



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Betonisandwich-elementin käyttö rakentamisessa

Alexi Mäkelä

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka

Kandidaatintyö

Marraskuu 2023

TIIVISTELMÄ

Betonisandwich-elementin käyttö rakentamisessa

Alexi Mäkelä

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023, 29 s. + 1 liite

Työn ohjaaja yliopistolla: Antti Niemi

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää, miten betonisandwich-rakenne toimii ja mitä hyötyjä sen käytöllä saavutetaan. Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa keskityttiin esittelemään sandwich-rakenteen rakennusfysikaalinen ja rakenteellinen toiminta. Tämän lisäksi käsiteltiin elementtirakentamisen historiaa.

Sandwich-rakenne on todella yleinen rakenne Suomessa, johtuen sen tarjoamista monipuolisista ominaisuuksista. Sitä voidaan käyttää joko kantavana tai ei-kantavana rakenteena. Se on halvin betonijulkisivu vaihtoehto. Sen avulla rakentaminen on nopeaa ja vaipasta saadaan heti tiivis ja lämpöä eristävä. Sandwich-rakenteessa betonilla on hyvä palonkestävyys, joten se on turvallinen. Tämän lisäksi ääneneristyskyky on hyvä. Sandwich-elementin ulkokuoren pintamateriaali vaihtoehtoja on useita, joten se soveltuu moneen eri toteutukseen. Kuitenkin rakenteessa on myös haasteita. Näitä ovat betonin korkea hiilijalanjälki, rakenteen kosteuden hallinta sekä lämpö- ja kosteusrasitukset. Hyvällä suunnittelutyöllä rakenne saadaan toimimaan oikein. Myös ympäristöystävällisyyteen voidaan vaikuttaa käyttämällä vähähiilistä betonia.

Tutkimuksessa selviää, että sandwich-rakenne on hyvä vaihtoehto. Se on kestävä ja pitkäikäinen rakenne, jos se on suunniteltu, rakennettu ja huollettu oikein. Sitä voidaan käyttää asuin-, toimisto- ja teollisuusrakentamisessa. Tulevaisuudessa rakenteen haasteet liittyvät koko ajan tiukentuviin rakentamisen ympäristötavoitteisiin.

Asiasanat: sandwich, sandwich-rakenne, elementtirakentaminen

ABSTRACT

The use of the concrete sandwich element in construction

Alexi Mäkelä

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Bachelor's thesis 2023, 29 pp. + 1 Appendix

Supervisor at the university: Antti Niemi

The aim of this bachelor's thesis is to find out how the concrete sandwich structure works and what benefits are achieved by using it. The research was carried out as a literature review, where the focus was on presenting the building physical and structural function of the sandwich structure. In addition to this, the history of prefabricated construction was discussed.

The sandwich structure is a very common structure in Finland, due to the versatile features it offers. It can be used either as a load-bearing or non-load-bearing structure. It is the cheapest concrete facade option. With sandwich structure, the construction is fast, and the building envelope is immediately tight and heat insulating. In a sandwich structure, concrete has good fire resistance, so it is safe. In addition to this, sound insulation is good. There are several options for the surface material of the sandwich element's outer shell, which makes it suitable for many different implementations. However, the structure also has challenges. These include the high carbon footprint of concrete, moisture management of the structure, and heat and moisture stress. With good design work, the structure can be made to work correctly. Environmental friendliness can also be improved by using low-carbon concrete.

The research shows that the sandwich structure is a good option. It is a durable and long-lasting structure if designed, built, and maintained correctly. It can be used in residential, office and industrial construction. In the future, the challenges of the structure will be related to the ever-tightening environmental goals of construction.

Keywords: sandwich, sandwich-structure, prefabricated construction

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	5
2 Elementtirakentamisen historiaa	6
3 Sandwich-elementin Rakennusfysiikaalinen toiminta	7
3.1 Lämpö	7
3.2 Kosteus.....	8
3.2.1 Vesihöyryn siirtyminen rakenteisiin.....	8
3.2.2 Sandwich-elementin kosteustekninen toiminta	8
3.3 Palaminen.....	9
3.4 Akustiikka	10
3.4.1 Ääneneristävyys vaatimukset	10
3.4.2 Sandwich-rakenteen ääneneristävyys	11
4 Sandwich-elementistä	12
4.1 Yleistä	12
4.2 Rakenteellinen toiminta	14
4.2.1 Kosteus- ja lämpötilarasitukset.....	14
4.2.2 Pakkovoimat	16
4.2.3 Elementin muoto ja koko.....	17
4.3 Raudoitus	17
4.4 Eristäminen ja kylmäsiilat.....	19
4.5 Ympäristövaikutukset	21
4.6 Käyttöikä ja kunnossapito	22
5 Betonielementin Asennus	23
5.1 Kuljetus	23
5.2 Nostaminen	23
5.3 Asennus ja liitokset	24
5.4 Työturvallisuus.....	25
6 Yhteenveto	27

LÄHDELUETTELO

LIITTEET:

Liite 1. Laskennassa käytetyt oletukset

1 JOHDANTO

Sandwich-elementtejä on käytetty jo kauan rakentamisessa ja niiden kehitystyö on jatkunut koko ajan. Betonielementtijulkisivuista sandwich-rakenne on yleisin sen monipuolisten ominaisuuksien takia (Elementtisuunnittelu.fi, 2020a). Rakenne soveltuu asuin-, toimisto- ja teollisuusrakennuksiin. Elementit valmistetaan tehtaissa, jonka jälkeen ne toimitetaan työmaalle asennettavaksi. Tämän takia niiden asentaminen on nopeaa. Sandwich-elementillä saavutetaan suhteellisen helposti Euroopan unionin rakennustuotedirektiivin vaatimukset. Näitä vaatimuksia ovat mekaaninen kantokyky, energiataloudellisuus, terveellisyys ja turvallisuus, palonkestävyys ja ääneneristävyys. (Elementtisuunnittelu 2020b)

Tämän työn tarkoituksena on tarkastella betonisandwich-elementin käyttöä ja hyötyjä rakentamisessa. Tutkimuksessa tarkastellaan myös elementtirakentamisen historiaa ja rakennusfysiikan perusteita. Työssä esitellään betonisandwich-elementin rakennusfysikaalista toimintaa ja tämän avulla perehdytään rakenteen hyötyihin. Työ rajataan sandwich rakenteisiin, joita esiintyy asuin- ja teollisuusrakennuksissa Suomessa. Aiheena sandwich-elementtien käyttö rakentamisessa on tärkeä, koska se on todella yleinen rakenneratkaisu. Kiristyneet ilmastotavoitteet ja ympäristöystävällisyyden lisääminen pakottaa kehittämään perinteisiä betonisandwich-elementtejä vähähiilisempään suuntaan. Yksi keino saavuttaa rakentamisen ympäristötavoite on käyttää niin kutsuttuja hybridielementtejä, joissa yhdistyy betonin ja puun käyttö. (Puuinfo 2021)

