



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

Muurattujen tiilirakenteiden suunnittelu

Vesa Räsänen
Kehityspäällikkö, maxit Oy Ab
vesa.rasanen@maxit.fi

Ohjeet, standardit ja suunnitteluperusteet

Tiilirakenteet suunnitellaan Suomessa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B8 Tiilirakenteet, Ohjeet mukaisesti. Rakentamismääräyskokoelman osan B8 uudet ohjeet astuvat voimaan tämän hetkisen tiedon mukaan vuoden 2007 alussa. Myös eurooppalasiin Eurocode-standardeihin perustuvan rakennesuunnittelun käyttö tulee teoriassa mahdolliseksi vuoden 2007 aikana, kun standardin EN1996-1-1 kansallinen liite valmistuu. Käytännössä tiilirakenteiden mitoittaminen monimutkaisesti esitettyjen Eurocode-standardien mukaisesti tullee yleistymään vasta, kun niiden käyttöä helpottavat mitoitusohjeet ja laskentaohjelmat on saatu valmiiksi ja suunnittelijat sekä rakennustarkastus ovat niiden käyttöön riittävän laajalti perehtyneet. Tämän tulee tapahtua noin vuoteen 2010 mennessä, jonka jälkeen Eurocode-mitoitus tulee olemaan ainoa sallittu kantavien tiilirakenteiden mitoitusmenetelmä.

Eurocode-mitoitus on syntynyt yhdistelemällä eri maissa käytettyjä tiilirakenteiden mitoitusmenetelmiä siten että on saatu aikaan eri osapuolia mahdollisimman hyvin tyydyttävä ratkaisu. Eurocode-mitoituksen ja RakMK B8:n mukaisen kansallisen kantavien tiilirakenteiden mitoituksen välillä on eroja mm. varmuuskerroksissa, laskentakaavoissa ja laskentaperiaatteissa. Menetelmät myös johtavat usein eri lopputulokseen. Tämä artikkeli käsittelee vuonna 2007 voimaan astuvan rakentamismääräyskokoelman osan B8 mukaista mitoitusta siinä muodossa kun se on esitetty 7.7.2006 päivätyssä luonnoksessa. Eurocode-mitoitusta tullaan vuonna 2007 esittelemään mm. RIL:n ja Rakennusteollisuus RT ry:n julkaisemissa ohjeissa sekä niiden järjestämissä kurssi- ja koulutustilaisuuksissa.

Muuraustarvikkeet ja niiden ominaisuudet

Tiilet

Tiilistä muurattujen rakenteiden yleisimpiä käyttökohteita ovat julkisivut, väliseinät, rungot sekä tulisija- ja hormirakenteet. Kaikille tiilirakenteille yhteisiä hyviä ominaisuuksia ovat massiivisuudesta johtuva hyvä ääneneristävyyys ja lämmönvarauskyky. Tiilirakenteille tyypillisen rakoseinä rakenteen ansiosta ulko- ja väliseinissä käytettävän eristekerroksen paksuus voidaan valita kulloisenkin tarpeen mukaan.

Poltettuja tiiliä käytetään pääasiassa julkisivujen verhoiluun sekä tulisija- ja hormirakenteisiin. Tiilien puristuslujuus vaihtelee välillä 15–50 MN/m². Reikätiilten tiheys on 1200–1500 kg/m³, täystiilten 1700–1900 kg/m³. Poltettujen tiilten vedenimunopeus on 1–5 kg/m²/min ja vedenimukyky 7–20 %. Poltettujen tiilten sallitut mittapoikkeamat riippuvat tiilten dimensioista, ollen välillä 3–10 mm [2]. Poltetuista tiilistä muuraton seinän kosteusmuodonmuutos on 0,1–0,5 mm/m ja lämpölaajenemiskerroin $6 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Kalkkihiekkatiiliä käytetään rakennusrungoissa, väliseinissä ja julkisivujen verhoiluun. Kalkkihiekkatiilten puristuslujuus vaihtelee välillä 15–30 MN/m². Niiden tiheys on 1700–1900 kg/m³. Sekä kalkkihiekkatiilistä että poltetuista tiilistä puhtaaksimuurattujen seinien todellinen paino on tyypillisesti noin 10 % tiilten tiheyden perusteella lasketta seinän painoa suurempi muurauslaastin suuren osuuden vuoksi. Kalkkihiekkatiilten vedenimunopeus on 1–2 kg/m²/min ja vedenimukyky 11–16 %. Kalkkihiekkatiilistä muuraton seinän kosteusmuodonmuutos on 0,20 mm/m ja lämpölaajenemiskerroin $8 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Kalkkihiekkaharkot ovat tiiliä kookkaampia ohutsaumamuurattavia kappaleita, joilla on sama puristuslujuus ja vedenmuominaisuudet kuin vastaavilla kalkkihiekkatiilillä. Niiden tiheys on 1500–1800 kg/m³. Valmiin harkkoseinän paino määräytyy käytettävien harkkojen painon perusteella, sillä laastikerroksen paksuus on pieni. Kalkkihiekkaharkkoseinän kosteusmuo-

donmuutos on 0,15 mm/m ja lämpölaajenemiskerroin $8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Kalkkihiekkaharkkojen ja tiilen sallitut mittapoikkeamat ovat 1–2 mm.

Vuonna 2007 käyttöön otettavassa SFS-käsikirjassa [2] kalkkihiekkakappaleiden puristuslujuuden määritysmenetelmä on muuttunut eurooppalaisen testistandardin mukaiseksi. Uuden menetelmän johdosta koostumukseltaan saman kalkkihiekkatiilen lujuus on jatkossa 5 MPa suurempi kuin aikaisemmalla, edelleen poltettujen tiilien testaukseen käytettävällä kansallisella menetelmällä saatava lujuus. Tämän muutoksen vaikutukset on huomioitu RakMk B8 luonnoksessa 7.7 2006 esitettyjen taulukkojen arvoissa. Jos suunnittelun apuna käytetään jatkossa edelleen RakMk B8 1989 [3] arvoihin perustuvaa taulukkomitoitusta, kuten teoksen RIL 85-1989 [4] lopussa esitettyjä mitoitustaulukkoja ja -käyriä, tulee kalkkihiekkatiilien valmistajan ilmoittamista tiilien ja harkkojen lujuusarvoista vähentää 5 MPa.

