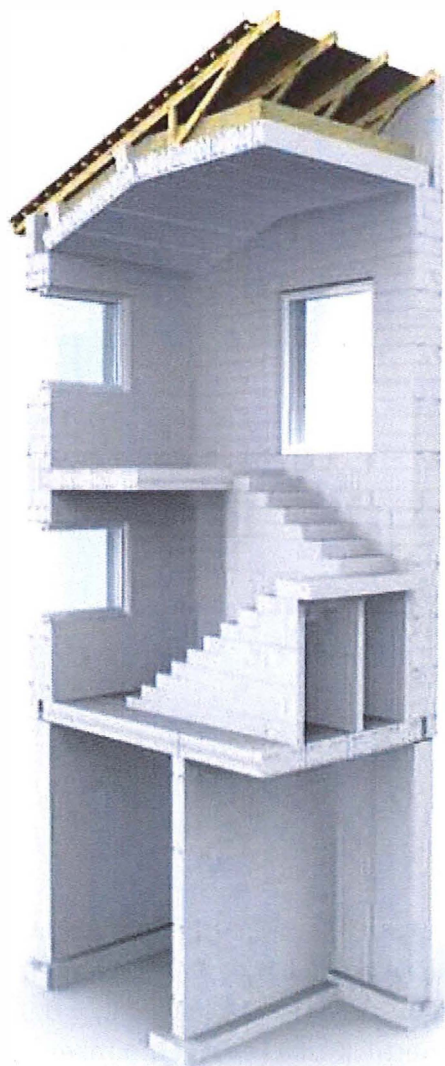


Järvi Kivitalot
Järvi Kivitalot Oy
Järvi Kivitalot
Järvi Kivitalot

LAUSUNTO KEVYTBETONIRAKENTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALISESTA TOIMINNASTA

1. Tarkasteltavat rakenteet

Lausunnossa käsitellään Järvi Kivitalot Oy:n massiivisia karkaistuja kevytbetonirakenteita, joilla voidaan toteuttaa rakennuksen ulkoseinät, yläpohja, välipohjat sekä maanvastaiset ulkoseinät ja ryömintätilaiset ala pohjat. Massiivisia kevytbetonirakenteita on esitetty kuvassa 1.

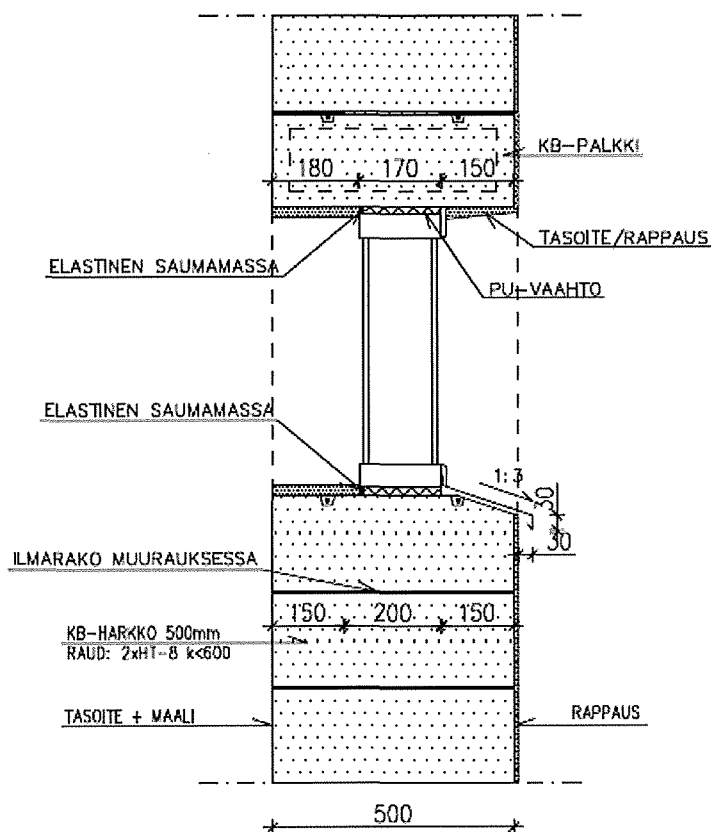


Kuva 1. Esimerkki massiivisista kevytbetonirakenteista. /1/

2. Kevytbetonirakenteiden lämpötekkinen toiminta

Kevytbetonin lämmöneristävyys

Kevytbetonin lämmönjohtavuutta on saatu pienennettyä merkittävästi kehitystyön tuloksena, kun kevytbetonin tiheyttä on alennettu. Jämerä Kivitalot Oy:n käyttämän kevytbetonin lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona voidaan käyttää $0,078 \text{ W}/(\text{mK}) /2, 3/$, eli se on lämmöneristävyydeltään parempi kuin esimerkiksi massiivipuu tai kevytsora $/4/$. Tämä tarkoittaa sitä, että tyypillisen 500 mm paksun kevytbetoniharkkoseinän lämmönläpäisykertoimeksi eli U-arvoksi saadaan $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, joka täyttää hyvin sekä nykyisten $/5/$ että vuoden 2018 alusta voimaan tulevien energiatehokkuusmääräysten $/6/$ mukaisen ulkoseinän U-arvon vertailuarvon $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (kuva 2). Näin ollen kevytbetonirakennus voidaan toteuttaa myös uusien energiatehokkuusmääräysten mukaan siten, että ulkoseinän lämpöhäviötä ei tarvitse kompensoida muiden rakennusosien avulla.