2 ELEMENTTIRAKENTAMISEN HISTORIAA

Toisen maailmansodan jälkeen Suomessa oli pula asunnoista ja jälleenrakentaminen hidasta. Tähän ongelmaan piti löytää ratkaisu, joka oli elementtitekniikka. Ennen elementtitekniikkaa rakennettiin paljon käyttäen tiiltä ja paikallavalettua betonia. Tiilestä rakentaminen vei paljon aikaa, koska se on suurimmalta osin käsityötä. Se oli samalla kallista. Paikallavalu vei myös runsaasti aikaa ja oli kallista, johtuen muotti-, raudoitus- ja betonitöistä. Tämän takia tarvittiin tehokkaampaa ja halvempaa tapaa rakentaa ja ratkaista asuntopula. Betonirakentamista hidastutti ensimmäisinä rauhanvuosina sementtipula sekä betoninvalmistukseen tarvittavien koneiden ja laitteiden vähäinen määrä, koska niiden maahantuonti oli tarkoin lisensein säädeltyä. Tästä huolimatta betoni tarjosi kehitysmahdollisuuksia käsillä olevaan pulaan löytää uusia rakentamisratkaisuja. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 19–20)

Vuonna 1942 perustettiin Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos (VTT), koska rakennustoiminnan teollistaminen edellytti standardisointia ja rakennusosien sarjavalmistukseen siirtymistä. Suomella oli maksettavana noin 7000 puutaloa sotakorvauksina Neuvostoliitolle. VTT ja yritykset Suomessa kehittivät puutaloista teollisia ja osista koottavia, jotta ne voidaan kuljettaa ja kasata myöhemmin Neuvostoliitossa. Kun sotakorvaukset oli maksettu, VTT:n rationalisointi- ja standardisointityö siirtyi puutalotutkimuksesta betoni- ja teräsrakenteisiin. Tämä vauhditti ja loi pohjaa elementtiteknologialle. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 21–22.) Ensimmäiset betonielementtikohteet Suomessa pystytettiin 50-luvun alussa. Yksi tunnetuimmista varhaisista täselementtirakennuksista on Aarne Ervin suunnittelema Helsingin Yliopiston Porthania-rakennus. (Elementtisuunnittelu 2020a)

Sandwich-rakenteinen julkisivu on ollut Suomen yleisin betonielementtijulkisivu jo vuosikymmeniä. Vuosikymmenten aikana sandwich-elementeissä on tapahtunut valtavaa kehitystyötä. Sandwich-elementin rakenteellinen toiminta tunnetaan nykypäivänä hyvin. Aluksi sandwich elementeissä käytettiin eristeenä 70 mm paksua kerrosta mineraalivillaa. Vuonna 2010 eristepaksuus oli jo 240 mm, joten kehitystä on tapahtunut. (Elementtisuunnittelu 2020a)

3 SANDWICH-ELEMENTIN RAKENNUSFYYSIIKAALINEN TOIMINTA

3.1 Lämpö

Lämpö voi siirtyä rakenteessa johtumalla, säteilemällä ja konvektiolla. Johtumisessa (konduktio) molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen eli lämpö virtaa värähtelyn avulla. Virtaamissuunta on lämpimästä kylmään, koska lämpö pyrkii tasoittumaan. Säteilyssä (emissio) energia siirtyy valonnopeudella sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Säteilyssä ei tarvita väliainetta. Rakennustekniikassa säteilylämpö on lyhytaaltoista auringonsäteilyä ja pitkäaaltoista kappaleiden säteilemää lämpöä. Konvektiossa (virtaus) lämpö virtaa väliaineen eli nesteen tai kaasun mukana. Konvektio voi olla pakotettua tai luonnollista. Pakotettu konvektio voi olla esimerkiksi koneellinen ilmanvaihto tai tuuli. Harvinaisessa luonnollisessa konvektiossa lämpötilojen tiheysero saa aikaan virtauksen. (Siikanen, 1996, s.40–41)

Sandwich-elementin lämpötekniiseen toimintaan vaikuttaa sisäisiä ja ulkoisia tekijöitä. Sisäisiä tekijöitä ovat esimerkiksi rakennusmateriaalien lämmönjohtavuus, vesihöyryn- ja ilmanläpäisevyys ja muodonmuutosominaisuudet. Myös rakenteelliset tekijät, kuten rakenne- ja liitosratkaisut, rakennustyön laatu ja rakenteen dimensiot lukeutuvat sisäisiin tekijöihin. Ulkoisia tekijöitä ovat luonnosta aiheutuvat olosuhteet, kuten tuuli, sade, lämpötila ja auringon säteily. Elementin lämpötekniisessä suunnittelussa huomioon otettavat asiat ovat ilmatiiveyden varmistaminen, lämpötilajakauman selvittäminen, lämmönläpäisykertoimen eli U-arvon laskeminen, kylmäsiltojen sekä kosteuden kondensoitumisen ehkäiseminen ja eristeen tuulensuojaus. Betonisandwich-rakenteen U-arvoa laskettaessa tulee ottaa huomioon sideraudoitteen kylmäsilta vaikutus. Tämä lisälämpöhäviö määräytyy käytetyn materiaalin, koon ja määrän mukaan. Sandwich-elementissä betonikuoret ovat lähes ilmatiiviitä. Tällöin virtaus tapahtuu vain halkeamien ja elementtien saumojen kautta. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.41–43)

Lämpötekniistä toimintaa tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon myös tuuletusraon vaikutus lämmöneristävyyteen. Sandwich-elementeissä tuuletuksen tarve määräytyy valitun

eristeen mukaan. Tutkimuksen mukaan tuuletusurat tulee ottaa huomioon vain mineraalivillaeristeisissä seinissä. (Ormiskangas, 2009.)

3.2 Kosteus

Kosteutta voi päätyä rakenteeseen monella eri tavalla ja eri lähteistä. Kosteus voi aiheuttaa rakenteeseen kosteusvaurioita. Kosteusvauriot johtuvat yleensä suunnitteluvirheistä, rakennustyössä tehdyistä virheistä, käyttövirheistä, rakennusosien vanhenemisesta tai huollon laiminlyömisestä ja huonosta rakentamisen laadunvalvonnasta. Rakenteessa kosteus ilmenee näkyvänä vetenä, näkymättömänä vesihöyrynä tai rakenteisiin sitoutuneena rakennekosteutena. (Siikanen, 1996, s.65–66)

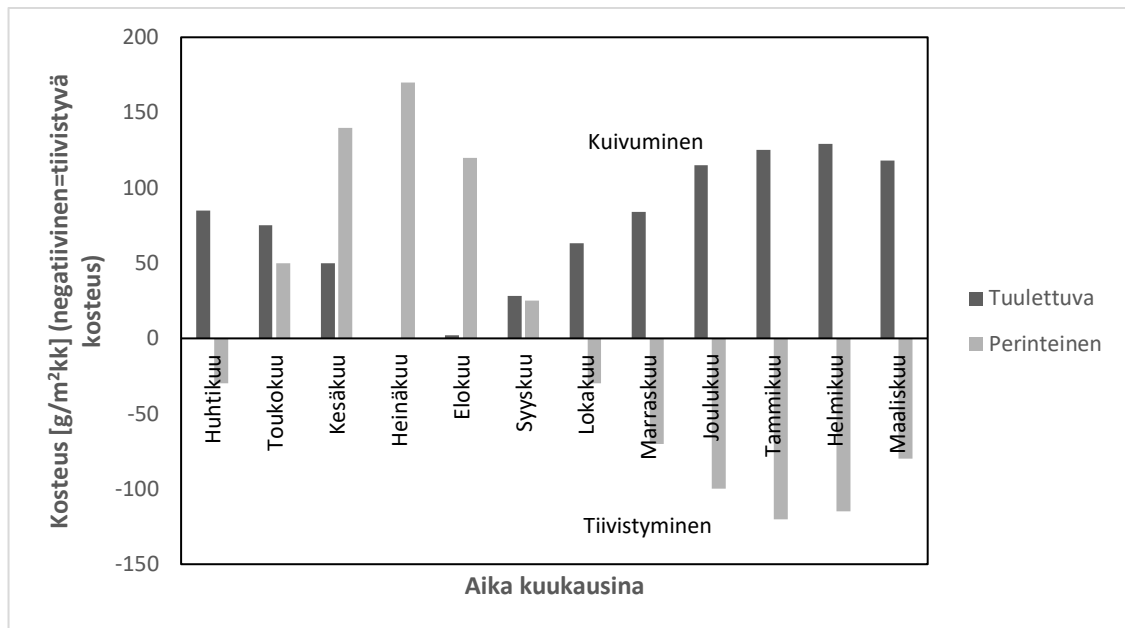
3.2.1 Vesihöyryn siirtyminen rakenteisiin

