kuten ulkoseinärakenteissakin ilmajääneristävyyden kannalta rakenteen massalla on suuri merkitys. Kivirakenteisilla yläpohjilla ääneneristävyys on yleensä pelkän massan vuoksi riittävä, jos koinsidenssi-ilmiö on tarkasteltu, mutta myös keveillä puurakenteisilla yläpohjilla päästään erinomaisiin ääneneristysarvoihin ullakon ilmatilan ansiosta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2003, s.286)

Versossa käytetyn GreenBuildin selluvillaeristeen yläpohjarakenteen ilmajääneristävyyden arvona voidaan käyttää 52 desibeliä (taulukko 10, s.24). Suhteellisen hyvä ääneneristävyys on saavutettu paitsi meluloukun ja suuren ilmatilan, myös puhalletun selluvillan ansiosta. Selluvillan vahvuus sekä täsmällinen asennus edesauttavat rakenteen äänen- että lämmöneristävyyttä. Vaikka ääneneristävyys kyseisessä rakenteessa on yläpohjalle melualueen vaatimukset täyttävä, sitä voisi parantaa kasvattamalla yläpohjan massaa esimerkiksi vaihtamalla vesikaton materiaalin peltikatteesta kattotiiliin. Helimäen raportin mukaan edellä mainittu katemateriaalin vaihdos parantaisi yläpohjan ääneneristävyyden 60 desibeliin (Helimäki Akustikot 2014, s.3). Aluslaudoituksen lisääminen räystäälle avoräystäiden sijaan, parantaisi myös huomattavasti yläpohjan ääneneristävyyttä, sillä äänen kulkeutuminen yläpohjaan suhteellisen kapean raon kautta vaimentaa ääntä. Lisäksi yläpohjan ilmajääneristävyyttä voidaan parantaa katon sisäpuolisen verhoilun valinnalla. Versossa on päädytty käyttämään sisäpuolisena verhouksena kipsilevyä, joka toimii ääniteknisesti hyvin sekä samalla jäykistää yläpohjan alapaarretasoa. Jos ääneneristävyyden arvoa tulisi vielä parantaa, sen voisi tehdä lisäämällä sisäverhouslevyksi vielä toisen kipsilevyn. Huomioitava on, jos sisäverhousmateriaalissa olisi päädytty puupaneeliin, se on useiden saumojen sekä huonon jäykkyyden vuoksi ääniteknisesti huono valinta sisäverhoukseksi sekä alapaarteen jäykistys tulisi hoitaa toisella tapaa. Yläpohjarakenne on esitetty liitteessä 3 sivulla 2.

Isoverin yläpohjarakenteelle ISOVER PAYP 1102 (liite 4, s.6) on ilmajääneristävyydeksi R_w ilmoitettu 30 dB (Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy). Ilmajääneristävyyden arvo on saatu rakennuksesta mittaamalla, joten se on muutaman desibelin heikompi, mitä laboratoriomittaus antaisi. Ääneneristyksen kannalta kevyessä puurakenteisessa yläpohjassa lämmöneristeellä on paljon merkitystä. Tässä rakenteessa mineraalivillaa on hieman reilu puoli metriä ja se on toteutettu sekä puhallus- että

levyvillalla. Kyseisessä passiiviyläpohjarakenteessa on yhtä paljon villaa kuin GreenBuildin yläpohjarakenteessa ja rakenteet ovat muutoin samat, joten näitä voidaan verrata suoraan keskenään. Rakenteiden ääneneristävyyksiä vertailemalla nähdään, että puhalletulla selluvillalla on yläpohjarakenteessa paremmin ääntä eristävä vaikutus. Yläpohjarakenteiden ääneneristävyyksien erotus on noin 10 desibeliä. Tämän voi selittää se, että tiiviiksi puhallettu selluvilla sisältää enemmän ääniaaltojen liikkumista heikentäviä kuituja kuin mineraalivilla (Panula E-J). Mineraalivillalla eristetyn yläpohjan ääneneristävyyttä voidaan parantaa samoilla menetelmillä kuin Verson yläpohjan ääneneristävyyden arvoja ehdotettiin parannettavan. Kaksinkertainen levytys sisäverhouksessa voi parantaa mineraalivillaisen yläpohjan ääneneristävyyttä jopa 5 desibeliä (Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy). Myös sisäverhouksen kiinnityksen vaihtaminen puukoolauksesta jousirankaan voi parantaa yläpohjan ääneneristävyyttä toiset 5 desibeliä (Wood Focus Oy 2004, s.23).

Vaikka massiivirunkoisilla yläpohjarakenteilla ääneneristävyys vaatimukset täyttyvätkin helposti, tarvitsevat ne yhtä paljon lämmöneristettä kuin kevytrunkoiset passiiviyläpohjarakenteet lämmöneristävyyden takia. Tästä syystä voidaan todeta, että kevytrunkoinen yläpohjarakenne, jolla saavutetaan riittävä ääneneristävyys, voi olla kustannustehokkaampi valinta kuin massiivirakenteinen yläpohja. Liitteessä 4 sivulla 7 esitetty yläpohjarakenne ISOVER PAYP 1202 on sama kuin edellä esitelty ISOVER PAYP 1102, mutta siinä kevyt runko on vaihdettu ontelolaattaan. Ääneneristävyysindeksi R_w tälle on esitetty 54 dB (Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy), joka on 24 dB parempi kuin vastaavalla kevytrunkoisella yläpohjarakenteella, lämmönjohtavuuden ollessa molemmilla sama $0,07 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Viimeisenä vertailuun otetun SPU AL eli polyuretaanieristeisen yläpohjarakenteen ilmaääneneristävyydeksi ilmoitetaan 31 dB (SPU Oy, s. 107), joka näin ollen on ääneneristävyydeltään kilpailukykyinen mineraalivillaeristeisen kevytrunkoisien yläpohjan kanssa. Polyuretaanin ääneneristävyysominaisuudet ovat kuitenkin heikommat kuin mineraalivillan, joten kyseisen yläpohjarakenteen ilmaääneneristävyyttä on helpoin parantaa lisäämällä mineraalivillaa esimerkiksi ristiinkoolauksen väleihin sekä lisäämällä toisen kipsilevyn sisäverhoukseen, jolloin ääneneristävyys paranee jopa 10 dB (SPU, s. 107). Vielä paremmat arvot ääneneristävyydelle voi saada esimerkiksi vaihtamalla ristiinkoolaus jousirankaan ja

kasvattamalla rakenteen massaa vaihtamalla peltikate tiileen. Tämän yläpohjarakenteen detalji löytyy liitteestä 4 sivulta 8.

Edellä esitettyjen yläpohjarakenteiden välistä vertailua voidaan pitää melko luotettavana, sillä yläpohjarakenteet ovat samanlaiset, lukuun ottamatta polyuretaanieristeistä yläpohjarakennetta. Ääneneristävyysarvojen perusteella kevytrunkoinen selluvillaeristeinen passiivirakenne on ääniteknisesti kilpailukykyinen massiivirakenteen kanssa. Suoraa vertailua näiden välillä on kuitenkin hankala tehdä, sillä vertailukohteeksi ei löytynyt yhtään massiivista yläpohjarakennetta, jossa olisi käytetty selluvillaa eristeinä. Myöskään ei voida sanoa, vaikuttaako selluvilla massiivirakenteen ääneneristävyysarvoja parempia ääneneristävyysarvoja kuin massiivirakenne yhdessä mineraalivillan kanssa.