Muurauslaastit

Muurauslaasteina käytetään yleisimmin valmis-kuivalaasteja, jotka sisältävät sementin ja luonnonhiekan lisäksi säänkestävyyttä ja työestettyvyyttä parantavia lisäaineita. Myös työmaalla muuraussementistä valmistettävien laastien käyttö on sallittua, joskin harvinaista. Työmaalaastien osalta suunnittelija vastaa siitä, että valittu laasti täyttää rakenteen ympäristöluokan vaatimukset, valmislaastien osalta vastuu on laastin valmistajalla.

Yleisimmin käytetty muurauslaasti on tunnuksestaan M100/600. Tässä laastissa on muuraussementin 100 painoosikköä kohden 600 painoosikköä hiekkaa. Harkkolaastia M100/500 voidaan käyttää, kun halutaan korkeampi lujuus kuin saavutetaan muurauslaastilla M100/600. Ohutsaamamuurattaviin harkkoseiniin on niin ikään kehitetty omat laastinsa joilla päästään tarvittavaan 2 mm paksuiseen saumapaksuuteen. Talvi/pakkaslaastit ovat talvimuuraukseen kehitettyjä laasteja, joilla harkot ja tiilet voidaan muurata rakenteita lämmittämättä aina kullekin laastille määritettyyn pakkasrajaan saakka. Tiivislaasteja voidaan käyttää kohteissa, jotka altistuvat voimakkaalle viistosateille. Ne pienentävät kuorimuurin vedenläpäisyn jopa kolmannekseen sekä vähentävät muodostuvan suolahärmeen määrää. Kahi-laastit ovat kalkkihiekkatiilien ominaisuuksiin kehitettyjä laasteja, joiden etuja ovat normaalia parempi työestettyvyys ja tartunta.

Uudessa vuonna 2007 käyttöön otettavassa SFS-käsikirjassa ovat laastien puristuslujuuden määritysmenetelmä ja lujuusluokat muuttuneet. Tämä muutos on huomioitu RakMk B8 luonnoksessa 7.7 2006 esitettyissä taulukoissa. Jos suunnittelun apuna käytetään edelleen aikai-

sempaan RakMk B8 1989 arvoihin perustuvaa taulukkomitoitusta, kuten teoksen RIL 85-1989 lopussa esitettyjä mitoitustaulukkoja ja -käyriä, on huomioitava että vanhoja laastin puristuslujuusluokkia 2, 4, 8 ja 16 vastaavat uudet puristuslujuusluokat ovat M2,5, M5, M7,5 ja M15.

Raudoitteet ja muurausiteet

Muurausiteillä sidotaan kuorimuuri rakennuksen runkoon. Yleisimmin käytetään halkaisijaltaan 4 mm olevia taivutettuja RST muurausiteitä ja -naujoja. Alle viiden metrin korkuisissa kuorimuureissa voidaan käyttää myös vähintään 50 µm paksuisella kerroksella kuumasinkittyjä teräsiteitä. Rakenteen niin vaatiessa tulee käyttää pystysuuntaisen liikkeen sallivaa sidityppiä.

Muuratun rakenteen taivutus- ja vetolujuutta voidaan lisätä käyttämällä laastisaumoissa raudoitteita. Raudoitteille on luotava riittävä korroosiosuoja. Raudoitteina voidaan käyttää standardin SFS 1215 mukaisia betoniteräksiä tai standardin SFS1259 mukaisia ruostumattomia teräksiä, jotka ovat ympäristöministeriön hyväksymän tarkastuselimen varmentamia. Raudoitteet voivat olla myös standardin SFS-EN 845-3 laatuvaatimusten mukaisia ohutsaam-raudoitteita mikäli niiden vetomurtolujuuden, tartunnan ja pitkäaikaiskestävyyden on esimerkiksi valmistaja selvittänyt. Yleisemmin käytettyjä ohutsaam-raudoitteita ovat tikas- ja ansar-raudoitteet, joilla korvataan harjateräksiä erityisesti ohutsaamamuurattavissa rakenteissa. Ohutsaam-raudoitteiden tulee olla valmistettu hitsaamalla ja niiden pitkittäistankojen halkaisijan on oltava vähintään 3 mm.

Jokaisen muurattavan rakenteen ympäristöluokan tulee olla joku luokista MX1–MX5 [1]. Valittu luokka määrää raudoitteelta vaadittavan korroosiosuojan. Luokitteluperusteet ja kussakin luokassa sallitut raudoitteiden suojaustavat on esitetty standardin SFS-ENV 1996-2 liitteessä. Yhteenvetona voidaan todeta, että saam-raudoitteiden ja muurausiteiden tulee olla valmistettu ruostumattomasta teräksestä tai suojattu kuumasinkityksellä kaikissa muissa ympäristöluokissa paitsi kuivissa olosuhteissa (MX1). Luokissa MX2 (Kosteat tai märät olosuhteet) ja MX3 (Kosteat tai märät olosuhteet sekä pakkasrasitus) on käytettävä ruostumatonta terästä tai vähintään ZnE-luokan kuumasinkittyä raudoitetta. Ylityspalkeissa käytettävän raudoitteen suojaksi kelpaa luokissa MX1–MX3 myös riittävän paksu betoni- tai muurauslaastikerros. Rannikolla olevissa muuratuissa rakenteissa (luokka MX4, suolakyllästeinen ilma tai merivesi-olosuhteet), voidaan käyttää austeniittista ruostumatonta terästä tai vähintään luokan ZnB vaatimukset täyttävää kuumasinkittyä raudoitetta. Luokassa MX5 (aggressiiviset kemialliset olo-

suhteet) muurattujen rakenteiden raudoitteet toteutetaan suunnittelijan asettamien korroosiosuojavaatimusten mukaisesti.

Yleiset suunnitteluperusteet

Tiilirunkoisessa rakennuksessa kantavia pystyrakenteita ovat muurattujen ulkoseinien sisäkuoret sekä kantavat väliseinät ja pilarit. Jäykistävänä rakenteina käytetään yleensä levyinä toimivia väli- ja yläpohjia sekä poikittaisia väliseiniä. Rakenteita voidaan tarkastella kehärakenteina, mutta yleensä riittää RakMk B8:ssa esitetty likimääräisen menetelmä, jossa rakenneosia tarkastellaan erillisinä otaksamalla niiden tuentatapa nivelelliseksi.