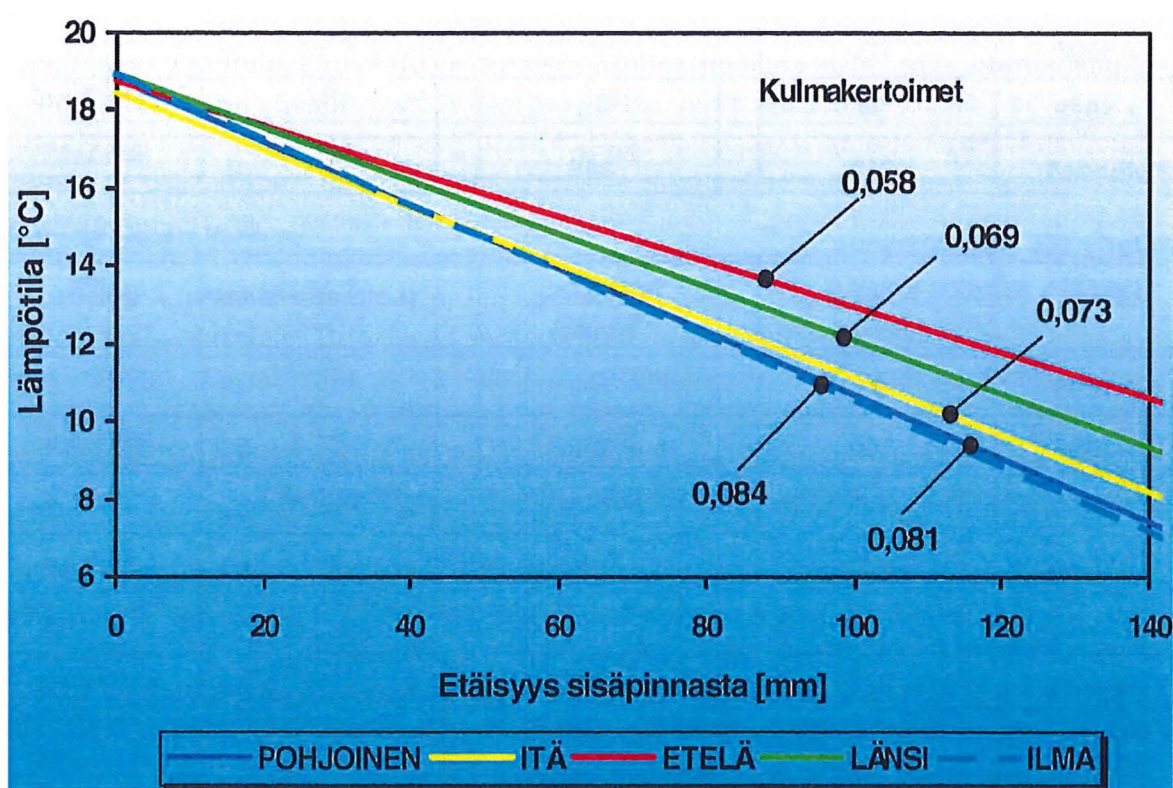
Kuva 2. Poikkileikkauskuvaa yksiaineisesta kevytbetoniulkoseinästä. Kuvassa on esitetty myös ikkunan kannatinpalkki sekä ikkunan liitokset ulkoseinään. /7/

Kevytbetonirakenteiden lämmönvarauskyky

Kevytbetonin lämmönvarauskykyä voidaan kuvata tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin tulolla eli ns. tilavuuslämpökapasiteetilla. Nykyisten kevytbetoniharkkojen ja -elementtien tilavuuslämpökapasiteetti on edelleen varsin suuri eli $300 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 1000 \text{ J}/(\text{kgK}) = 0,3 \times 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K}) /2, 4/$, vaikka kevytbetonin tiheyttä onkin alennettu. Koska kevytbetonirakenteiden tilavuus rakennuksessa on suuri, ne voivat varata merkittävästi lämpöä itseensä.

Kevytbetonin lämmönvarauskyvyn ansiosta rakennuksen jäähtytystarve keväällä ja kesällä vähenee, koska rakenteet voivat tasata sisäilman lämpötilaolosuhteita. Tällä asialla on nykyisin yhä enemmän merkitystä, kun rakennus tehdään aiempaa lämpöä eristävämmäksi. Tällöin rakennuksen käytöstä tai ikkunoiden kautta tulevasta auringonsäteilystä syntyvät lämpökuormat voivat nostaa sisäilman lämpötilan herkemmin haitallisen korkeaksi. Kevytbetonirakenteet varaavat päiväaikaan sisätiloihin tulevaa ylimääräistä lämpöä ehkäisten samalla sisälämpötilan nousua. Yöllä rakenteet luovuttavat lämpöä takaisin sisäilmaan, jolloin se poistuu ilmanvaihdon mukana ulkoilmaan.