Yläpohjarakenteille annettujen ilmaääneneristävyyslukujen tulkinnassa tulee olla hieman kriittinen, sillä yläpohjarakenteen ilmaääneneristävyys vaihtelee yläpohjan ilmatilan vahvuuden vaihdellessa. Tämä tekee yläpohjien vertailusta hieman hankalaa, sillä kaikista vertailuun otetuista yläpohjarakenteista ei tiedetä ilmatilan vahvuutta mittauskohdassa. Myöskään muutamassa esimerkkirakenteessa ei otettu kantaa katemateriaaleihin, vaikka kyseiset yläpohjat ovat kevytrunkoisia. Ja kuten edellä jo mainittiinkin, katemateriaalin valinnalla on vaikutusta rakenteen massaan ja täten myös ääneneristävyysarvoihin. Vesikatteen materiaalilla ei silloin ole suurta merkitystä, jos yläpohjarakenne on muuten tarpeeksi massiivinen ääneneristävyysarvojen kannalta, esimerkiksi yläpohjarakenteella ISOVER PAYP 1202 (liite 4,s.7).

5 POHDINTA

Äänitekniikan vaikutus asumisviihtyvyyteen on merkittävä, sillä koti on paikka, jossa ihminen lepää ja rentoutuu. Jos kaava ei aseta rakennukselle äänitekniisiä vaatimuksia, voi usein äänitekniinen tarkastelu jäädä pienemmälle huomiolle. Mielenkiintoisen tästä opinnäytetyöstä teki se, että rakennusten äänitekniikkaa käsiteltiin esimerkkikohteen avulla, joka oli tuttu jo entuudestaan rakennesuunnittelun osalta. Mukavaa oli myös syventää aiempaa tietämystä rakennusten ilmaääneneristävydestä sekä oppia, mitkä asiat vaikuttavat eri rakennusosien ääneneristävyyteen. Opinnäytetyön myötä rakennusten ilmatiiveyden tärkeys, erityisesti ääneneristykseen kannalta, korostui.

Materiaalia, rakennusten äänitekniikasta sekä esimerkkikohte Versosta, oli hyvin saatavilla, mikä helpotti työn tekemistä niiltä osin. Erilaisten passiivirakenteiden äänitekniinen vertailu oli puolestaan melko hankalaa, sillä luotettavaa ja vertailuun sopivaa aineistoa oli vaikea saada. Tämä johti siihen, että vertailusta tuli lähinnä ulkoseinärakenteiden osalta suuntaa antava. Vertailussa käytetyt ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden ilmaääneneristävyysarvot ovat kaikki mitattuja, joko laboratoriossa tai rakennuksesta, joten niitä voitiin pitää lähtökohtaisesti luotettavina.

Opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä, kuinka GreenBuild Oy:n selluvillaeristeisessä passiivipuutalossa ääneneristys toteutetaan sekä vertailla GreenBuildin käyttämiä ulkovaipan rakenteita muihin vastaavanlaisiin passiivirakenteisiin. Lopputuloksena saatiin havainnollistavaa materiaalia GreenBuildin passiivirakenteiden ilmaääneneristävyysarvoista. Tavoitteet vertailun osalta olisi voitu täyttää ulkoseinien osalta paremmin, jos vertailuun olisi saatu ulkoseinärakenteet samalla runkorakenteella. Yläpohjien osalta vertailu oli osittain helpompaa, saman runkorakenteen ansiosta.

LÄHTEET

Finlex. 2003. 993/1992 Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. Luettu 29.3.2014. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>

Helimäki Akustikot. 2011. Ulkoseinärakenteiden ilmastueneristävyyds. Helsinki: Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy.

Helimäki Akustikot. 2014. Ekovilla Oy – lausunto ilmastueneristävyydestä. Helsinki: Insinööritoimisto Heikki Helimäki Oy.

Kylliäinen, M. 2011. Kivitalojen ääneneristys. Helsinki: Suomen Rakennusmedi Oy.

Lylykangas, K & Nieminen, J. 2009. Passiivitalon määritelmä. Luettu 23.5.2014. <http://www.passiivi.info/data.php?sivu=maarittely>

Panula, E-J. Rakennusinsinööri. Puhelinhaastattelu 14.5.2014. Haastattelija Mäkelä, J. Tampere.

Rakennustieto Oy. 2006. RT 07-10881. Huoneakustiikka. Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2010. Rakentajain kalenteri 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy, Suunnittelu – Rakennekirjasto. Luettu 2.5.2014. <http://www.isover.fi/suunnittelu/rakennekirjasto>

SFS 5907. Rakennusten akustinen luokitus. Vahvistettu 6.9.2004. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 717-1. Acoustics. Rating of sounds insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. Vahvistettu 17.6.2013. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Skaala Ikkunat ja Ovet Oy. Ikkunat. Luettu 24.4.2014. <http://www.skaala.com/ikkunat.html>

Skaala Ikkunat ja Ovet Oy. Skaala Ovikirja. Luettu 15.4.2014. <http://www.skaala.com/esitteet.html>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Asumisterveysohje – Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemielliset ja mikrobiologiset tekijät. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

SPU Oy. Suunnittelu – Detaljikirjasto. Ladattu 31.3.2014. <http://www.spu.fi/suunnittelu/detaljikirjasto/>

Suomen Asuntomessut. Vantaa 2015. Asuntomessut Vantaalla 2015. Luettu 27.4.2014. <http://www.asuntomessut.fi/vantaa-2015>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2003. RIL 129-2003. Ääneneristuksen toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2007. RIL 243-1-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Vantaan kaupunki. Ääneneristys selvityksen laadintaohje. Luettu 22.4.14.
http://www.vantaa.fi/fi/asuminen_ja_rakentaminen/rakentaminen/rakennusvalvonta/ohjeita/suunnittelun_ja_rakentamisen_aikaisia_ohjeita/aaneneristys_selvityksen_laadintaohje

VTT Expert Services Oy. 2010. Testausseloste. Termex Zero -seinärakenteen ilmapääneneristävyyden määrittäminen.

VTT Expert Services Oy. 2014. Ympäristöseloste - Termex-Selluvilla. Ladattu 23.3.2014. <http://www.termex.fi/fi/ladattavat-aineistot>

WSP Finland Oy. 2012. Marja-Vantaan: Asuntomessut 2015 - Kaava-alueen 231000 meluselvityksen päivitys. Ladattu 1.4.2014.
http://www.vantaa.fi/fi/kaavoitus_ja_maankaytto/marja-vantaa/maankayton_suunnitelmat/marja-vantaan_asuntomessualue_231000

Wood Focus Oy. 2004. Ääneneristys puutalossa. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyyden suunnitteluohje. Wood Focus Oy.