Tiilirakenteiden hyvän puristuslujuuden ansiosta muuratut seinät ja pilarit voivat kantaa suuria pystykuormia. Vaakavoimat aiheuttavat tiiliseinään leikkausrasitusta. Tiilirakenteet mitoitetaan pääosin pitkäaikaista vetorasitusta kestävämmäksi. Vetorasitukselle alttiissa kohdissa vedon syntyminen estetään rakenteen muotoilulla ja pystykuormituksen suunnittelulla. Tällöin voidaan esimerkiksi heikentää kriittisiä pilareita, jolloin ne ottavat vähemmän nurkkamomenttia. Tiilirakenteen vetolujuutta käytetään hyväksi vain mitoitettaessa rakennetta tuuli- ja kaidekuormille.

Rakennesuunnitelmissa esitetään tavanomaisien rakenteita koskevien tietojen lisäksi tarvittavassa laajuudessa:

- rakenteiden ympäristöluokat
- raudoitukset, niiden suojaus ja ankkurointi
- muurauksiteiden laatu, muoto, määrä ja sijoitus
- veden- ja kosteudeneristys ja veden poistaminen
- liikuntasaumata, niiden sijainti ja rakenne
- tiilien/harkkojen limitys
- saumatyyppi ja sauman paksuus
- seinien tuenta
- urat, roilot, syvennykset ja reiät
- työaukot ja -saumat
- erikoisolosuhteita kuten talvimuurausta koskevat lisäohjeet
- työnaikaiset kuormat ja -tuenta
- ikkuna- ja muiden ulkokuoren liittymien tiiviiden varmistaminen
- seinien ja yläpohjan liittymän tiiviiden varmistaminen.

Rakenteet mitoitetaan rajatilamenettelyllä vertaamalla ilmoitettuja kestävyyskertoimia laskentalujuuksiin. Rakenteiden mittoina käytetään nimellismittoja. Jännemitoiksi otaksutaan tukien keskiöiden etäisyydet ja seinien ja pilarien korkeutena käytetään niiden vapaata korkeutta. Jännemitoiksi ei tarvitse otaksua suurempaa arvoa kuin tukien vapaa väli kerrottuna kerroimel-

la 1,05. Rakenteiden laskentakuormat lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B1 Rakenteiden varmuus ja kuormitukset mukaan. Kuormien jakautuminen on esitetty RakMk osassa B8. Tiili- ja harkkomuurien lujuuksien ominaisarvot on esitetty osan B8 taulukoissa eri tiilen ja laastinlujuus yhdistelmille. RakMk B8 ohjeiden 1989 ja RakMk B8 luonnoksessa 7.7 2006 esitetyt muurin lujuusarvot poikkeavat toisistaan. Tämä johtuu pääosin siitä että materiaalien koestusmenettelyä ja lujuusluokittelua on muutettu eurooppalaisten standardien mukaiseksi.

Kantavien rakenteiden murtorajatilataarkasteiluissa laskentalujuus saadaan jakamalla muurin tai materiaalin ominaislujuus taulukon 1 mukaisella materiaalin osavarmuusluvulla. Taulukossa on esitetty RakMk B8 luonnoksen 7.7 2006 mukaiset osavarmuusluvut. Kategorian I muuraukskappaleilla tarkoitetaan tiiliä ja harkkoja, joiden puristuslujuus on määritetty niin että alitusosuus on enintään 5 %. Kategorian II muuraukskappaleet eivät täytä kategorian I luotettavuustasoa [2]. Käytännössä suomalaisten poltetun ja kalkkihiekkatiilen valmistajien normaali tuotanto on tarkoitettu täyttämään kategorian I vaatimukset. Teräksisten muurauksiteiden materiaalin osavarmuuslukuna käytetään raudoituksen varmuuslukua ja ankkuroinnin osavarmuuslukuna muuratun rakenteen varmuuslukua. Käyttörajatilataarkasteiluissa osoitetaan etteivät muodonmuutokset ja halkeamat ylitä rakenteen käyttökelpoisuudelle asetettuja vaatimuksia tai ole muutoin haitallisia. Käyttörajatilataarkasteiluissa käytetään materiaalin osavarmuusluvulle arvoa 1,0.

Taulukko 1. Materiaalin osavarmuusluvut [1].

Materiaali	Murtorajatilan materiaalin osavarmuusluku
Muurattu rakenne SFS-käsikirjan kategorian I muuraukskappaleista	2,0
Muurattu rakenne SFS-käsikirjan kategorian II muuraukskappaleista	3,0
Raudoitus	1,2

Runkorakenteet

Puristuskestävyys

Muurattujen seinien ja pilareiden tehtävänä on yleensä kantaa rakennuksen pystykuormat. Ne mitoitetaan puristukselle homogeenisinä ja vetoa kestävämmiksi. Tarvittaessa otetaan huomioon tuulen aiheuttama taiputus- ja leikkaus-

rasitus. Puristetun rakenteen kantavuuteen vaikuttavat myös kuormien epäkeskisyys ja rakenteen hoikkuus. Kantavan tai jäykistävän seinän nimellispaksuus on vähintään 85 mm enintään kaksikerroksisissa ja vähintään 120 mm sitä useampikerroksisissa rakennuksissa. Pilarin poikkileikkaukseltaan tulee olla vähintään 50 000 mm² ja kantavan pystyrakenteen kohdan mitoitushoikkuus λ_d saa olla enintään 30. Jos kantavaan rakenteeseen kohdistuu lisäksi palonkestovaatimus, saa sen mitoitushoikkuus olla enintään 27 [1].

Muuratun seinän tai pilarin puristuskestävyys N_u voidaan laskea kaavalla:

$$N_u = k_s A_c f_{cd} \quad (1)$$

jossa

A_c on poikkileikkauksen pinta-ala
 f_{cd} on muurin puristuslujuuden laskenta-arvo
 k_s on kuorman epäkeskisyyden ja rakenteen hoikkuuden huomioon ottava pienennyskerroin, joka saadaan RakMk osan B8 taulukosta e_d:n ja λ_d:n avulla.