Yksiaineinen massiivinen kevytbetonirakenne kuluttaa todellisuudessa myös jonkin verran vähemmän lämpöenergiaa verrattuna nykyisten energiankulutuksen laskentaohjeiden /8/ avulla määritettävään laskennalliseen arvoon. Tämäkin asia johtuu kevytbetonin lämmönvarauskyvystä. Kevytbetoni varaa sekä sisäilmasta päiväaikaan tulevaa ylimääräistä lämpöä että rakennuksen ulkopintaan kohdistuvaa auringonsäteilyä itseensä. Energiankulutuskalkelmissa tästä otetaan huomioon ainoastaan sisäpuolelta rakenteeseen tulevan ylimääräisen lämpöenergian vaikutus. Kevytbetonirakenteen ulkopintaan kohdistuva auringonsäteily lämmittää myös rakennetta, ja koska rakenteessa ei ole tehokasta lämmöneristekerrosta, lämpöenergiaa siirtyy ulkopinnasta helpommin myös syvemmälle rakenteeseen nostaen samalla sen lämpötilaa. Rakenteeseen sisältä siirtyvä lämpövirta riippuu sisäilman ja rakenteen sisäosan välisestä lämpötilaerosta eli lämpötilagradientista ja sen muodostamasta kulmakertoimesta. Rakenteen sisäosan korkeampi lämpötila pienentää tätä kulmakertoimista ja vähentää lämmön johtumista sisäilmasta rakenteeseen (kuva 3).



Kuva 3. Esimerkki kevytbetoniseinän lämpötilagradienttien keskimääräisistä kulmakertoimista seinän sisäpinnassa eri ilmansuunnissa viikon ajanjaksolta (8.–14.3.1998). Laskennallinen lämpöenergiankulutus tasapainotilanteessa vastaa kuvassa ilmalla merkittyä lämpötilagradienttia. Tarkastelussa on mukana vain auringonsäteilyn rakennetta lämmittävä vaikutus. /9/

Kuvasta 3 nähdään, että kaikilla julkisivuilla pohjoista lukuun ottamatta kevytbetoniseinän sisäpinnan lämpötilagradientin kulmakerroin on pienempi kuin laskennallinen tasapainotilanteen lämpötilagradientti (ilma) ja ero on merkittävä erityisesti etelä- ja länsijulkisivuilta mitatuissa arvoissa. Itä-, etelä- ja länsijulkisivujen lämpöhäviöt ovat siten laskennallista arvoa pienemmät tällä tarkastelujaksolla.

Toisaalta pimeään aikaan rakenteen pinnasta kirkkaalle taivaalle lähtevä pitkäaaltoinen lämpösäteily jäädyttää myös kevytbetonirakennetta syvemmältä verrattuna rakenteeseen, jossa on tehokas lämmöneristekerros. TTKK:n tekemässä tutkimuksessa on kuitenkin todettu, että kevytbetoniulkoseinillä tehdyn koerakennuksen mitattu energiankulutus oli jonkin verran pienempi kuin laskennallinen energiankulutus koko lämmityskaudella (lokakuu – toukokuu) /9/. Näin ollen massiivinen kevytbetonirakennus säästää vuositasolla lämpöenergiaa laskennalliseen arvoon verrattuna.

3. Kevytbetonirakenteiden kosteustekninen toiminta

Yksiaineisen ja kerroksellisen seinärakenteen erot

Yksiaineinen massiivinen kevytbetonirakenne on oikein toteutettuna kosteusteknisesti turvallisempi kuin ns. kerroksellinen seinärakenne, jossa on erillinen lämmöneristekerros rakenteen sisällä. Tämä pätee erityisesti sellaisiin rakenteisiin, joissa lämmöneristeenä on käytetty avohuokoista ilmaa läpäisevää eristettä, kuten mineraalivillaa tai puukuitueristettä.

Tämä johtuu siitä, että erillinen tehokas lämmöneristekerros muuttaa rakenteen yli vallitsevaa lämpötilakenttää siten, että eristekerroksen ulkopinnassa lämpötila on huomattavasti alhaisempi kuin vastaavassa kohdassa yksiaineisella materiaalilla toteutetussa rakenteessa. Alhaisempi lämpötila nostaa huokosilman suhteellista kosteutta lämmöneristeen ulkopinnassa, jolloin rajapinnassa voi esiintyä herkemmin mikrobien kasvulle otollisia olosuhteita tai kosteus voi tiivistyä rajapintaan. Myös mahdolliset kosteusvuodot kulkeutuvat rakenteissa tyypillisesti materiaalikerroksien välisiin rajapintoihin. Lisäksi mikrobeja ja homeitiöitä pääsee tyypillisesti näihin materiaalien välisiin rajapintoihin rakenteiden tekovaiheessa. Yksiaineisessa rakenteessa ei ole erillisiä rajapintoja, joissa esiintyisi suuria suhteellisia kosteuksia tai joihin kosteus kerääntyisi. Yksiaineisen tiiviin materiaalin sisällä, jollainen kevytbetoni on, ei kasva myöskään mikrobeja, koska niitä ei pääse materiaalin sisälle tekovaiheessa tai jälkeen päin.

