

ERISTERAPATUN BETONIELEMENTTIULKOSEINÄN ILMAÄÄNENERISTÄVYYS

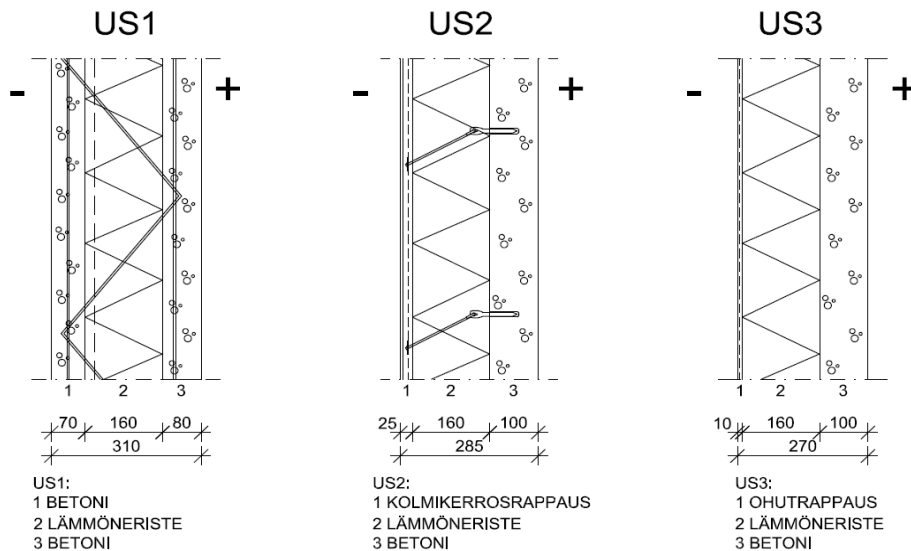
Jussi Rauhala

Helimäki Akustikot
Pinninkatu 58 A, 33100 TAMPERE
jussi.rauhala@helimaki.fi

1 JOHDANTO

Betonielementtirakenteisen asuinkerrostalon rakennejärjestelmä on Suomessa ollut pitkään vakiintunut. Yleinen ulkoseinärakenne betonielementtirunkoisessa asuinkerrostalossa on ollut betonisandwich-elementti (kuva 1, US1). BES-järjestelmän mukaisesti virheettömästi rakennetussa asuinkerrostalossa on yleensä saavutettu asuinhuoneistojen väliseksi ilmääneneristyslukuksi R'_w 56...58 dB. Viime vuosina uusissa asuinkerrostaloissa tehdyissä mittauksissa on havaittu, että Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 esitetyt vaatimukset asuinhuoneistojen väliselle ilmääneneristävyydelle eivät aina täyty, eikä BES-taloissa aiemmin mitattuja ilmääneneristyslukuja saavuteta huolimatta siitä, että välipohjan rakennepaksuus ja ilmääneneristävyyt ovat suuremmat kuin aiemmin.

Kuluneen vuosikymmenen aikana betonielementtirunkoisen asuinkerrostalon ulkoseinä-rakenteena on yleistynyt eristerapattu ulkoseinärakenne (kuva 1, US2 ja US3). Eristerappauksella tarkoitetaan ulkoseinän lämmöneristeen ja suoraan sen päälle tehdyn rappauksen yhdistelmää.



Kuva 1. Nykyiset ei-kantavat ulkoseinärakenteet. Kantavissa rakenteissa sisäkuoren paksuus on 150...160 mm.

Ei-kantavan betonisandwich-elementin massa muodostuu sisä- ja ulkokuoren betonikerroksista. Eristerapatussa seinässä rappauskerroksen ja eristekerroksen massa on mitätön verrattuna sisäkuoren massaan, joten eristerapatun seinän massa on suunnilleen puolet betonisandwich-elementin massasta. Näin ollen myös sen ilmääneneristävyyt on erilainen kuin betonisandwich-elementin. Yksi asuinhuoneistojen väliseen ilmääneneristävyyteen mahdollisesti vaikuttava tekijä voi siten olla ulkoseinärakenteen vaihtuminen betonisandwich-elementistä eristerapatuksi rakenteeksi.

Liikennemelualueille rakennettaessa rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyydelle asetetaan asemakaavassa vaatimus, jonka perusteella rakennuksen ulkovaipan rakennusosat valitaan ja niiden ääneneristävyydet mitoitetaan. Suomessa käytettävien eristerapattujen ulkoseinärakenteiden ilmääneneristävyyksistä ei ole tietoa rakennusalan kirjallisuudessa.