WSP Finland Oy. 2012. Marja-Vantaa: Asuntomessut 2015. Kaava-alueen 231000 meluselvityksen päivitys. Ladattu 1.4.2014.
<http://www.asuntomessut.fi/vantaa-2015/asemakaava>

Ympäristöministeriö. 2003. Ympäristöopas 108. Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen. Helsinki: Ympäristöministeriö.

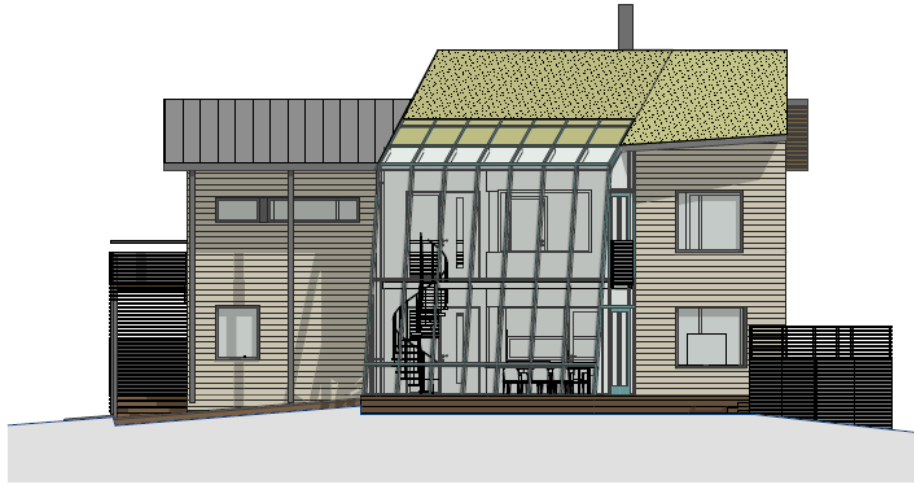
LIITTEET

Liite 1. Verson arkkitehtipiirustukset

Julkisivu kaakkoon. Kuvat eivät ole mittakaavassa. (GreenBuild Oy)

1(2)

ASUNTOMESSUT 2015 - VANTAA, KIVISTÖ
"Verso", julkisivu kaakkoon



aWaus

PVM
8.10.2013

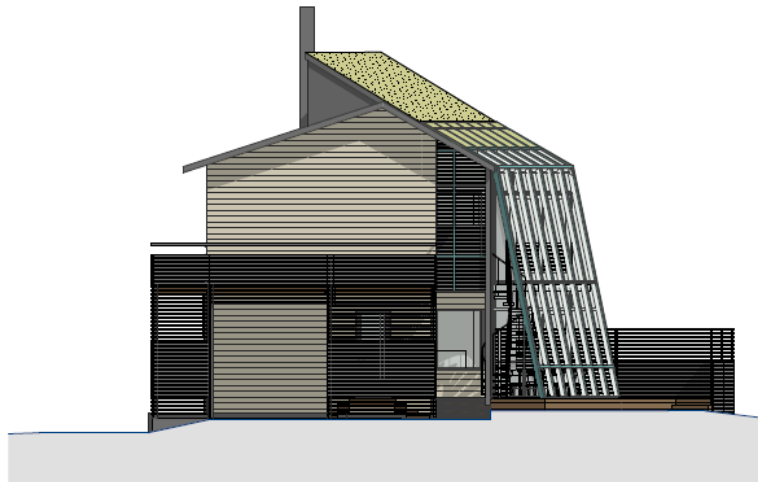
MITTAKAAVA
1:100

KOHDE
Vantaan Asuntomessut 2015 - "Verso" hankesuunnitelma

GreenBuild[®]
Environmental Homes

Julkisivu lounaaseen

ASUNTOMESSUT 2015 - VANTAA, KIVISTÖ
"Verso", julkisivu lounaaseen



aWaus

PVM
8.10.2013

MITTAKAAVA
1:100

KOHDE
Vantaan Asuntomessut 2015 - "Verso" hankesuunnitelma

GreenBuild[®]
Environmental Homes

Julkisivu luoteeseen

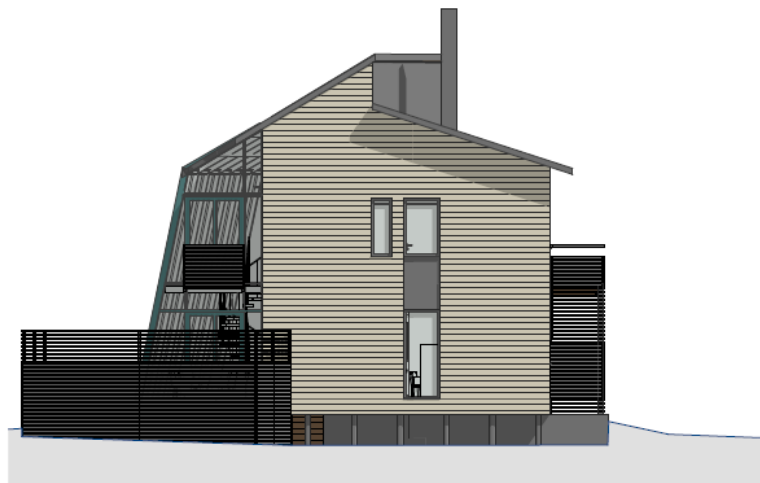
2(2)

ASUNTOMESSUT 2015 - VANTAA, KIVISTÖ
"Verso", Julkisivu luoteeseen

aWaus

PVM
8.10.2013MITTAKAAVA
1:100KOHDE
Vantaan Asuntomessut 2015 - "Verso" hankesuunnitelma
GreenBuild[®]
Environmental Homes

Julkisivu koilliseen

ASUNTOMESSUT 2015 - VANTAA, KIVISTÖ
"Verso", Julkisivu koilliseen

aWaus

PVM
8.10.2013MITTAKAAVA
1:100KOHDE
Vantaan Asuntomessut 2015 - "Verso" hankesuunnitelma
GreenBuild[®]
Environmental Homes

Liite 3. Verson rakennedetailit

Verson ulkoseinärakenne. Rakennedetaili ei ole mittakaavassa. (GreenBuild) 1(4)

GreenBuild PL 34 / MYLLYPERÄNTIE 18 43101 SAARIJÄRVI PUH. 0207 939 600 / www.greenbuild.fi	Sisältö KUIVAN TILAN PUURAKENTEINEN ULKOSEINÄ	
	Työ nro —	US1
	Päiväys 31.7.2013	

PINTAKÄSITTELY
ks. ARK-suunnitelmat

23 mm VAAKA PUUVERHOUSPANEELI

22 mm PYSTYKOOLAUS 22x100-K600

22 mm VAAKAKOOLAUS 22x100-K600

25mm TUULENSUOJALEVY RUNKOLEIJONA

350 mm I-PALKKI PYSTYRUNKO 350x70-K600 + TERMEX LÄMPÖERISTE 350mm

ILMANSULKUKANGAS
limitys 200mm + kaikki saumat teipataan

12 mm OSB LEVY 12 mm

48 mm VAAKAKOOLAUS 48x48-K600 + TERMEX LÄMPÖERISTE 50mm
(HUOM!! KOOLAUS ASENNETAAN PYSTYYN VÄLIPOHJAN ALAPUOLELLA)