Yksiaineisessakin rakenteessa esiintyy toki korkeita kosteuspitoisuuksia ja huokosilman suhteellisia kosteuksia, vaikka rakenteessa ei olekaan erillisiä rajapintoja. Kevytbetonilla tällainen tilanne on varsinkin rakentamisen aikana ja sen jälkeen, kun rakenteet sisältävät paljon ylimääräistä kosteutta. Myös käytön aikana kevytbetonin huokosilman suhteellinen kosteus voi nousta ajoittain korkeaksi varsinkin rakenteen ulkopinnan lähellä. Tästä kosteudesta ei ole kuitenkaan haittaa, koska mikrobit eivät kasva materiaalin sisällä. Kevytbetonissa on lisäksi riittävästi ns. suojarahukosia, että rakenteessa oleva ylimääräinen kosteus ei normaalitilanteessa jäätyessään riko materiaalin huokosrakennetta /10-12/.

Rakenteiden kosteudenkestävyys ja sadesuojaus

Kevytbetoni kestää hyvin rakentamisen ja käytönaikaisia kosteusrasituksia, mikä on merkittävä etu. Tästä huolimatta on tärkeää, ettei kevytbetonirakenteisiin päästetä tarpeettomasti kosteutta. Rakennusaikana kevytbetoniharkot ja -elementit tulee suojata sateelta.

Käytönaikaista saderasitusta vastaan kevytbetoniseinän ulkopintaan laitetaan rappaus, joka estää tehokkaasti sadeveden tunkeutumista kapillaarisesti syvemmälle seinärakenteeseen. Tämä parantaa myös rakenteen lämmöneristävyyttä, koska kuivan rakenteen lämmönjohtavuus on pienempi. Kevytbetonin sisäosan kosteudenkestävyys takaa kuitenkin sen, että rakenne ei vaurioidu, vaikka rappaukseen tulisikin halkeamia tai rappausta irtoaisi rakenteen pinnasta. Yksiaineisella kevytbetonirakenteella on siten parempi vikasietoisuus kosteusvuotoja vastaan, mikä vähentää sen korjaustarvetta.

Höyrynsulku ja vesieriste

Massiivinen kevytbetonirakenne toimii samalla myös rakenteen höyrynsulkuna, joten erillistä höyrynsulkukerrosta ei tarvita rakenteen sisäpinnassa.

Kosteissa tiloissa on kuitenkin tarpeellista laittaa rakenteen sisäpintaan vedeneriste samalla tavoin kuin muissakin kivrakenteissa, jotta valuva vesi ei pääse tunkeutumaan rakenteeseen.

Kevytbetonirakenteiden hygroskooppisuus

Kevytbetoni voi sitoa ja luovuttaa kosteutta eli se on hygroskooppinen materiaali. Kevytbetonin kosteudensitomiskykyä voidaan kuvata hygroskooppisen tasapainokosteuskäyrän avulla. Tasapainokosteus muuttuu ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden muuttuessa. Mitä suurempi ilman suhteellinen kosteus on, sitä enemmän kevytbetoni sitoo itseensä kosteutta /4/.

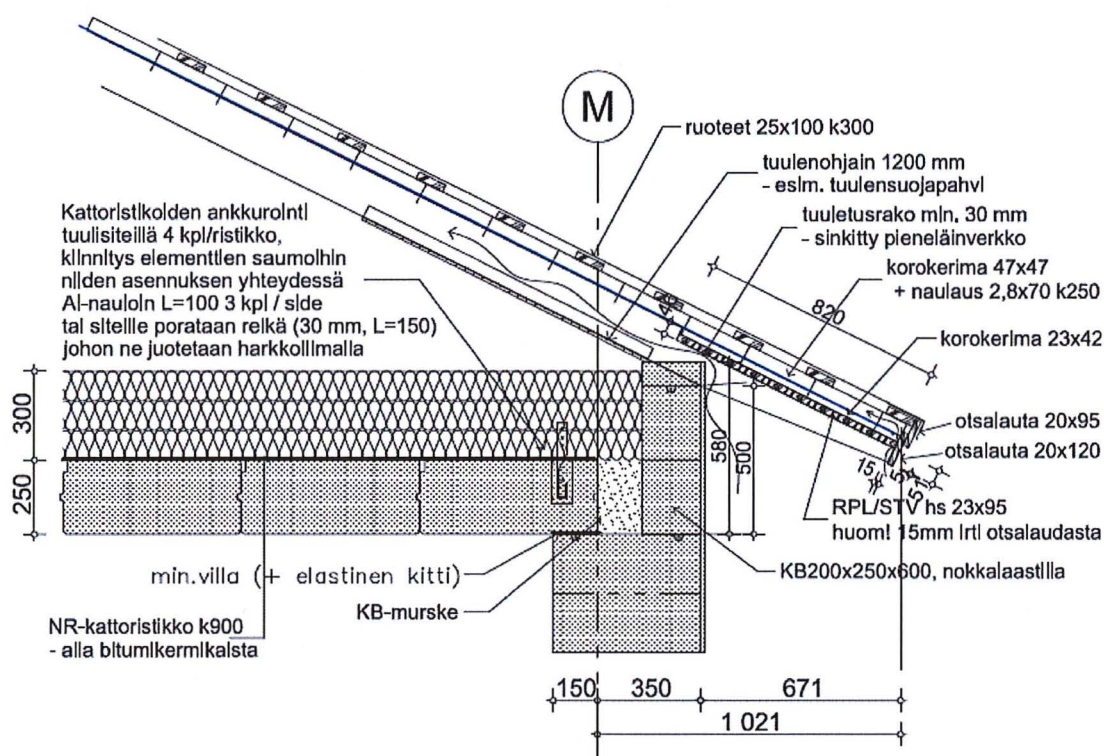
Hygroskooppisuutensa ja suuren kosteudensitomiskykynsä ansiosta kevytbetonirakenteet voivat tasata sisäilman suhteellisen kosteuden vaihteluja. Sisäilman ollessa kosteata vesihöyryä sitoutuu kevytbetonirakenteisiin ja vastaavasti sisäilman kuivussa kosteutta siirtyy rakenteista takaisin sisäilmaan. Rakenteen sisäpintaan laitettava laastipohjainen tasoite ei muuta rakenteen kosteusteknistä toimintaa, vaan vesihöyry pääsee siirtymään hyvin sen läpi.