Materiaalivalmistajat ovat laskeneet valmiiksi eri korkuisten tiili- ja harkkoseinien puristuskestävyyksiä. Taulukossa 2 on esitetty Kahi kalkkihiekkatiili- ja harkkoseinien puristuskestävyydet eri seinän korkeuksille kahdella eri mitoitusepäkeskisyyden arvolla. RIL 85-1989 liitteessä on esitetty poltetuista tiilistä tehtyjen seinien RakMk osan B8 1989 ohjeiden mukaisia seinien puristuskestävyyksiä. Jos käytetään RakMk B8 luonnoksen 7.7 2006 mukaista mitoitusta on RIL 85-1989 mitoitustaulukkoja ja -käyriä käytettäessä huomioitava aina tiilen- ja laastin lujuusluokkien muunnokset kohtien 2.1 ja 2.2 mukaisesti, mikäli taulukoiden tai käyrien muuttujina on käytetty tiilen taikka laastin lujuutta.

Kun puristava voima kuormittaa vain osaa rakenteen poikkileikkauksesta, tulee laskea paikallinen puristuskestävyys N_{Ru}. Se lasketaan kaavalla:

$$N_{Ru} = A_o \times f_{cd} (1 + 0,1 (t \times a_o) / A_o) \leq 1,5 A_o \times f_{cd} \quad (2)$$

jossa

A_o on kuormitetun pinnan ala, joka on enintään 2t², ja jonka painopisteen etäisyys rakenteen reunasta on vähintään t/4
 f_{cd} on muurin puristuslujuuden laskenta-arvo
 a_o on kuormitetun pinnan reunan etäisyys seinän päästä
 t on rakenteen paksuus.

Tiilirakenteiden paikalliset puristuskestävyydet saadaan myös RIL 85-1989 liitteessä esitetyistä taulukoista huomioimalla tiilen- ja laastin lujuusluokkien muunnokset kohtien 2.1 ja 2.2 mukaisesti.

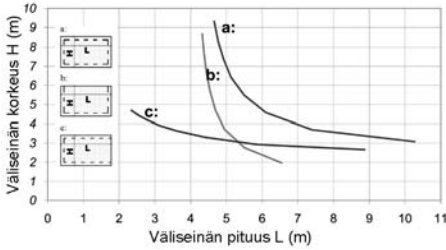
Mitoitus vaakakuormille

Seinät, joihin kohdistuu tasoa vastaan kohtisuora sivuttaiskuorma, mitoitetaan siten, etteivät laskentakuormien aiheuttamat taivutusmomentit ylitä taivutuskestävyyttä tarkasteltavassa suunnassa. Kuvissa 1–4 on esitetty näin määritettyjä kalkkihiekkaharkko ja -tiiliseinien enimmäismittoja. Laskentakuormana on käytetty q_{wd} = 0,32 kN/m². Vaakakuormien rajaamat tiilirakenteiden enimmäismitat myös poltetuista tiilistä tehdyille rakenteille saadaan RIL 85-1989 liitteessä esitetyistä taulukoista. Vaakakuorma-mitoitus voidaan tehdä myös laskennallisesti. Tällöin, kun muurattua rakennetta kuormittaa tuulen aiheuttama vaakakuorma, rakenteen taivutuskestävyys pystysuunnassa lasketaan kaavasta:

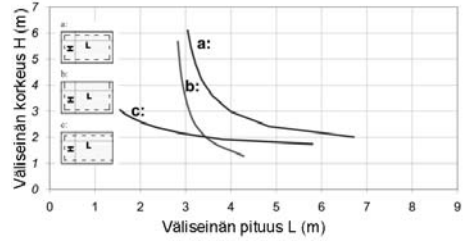
$$M_u = (f_{xd1} + \sigma_c) W \quad (3)$$

Taulukko 2. Kahi tiili- ja harkkoseinien puristuskestävyyksiä N_u [5].

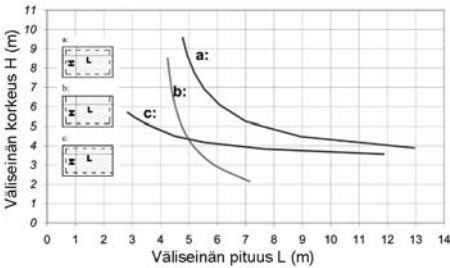
Seinän korkeus (m)	Tiili t = 130 mm / laasti Vetonit M100/600		Harkko t = 130 mm / Ohutsaumamuurauslaasti	
	e _d = 0,05t	e _d = 0,15t	e _d = 0,05t	e _d = 0,15t
2,4	96	46	128	62
2,6	78	41	104	54
2,8	69	32	92	42
3,0	60	25	80	34
3,2	55	19	73	25
3,4	46	16	61	22
3,6	39	13	52	17
3,8	33	10	44	13



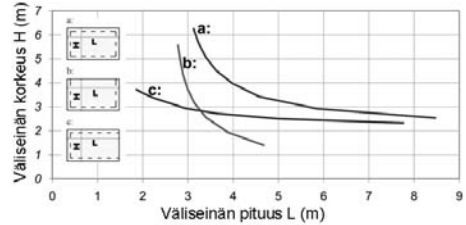
Kuva 1. NKH-Kahiväliseinien enimmäismitat [5].



Kuva 3. MKH-Kahiväliseinien enimmäismitat [5].



Kuva 2. Runkoponttiväliseinien enimmäismitat [5].



Kuva 4. Väliseinäpönttiharkkoseinien enimmäismitat [5].

jossa f_{xd1} on taivutusvetolujuuden laskenta-arvo vaakasaumojen suuntaisessa murtotasossa
 σ_c on pystykuorman aiheuttama puristusjännitys (lasketaan pysyvistä kuormista käyttäen kuorman osavarmuuslukua 0,9)
 W on poikkileikkauksen taivutusvastus.

Taivutuskestävyys vaakasuunnassa lasketaan kaavasta:

$$M_u = f_{xd2} W \quad (4)$$

jossa f_{xk2} on taivutusvetolujuuden laskenta-arvo vaakasaumojen suuntaa vastaan kohtisuorassa murtotasossa
 W on poikkileikkauksen taivutusvastus.