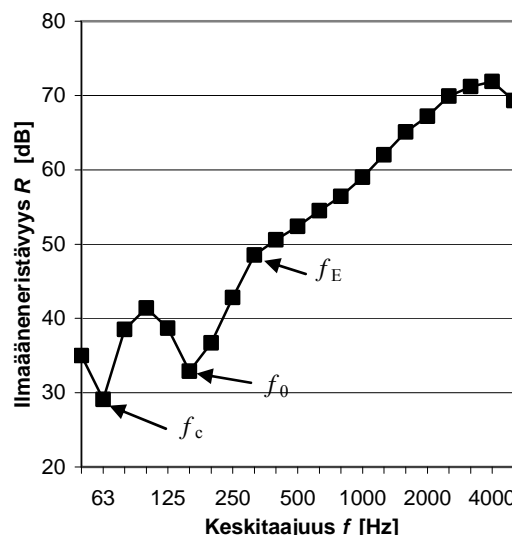
Tampereen teknilliselle yliopistolle tekemäni diplomityön [1] tarkoituksena oli selvittää eristerapattun ulkoseinärakenteen akustista toimintaa. Tutkimuksen tavoitteina oli

- selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat eristerapattun ulkoseinärakenteen ilmääneneristävyyteen ja arvioida ilmääneneristävyyksiä laskennallisesti
- määrittää rakennuksen ulkovaipan ääneneristysmitoituksen lähtötiedoksi eristerapattujen ulkoseinärakenteiden ilmääneneristyslukuja liikennemelua vastaan ja
- arvioida ulkoseinärakenteen kautta tapahtuvaa sivutiesiirtymää ja laatia rakennesuunnittelua varten käytännöllinen ohje eristerapattun ulkoseinärakenteen valinnasta sivutiesiirtymästä johtuvien huoneistojen välisten ääneneristysongelmien välttämiseksi.

2 ERISTERAPATTUN SEINÄN ÄÄNENERISTÄVYYS

2.1 Eristerapattun ulkoseinän akustinen toiminta

Eristerapattu betonielementtiulkoseinä on massa-jousi-massasysteemi, jossa betonisisäkuoren ja rappauserroksen massat ovat kytkeytyneet toisiinsa lämmöneristeen muodostaman jousen välityksellä. Rakenteen ilmääneneristävyyden perustana on massalaki, jonka mukaan rakenteen ilmääneneristävyys kasvaa 6 dB, kun taajuus tai massa kaksinkertaistuu. Ääneneristävyyteen vaikuttaa lisäksi erityisesti kolme rajataajuutta (kuva 2), betonisisäkuoren koinsidenssin rajataajuus f_c ja rakenteen dilataatioresonanssi f_0 sekä eristekerroksen syntyvien seisovien aaltojen rajataajuus f_E . [2]



Kuva 2. Tyypillinen eristerapattun seinän ilmääneneristävyykäyrä, jossa on nähtävillä rajataajuudet: sisäkuoren koinsidenssi f_c , dilataatioresonanssi f_0 ja eristekerroksen seisovien aaltojen rajataajuus f_E .

Dilataatioresonanssi riippuu rakenteen puoliskojen massasta sekä eristekerroksen dynaamisesta jäykkyydestä s' [MN/m^3]. Mitä pienempi eristeen dynaaminen jäykkyys on, sitä alhaisempi rakenteen dilataatioresonanssitaajuus on [3]. Eristeen dynaamisesta jäykkyydestä riippuen eristerapattulla ulkoseinärakenteella saavutetaan pelkkään sisäkuoreen verrattuna joko parempi

tai heikompi ääneneristävyys [2]. Dilataatioresonanssin jälkeen rakenteen ilmaääneneristävyys paranee, mutta parannus pienenee rajataajuuden f_E jälkeen [2]. Kyseinen rajataajuus on riippuvainen eristeen dynaamisesta jäykkyydestä, tiheydestä sekä paksuudesta. Dynaamisen jäykkyyden pienentyminen tai paksuuden ja tiheyden kasvaminen pienentävät rajataajuutta.