Kosteusolosuhteiden tasaamisesta on etua Suomen ilmastossa erityisesti talviaikaan, jolloin se vähentää kuivia sisäilman olosuhteita. Käytännössä hygroskooppisista materiaaleista tehdyt huonekalut, tekstiilit, vaatteet ja kirjat tasaavat kuitenkin myös sisäilman kosteusolosuhteita, jolloin rakenteiden synnyttämä lisävaikutus on usein melko pieni. Myös ilmanvaihto ja erityisesti koneellinen tulo-poistoilmanvaihto alentavat kosteusolosuhteiden vaihteluita. TTY:n tutkimuksissa on todettu, että massiiviset rakenteet tasaavat sisäilman suhteellisen kosteuden vaihteluita jonkin verran lähinnä kesäaikaan verrattuna puurankarakenteisiin taloihin /13, 14/. Siinä tapauksessa, että sisätiloissa ei ole merkittävästi muuta hygroskooppista materiaalia, rakenteiden vaikutus korostuu.

Yläpohjan lisälämmöneristys

Kevytbetonirakenteisessa yläpohjassa käytetään lisälämmöneristettä rakenteen yläpuolella, jotta rakennepaksuutta saadaan siellä pienennettyä. Yläpohjarakenteena on tyypillisesti tuulettuva puurakenteinen yläpohja (ks. kuvat 1 ja 4). Koska lämmöneriste on kevytbetonin ulkopuolella, toimii yläpohjarakennekin sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteiden tasaamisessa vastaavalla tavalla kuin ulkoseinä. Sen sijaan yläpohjarakenne ei varaa ulkopuolen auringonsäteilystä tulevaa lämpöä, jolloin sen energiankulutus on lähellä laskennallista arvoa.

Kosteusteknisen toiminnan kannalta on oleellista, että lisälämmöneriste sijaitsee kevytbetonirakenteen ulkopuolella. Tällöin kevytbetoni sijaitsee kuivissa ja lämpimissä olosuhteissa. Lisäksi vaikka lämpötila onkin alahainen lämmöneristeen ulkopinnassa, tämä rajapinta on tuulettuva, jolloin ylimääräinen kosteus pääsee tuuletusilman mukana pois vesikatteen alta.