Sisäilman kosteus kulkeutuu rakenteeseen joko konvektiolla tai diffuusiolla. Diffuusiolla tarkoitetaan ilmiötä, jossa kosteus kulkeutuu vesihöyrynä rakenteen läpi. Yleensä sen suunta on lämpimästä kylmään. Vesihöyryn konvektiossa kaasuseoksessa, esimerkiksi ilmassa oleva vesihöyry siirtyy rakenteeseen kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Kondensoitumisessa vesihöyry tiivistyy vedeksi joko rakenteen pinnalle tai sen sisälle. Vesihöyry tiivistyy aina ilmaa kylmemmälle, kovalle pinnalle, kun vesihöyryn kyllästymispiste eli kastepiste ylittyy. (Siikanen, 1996, s. 70–72)

3.2.2 Sandwich-elementin kosteustekninen toiminta

Betonin kosteustekniset ominaisuudet määräytyvät huokoskokojakautuman, kokonaishuokoisuuden, lämpötilan ja kosteuspitoisuuden mukaan. Betonielementtiin voi päätyä kosteutta ulkoa tai sisältä. Betonissa itsessään on myös valmistuksessa syntynyttä kosteutta, joka on kemiallisesti sitoutumatonta vettä. Muissa kuin sandwich-elementeissä on tuuletus, jonka avulla nämä kosteudenlähteet pääsevät kuivumaan. Sandwich-rakenteessa kuivuminen perustuu ajatukseen, että kosteus ehtii vuoden aikana kuivua rakenteesta. Sandwich-rakenteessa tuuletusta ei joko ole tai se on vähäistä, josta seuraa rakenteen korkea kosteuspitoisuus ja rakenne voi vaurioitua, mikäli sinne kulkeutuu ylimääräistä kosteutta, joka ei ehdi kuivua. Diffuusion kuljettama vesihöyry voi myös tiivistyä sandwich-rakenteen ulkopintaan kylmällä ilmalla. Sandwich-elementtiin

syntyneen vaurion taustalla on usein syynä rakenteen korkea kosteuspiitoisuus. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.8 ja s.31–34) Kuvassa 1 on vertailtu tuulettuvan ja perinteisen eli sandwich-rakenteen diffuusiokosteuden kuivumista eri kuukausina. Kuvasta voidaan huomata, että kylminä vuodenaikoina sandwich-rakenteeseen tiivistyy kosteutta. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s. 36)



Kuva 1. Tuulettuvan ja tuulettumattoman julkisivun kuivumisvertailu. (Mukaihen Rakennustuoteteollisuus, 1998, s. 36)

3.3 Palaminen

Palon syttymiseen tarvitaan lämmönlähde. Se voi olla kipinä, liekki tai korkea lämpötila. Palamisen nopeus ja palon luonne riippuu materiaaleista. Palamisella on kaksi päätyyppiä. Nämä ovat liekki- ja hehkupalaminen. Kaasut ja nesteet palavat vain liekillä, kun taas kiinteät aineet kuten puu tai muovi palaa liekki- tai hehkupalamisena tai niiden yhdistelmänä. Lämpö siirtyy tulipalossa johtumalla, säteilemällä ja kuljettumalla. (Siikanen, 1996, s.83)

Betoninen sandwich-elementti on paloturvallinen rakenne, sillä betoni luokitellaan palamattomaksi aineeksi (Siikanen, 1996, s.83). Vaikka betoni ei itsesään pala, tulee

betonirakenteita suunnitellessa ottaa huomioon Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 määräykset (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999) sekä noudattaa ympäristöministeriön asetusta rakennusten paloturvallisuudesta (Ympäristöministeriön asetus 848/2017). Eristemateriaali määrittelee betonijulkisivun palonkestävyyden. Parhaimman palonkestävyyden antavat lasi- ja vuorivillat. Palokatkot ja paloluokka joudutaan tarkistamaan, jos käytetään muita eristeitä. (Betonikeskus ym. 2007, s. 26)

3.4 Akustiikka

Akustiikalla on kaksi päähaaraa, jotka ovat psykoakustiikka ja fysikaalinen eli tekninen akustiikka. Psykoakustiikka tutkii, miten ihminen kuulee ja miten se vaikuttaa ihmiseen. Tutkimustuloksena saadaan tietoa, mihin akustisen suunnittelijan tulisi työssään pyrkiä. Fysikaalisen akustiikan menetelmien avulla voidaan muokata akustiikka ehdot täyttäväksi. Akustisessa suunnittelussa voidaan tehdä jako hyötyäänien ja haittaäänien välillä. Hyötyääntä on esimerkiksi puhe luentosalissa ja haittaääniä on melu. Akustisessa suunnittelussa pyritään edistämään hyötyäänien kuuluvuutta ja vaimentamaan melua. Akustisessa suunnittelussa on rakennuksesta riippumatta neljä osa-aluetta. Osa-alueet ovat huoneakustiikka, rakennusakustiikka, meluntorjunta ja tärinäeristys. (Siikanen, 1996, s. 135)

3.4.1 Ääneneristävyys vaatimukset

Ympäristöministeriön asetuksessa 796/2017 on annettu nykyiset vaatimukset rakennuksen äänieristykselle. Nämä vaatimukset koskevat rakennuksia, joille on haettu rakennuslupaa 1. tammikuuta 2018 tai myöhemmin. (Ympäristöministeriön asetus 796/2017)

Taulukko 1. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaiset ilma- ja askeläänieristysten vaatimukset (Mukailten Ympäristöministeriön asetusta 796/2017, § 4).

Huonetila	Pienin sallittu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ (dB)	Suurin sallittu askeläänitasoluku $L'_{nT,w}+C_{1,50-2500}$ (dB)
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53
Uloskäytävästä asuin-, majoitus tai potilashuoneeseen	39	63

3.4.2 Sandwich-rakenteen ääneneristävyys

Rakenteen äänieristävyttä mitataan ilmaääneneristys arvolla R . Eristävyys ilmoitetaan desibeleissä. Mitä suurempi luku on, sitä parempi on ääneneristävyys. (Elementtisuunnittelu 2023a.) Rakenteen massa on keskeinen tekijä ilmaääneneristävydessä. Mitä suurempi rakenteen massa on, sitä parempi on sen ilmaääneneristävyys. Tästä syystä massiivisissa betonielementtirakenteissa ääneneristävyys on lähtökohtaisesti hyvä. Jos betonisessa ulkoseinäelementissä on ikkunoita tai ovia, tulee niiden vaikutus huomioida kokonaisääneneristävyyteen. (Tiili-info 2023). Rakenteen tiiveydellä on myös suuri vaikutus ilmaääneneristävyyteen. Pieni rako voi heikentää eristävyttä merkittävästi (Betoni 2023a). Sandwich-elementti on kaksinkertainen rakenne, jonka ilmavälissä on eriste. Teoreettiset laskelmat ja käytännön mittaustulokset osoittavat, että kaksinkertaisessa rakenteessa on massasta riippumatta parempi ilmaääneneristävyys kuin yksinkertaisessa rakenteessa. Sisä- ja ulkokuoren välissä oleva lämmöneriste lisää ääneneristävyttä. Sandwich-elementin äänieristystä pystytään parantamaan paksuntamalla sisä- ja ulkokuorta ja kasvattamalla eristepaksuutta. (Siikanen, 1996, s. 150–151)