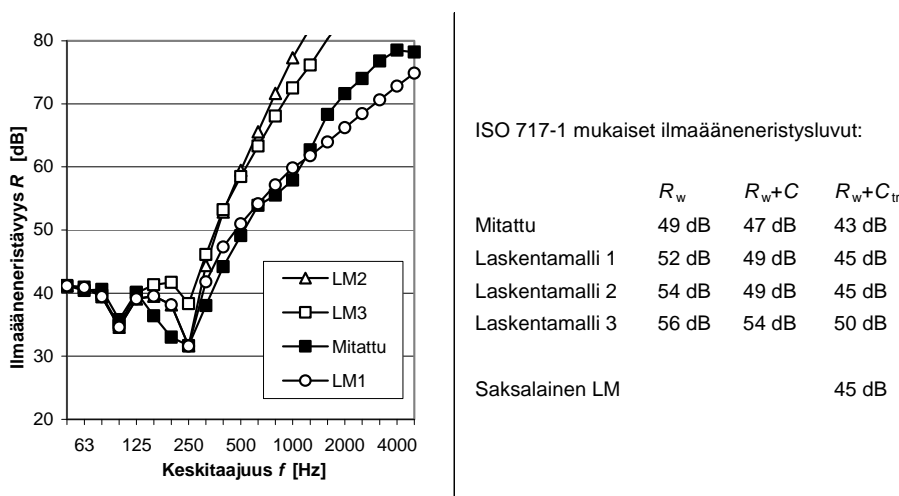
2.2 Laskentamallit

Eristerapatun seinän ilmaääneneristävyuden määrittämiseksi on tutkittu neljä laskentamallia. Kolmella malleista määritetään ilmaääneneristävyudet taajuuksittain ja yhdellä mallilla määritetään ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan.

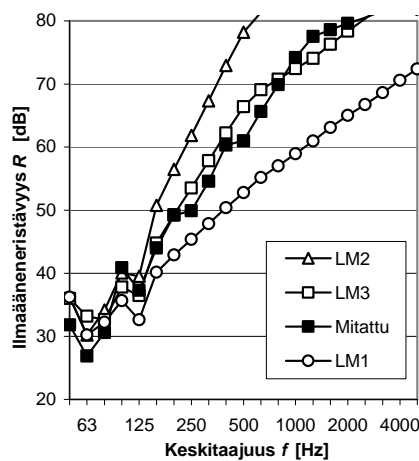
- Laskentamallissa 1 eristerapatun seinän ilmaääneneristävyys lasketaan summaamalla energieettisesti kuorien ja eristeen lasketut ilmaääneneristävyudet, josta vähennetään dilataatioresonanssin aiheuttama heikennys. Massalaki toisin sanoen asettaa rakenteen ilmaääneneristävyudelle ylärajan.[3]
- Laskentamallissa 2 eristerapatun seinän ilmaääneneristävyys paranee laskentamallia 1 enemmän dilataatioresonanssin jälkeen järjestelmän jousivaikutuksesta ja eristävyuden kasvu hidastuu rajataajuuden f_E jälkeen.[2]
- Laskentamallissa 3 ajatellaan eristerapatun seinän lämmöneristekerroksen toimivan tärinäneristimenä, jolloin lämmöneristekerroksella on jousiominaisuuden lisäksi vaimennusominaisuus. Eristävyuden kasvu hidastuu rajataajuuden f_E jälkeen.[3]
- Saksalaisella yksinkertaisella laskentamallilla määritetään eristerapatun seinän yksilukuinen ilmaääneneristysluku R_w+C_{tr} . Malli on empiirinen, se perustuu laajoihin laboratoriomittauksiin. Mallissa otetaan huomioon sisäkuoren ilmaääneneristyskyky, lämmöneristeen tyyppi, massa-jousi-massasysteemin dilataatioresonanssi, sisäkuoren ja eristekerroksen välinen liimausala ja mekaanisten kiinnikkeiden käyttö.[2]

2.3 Laskentamallien validiteetti

Laskentamallien kelpoisuutta tutkittiin vertailemalla niiden antamia ilmaääneneristävyksiä vastaavien rakenteiden laboratoriomittauksilla saatuihin arvoihin. Esimerkkirakenteissa pyrittiin varioimaan mahdollisimman laajasti eristerapatujen seinien rakennekerroksia ja niiden ominaisuuksia. Tutkituista lähteistä löytyi vain yksi mittaustulos, jossa rakenteen sisäkuorena oli betonirakenne, muissa esimerkkirakenteissa sisäkuorena on kalkkihiiekkakivinen tiilirakenne. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty vertailuja laskentamallien ja mittaustulosten välillä.