Jäykistävät seinät

Jäykistävät seinät saavat pystykuormituksen lisäksi seinän tason suuntaista vaakakuormitusta esimerkiksi ulkoseiniltä. Ne mitoitetaan kaavan 5 mukaisesti vaakakuormien aiheuttamalle leikkaukselle sekä pystykuormille kaavalla 1 otta-

malla huomioon seinän tason suuntainen epäkeskeisyys. Seinien kestävyys tulee aina tarkistaa vaakakuormalle, joka on vähintään 0,5 % tasolta siirtyvästä pystykuormasta. Tarvittaessa otetaan myös huomioon seinän liukuminen kosteuseristeen päällä.[1]

$$V_u = A_n f_{vd} \quad (5)$$

jossa A_n on puristetun poikkileikkauksen pinta-ala
 f_{vd} on leikkaustartuntalujuuden laskenta-arvo.

Kevyet väliseinät

Kantamattomat väliseinät tuetaan siten, että saavutetaan riittävä vakavuus vaakakuormia vastaan. Tällaisia kuormia ovat esimerkiksi tuuletilanteen tuulenpaine sekä kaidevoima. Seinien enimmäismitat ja tuentatarve voidaan laskea RakMk mukaisille tuulikuormille. Kalkkihiekkaharkko- ja tiiliväliseinien maksimimitat on esitetty kuvissa 1–4. Kuormituksen perusteella määritettyjen enimmäismittojen lisäksi on huomioitava seinien liikuntasaumojen tarve kohdan *Liikuntasauvat ja kutistumaraudoitus*

mukaisesti. Kantamattomien seinien minimipaksuuden määräävät yleensä palonkestävyys ja äänenieristävyyssvaatimukset, joita on käsitelty kohdissa *Palotekninen mitoitus* ja *Äänitekni-
nen mitoitus*. Kantamattomat väliseinät tulee erottaa yläpuolisista taipuvista rakenteista riittäväällä liikevaralla. Tarvittaessa liitokseen voidaan tehdä sivuttaistuenta. Seinän ja perustuksen tai laatan väliin sijoitetaan irrotuskaista, esimerkiksi bitumikermi.

Julkisivut

Seinän maksimitat

Kuorimuuri mitoitetaan tuulikuormille siten etteivät laskentakuormien aiheuttamat taivutusmomentit ylitä taivutuskestävyyttä tarkasteltavassa suunnassa. Kuorimuurin minimipaksuus on kaiken korkuisilla muureilla 85 mm [1]. Yksinkertaisen tuetun tiili- tai rakoseinän enimmäismitat tavanomaisille tuulikuormille valmiiksi mitoitettuina saadaan mitoituskäyrästä, jotka on esitetty mm. julkaisussa RIL 85–1989. Jos tuulikuormamitoitus tehdään laskennallisesti, voidaan olettaa että tuulikuorma jakautuu seinille seinien jäykkyyksien suhteessa, mikäli muuraussiteitä käytetään vähintään 4 kpl/m². Vaakasuntaisen tuulikuorman rasittaman seinän taivutuskestävyys pystysuunnassa lasketaan kaavalla 6 ja vaakasunnassa kaavalla 7.

$$M_u = (f_{xd1} + \sigma_c) W \quad (6)$$

jossa

f_{xd1} on taivutusvetolujuuden laskenta-arvo vaakasauvojen suuntaisessa murtotasossa

σ_c on pystykuorman aiheuttama puristusjännitys, joka lasketaan pysyvistä kuormista osavarmuusluvulla 0,9

W on poikkileikkauksen taivutusvastus.

$$M_u = f_{xd2} W \quad (7)$$

jossa

f_{xd2} on taivutusvetolujuuden laskenta-arvo vaakasauvojen suuntaa vastaan kohtisuorassa murtotasossa

W on poikkileikkauksen taivutusvastus.

Muuraussiteiden mitoittaminen

Kuorimuuri tuetaan ja sidotaan rakennuksen runkoon siten, että lämpötilan ja kosteuden vaihteluista aiheutuvat muodonmuutokset eivät vaurioita rakennetta. Kuorimuurin muuraussiteet mitoitetaan tuulenpaineen ja imun aiheuttamalle puristukselle ja vedolle. Normaalin ruostumattomasta tai kuumasinkitystä teräksestä

valmistetun halkaisijaltaan 4 mm muuraussiteen vetokestävyytään käytetään laskenta-arvoa 0,8 kN ja puristuskestävyytään laskenta-arvoa 0,4 kN, kun käytetyn laastin puristuslujuuden keskiarvo on vähintään 5 MN/m². [1]

Muiden muuraussidetyyppien veto- ja puristuskestävyys määritetään standardin SFS-EN 845-1 mukaisesti. Muuraussiteiden ankkurointi muihin kuin muurattuihin rakenteisiin suunnitellaan kyseisiä rakenteita ja käytettävää sidetyyppejä koskevien ohjeiden mukaan.

Molemmista päistään kiinnitettyjen terässiteiden katsotaan kestäväen muodonmuutosrasitukset, jos niiden vapaa pituus on:

$$l \geq \sqrt{(0,2 \cdot \varnothing_d \cdot H)} \quad (8)$$

jossa

l muuraussiteen vapaa pituus

\varnothing_d muuraussiteen halkaisija

H kuorimuurin korkeus.

Jos muuraussiteen vapaalle pituudelle asetettu vaatimus ei täyty, käytetään pystysuuntaisen liikkeen sallivia siteitä tai kiinnitysjärjestelmiä. Käytännössä tämä tilanne voi tulla vastaan korkeissa yhtenäisissä kuorimuureissa esimerkiksi kerrostalojen julkisivuissa. Muuraussiteet sijoitetaan rakenteisiin suunnitelmissa merkittyihin kohtiin siten, että raudoituksen suojakerrokselle ja seinän taivutuskestävyydelle tuulen aiheuttamia kuormia vastaan asetetut vaatimukset täyttyvät. Jos suunnitelmissa ei muuta esitetä, on kuorimuurin muuraussiteiden vähimmäismäärä 4 kpl/m². On suositeltavaa lisätä siteiden määrää kohdissa joissa muurin jatkuvuus katkeaa, kuten aukkojen pielissä ja liikuntasauvojen läheisyydessä. Muuraussiteet tulee sijoittaa tasaisin välimatkoin, mielellään eri vaakasauvoihin porrasten. Saman vaakasauvan siteiden välin tulisi olla korkeintaan 900 mm ja muuraussiteitä sisältävien sauvojen pystysuuntainen etäisyys saa olla korkeintaan 600 mm.