13 mm KIPSILEVY GYPROC EK 13mm
kiinnitys valmistajan ohjeen mukaan

PINTAKÄSITTELY
ks. ARK-suunnitelmat

U-arvo 0.10 W/m²K

Verson yläpohjarakenne. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa. (GreenBuild) 2(4)

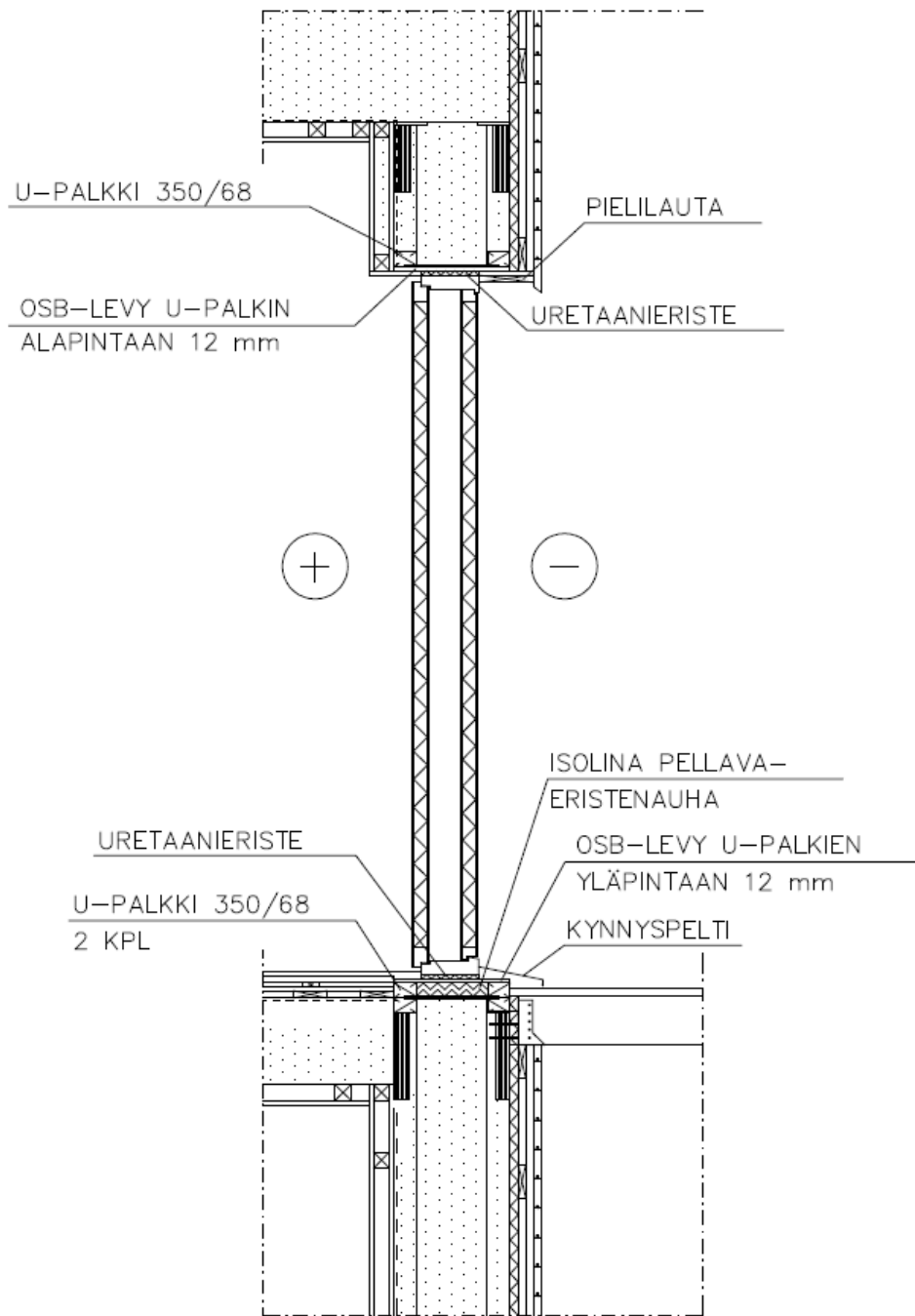
GreenBuild® PL 34 / MYLLYPERÄNTIE 18 43101 SAARIJÄRVI PUH. 0207 939 600 / www.greenbuild.fi	Sisältö PUURAKENTEINEN SUORA YLÄPOHJA	
	Työ nro –	YP1
	Päiväys 31.7.2013	

The diagram shows a cross-section of a roof structure. At the top, there are rafters with a metal roof sheet (PELTIKATE) attached. Below the rafters is a layer of insulation (KATTORISTIKOT) with a vapor barrier (HÖYRYNSULKUMUOVI) and a cooling layer (KOOLAUS). The bottom part of the diagram shows a concrete slab (ALUSKATE) with a rebar reinforcement (RIMA) and a drainage layer (HARVALAUDOITUS).

	PELTIKATE esim. Rannila Classic saumoihin kuivumaton saumamassa
25 mm	HARVALAUDOITUS 100x25, k-jako katevalmistajan ohjeen mukaan
25 mm	RIMA 25x50 k~900
	ALUSKATE
20 mm	RIMA 20x45 k~900 räystäällä umpiponttilaudoitus 20x120 UTV
600 mm	KATTORISTIKOT K900 ks. kattoristikkokaaviot
	KATTORISTIKOIDEN VÄUSSÄ: - tuuletusväli >100 mm - tuulensuojalevy, runkoleijona 25 mm - termex lämpöeriste ~550 mm
	HÖYRYNSULKUMUOVI 0,2mm limitys 200mm + kalkki saumat teipataan
48 mm	KOOLAUS 48x48-K300
13 mm	SISÄVERHOUSLEVY 13mm kiinnitys valmistajan ohjeen mukaan, ei lävistyksiä PINTAKÄSITTELY ks. ARK-suunnitelmat