4 SANDWICH-ELEMENTISTÄ

4.1 Yleistä

Betoninen sandwich-elementti koostuu ulkokuoresta, lämmöneristeestä ja sisäkuoresta. Ulko- ja sisäkuori sidotaan toisiinsa sideraudoitteilla (ansaat) siten, että ulkokuori ripustetaan sisäkuoren varaan. Sandwich-elementit valmistetaan tehtaissa ja kuljetetaan työmaalle asennettavaksi. Tehtaan tasalaatuiset olosuhteet varmistavat sandwich-elementeille hyvän laadun. Elementteihin voidaan asentaa myös ikkunat jo tehtaalla. Tästä syystä sandwich-elementeillä rakentaminen on nopeaa, koska työmaalle jää vain asennustyö. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.77.) Heti elementtien asennuksen jälkeen vaippa on tiivis ja eristää lämpöä. Tästä syystä sandwich-elementit soveltuvat ympärivuotiseen rakentamiseen. (Betonikeskus, 2007, s.14,30.)

Sandwich-elementti voi olla joko kantava tai ei-kantava. Kantavuus määritellään sisäkuoren paksuuden mukaan. Kantavan elementin sisäkuoren paksuus on tavallisesti 150 mm, kun taas ei kantavalla 80 mm. Tavallisesti betonisen ulkokuoren lujuusluokka on K35, kun käytetään ruostumattomia raudoitteita. Tavallisten raudoitteiden kanssa lujuusluokkana käytetään K45. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.77.) Kuvassa 2 on esitetty sandwich-elementin rakenne, jossa on nähtävillä ulkokuori, eristekerros ja sisäkuori (Kovabetoni 2023).



Kuva 2. Sandwich-elementti (Kovabetoni 2023)

Ulkokuoren betonipinnalle on erilaisia ulkonäkövaihtoehtoja. Ne saadaan aikaan erilaisin menetelmin. Erilaisia värejä saadaan aikaan materiaalivalinnoilla. Pinnan muotoja ja tekstuureja saadaan aikaan muoteilla ja käsittelytavoilla. Tämän lisäksi pinta voidaan maalata mieltymysten mukaan tai pinnoittaa rappauksella. Myös muita materiaaleja voidaan kiinnittää betonin pintaan. Näitä ovat esimerkiksi tiilet, keraamiset laatat tai luonnonkivet. (Betonikeskus, 2007, s.40)

Betonijulkisivuista edullisin on sandwich-rakenne. Kustannusten ennustettavuus on hyvä, koska työmaalla tehtävä työ vähenee ja rakennusaika on lyhyt. Elementtien hankintahintaan vaikuttaa myös tuotantosarjan koko. Tuotantosarjalla tarkoitetaan pintakäsittelyltään yhtenäistä elementtien joukkoa, jonka valmistusprosessissa ei tarvitse tehdä muottityötä tai muutoksia muottikiertoon. Yli 5 elementin tuotantosarja johtaa yleensä taloudellisimpaan ratkaisuun, joten kustannustehokkuutta ajatellen kannattaa suosia samanlaisia ja kokoisia elementtejä. Pieni tuotantosarja, ulkopinnan sisennykset,

elementin suuri koko tai erikoiset aukotukset nostavat kustannuksia. Myös ulkokuoren pintatyyppi vaikuttaa kustannuksiin. (Betonikeskus, 2007, s.30)

4.2 Rakenteellinen toiminta

Sisäkuori on tärkeä osa sandwich-elementtiä, koska se toimii kuorman kantajana, puristettuna ja taivutettuna rakenneosana. Ansaiden ja pistokkaiden tehtävänä on siirtää ulkokuoren omapaino, tuulikuorma ja kuljetuksen aiheuttamat kuormitukset sisäkuorelle. Näin ollen elementin osat pitää suunnitella rakennusteknisesti oikein, jotta yhteistoiminta toteutuu. (Elementtisuunnittelu 2023b)

Ansaisiin kohdistuu jännityksiä ulkokuoren omasta painosta. Jännityksen suuruus ja laatu riippuu ripustuspisteiden määrästä ja sijainnista. Jos ripustus on elementin alapinnassa, niin ulkokuoressa on puristusjännityksiä. Vetojännityksiä syntyy, kun ripustus on ulkokuoren yläreunassa. Tavallisessa ulkokuoressa vetojännitys on alle 5 % betonin vetolujuudesta, joten ulkokuoren halkeiluriski tästä syystä on todella pieni. Vähiten jännityksiä syntyy, kun ripustuksia on tasaisesti ympäri elementtiä. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s. 77–78)

Tuuli aiheuttaa painekuormaa ulkokuorelle, josta se siirtyy ansaiden välityksellä sisäkuorelle. Ulkokuoreen syntyy taivutusmomenttia, joka on korkeintaan 5 % ulkokuoren halkeilumomentista. Ansaisiin kohdistuu puristusjännitystä, joka on alle 10 % myötölujuudesta. Tuulen aiheuttamat rasitukset eivät siten ole kovin merkittäviä rakenteen kestävyyskannalta. Lisäksi lämmöneriste kantaa osan painekuormasta. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s. 78)

4.2.1 Kosteus- ja lämpötilarasitukset

Elementin kosteusrasitukset muodostuvat ympäristön kosteuden vaihtelusta aiheutuvista muodonmuutoksista, sekä valmistuksessa käytetyn vapaan veden haihtuessa, aiheuttaen kutistumista. Pysyvä lyhenemä aiheutuu kutistumasta, joka syntyy rakenteeseen vuosien kuluessa. Kun julkisivu altistuu suoralle auringonpaisteelle, se alkaa kuivua ja kosteudenmuutokset ovat silloin suurimmillaan. Tällöin sisäkuori pysyy lähes

kutistumattomana ja ulkokuori alkaa kuivumaan ja kutistumaan. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.78–79)