Kuva 3. Esimerkkirakenne 1, mitattu sekä laskentamallilla 1, laskentamallilla 2 ja laskentamallilla 3 määritetyt ilmaääneneristävyudet, sekä niistä määritetyt ilmaääneneristysluvut.



ISO 717-1 mukaiset ilmastöeneristysluvat:

	R_w	R_w+C	R_w+C_{tr}
Mitattu	62 dB	59 dB	54 dB
Laskentamalli 1	55 dB	54 dB	49 dB
Laskentamalli 2	69 dB	64 dB	59 dB
Laskentamalli 3	63 dB	60 dB	55 dB
Saksalainen LM			52 dB

Kuva 4. Esimerkkirakenne 5, mitattu sekä laskentamallilla 1, laskentamallilla 2 ja laskentamallilla 3 määritetyt ilmastöeneristävyydet, sekä niistä määritetyt ilmastöeneristysluvat.

Toistaiseksi ei tarkalleen tiedetä mitä tapahtuu dilataatioresonanssin yläpuolisilla taajuuksilla. Materiaalioinaisuuksia tai rakenneominaisuuksia, jotka aiheuttavat ilma-ääneneristävyyden vaihtelevan käyttäytymisen dilataatioresonanssin jälkeen ei tunneta. Laskentamalleissa 1, 2 ja 3 ei oteta huomioon mekaanisia kiinnikkeitä eikä liimausala, jotka ovat yksinkertaisessa mallissa mukana. Näiden taajuussidonnainen vaikutus rakenteen ilma-ääneneristävyyteen on lähes mahdollista arvioida [2]. Laskentamalli 3 olisi luultavasti malleista kehityskelpoisin. Koska liikennemelun äänenpainetasot ovat suurimmillaan taajuusalueella, jolla eristerapattujen seinien ilma-ääneneristävyydet ovat heikoimmillaan, on eristerapattujen seinien ilma-ääneneristävyydet turvallisinta määrittää laskentamallia, joka määrittää tämän taajuusalueen tarkimmin. Testatuista menetelmistä on laskentamalli 1 tässä suhteessa luotettavin. Siksi eristerapattujen ulkoseinien ilmastöeneristysluvat määritetään rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä varten luvussa 3 laskentamallilla 1.

3 ULKOVAIPAN MITOITUS LIIKENNEMELUALUEILLA

Laskentamallilla 1 on laskettu eristerapattujen sisäkuorielementtiulkoseinärakenteiden ääneneristävyyksiä sekä niistä on määritetty rakennekohtaisesti ilmastöeneristysluvat R_w , R_w+C ja R_w+C_{tr} . Laskelmat on tehty neljällä eri sisäkuoren paksuudella, kahdella eri eristemateriaalilla, kolmella eri eristepaksuudella, sekä kahdella eri rappauspaksuudella, yhteensä eri ulkoseinärakenteita on laskettu 48 kappaletta. Laskelmissa on käytetty Suomessa yleisiä sisäkuorielementtien betonisisäkuoren rakennepaksuuksia 80 mm, 100 mm, 120 mm ja 150 mm. Eristevaihtoehtoina olivat paisutettu polystyreeni EPS sekä Paroc Oy:n mineraalivillat FAL1 ohutrappauksissa ja FAS4 kolmikerroseristerappauksen yhteydessä. Laskelmien eristepaksuuksina on käytetty: 160 mm, 250 mm ja 450 mm. Rappauspaksuuksina laskelmissa on käytetty ohutrappaukselle 10 mm ja kolmikerroseristerappaukselle 25 mm.