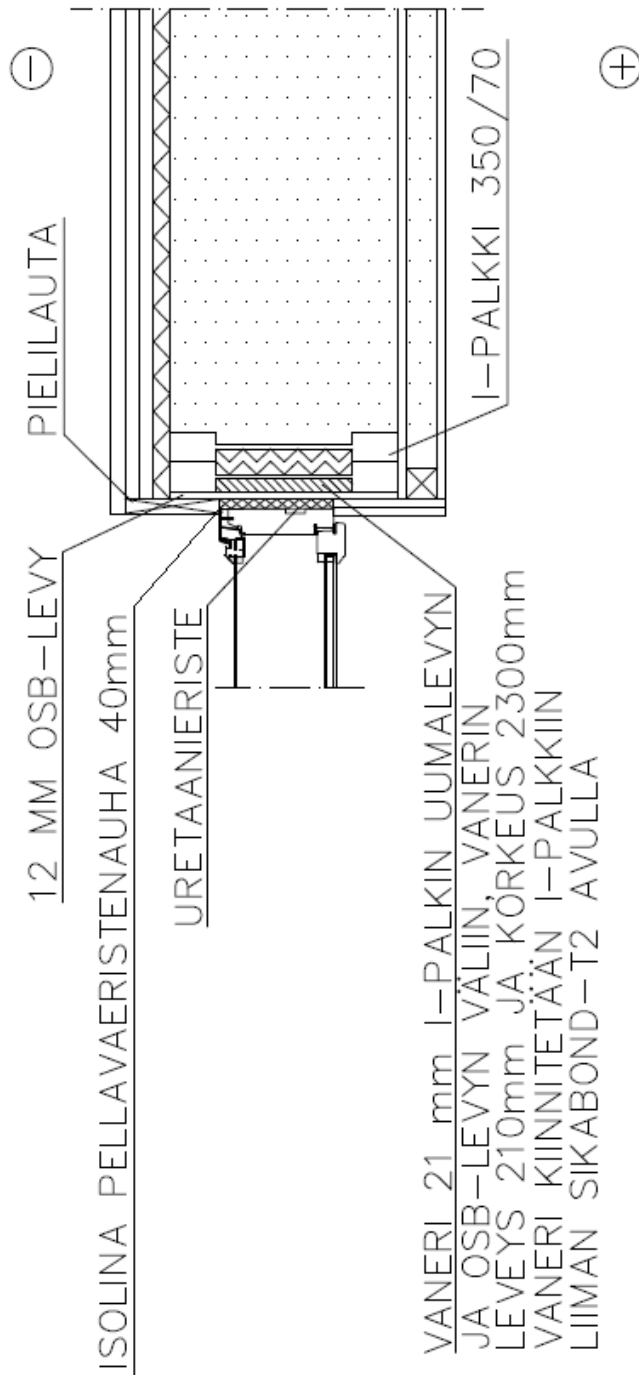
U-arvo 0.07 W/m²K

Verson ulkoseinän sekä -oven ja yläpohjan välinen vaakaliitos. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa. (GreenBuild) 3(4)



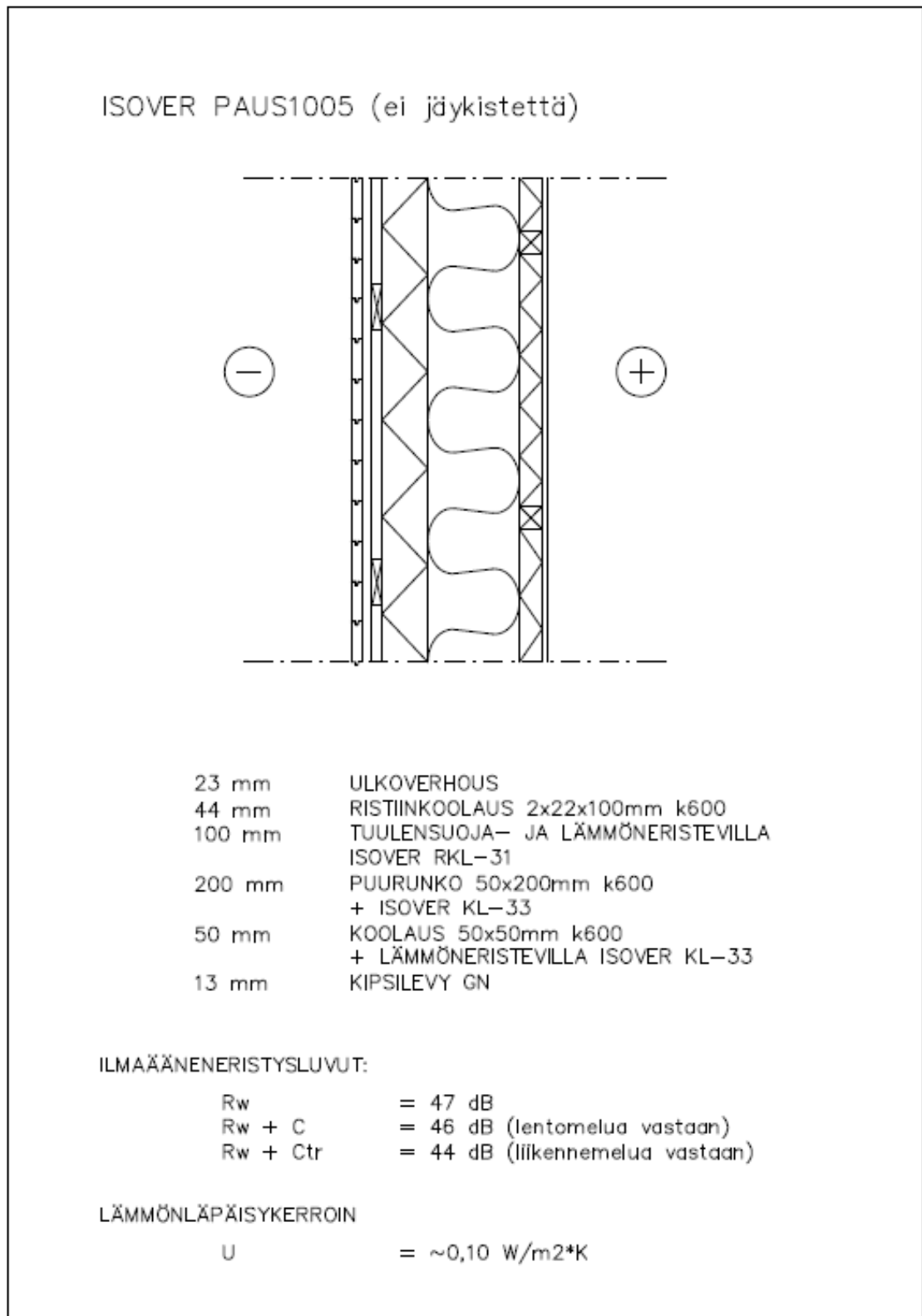
OVEN LIITOS 1:20

Verson ulkoseinän sekä -oven välinen pystyliitos. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa.
(GreenBuild) 4(4)