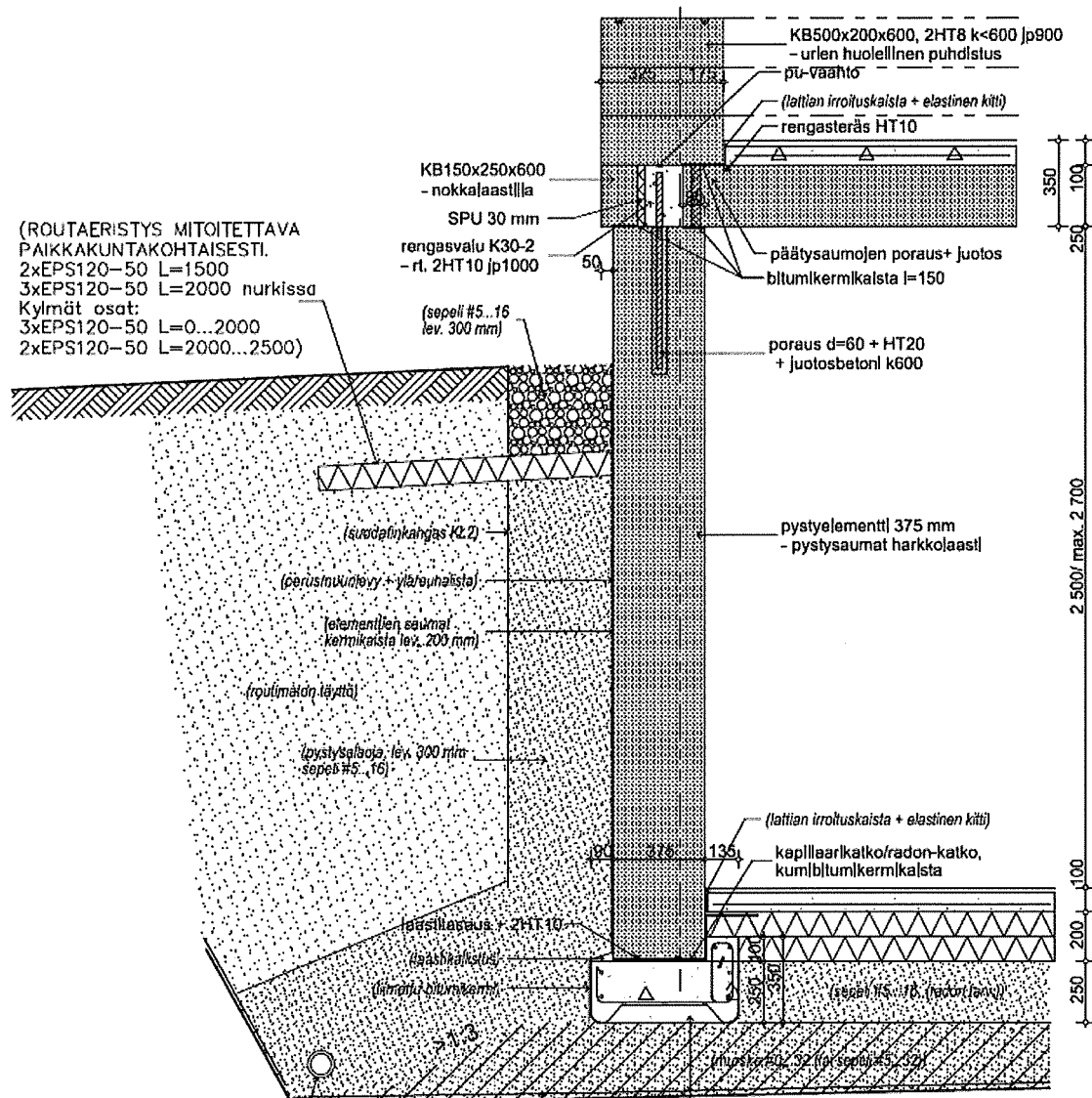
Kuva 4. Esimerkki kevytbetonielementeistä tehdyn yläpohjan ja ulkoseinän liitoksesta. /15/.

Puurakenteinen yläpohja ja vesikate toimivat tässä tapauksessa kosteusteknisesti samalla tavoin kuin muissakin tällä ratkaisulla tehdyissä rakennuksissa. Yleisesti ottaen hyvin lämpöeristetyin puurakenteisen yläpohjan kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa vielä laittamalla kantavien puurakenteiden ja vesikatteen väliin lämmöneristekerros, jolloin myös kantavat puurakenteet sijaitsevat lämpimämmissä ja kuivemmissä olosuhteissa.

Maanvastaiset ulkoseinät ja alapohjarakenteet

Maanvastaiset ulkoseinät tehdään joko kevytbetonielementeistä tai vaihtoehtoisesti kevytsoraharkoista, joiden ulkopintaan laitetaan perusmuurilevy. Kevytbetonielementeissä

saumojen kohdalle ulkopintaan laitetaan lisäksi bitumikermikaistat (kuva 5). Kevytsojarahkorakenteessa ulkopinta tasoitetaan ennen perusmuurilevyn laittoa. Tässä tapauksessa rakenteen ulkopuolelle laitetaan vielä erillinen solumuovilämmöneriste. Perusmuurilevy estää maasta tulevan kosteuden tunkeutuminen rakenteisiin ja sallii kosteuden poistumisen rakenteesta. Sisäpinta tehdään vastaavalla tavalla kuin ulkoseinissä, jolloin se mahdollistaa lämpö- ja kosteusolosuhteiden tasaamisen.



Kuva 5. Esimerkki kevytbetonelementeistä tehdystä maanvastaisesta ulkoseinästä. /16/.

Alapohjarakenteena käytetään tyypillisesti solumuovieristeellä lämpöeristettyä maanvastaista betonilaattaa, joka on nykyinen valtarakenne ja sen kosteustekninen toiminta on todettu käyttötilanteessa erittäin hyväksi. Oleellista on, että betonilaatan annetaan kuivua riittävästi ennen pinnoittamista rakennusaikana. Lisäksi rakenteen liitokset ja läpiviennit tulee tiivistää huolellisesti hyvän ilmatiivyyden saavuttamiseksi, koska rakenteen alapuolella kapillaarikatkokerroksena nykyisin käytettävä sepeli päästää hyvin ilmaa läpi.

Alapohjarakenteena voidaan käyttää myös ryömintätilaista alapohjaa, joka voidaan toteuttaa joko kevytbetonelementeillä tai ontelolaatoilla. Rakennepaksuuden pienentämiseksi tässäkin rakenteessa käytetään solumuovieristettä lisälämmöneristeenä. Yleensä

lisälämmöneriste laitetaan kevytbetonielementtien tai ontelolaattojen yläpuolelle, ja sen yläpuolelle tehdään pintalaatta betonista. Rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta on kuitenkin parempi, että pääosa lämmöneristeestä sijoitetaan kantavien rakenteiden alapuolelle, jolloin kantavat rakenteet ovat lämpimissä ja kuivissa olosuhteissa. Tämäkin eristysvaihtoehto on tilaajan mukaan saatavissa ryömintätilaiseen alapohjaan. Muilta osin ryömintätilainen alapohja toteutetaan vastaavalla tavalla kuin yleensäkin nykyisiä ohjeita noudattaen.