Liikuntasaumat ja kutistumaraudoitus

Lämpö- ja kosteusolosuhteiden muutosten, kuormitusmuutosten sekä rakenteen viruman vuoksi kuorimuuriin syntyy jännityksiä. Kuorimuuri tulee jakaa pysty- ja tarvittaessa myös vaakasuntaisilla liikuntasauvoilla sellaisiin osiin, että syntyvät muodonmuutokset eivät aiheuta muuriin halkeamia. Liikuntasauvojen tulee olla niin leveitä että ne pystyvät vastaanottamaan muurin liikkeen ilman että muurille aiheutuu vahinkoa. Liukupinnat suunnitellaan sellai-

siksi että rakenneosat voivat vaurioitumatta liukua toistensa suhteen.

Vaipan osan maksimilaaajeneminen tai -kutistuminen tulisi arvioida ottamalla huomioon yhtäaikaan tapahtuvat seinän liikkeet ja rasitukset. Seinän lämpö- ja kosteusmuodonmuutokset sekä kutistuma voidaan laskea materiaalikohtaisilla muodonmuutosarvoilla. Myös voimien, jäykisteiden ja tuennan vaikutukset otetaan huomioon rakenteen liikkeitä arvioitaessa. Koska laskentatehtävä on usein varsin työläs, on käytännön kokemukseen perustuen kehitetty suosituksia pystysuuntaisten liikuntasuomien enimmäisväleiksi. Poltetusta tiilestä tehdyn aukollisen kuorimuurin maksimiliikuntasuomaväli on noin 12 metriä, kalkkikiiekkakivimuurin 8–10 metriä. Korkeissa aukottomissa kuorimuureissa voidaan käyttää edellä esitettyjä pidempää liikuntasuomavälejä. Liikuntasuomaväliä voidaan myös kasvattaa raudoittamalla kuorimuuri. Kutistumauroudoitusta tulee käyttää myös lyhyillä liikuntasuomaväleillä, jos kuorimuurissa on merkittäviä heikkouskohtia. Lähteissä [8] ja [9] on esitetty ohjeet puhtaaksimurattavien sekä rapattavien kalkkikiiekkatiili ja -harkkojulkisivujen kutistumauroudoituksen suunnitteluun.

Tyypillisiä liikuntasuoman paikkoja ovat rakennuksen nurkat, eri korkeudelta kannatetut tai epäjatkuviin rakenteisiin tuetut kuorimuurin osat sekä seinän poikkileikkauksen muuttumisen tai heikennysten rajakohdat kuten suuret ikkuna- ja oviaukot. Muurauksen ja perustuksen väliin on sijoitettava bitumikermikaista, joka toimii kosteuseristeen lisäksi myös vaakasuuntaisena liikuntasuomana. Muiden vaakasuuntaisten liikuntasuomien tarve selvitetään kohdekohtaisesti. Jos vaakasuuntaisten liikuntasuomien halutaan sallivan pystysuuntaista liikettä, tulee kiinnittää erityistä huomiota kuorimuurin kannattimien sijoitteluun.

Myös rakennuksen runkoon voi syntyä halkeamia lämpötila- ja kosteusliikkeiden vaikutuksesta. Kantavien rakenteiden liikuntasuomien enimmäisvälien arviointiin ei ole olemassa valmiita taulukoita, vaan välit tulee laskea tapauskohtaisesti materiaaliominaisuuksien ja käyttöolosuhteiden perusteella. Jos kantavissa rakenteissa käytetään liikuntasuomia, on myös varmistettava että kokonaisrakenteen yhtenäisyys säilyy.

Kantavista rakenteista poiketen kantamattomat tiiliväliseinät tehdään usein taipuvalle alustalle kuten ontelolaahtalle. Tämä lisää liikuntasuomien tarvetta. Esimerkiksi taipumattomalla alustalla olevan yhtenäisen Kahi-väliseinän liikuntasuomaväli on rajattu lämpö- ja kosteusliikkeiden vuoksi korkeintaan 20 metriksi. Taipuvien alustojen päällä oleviin laatan suuntaisiin pitkiin väliseiniin on tehtävä edellisen lisäksi liikuntasuomia kriittisiin kohtiin kuten laatan jännevälän keskialueelle. Liikuntasuomat

tulee sijoittaa myös kohtiin joissa perustustapa muuttuu esimerkiksi maanvaraisesta perustuksesta kantavaksi laataksi.[5]

Raudoitettut palkit ja seinät

Raudoituksella voidaan lisätä ylityspalkkien ja seinien taiputus- ja vetokestävyyttä sekä estää rakenteen hauras murtuminen. Raudoitettujen muuratut rakenteet on mitoitettava taiputusmomentille, leikkausvoimalle sekä niiden aiheuttamalle raudoituksen ankkurointivoimalle RakMk B8:n mukaisesti.

Jos muurauksessa käytetään raudotteita, tulee sauman paksuuden olla vähintään 1,5 x raudoitteen halkaisija. Ulkona sijaitsevilla rakenteissa tulee käyttää lujuudeltaan vähintään luokkaan M7,5 kuuluvaa laastia ja sisätiloissa vähintään luokkaan M5 kuuluvaa laastia. Sisätiloissa ja aina ruostumatonta raudoitetta käytettäessä raudoitteen etäisyyden rakenteen pinnasta tulee olla ainakin 15 mm, muulloin ainakin 30 mm. Raudoitustankojen vapaan välin on oltava vähintään 20 mm.

Palkkirakenteissa poikkileikkauksen tehollisen korkeus saa olla enintään 50 % palkin jänne- mitasta ja korkeintaan 10-kertainen verrattuna palkin leveyteen. Lähteessä RIL 85-1989 on esitetty valmiiksi laskettuja raudoitettujen tiilipalkkien mitoituskäyrästäjä. Valmistajien ohjeissa on esitetty kantavissa seinissä käytettäviksi tarkoitettujen valmispalkkien kantavuuksia.