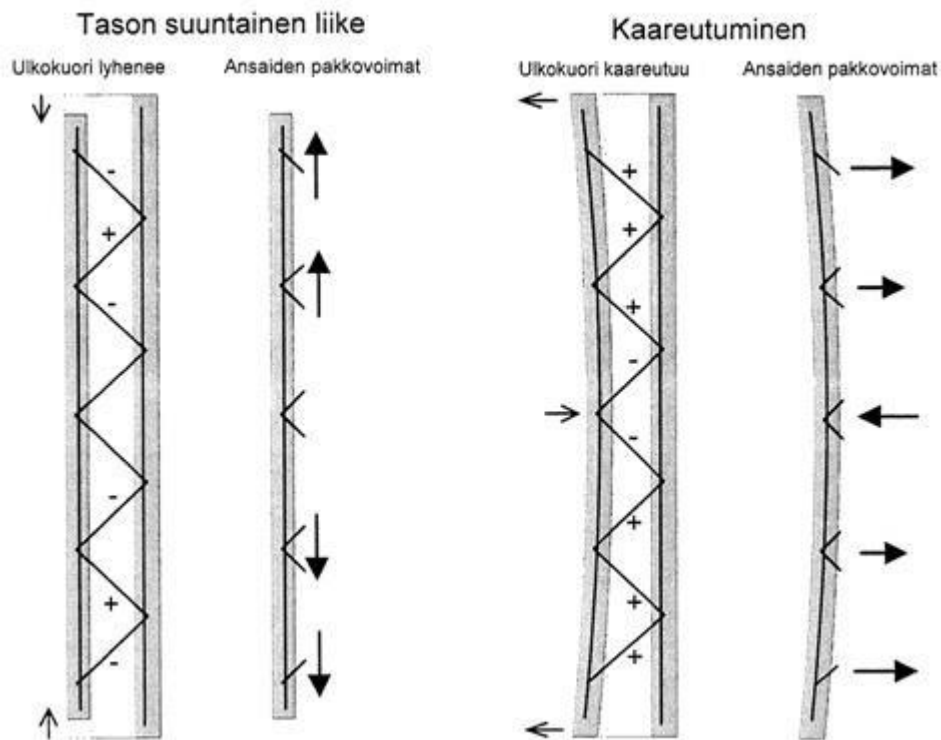
Kun tunnetaan betonin ominaisuudet ja ympäristöolot, voidaan kutistuman suuruus arvioida. Betonin valmistuksessa käytetty vesi- ja sementtimäärä vaikuttavat materiaaliominaisuuksista eniten kosteusmuodonmuutoksiin. Ilman suhteellinen kosteus ja rakenteen lämpötila vaikuttavat ympäristöolosuhteista eniten. Noin kahdessa vuodessa ulkokuoren kosteuspitoisuus vakiintuu ulkoilman suhteellista kosteutta vastaavalle tasolle ja vaihtelee ulkoilman kosteuden mukaan. Talvella ulkokuori on kosteimmillaan. Ympäristön lämpötilan kohoamisen, auringon säteilyn ja suhteellisen kosteuden alenemisen vaikutuksesta ulkokuori kuivuu keväisin ja kesäisin. Sisäkuoren kosteuspitoisuus vaihtelee ulkokuoren tapaan, mutta vaihtelut ovat pienempiä. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s. 79–80)

Kutistumagradietti eli muodonmuutosero syntyy ulko- ja sisäpinnan välille, kun ulkokuori kuivuu epätasaisesti. Aluksi ulkokuoren sisäpinta on ulkopintaa kosteampi, koska kuivuminen alkaa ulkopinnasta. Kutistumagradietin suuruuteen vaikuttaa betonin kuivumiskutistuminen sekä eristeen kuivuminen ulkoilmaan. Ulkokuori voi kuivua merkittävästi eristeen kautta, jos elementin valmistuksen ja asennuksen ajankohdat ovat etäällä toisistaan. Eristeen uritus ja tuuletusrako vaikuttavat myös samaan suuntaan. Kutistumagradietti vähenee, jos ulkokuori kuivuu eristeen kautta. Tällöin kuori kuivuu tasaisemmin molemmista pinnoista. Elementin reunoihin ja aukkojen pieliin syntyy myös kutistumaeroja, koska reunapinta kuivuu sisäosia nopeammin. Tällöin syntyy vetojännityksiä, koska reuna-alue pyrkii kutistumaan sisäosaa enemmän. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.80)

Vuorokautisen lämpötilavaihtelun vuoksi lämpötilarasitukset vaihtelevat paljon. Alimman ja ylimmän lämpötilan ero voi olla jopa 20 astetta. Vuositasolla lämpötila vaihtelee välillä -30–50°C. Kutistumagradiettiin verrattuna lämpötilaeron aiheuttama muodonmuutosero eli lämpötilagradietti on pieni. Yhdessä kosteus- ja lämpötilamuodonmuutokset aiheuttavat ulkokuoressa suuria rasituksia ulkokuorelle ja ansaille. Jo normaaliolosuhteissa rasitukset voivat olla niin suuria, että ulkokuori halkeilee ja ansaiden jännitykset yltyvät materiaalin myötörajoille. Tästä syystä

sandwich-elementtiin vaikuttavia kosteus- ja lämpötilarasiuksia tulee tarkastella yhdessä. Näin saadaan kokonaiskuva julkisivuun vaikuttavista rasituksista. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.78 ja s. 81).

Ulkokuoren kaareutuminen aiheutuu epätasaisesta kutistumisesta ja pintojen lämpötilaerosta. Ulkopinta kutistuu sisäpintaa enemmän ja tästä seuraa ulkokuoren kaareutuminen ulospäin. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.82–83.) Kuvassa 3 esitetään lämpötilan ja kosteuden muutoksista aiheutuvat ulkokuoren liikkeet.



Kuva 3. Rasituksista aiheutuvat ulkokuoren liikkeet. (Elementtisuunnittelu 2023b)

4.2.2 Pakkovoimat

Ansaat betonikuorien välillä pyrkivät estämään kosteuden ja lämpötilan aiheuttamia muodonmuutoksia. Tästä syystä rakenteeseen syntyy pakkovoimia. Rakenteen jännitykset riippuvat rakenteen jäykkyydestä ja tuennasta pakkorasitustapauksessa (lämpötila, kutistuma, tukien siirtymä jne.). Muodonmuutoskuormituksesta aiheutuu jännityksiä ainoastaan staattisesti määräämättömään rakenteeseen, koska rakenne ei voi siirtyä vapaasti. Tässä tapauksessa rakenteen jännitykset ovat sitä suuremmat, mitä

suurempi rakenteen jäykkyys on. Jäykkyys voi pienentyä halkeilun seurauksena eli betonirakenteessa jäykkyys ei ole vakio. Rakenne halkeilee ja jäykkyys pienenee, jos muodonmuutoksista aiheutuva jännitys saavuttaa rakenteen vetolujuuden. Myös jännitykset pienenevät jäykkyyden pienenemisen seurauksesta. Lopulta rakenteen jännitykset vastaavat sen jäykkyyttä eli saavutetaan tasapainotila. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.83–84)

Sandwich-elementin rakenne on mitoitettu ja suunniteltu kestämään ulkoiset kuormat ilman halkeilua, joten ulkokuoren pakkovoimat ovat määrääviä rakenteen halkeilun kannalta. Ansaiden jäykkyys on pieni kuoren aksiaaliseen jäykkyyteen verrattuna, joten ulkokuoren tasaisesta pituuden muutoksesta syntyvät rasitukset ovat pieniä. Toisin sanoen kuoreen ei pääse syntymään halkeaman aiheuttavia vetojännityksiä, koska ansaat joustavat niin paljon. Sen sijaan kutistumagradienista aiheutuvat taivutusjännitykset ovat merkittäviä. Ansaat rajoittavat tehokkaasti ulkokuoren kaareutumista, jolloin myös tästä aiheutuvat taivutusrasitukset ovat suuria. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.84)

4.2.3 Elementin muoto ja koko

Mitä suurempi elementti on, sitä suurempia ovat kutistumasta ja lämpötilan muutoksesta johtuvat ulkokuoren pituuden muutokset ja kaareutuma. Yli kuusi metriä pitkiä elementtejä on syytä välttää halkeiluriskin vuoksi, varsinkin jos elementissä on aukkoja. Aukkojen nurkkiin syntyy todennäköisesti näkyviä halkeamia. Kapeissa ikkunoissa ja ovien pielissä voidaan käyttää ns. valesaumoja, uritusta tai muuta vastaavaa halkeilua säännölliseksi muuttavaa keinoa. Tämän avulla halkeilua voidaan hillitä aukkojen nurkissa. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.87)