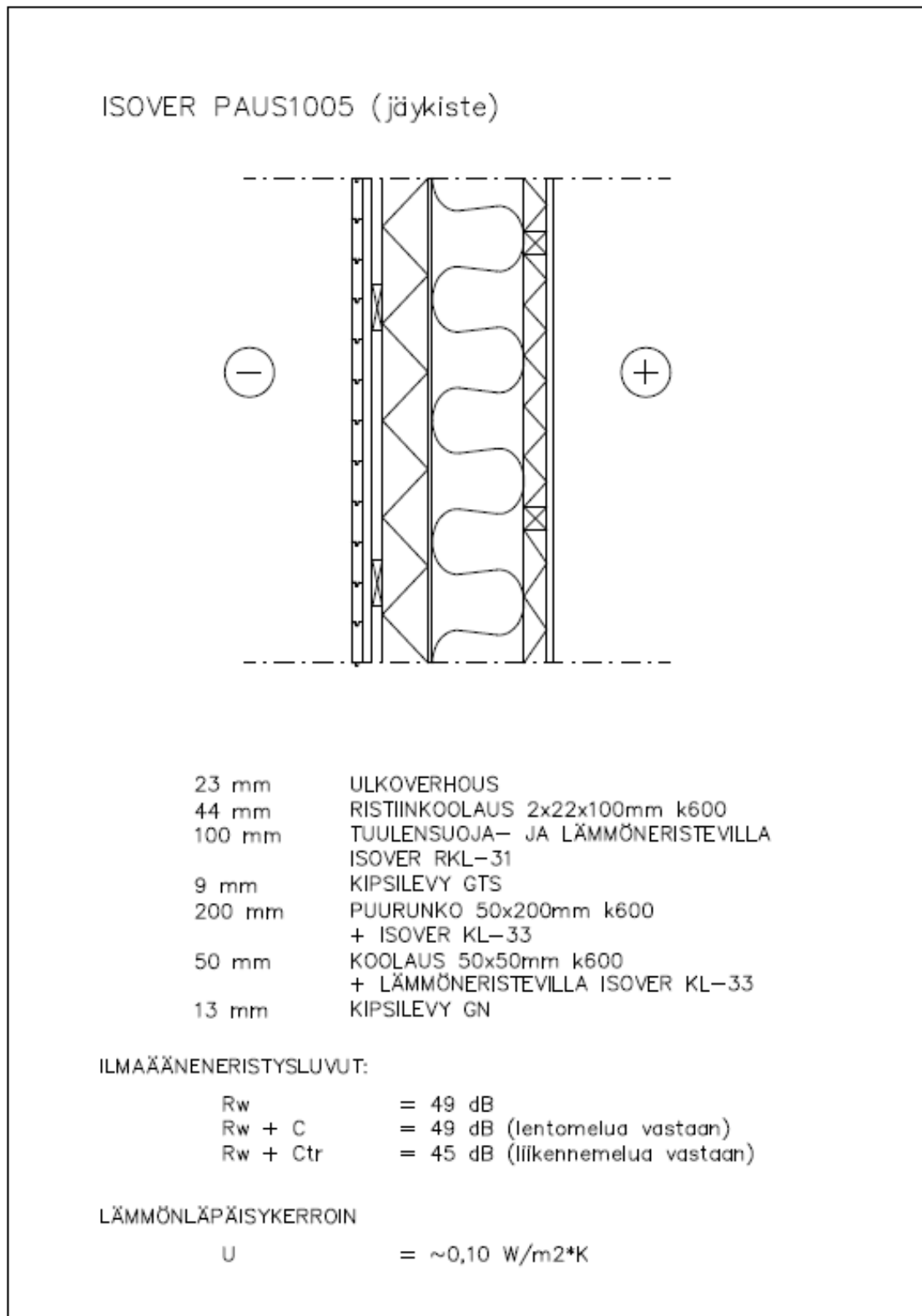


Liite 4. Vertailussa käytetyt rakennedetailjit

Ulkoseinädetalji 1. Puurunko + mineraalivillaeriste. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa. 1(8)

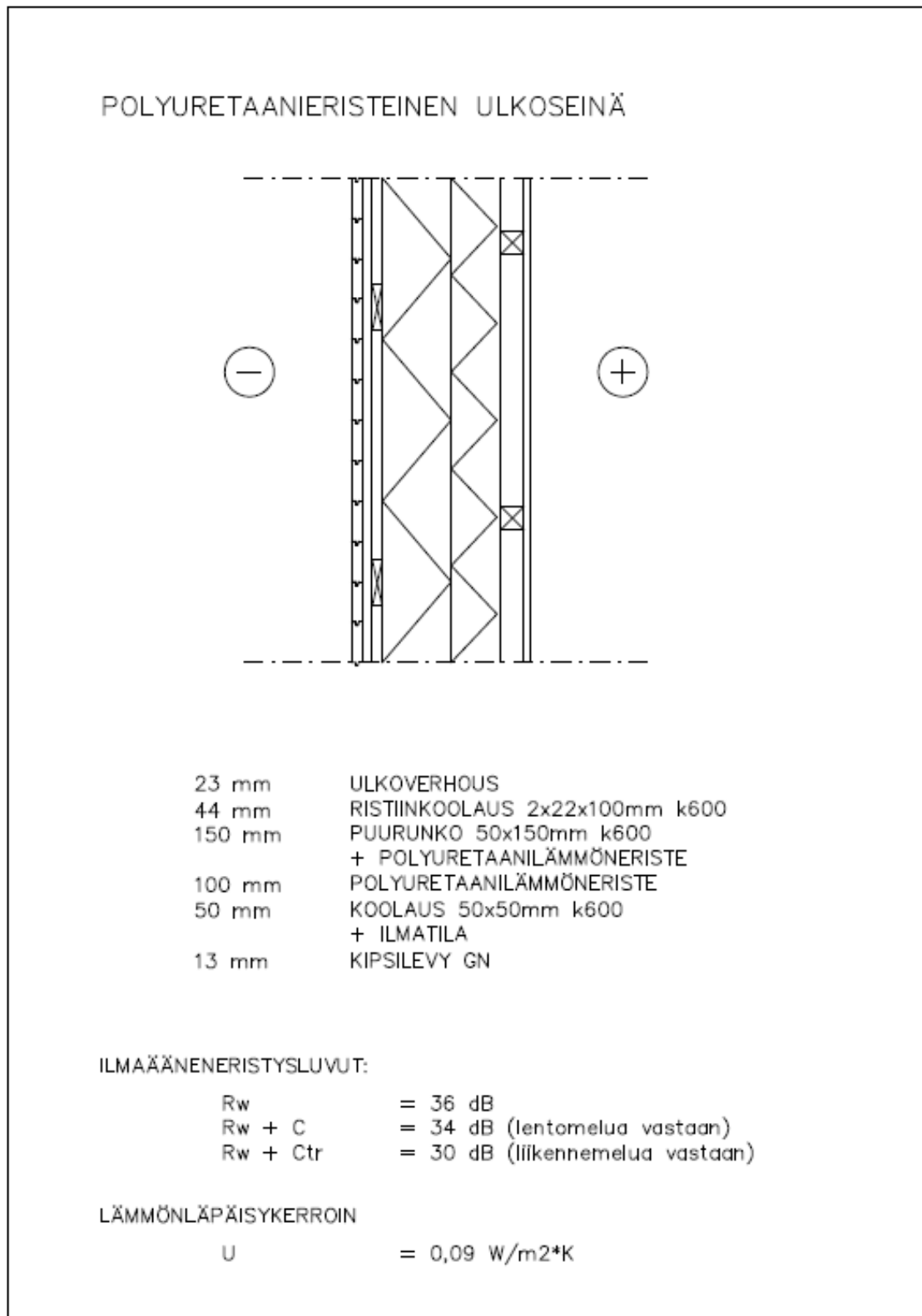


Ulkoseinädetalji 2. Puurunko + mineraalivillaeriste. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa. 2(8)