Palotekninen mitoitus

Muurattujen tiilirakenteiden palomitoitus voidaan tehdä taulukoiden 3. ja 4. avulla. Taulukoissa on esitetty RakMk B8 luonnoksen 7.7 2006 mukaiset seinien vähimmäispaksuudet, joilla päästään kuhunkin palonkestoluokkaan. Erona RakMk B8 1989 mukaisiin arvoihin on, että osastoivan kantamattoman seinän minipaksuusvaatimus 60 min palonkestoaajalla on kasvanut 5 mm ja että taulukoihin on lisätty oma luokka R kantaville osaston sisäisille rakenteille. Taulukkoarvojen käyttöön on edellytyksenä että RakMk B8 luonnoksen 7.7 2006 paloteknisten hoikkusuvaatimusten arvot ($\lambda_d \leq 27$ kantaville muuratuille rakenteille ja $\lambda_d \leq 40$ kantamattomille muuratuille rakenteille) eivät ylitä ja että poltettujen tiilien tai kalkkikiiekkatiilien ja -harkkojen aukkojen määrä on aukkoryhmien 1 ja 2 asettamissa rajoissa. Muurattujen pilareiden tulee täyttää eri palonkestävyysluokissa taulukossa esitetty pienintä sivumittaa koskeva vaatimus.

Taulukko 3. Muuratun seinän minimipaksuus (mm) eri palonkestävyyssuokissa EI (osastoiva kantamaton rakenne), REI (osastoiva kantava rakenne) ja R (kantava osaston sisäinen rakenne).

Palonkestävyyssuokka, palonkesto-aika (minuutteina)	Muuratun seinän minimipaksuus (mm)					
	30	60	90	120	180	240
EI	70	85	110	110	130	160
REI	110	110	110	110	180	235
R ¹⁾	110	120	135	200	235	300

¹⁾ Seinän pituus vähintään 1 m.

Taulukko 4. Muuratun pilarin pienin sivumitta (mm) eri palonkestävyyssuokissa R (kantava rakenne).

Palonkestävyyssuokka, palonkesto-aika (minuutteina)	Muuratun pilarin pienin sivumitta (mm)					
	30	60	90	120	180	240
R	250	250	250	250	280	350

Äänitekninen mitoitus

Sekä ulko- että väliseinien tulee täyttää niille asetetut äänitekniset vaatimukset.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 on esitetty vaatimuksia eri tyyppisiä huoneiloja toisistaan rajaavien väliseinien ääneneristävyyksille. Tärkeimmät sisäseinien ilmaääneneristävyyssuokille R^w asetetut vaatimukset ovat asuinhuoneiston ja (hotellihuoneistojen) sekä niitä ympäröivän tilan välille asetettu vaatimus 55 dB, potilashuoneiden tai niihin rinnastettavien tilojen väliselle seinälle asetettu vaatimus 48 dB (ei ovea), sekä luokkahuoneiden ja niiden rinnastettavien tilojen väliselle seinälle, sekä luokkahuoneen ja käytävän väliselle seinälle asetettu vaatimus 44 dB (ei ovea). Arvojen vaatimuksenmukaisuus voidaan osoittaa mm. kelpoisuusvaatimukset täyttävillä laboratorio- ja kenttämittauksilla, joita materiaalivalmistajat ovat tuotteilleen teettäneet. Kelpoisuus voidaan osoittaa myös hyväksytyillä laskentamenetelmillä. [6]

Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden laskennassa käytetään yleisimmin Ympäristöministeriön julkaisemaa ”Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen”-opasta [7]. Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista sekä STM:n Asumisterveysohjeessa on esitetty hyväksyttävät enimmäisarvot rakennuksen sisätiloissa päivä- ja yöaikaan vallitseville melutasoille. Enimmäisarvojen perusteella kullekin alueelle määritetään kaavoitusvaiheessa äänitasoerovaatimus, joka rakennettavan rakennuksen koko julkisivun tulee täyttää. Ulkoseinämaterialin ääneneristävyyden tulee olla

ainakin 3 dB parempi kuin on tämä koko julkisivulta vaadittu ääneneristävyys. Yleensä massiivisilla tiiliulkoseinillä saavutetaan erinomaiset ääneneristävyyssarvot. Niitä käyttämällä voidaan korvata erityisesti lento- ja liikennealueilla kevyemmiltä ulkoseinärakenteilta vaadittavia kalliita vaimennusrakenteita ja erikoisikkunoita.

Rakenteellisia ohjeita

Ulkoseinät tulisi suunnitella siten, ettei sadevesi pääse haitallisesti tunkeutumaan seinään tai seinän läpi. Kuorimuurin ja lämmöneristeen väliin jätetään ilmaväli, joka tuuletetaan räystäältä ja alimmasta tiilikerroksesta jättämällä ainakin joka kolmas pystytysauma auki. Muurauksen alapuolinen bitumikerrikaista taivutetaan ylös runkorakennetta vasten, jolloin se johtaa kuorirakenteen taakse pääseen veden ulos. Muuraussiteet tulee asentaa sellaiseen kaltevuuteen että ne johtavat mahdollisen veden ulospäin eikä eristekerroksen suuntaan. Voimakkailla viistosateilla alttiiden kohteiden julkisivumuurauksessa tulisi käyttää vähintään 120 mm leveitä tiiliä ja ilmaaraon tulisi olla työvirheineen vähintään 30 mm leveä. Kuorimuurin tehokkaasti tuulettamiseksi voidaan jättää alimman tiilikerroksen joka toinen pystytysauma auki. Erityistä huomiota tulee kiinnittää kuorimuurin läpi pääseen veden poisjohtamiseen ikkuna- ja oviaukkojen kohdilla. Kuorimuurin vuotokohtia voidaan viistosadekohteissa välttää käyttämällä tiivislaasteja, täyteen saamaan muurausta sekä pystytysaumoissa ns. nokkalaastia.