4.3 Raudoitus

Ansaraudoitus varmistaa betonikuorien välisen yhteistoiminnan sandwich-elementissä. Lisäksi betoniraudoitusta voidaan tarvita rakenteellisena raudoituksena sisäkuoressa, joka kantaa rakennuksen pystykuormia ja jäykistää rakennetta. Ulkokuoren raudoitustarve on vähäinen. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.84)

Ansaiden jäykkyydestä riippuu niiden toimivuus julkisivun muodonmuutoksien kanssa. Tyypillisimmät sideraudoitetyypit ovat diagonaaliansas, tikasansas ja SPA-ansas. Diagonaaliansaalla on suurin ulkokuoren tason suuntainen jäykkyys elementin pystysuunnassa. Tason suuntainen jäykkyys on vähäinen Tikas- ja SPA-ansailta. Tästä syystä ainoastaan diagonaaliansailla kuoreen syntyy pakkovoimia tasonsuuntaisista liikkeistä, mutta ne eivät ole merkittäviä alle 3000 mm:n korkuisella elementillä. Ulkokuoren kaareutumista estää tehokkaasti ansaiden suuri jäykkyys tasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Tämä aiheuttaa myös suuret pakkovoimat rakenteeseen. Näkyvien halkeamien syntyyn ansaiden jäykkyydellä ei kuitenkaan näytä olevan merkitystä, koska laskennallisessa tarkastelussa kaikilla ansastyypeillä näkyviä halkeamia syntyi samassa vaiheessa. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.84–85)

Tutkimukset ovat osoittaneet, että kaikki kolme ansastyypistä soveltuvat sandwich-elementteihin, koska ansastyypillä ei ole väliä halkeilun kannalta. Sen sijaan ansasjako ei saa olla liian harva, koska muuten taivutusrasitukset kuoren leveysuunnassa voivat kasvaa liian suureksi. Suositeltu yläraja ansasjaolle on 1200 mm. Ruostumattomasta teräksestä valmistettuja raudoitteita tulee käyttää aina villatilan läpi kulkevissa raudoitteissa. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.85)

Ulkokuoren raudoitustarve on vähäinen, koska sen tehtävänä on kantaa kuoren oma paino ja välittää tuulikuormat sisäkuorelle. Lämpötilan ja kosteuden muutoksista aiheutuvat rasitukset ovat ulkokuoren suurimmat rasitukset. Verkkoraudoitusta on syytä käyttää ulkokuoressa elementin kuljetuksen ja onnettomuustilanteiden varalta. Verkkoraudoitus antaa rakenteelle sitkeyttä ja estää mahdollisten kappaleiden irtoamisen. Tämä raudoitus ei kuitenkaan merkittävästi estä ulkokuoreen syntyvää halkeilua, koska sen määrä on pieni ja se sijaitsee neutraaliakselilla. Elementin ulkokuoren reunoihin syntyy halkeamia, koska reunat kutistuvat muuta rakennetta nopeammin. Pieliraudoituksilla voidaan rajoittaa kyseisten halkeamien leveyden kasvua. (Rakennustuoteteollisuus, 1998, s.85–86)

4.4 Eristäminen ja kylmäsiljat

Sandwich-elementin lämmöneristeenä käytetään yleensä uritettua mineraalivillaa, mutta myös XPS-, EPS- tai PIR ja PUR-eristeitä voidaan käyttää. (Elementtisuunnittelu 2023b)

Vuosikymmenten aikana lämmöneristekerroksen paksuus on kasvanut koventuneiden energitehokkuusmääräysten myötä. Vuonna 2018 on tullut voimaan uusin Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energitehokkuudesta (YM 1010/2017). Asetuksessa on annettu uusi vaatimus lämpimään tilaan rajoittuvan ulkoseinän U-arvolle ($U \leq 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$). Matalaenergiataloissa ulkoseinien U-arvo saa olla korkeintaan 85 % arvosta $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ eli $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. Passiivitaloille U-arvo vaatimuksia ei ole esitetty, vaan passiivitaloille vaatimuksena on annettu suurin sallittu lämmitysenergiantarve neliometriä kohden vuodessa. Passiivitalon U-arvoksi on vakiintunut $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ useiden energiakulutustarkastelujen ja rakennettujen koekohteiden mukaan. (Elementtisuunnittelu 2023c)

Taulukossa 2 on ei-kantavan (sisäkuori 80 mm, ulkokuori 70 mm) sandwich-elementin rakenteet eri eristeillä, jotka täyttävät YM1010/2017 vertailuarvot sekä matalaenergiatalon ja passiivitalon vaatimukset. Lisäksi taulukossa on vuoden 2007 määräysten vertailuarvot. Laskennassa on käytetty liitteen 1 olettamuksia. (Elementtisuunnittelu 2023c)

Taulukko 2. Esimerkkirakenteita, jotka täyttävät U-arvovaatimukset. (Mukaillen Elementtisuunnittelu 2023c)

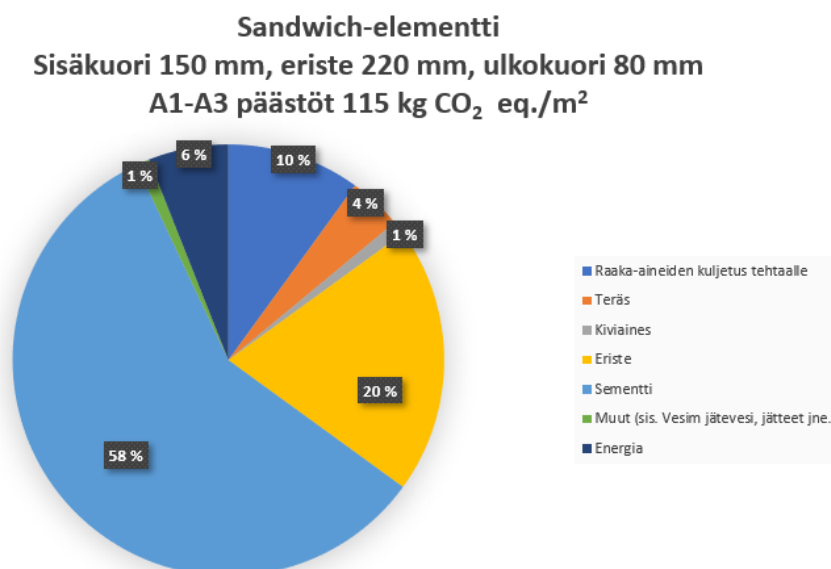
Eriste	λ [W/mK]	Ansaat	2007	2010	Matalaenergia	Passiivitalo
			0,24 W/(m ² K)	0,17 W/(m ² K)	0,14 W/(m ² K)	0,09 W/(m ² K)
Vaadittavat eristepaksuudet [mm]						
Mineraalivilla	0,037	Diag. ansaat k600	160	230	280	430
EPS	0,036	Diag. ansaat k600	150	220	260	410
		Pistokas 4 kpl/m ²	150	210	260	410
	0,031	Diag. ansaat k600	130	190	230	360
		Pistokas 4 kpl/m ²	130	190	230	350
XPS	0,037	Diag. ansaat k600	160	220	270	420
		Pistokas 4 kpl/m ²	150	220	270	420
PUR/PIR	0,026	Diag. ansaat k600	110	160	190	300
		Pistokas 4 kpl/m ²	110	160	190	300
	0,023	Diag. ansaat k600	100	140	170	270
		Pistokas 4 kpl/m ²	100	140	170	270