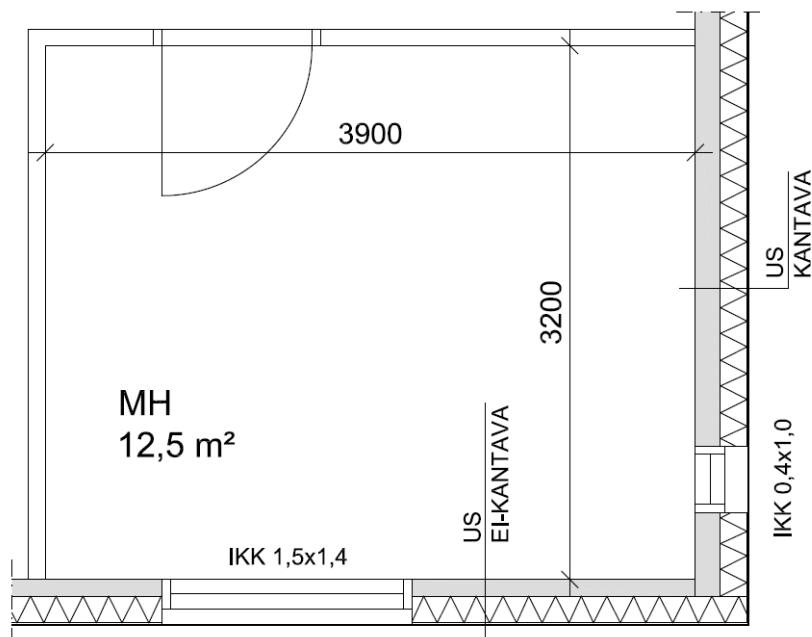
Ulkoseinät, ikkunat ja parvekeovet yhdessä muiden rakennusosien kanssa muodostavat rakennuksen ulkovaipan, jonka ääneneristystä koskevat vaatimukset annetaan asemakaavassa kaavamääräyksinä. Asemakaavassa esitettävä äänitasoerovaatimus $\Delta L_{A,vaad}$ määritetään liikenteen rakennuksen julkisivun pinnalle aiheuttaman A-painotetun keskiäänitason ja sisällä valtioneuvoston päätöksen mukaan sallittavan A-painotetun keskiäänitason erotuksena. Äänitasoerovaatimukseksi valitaan päiväajalle ja yöajalle lasketuista erotuksista suurempi.

Lähteessä [4] esitetyn laskentamenetelmän mukaan rakennuksen ulkovaipan yhden rakennusosan kautta saavutettava äänitasoero $\Delta L_{A,i}$ saadaan lasketuksi rakennusosan pinta-alan S_i [m²], huoneen lattiapinta-alan S_H [m²] ja riippuen melulähteestä, jolle kaavamääräyksen äänitasoero on määritelty, standardin ISO 717-1 mukaisen rakennusosan ilmaääneneristysluvun joko $R_w + C_{tr}$ tai $R_w + C$ perusteella. Äänitasoero lasketaan jokaisen tarkasteltavan huoneen julkisivun rakennusosan kautta erikseen, minkä jälkeen lasketaan rakennusosilla yhteensä saavutettava äänitasoero $\Delta L_{A,tot}$. Kokonaisäänitasoeron tulee olla vähintään yhtä suuri kuin kaavamääräyksen edellyttämä äänitasoero $\Delta L_{A,vaad}$. Kuvassa 5 on esitetty laskelmissa käytetyn kerrostalon kulmahuoneen pohjakuva.

Tarkasteltujen eristerapattujen ulkoseinärakenteiden käyttämistä tieliikennemelualueilla rakennuksen ulkoseinärakenteena selvitettiin äänitasoeromenetelmällä esimerkkihuoneella, jonka mittasuhteet ja ikkunapinta-ala valittiin äänitasoeromenetelmän perusolettamusten mukaisiksi. Ulkovaipan kokonaisäänitasoerot laskettiin ikkunoiden ääneneristysarvoilla $R_w + C_{tr}$ 37 dB, 39 dB, 41 dB, 43 dB ja 45 dB (liite 2). Laskettuja kokonaisäänitasoeroja verrattiin asema-kaavan äänitasoerovaatimukseen $\Delta L_{A,vaad}$ 30 dB, 32 dB, 35 dB, 38 dB ja 40 dB. Suositeltavien rakenteiden perusteena on vähintään 120 mm paksu sisäkuori, joissain tapauksissa vaaditaan vähintään 150 mm paksu sisäkuori.

Ohutrapattuja betonisäkuorellisia ulkoseinärakenteita voidaan käyttää lämmöneristepaksuudesta ja -materiaalista riippumatta tavanomaisen 35 dB äänitasoerovaatimuksen yhteydessä. 38 dB äänitasoerovaatimus saavutetaan, kun ulkoseinän betonisäkuoren paksuus on 150 mm ja lämmöneristeenä 160 mm paksu mineraalivilla FAL1. Tarkastelluilla ohutrapatuilla ulkoseinärakenteilla ei saavuteta 40 dB äänitasoerovaatimusta.

Kolmikerroseristerapattuja betonisäkuorellisia ulkoseinärakenteita voidaan käyttää lämmöneristepaksuudesta ja -materiaalista riippumatta tavanomaisen 35 dB äänitasoerovaatimuksen yhteydessä. 38 dB äänitasoerovaatimus saavutetaan, lämmöneristepaksuudesta riippumatta, kun lämmöneristeenä on mineraalivilla FAS4, ja kun lämmöneristeenä on 450 mm paksu EPS. 40 dB äänitasoerovaatimus saavutetaan lämmöneristepaksuudesta riippumatta, kun lämmöneristeenä on mineraalivilla FAS4.