4. Kevytbetonirakenteiden ilmatiiviys ja paine-erojen vaikutus

Kevytbetonirakenteiden ilmatiiviys

Tutkimuksissa on todettu, että kevytbetonirakennuksien ilmatiiviys on hyvä /14, 17/, jolloin ilmavuotojen mukana rakenteen läpi siirtyvät lämpövuodot vähenevät ja rakennuksen energiankulutus pienenee. Kevytbetonirakennus saadaan huolellisesti tehtynä täyttämään sekä nykyinen että vuoden 2018 alussa voimaan tuleva ilmatiiviyden suositusarvo $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ /5, 6/. Vuosina 2016–2017 tehdyissä Jämerä-kivitalojen ilmatiiviyksmittauksissa saatiin esimerkiksi 12 kohteen q_{50} -luvun keskiarvoksi $1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ /17/.

Rakenteille saadaan hyvä ilmatiiviys, koska ne koostuvat harkoista ja elementeistä, joiden saumat ovat suhteellisen helppoja tiivistää. Ulkoseinärakenteissa saumojen ilmatiiviys saadaan aikaan harkkojen vaakasaumoihin laitettavalla ohutsaumalaastilla sekä täyttämällä harkon päässä olevat juotosurat juotoslaastilla pystysaumojen tiivistämiseksi. Hyvä ilmatiiviys varmistetaan lisäksi rakenteen ulkopintaan laitettavalla rappauksella ja sisäpintaan laitettavalla tasoitteella. Suurempien saumakohtien, läpivientien ja ikkunaliitosten tiivistämisessä käytetään lisäksi juotosvaluja, elastista saumausmassaa tai polyuretaanivaahtoa (ks. kuva 2).

Yläpohjassa ilmatiiviys saavutetaan täyttämällä elementtien välisissä saumoissa ja päädyissä olevat juotosurat juotoslaastilla, asentamalla elementin ja seinän väliseen liitoskohtaan mineraalivillalakaista sekä tiivistämällä seinän ja katon välinen nurkka elastisella tiivistysmassalla (ks. kuva 4). Hyvä ilmatiiviys varmistetaan lisäksi elementtien sisäpintaan laitettavalla tasoitteella.

Maanvastaisissa ulkoseinissä kevytbetonirakenteen ilmatiiviys saadaan aikaan elementtien välisiin pystysaumoihin laitettavalla juotosvalulla, saumojen ulkopintaan laitettavilla bitumikermikaistoilla sekä sisäpintaan laitettavalla tasoitteella. Vaihtoehtoisen kevytsoraharkkorakenteen ilmatiiviys saadaan aikaan harkkojen vaakasaumoihin laitettavalla ohutsaumalaastilla sekä sisä- ja ulkopintaan laitettavalla tasoitteella.

Maanvastaisen betonilaatan ilmatiiviys on hyvä, kun ulkoseinän liitokset ja laatan läpiviennit tiivistetään ohjeiden mukaisesti. Ryömintätilaisen alapohjan ilmatiiviys saadaan puolestaan aikaan solumuovieristeen päälle tehtävällä pintavalulla sekä ulkoseinäliitosten ja läpivientien tiivistyksellä. Hyvä ilmatiiviys on erityisen tärkeä juuri tässä rakenteessa, koska ryömintätilassa esiintyy aina ajoittain homeen kasvulle otollisia olosuhteita ja rakennuksen sisällä on tyypillisesti ryömintätilaan nähden alipaine, jolloin ryömintätilan ilmaa pyrkii siirtymään rakenteiden kautta sisätiloihin.

Paine-erojen vaikutus

Ilmatiiviissä rakennuksissa tulee nykyisin kiinnittää erityistä huomiota ilmanvaihdon säätöön, sillä tulo- ja poistoilmamäärien väliset erot voivat synnyttää isoja paine-eroja rakennuksen vaipan yli. Myös likaiset suodattimet voivat muuttaa paine-eroja merkittävästi. Vaikka rakennuksen ilmatiiviyys on hyvä, vaipasta löytyy aina yksittäisiä ilmapuotokohtia. Alipainetilanteessa ilmapuotokohdienten kautta pyrkii sisäilmaan haitallisia aineita sekä rakenteiden sisältä että maaperästä, ja toisaalta ylipainetilanteessa ilmavirtaukset kuljettavat rakennuksen käytöstä syntyvää ylimääräistä kosteutta puotokohdienten kautta rakenteisiin.