Kylmäsilalla tarkoitetaan ilmiötä, jossa lämpö virtaa ulos jonkun osan kautta enemmän kuin sen ympärillä olevan rakennusosan kautta. Sandwich-elementissä pistemäisiä kylmäsiltoja aiheuttaa ulkokuoren kiinnitysjärjestelmä eli ansaat, jotka kulkevat eristekerroksen lävitse. Tarpeettomia kylmäsiltoja tulee välttää. Mitä vähemmän ja mitä pienempiä lämmöneristekerroksen läpi menevät kiinnitysosat ovat, sitä parempi rakenne on lämpötekniisesti. Elementtiin voi syntyä myös viivamaisia kylmäsiltoja. Niitä voi esiintyä rakenteiden liittyisiin sekä geometrisesti rakennuksen ulkonurkkiin. Kastepisteen esiintyminen eristekerroksen läpi menevän kiinnikkeen pinnalla on tavallinen ilmiö, joten kylmäsiltoja voivat lisätä julkisivurakenteeseen kerääntyvää kosteutta. Eristepaksuuden kasvattaminen saattaa lisätä sideraudoitteen määrää, mikä taas kasvattaa kylmäsiltojen määrää ja näin ollen U-arvoa. EPS, XPS, ja PUR/PIR eristeillä seinän paksuus ei juuri kasva nykyisistä sandwich-elementeistä. (Elementtisuunnittelu 2023c)

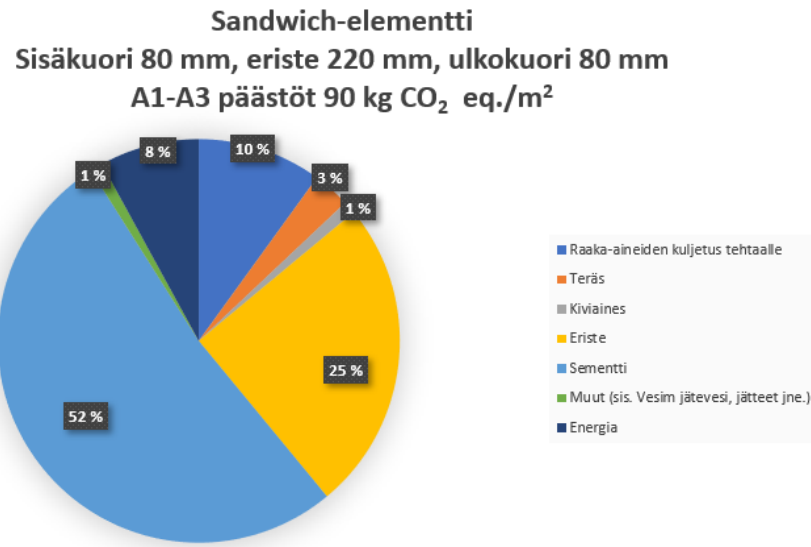
4.5 Ympäristövaikutukset

Valmista tuotekiloa kohden ei-kantavan sandwich-julkisivun tekemiseen kuluu energiaa noin 2,8 MJ, uusiutumattomia raaka-aineita noin 1000 g ja aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä noin 250 g. Massiivisuutensa ansiosta betoninen rakenne säästää energiaa käytön aikana kevyisiin vaihtoehtoihin verrattuna. Parempi U-arvo laskennalliseen arvoon verrattuna saadaan aikaan tuuletusraolla ja massiivisella ulkokuorella. Betonijulkisivusta saadaan erittäin tiivis ja mittausten mukaan ilmavuotoluku on pieni. Tästä syystä voidaan säästää jopa 25 % lämmitysenergiaa kevyisiin rakennevaihtoehtoihin verrattuna. Kun julkisivun käyttöikä saavutetaan tai rakenne puretaan, betonisandwich-elementin eri osat voidaan kierrättää, mikäli ne ovat hyvässä kunnossa. Betoni voidaan käyttää esimerkiksi murskattuna tierakentamiseen, villaeriste revittynä puhallusvillaksi ja teräs erotellaan uuden betoniteräksen raaka-aineeksi. (Betonikeskus, 2007, s.28)

Kuvissa 4 ja 5 on kantavan ja ei-kantava sandwich-elementin valmistuksen hiilijalanjäljen muodostuminen ja hiilidioksidipäästöt, kun eristepaksuus on 220 mm. Kuvioista käy ilmi, että yli puolet hiilijalanjäljestä muodostuu sementistä. (Betoni 2023b)



Kuva 4. Kantavan sandwich-elementin hiilijalanjäljen muodostuminen ja päästöt neliötä kohden. (Mukaillen Betoni 2023b)



Kuva 5. Ei-kantavan sandwich-elementin hiilijalanjäljen muodostuminen ja päästöt neliötä kohden. (Mukaillen Betoni 2023b)

4.6 Käyttöikä ja kunnossapito

Yleensä betonijulkisivu suunnitellaan 50–100 vuoden käyttöikään, mutta myös 200 vuoden käyttöikä voidaan käyttää. Betonin ja teräksen vaatimukset ja julkisivun huollon tarve kasvaa mitä pidempi käyttöikä valitaan. Käyttöiän ollessa yli 50 vuotta ulkokuoressa yleensä käytetään ruostumatonta raudoitetta. (Betonikeskus, 2007, s.29)

Jotta betonijulkisivu pysyy hyvässä kunnossa, sitä on huollettava ja tarkastettava säännöllisesti. Tarkastettavia asioita betonijulkisivujen kohdalla ovat mm. ikkunoiden kunto, pellitykset, räystäiden vedenpoisto, saumojen kunto, pinnoitteen kunto sekä parvekkeiden kunto, kallistukset ja vedenpoisto. Suojaavilla pinnoitteilla, impregnointiaineilla ja antigraffiti suoja-aineilla voidaan estää julkisivun likaantumista ja töhertelyn vaikutuksia. Erilaisilla pinnoitteilla julkisivun pinnasta voidaan saada orgaanisten aineiden osalta lähes itsepuhdistuvan. (Betonikeskus, 2007, s.29 ja s. 40)

5 BETONIELEMENTIN ASENNUS

5.1 Kuljetus

Elementtitehtailta betonielementit kuljetetaan työmaalle ajoneuvoilla. Ajoneuvosta, kuormasta ja sen sidonnasta kuljetuksen aikana vastaa kuljettaja. Kuljetuskaluston valintaan vaikuttaa elementtien muoto ja koko, painopiste ja paino. Elementit pitää suojata kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi niin, ettei kosteutta pääse sandwichrakenteen eristekerrokseen. Elementit sidotaan kuormalavalle niin, että ne pysyvät ehjinä ja paikoillaan kuljetuksen ajan. Myös kuorman purun yhteydessä pitää huolehtia sidonnasta. Jos kuorman purku vaikuttaa kuormalavalla olevien elementtien kiinnitykseen, voidaan käyttää välisidontaa. Tämän lisäksi seinäelementtien sidontaa ei saa avata, ennen kuin nostoraksit ovat kiinnitetty ja ketjut kiristetty. Elementtisuunnittelijan, elementtien valmistajan, kuljetusyrityksen ja rakennusyrityksen yhteistyötä vaaditaan, että kuljetus onnistuu turvallisesti. (Elementtisuunnittelu 2023d)

5.2 Nostaminen

Betonisen elementin nostamiseen käytetään yleensä joko torninosturia tai ajoneuvonosturia. Nostokaluston valintaan vaikuttaa elementin koko, nostoetäisyydet ja -korkeudet, eri elementtityyppien suurimmat nostopainot, mahdolliset esteet nostolinjalla sekä maapohjan kantavuus ja ajoteiden kunto. Kun elementin nostossa käytetään useampaa kuin yhtä nosturia tai nostotyö on vaikea, nostotyösuunnitelma on laadittava. Nostotyö on vaikea, jos elementit ovat erityisen painavia tai isoja tai olosuhteet ovat huonot. (Betonikeskus ym., 2007, s.27 ja s. 32)