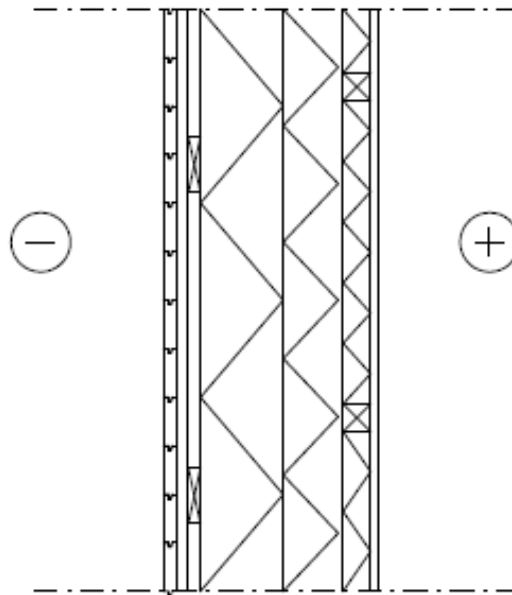
Ulkoseinädetalji 3. Puurunko + polyuretaanieriste. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa.

3(8)



Ulkoseinädetalji 4. Puurunko + polyuretaanieriste + mineraalivillaeriste. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa. 4(8)

POLYURETAANI+MIN.VILLAERISTEINEN ULKOSEINÄ



23 mm	ULKOVERHOUS
44 mm	RISTIINKOOLAUS 2x22x100mm k600
150 mm	PUURUNKO 50x150mm k600 + POLYURETAANILÄMMÖNERISTE
100 mm	POLYURETAANILÄMMÖNERISTE
50 mm	KOOLAUS 50x50mm k600 + MINERAALIVILLA
13 mm	KIPSILEVY GN

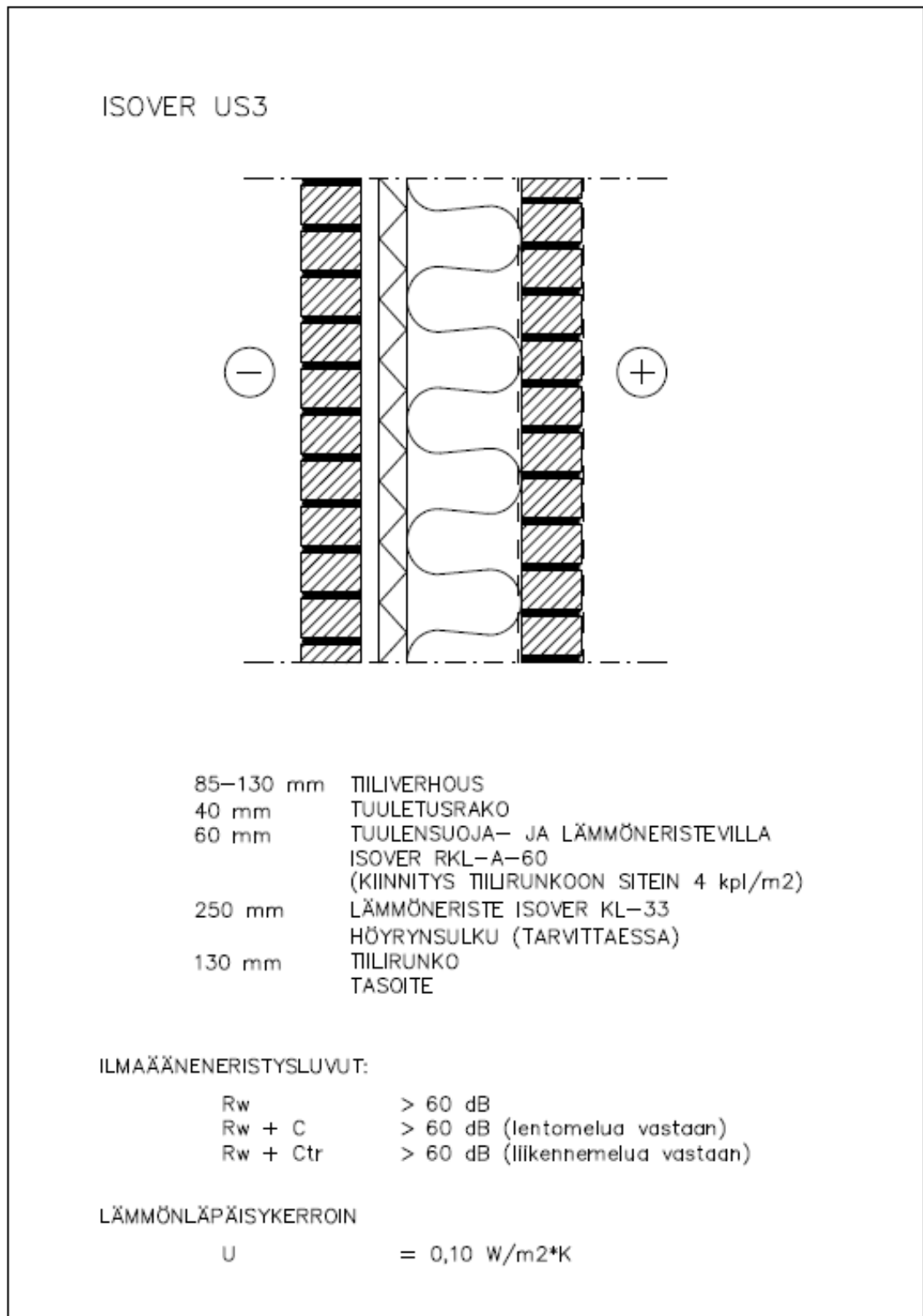
ILMAÄÄNENERISTYSLUVUT:

R _w	= 41 dB
R _w + C	= 40 dB (lentomelua vastaan)
R _w + C _{tr}	= 37 dB (liikennemelua vastaan)

LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN

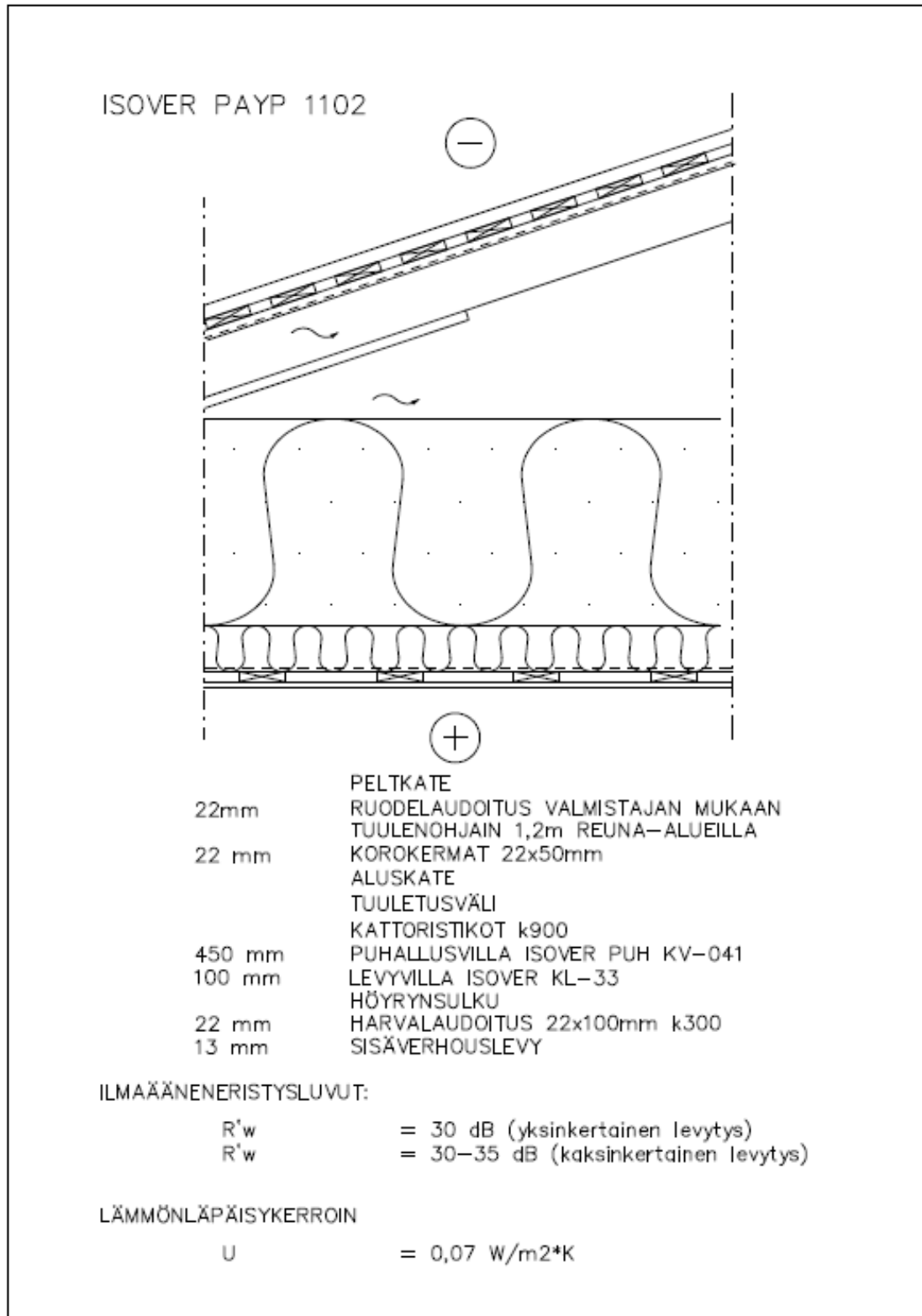
U	= ~0,09 W/m ² *K
---	-----------------------------

Ulkoseinädetalji 4. Tiilirunko + + mineraalivillaeriste. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa. 5(8)

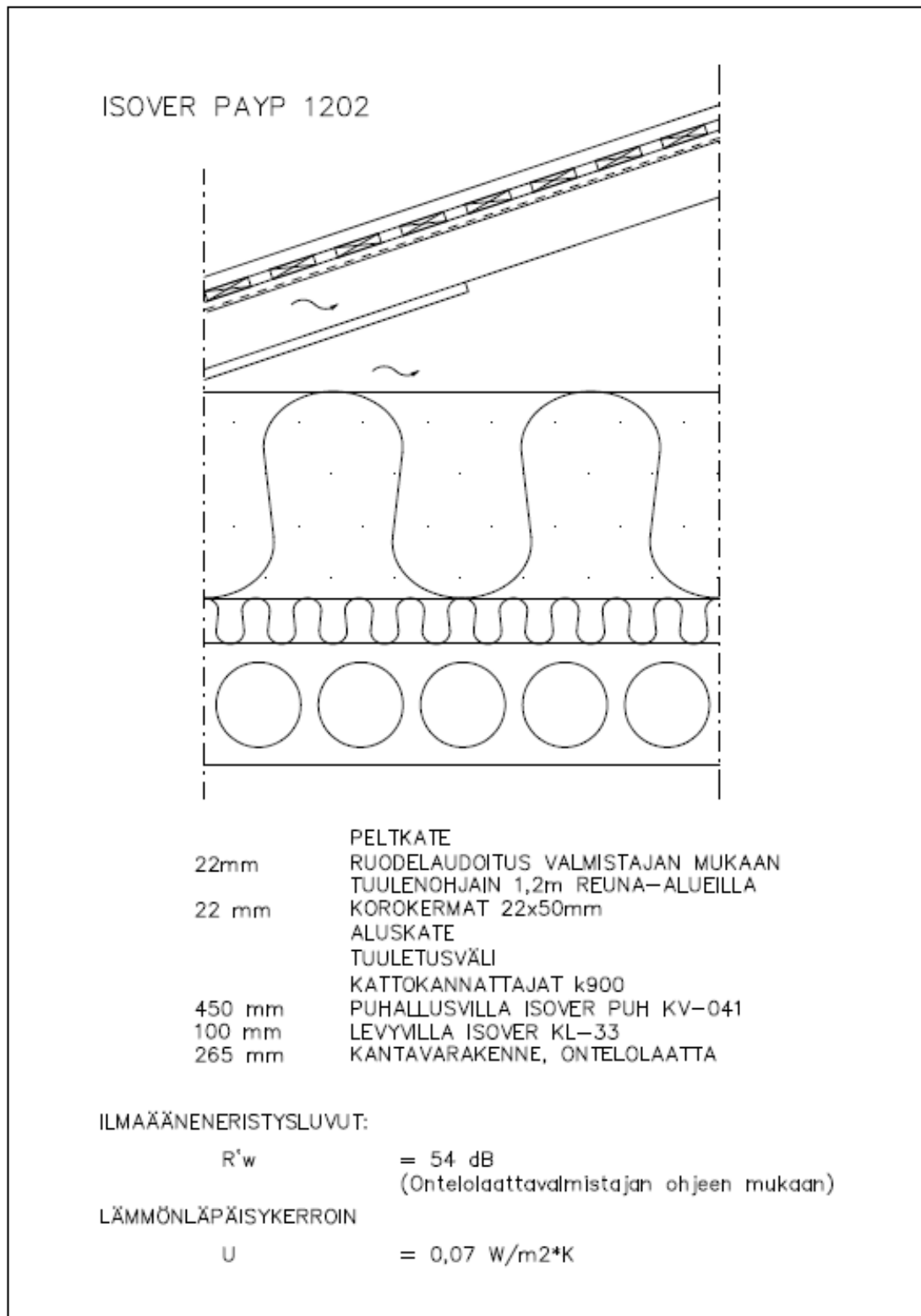


Yläpohjadetelji 1. Puurunko + mineraalivillaeriste. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa.

6(8)



Yläpohjadetalji 2. Ontelolaatta + mineraalivillaeriste. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa. 7(8)



Yläpohjadetalji 3. Puurunko + polyuretaanieriste. Rakennedetalji ei ole mittakaavassa.

8(8)