Kuva 5. Pohjakuva ulkovaipan ääneneristyslaskelmien esimerkkihuoneesta.

4 ERISTERAPPAUKSEN VAIKUTUS SIVUTIESIIRTYMÄÄN

Saksassa on tutkittu laboratorio-olosuhteissa eristerappauksen vaikutusta massiivisen kiviseinän toimintaan rakenteellisena sivutiesiirtymäreittinä [5]. Näiden tutkimusten päätulokset olivat:

- Sivutiesiirtymiä eristerappauksen kautta ei yleensä tarvitse ottaa huomioon.
- Eristerappauksella ei ole merkittävää vaikutusta liitoseristävytyteen.
- Eristerappauksen vaikutus sivutiesiirtymään johtuu pääasiassa siitä, että eristerapatun ulkoseinärakenteen rakenteellinen jälkikaiunta-aika on lyhyempi kuin pelkän sisäkuorirakenteen (etenkin lähellä dilataatioresonanssia).
- Seinä eristää ääntä eri tavalla tasoaan vastaan kohtisuorassa suunnassa ja tasonsa suunnassa. Eristerappaus ei vaikuta huoneistojen väliseen ääneneristykseen.

Huoneistojen väliset ääneneristyslaskelmat tehtiin Bastianilla, jolla voidaan laskea tilojen välisiä ääneneristävyksiä standardin EN 12354 osien 1...3 mukaisesti. Ohjelma laskee standardin tarkan mallin mukaisesti, jolloin laskenta suoritetaan taajuusriippuvaisesti. Laskelmien rakenne- ja huonekokovariaatiot valittiin siten, että ne parhaiten edustaisivat tutkittavaa ulkoseinän kautta tapahtuvan sivutiesiirtymän ongelmaa ja ovat elementtitekniikalla toteutettavissa. Huoneistojen välisten ilmaääneneristyslaskelmien eristerapattuna ulkoseinärakenteena käytettiin pelkkää betonirakenteista sisäkuorta, koska tutkimuskirjallisuuden mukaan eristerappaus ei juurikaan vaikuta ulkoseinärakenteen kautta huoneistojen välillä tapahtuvaan sivutiesiirtymään.

Bastianilla tehtyjen laskelmien perusteella vierekkäiset symmetriset huoneet tulevat mitoittavaksi tapaukseksi. Ulkoseinän kautta tapahtuva sivutiesiirtymä eristerapatuilla ulkoseinillä vastaa betoni-sandwichelementtirakenteista ei-kantavaa ulkoseinää, kun eristerapatun ulkoseinän sisäkuoren paksuus on vähintään 150 mm. Ei-kantavan betonisandwich-elementti ulkoseinän ja 180 mm paksun huoneistoja erottavan betoniseinän kanssa saavutettava huoneistojen välinen ilmaääneneristävyys on vastaava kuin rakenneyhdistelmillä:

- Eristerapattu ulkoseinä, jonka sisäkuoren paksuus on 150 mm, ja 180 mm paksu huoneistoja erottava betoniseinä.
- Eristerapattu ulkoseinä, jonka sisäkuoren paksuus on 120 mm, ja 200 mm paksu huoneistoja erottava betoniseinä.

VIITTEET

1. RAUHALA J, Eristerapatun betonielementtiulkoseinän ilmaääneneristävyys. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta. Tampere 2009.
2. WEBER L & BRANDSTETTER D, Einheitliche schalltechnische Bemessung von Wärmedämm-Verbundsystemen. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, IBP-Bericht B-BA 6/2002. Stuttgart, 2003.
3. HONGISTO V, Monikerroksisen seinärakenteen ilmaääneneristävyuden ennustemalli. Työterveyslaitos, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 2, Turku 2003.
4. KYLLIÄINEN M, Rakennuksen ulkovaipan ääneneristyksen suunnittelu. Rakennustieto Oy, Rakentajain kalenteri 2009, s. 382-393.
5. WEBER L & ZHANG Y & BRANDSTETTER D. Untersuchung der Schall-Längsdämmung von Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystemen. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, IBP-Bericht B-BA 4/2002. Stuttgart, 2003.