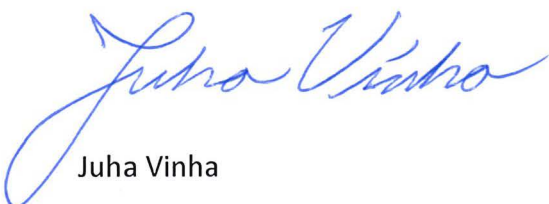
Yksiaineiset kevytbetonirakenteet ovat kuitenkin tässäkin suhteessa vikasietoisia. Kevytbetonin sisällä ei ole mikrobeja tai merkittäviä määriä muita haitallisia aineita (kevytbetoni on luokiteltu M1-luokan materiaaliksi /18/), jotka kulkeutuisivat sisäilmaan alipaineen vallitessa. Toisaalta kosteuden siirtyminen elementin tai harkon saumakohdasta rakenteeseen ei aiheuta yleensä ongelmia, koska rakenteen sisällä ei ole eri kerrosten muodostamia rajapintoja, joihin kosteus voi kerääntyä. Tällöin suuri osa kosteudesta siirtyy saumakohdan kautta suoraan ulkoilmaan ja osa voi sitoutua sauman ympärillä olevaan kevytbetoniin, josta se kuivuu pois rakenteen ulkopinnan läpi.

Alapohjan osalta on kuitenkin kiinnitettävä huomiota siihen, että sen läpi ei pääse maaperästä radonia tai muita haitallisia aineita sisäilmaan. Vastaavasti yläpohjassa ilmatiiviyys on myös tärkeä, jotta kostetta ei pääse liiallisesti yläpohjan puurakenteisiin ja lämmöneristeeseen.

5. Yhteenveto

Yksiaineisilla massiivisilla kevytbetonirakenteilla on monia lämpö- ja kosteusteknisiä etuja verrattuna tavanomaisiin kerroksellisiin vaipparakenteisiin. Näitä on tarkasteltu tässä lausunnossa. Yksiaineinen kevytbetonirakenne on oikein toteutettuna vikasietoinen ja kosteusteknisesti turvallinen ratkaisu. Se on myös pitkäikäinen ja vähän korjausta vaativa rakenne. Rakenteiden avulla voidaan toteuttaa nykyiset ja vuoden 2018 alussa voimaan tulevat energiatehokkuusmääräykset täyttävät rakennukset Suomessa.

Tampere 12.10.2017



Juha Vinha

Rakennusfysiikan professori, tekn. toht.
Tampereen teknillinen yliopisto
Rakennustekniikka

puh. 040 849 0296
email juha.vinha@tut.fi

Lähteet

- /1/ Valintasi ratkaisevat talosi energiatehokkuuden -esite. Jämerä Kivitalot Oy, 2017. 4 s.
- /2/ Suoritustasoilmoitus Nro. 0001E. Kevytbetoniharkot EcoTerm Plus. Aeroc Jämerä AS, Viro, 28.6.2013. 1 s.
- /3/ SFS-EN ISO 10456 + AC, Rakennusaineet ja -tuotteet. Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Taulukoidut suunnitteluarvot ja menetelmät ilmoitetun lämpöteknisen arvon ja lämpöteknisen suunnitteluarvon määrittämiseksi. 11.2.2008. 32 s.
- /4/ RIL 255-1-2014, Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, 2014. 500 s.
- /5/ RakMK D3, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, ympäristöministeriö, 30.3.2011. 35 s.
- /6/ Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Luonnos 7.10.2016. 18 s.
- /7/ Ulkoseinärakenteen poikkileikkauskuva. Jämerä Kivitalot Oy.
- /8/ RakMK D5, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, ympäristöministeriö, 17.5.2013. 74 s.
- /9/ Lindberg, R., Keränen, H. & Teikari, M. Ulkoseinärakenteen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. Julkaisu 90, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Talonrakennustekniikka, 1998. 33 s. + 25 liites.
- /10/ Autoklaavse poorbetooni AEROC EcoTerm+ 500 D300 külmakindlus (EVS-EN 15304). Katseprotokoll NR 1439/15, Teede Technokeskus AS, Eesti, 21.5.2015. 3 s.
- /11/ Autoklaavse poorbetooni AEROC EcoTerm D375 külmakindlus (EVS-EN 15304). Katseprotokoll NR 2236/15, Teede Technokeskus AS, Eesti, 18.6.2015. 3 s.
- /12/ SFS-EN 15304. Determination of the freeze-thaw resistance of autoclaved aerated concrete. Suomen Standardisoimisliitto SFS, 23.8.2010. 20 s.
- /13/ Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Valovirta, I., Mikkilä, A. & Jokisalo, J. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tutkimusraportti 131, Tampereen teknillinen yliopisto, Talonrakennustekniikan laboratorio, 2005. 102 s. + 10 liites.
- /14/ Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K. & Keto, M. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, 2009. 148 s. + 19 liites.
- /15/ Yläpohjan ja ulkoseinän liitoksen poikkileikkauskuva. Jämerä Kivitalot Oy.
- /16/ Maanvastaisen ulkoseinärakenteen poikkileikkauskuva. Jämerä Kivitalot Oy.
- /17/ Tiiveysmittausten koosteraportti, Jämerä, loka 16 – maalis 17. Vertia Oy, 28.5.2017. 13 s.
- /18/ Rakennusmateriaalien päästöluokitus Aeroc Jämerä Oy:n tuotteille. Rakennustieto Oy, voimassa 12.6.2018 asti. 1 s.