Pellityksillä suojataan rakenteita sade- ja sulaamisveden aiheuttamaa kastumista vastaan. Rakenteiden kastuminen ikkuna- ja oviaukkojen ylä- ja alapuolelta tulee estää. Ikkunakarmin alaosaan kiinnitettävän vesipellin kaltevuuden tulisi olla 30° tai jyrkempi. Pellin tippanokan on oltava vähintään 30 mm seinän ulkopinnasta ja taivuttava alas päin 25–30 mm.

Halkeamien estämiseksi kuorimuurissa on oltava liikuntasaumojia. Pystysuuntaiset liikuntasaumot kannattaa suunnitella sellaisiin paikkoihin että niiden eteen voidaan sijoittaa esimerkiksi syöksytorvet. Liikuntasaumojen mitoitusta on käsitelty kohdassa *Liikuntasaumot ja kutistumaraudoitus*. Tiilivalmistajien ohjeissa on esitetty suosituksia liikuntasaumojen rakenteiksi.

Tiililimitys mitoitetaan tavallisesti 10 tai 15 mm pysty- ja vaakasaumojen mukaan. Normaalikokoiset NKH-tiilet muurataan yleensä 1/2-tiilen ja moduulikokoiset MKH-tiilet yleensä 1/3-tiilen pituuslimityksellä. Tiililimityksen tulee olla vähintään 25 % tiilten pituudesta ja 50 % tiilten korkeudesta, jotta muurattu rakenne ei heikkene. Ohutsaumamuurattavat Kahi-harkot ovat 198 mm korkeita, joten 2 mm saumapaksuudella päästään 200 mm moduuliin. Matalia 98 mm korkeita harkkoja käyttämällä saadaan korkeusmitoitus sovitettua ovikorkeuteen sopivaksi. Pituusmitoiltaan harkot soveltuvat 300 mm moduulimitoitukseen. Harkot muurataan 1/2-harkon limityksellä.

Hyvällä suunnittelulla voidaan vähentää seiniin tulevaa johdotusta ja putkitusta. Vaaka-suorat putkivedot kannattaa tehdä ala-, väli-, ja yläpohjarakenteissa, lattian rajassa olevat pistorasiat kannattaa syöttää alhaalta ja hyödyntää oven karneja ja listoja. Putkitus ja johdotus voidaan tehdä jälkikäteen käyttäen hyväksi harkoissa ja erikoistilissä olevia pystyreikiä. Pystysuuntaiset sähkö- ja LVI-putket kannattaa sijoittaa kulkemaan harkkojen ja roiloitiilien pystyreikiin tai roiloharkkoihin. Vaakasuurteisissa putkivedoissa voidaan käyttää palkkiharkkoja ja -tiiliä. Kun tehdään kiinnitysreikiä tiiliseiniin, on noudatettava kiinniketoimittajien ohjeita reunaetäisyyksistä, poraussyvyksistä, reiän halkaisijoista ja kiinnikkeiden keskinäisistä väleistä. Kun porataan reikää, on välttävää iskun käyttöä porattavan seinän takapinnan lohkeamisvaaran vuoksi. Suurempien kiinnityskuormien ollessa kyseessä on tarkistettava seinän kuormituskapasiteetti ja tarvittaessa suunniteltava lisätuennat. Ilman rakenteellisia selvityksiä kantavien tiilirakenteiden pintaan saa tehdä pystysuoria uria, joiden syvyys on enintään 25 mm ja leveys enintään 50 mm. Vaakasuurtaisten roilojen ja urien vaikutus on aina tutkittava erikseen.

Tasoitteet jaetaan kosteutta kestäviin ja kivan tilan tasoitteisiin. Kosteutta kestävässä tasoitteissa sideaineena käytetään sementtiä, kui-

van tilan tasoitteissa polymeerejä. Kosteutta kestäviä tasoitteita voidaan käyttää myös kivistä tasoitteissa. Paksummat oikaisu- (mahdollisesti aukkojen pielet, katkaistut harkkosaumat) voidaan tarvittaessa tehdä sokkeli- ja oikaisu-laastilla tai ohutrappauslaastilla. Liitoksiin, joissa voi tapahtua pientä liikettä, kuten seinän ja katon liitokseen, väliseiniin ja ulkoseiniin liitoksiin sekä ulkoseiniin nurkkasaumoihin suositellaan tehtäväksi joustava liitos, jossa tasoitustyön jälkeen avataan joustaviksi suunnitellut liitoslinjat leikkaamalla tasoitteeseen tarvittavat varjosaumat tai urat elastista kittausta varten.

Rapattavissa ja kuultorapattavissa tiili- ja harkkoseinissä on kiinnitettävä erityistä huomiota tiilen/harkon ja laastin yhteensopivuuteen. Testatut ja toimivaksi havaitut yhdistelmät selviävät tiilivalmistajilta. Esijännitettyjen runkopalkkien mahdollinen viruma voi aiheuttaa palkin pään ja tuen kohdalle hiushalkeaman. Tämän välttämiseksi palkin kohdalla suositellaan käytettäväksi ensimmäisen ja toisen tasointekteroksen väliin levitettävää pintavahvistuskangasta. Sama ohje koskee rapattavissa julkisivukuorissa käytettäviä betonipalkkeja ja esijännitettyjä tiilipintaisia valmispalkkeja.

LÄHTEET

- [1] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa B8 Tiilirakenteet Ohjeet 2006 luonnos 7.7 2006, Ympäristöministeriö
- [2] SFS-käsikirja, luonnos 6.7 2006
- [3] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa B8 Tiilirakenteet Ohjeet 1989, Ympäristöministeriö
- [4] RIL 85-1989 Tiilirakenteet, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Vammala, 1989
- [5] Kahi-väliseinät: suunnitteluohjeet 1–39, maxit Oy Ab, Helsinki, 2002
Kahi-talot: Suunnitteluohje, maxit Oy Ab, Helsinki, 2005
- [6] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C1 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, Määräykset ja ohjeet 1998, Ympäristöministeriö
- [7] Ympäristöopas 108, Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen, Ympäristöministeriö, Helsinki 2003
- [8] Rapattava Kahi-harkkojulkisivu, Suunnittelu- ja työohje, maxit Oy Ab, Helsinki, 2006
- [9] Pientalon julkisivumuurausohje, Työohje, maxit Oy Ab, Helsinki, 2005