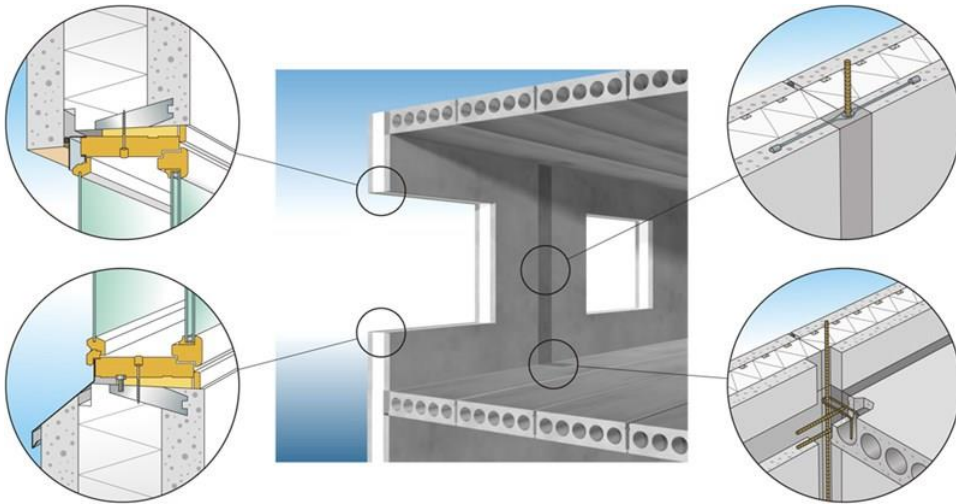
Elementtejä nostetaan nostolenkeistä tai ennalta määrätyistä nostopisteistä. Nostolenkkeihin tai -pisteisiin kiinnitetään nosturin nostoapuväline. Näitä ovat esimerkiksi nostoraksi, -koukku, -saksi ja -puomi. Tämän lisäksi seinäelementin siirrossa voidaan käyttää ohjausköyttä, jonka avulla elementtiä voidaan ohjata ilmassa. Noston aikana elementin alla liikkuminen on kiellettyä ja nostot tehdään vapaan alueen kautta. Ilmassa olevan elementin heiluminen pitää estää, ettei se heiluessaan osu rakenteisiin tai

aiheuta muita vaaratilanteita. Seinäelementin lopullinen ohjaus asennuspalojen päälle tapahtuu asennuskankien avulla. Kun elementti on paikoillaan ja tuettu, voidaan nostoraksi irrottaa. (Betonikeskus ym., 2007, s. 31, s. 37 ja s. 40)

5.3 Asennus ja liitokset

Kun elementti on paikoillaan asennuspalojen päällä, pitää se tukea väliaikaisesti ennen kuin se on liitetty ja saumattu rakenteeseen. Vähintään 20 mm korkeita asennuspaloja käytetään, jotta seinäelementin jälkivalu laattaan onnistuu. Jälkivalulla seinäelementti voidaan liittää laattaan. Tämän lisäksi asennuspaloilla voidaan säätää elementti vaakasuoraan. Asennusaikainen stabiliteetti varmistetaan väliaikaisilla elementtituilla. Vähintään kahta elementtitukea pitää käyttää, kun elementin leveys on yli 1,5 m. Elementtituen yläpää kiinnitetään seinäelementin painopisteen yläpuolelle. Mikäli tuen kiinnityspistettä ei saada painopisteen yläpuolelle korkeissa seinäelementeissä, niin elementti on tuettava muuten riittävästi. Elementin pystysuoruutta voidaan vielä säätää elementtitukien säädettävien kierteiden avulla. (Betonikeskus ym., 2007, s. 42–43)

Elementin lopullinen kiinnittäminen muihin rakenteisiin tapahtuu ensisijaisesti käytännössä kokeiltujen ja testattujen vakioratkaisujen avulla. Nämä liitoksien vakioratkaisut ovat tyypillisesti jälkivalettavia saumoja, joissa teräsosat varmistavat liitoksen toimintaa. Vaikka liitokset ovat vakioratkaisuja, tulee elementtien liitokset suunnitella tapauskohtaisesti käytetyn materiaalin ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen mukaan. Näitä ominaisuuksia ovat mm. käyttöikä, palonkestävyys, lämpöliikkeet ja toteutettavuus. Sandwich-elementit kiinnitetään toisiinsa pääsääntöisesti juottamalla sisäkuorien saumat betonilla. (Elementtisuunnittelu 2023e.) Näissä juotoksissa käytetään erilaisia teräsosia vahvistamaan liitosta. Niitä ovat muun muassa erilaiset teräsankkurit, vaijerilenkit ja kierretangot. (Elementtisuunnittelu 2023f.) Kuvassa 6 on esillä sandwich-elementin eri liitosdetaljeja. Vasemmalla näkyy ikkunan liittyminen elementtiin ja oikealla kahden sandwich-elementin liittyminen toisiinsa sekä sandwich-elementti-ontelolaatta liitos.



Kuva 6. Sandwich-elementin liitosdetaljeja. (Elementtisuunnittelu 2023e)

Kahden seinäelementin väliin jätetään pieni rako, johon tulee sauma. Sauman leveys riippuu elementin leveydestä. Yleensä sauman leveys on 15–20 mm, mutta myös 10 mm saumoja voidaan käyttää tapauskohtaisesti pienemmissä elementeissä. Yli 30 mm saumaa tulee välttää, koska riskinä on reunan lohkeaminen ja saumamassan irtoaminen. Julkisivun saumat pitää tiivistää saumausmassalla, jotta saumasta saadaan sadevesi- ja ilmatiivis. Perinteisesti käytetään elastista saumausmassaa, koska se myös parantaa rakenteen ääneneristävyyttä. Saumamassaan kohdistuu paljon mekaanista ja ilmastosta aiheutuvaa rasitusta. Mekaanista rasitusta syntyy betonin kutistumasta ja lämpöliikkeiden seurauksesta. Ilmastosta aiheutuvat rasitukset ovat auringon UV-säteily, lämpötila ja vesi ja kosteus. Sauman tuuletus varmistetaan tuuletusputkien tai –koteloiden avulla. Nykytiedon mukaan tuuletuskoteloiden tuuletusteho on moninkertainen putkeen verrattuna, joten koteloiden käyttöä suositellaan. (Elementtisuunnittelu 2023e)

5.4 Työturvallisuus

Betonielementtien asentamisessa työturvallisuus on tärkeässä roolissa. Betonielementit ovat painavia, isokokoisia ja ne kuljetetaan asennettavaksi ilman kautta nosturilla. Asennustyössä on paljon vaaranpaikkoja, mikäli työturvallisuus ei ole kunnossa.

Rakennustyön turvallisuusvaatimukset ovat määritelty valtioneuvoston asetuksessa 205/2009. Asetuksen luvussa 8 on annettu määräyksiä elementtirakentamisen

työturvallisuuteen. Siinä myös määritellään, että elementtirakentamiseen liittyvät suunnitelmat pitää olla kirjallisena työmaalla ja päätoteuttaja on tästä vastuussa. (Valtioneuvoston asetus 205/2009, § 36)

Elementtien asennussuunnitelmassa arvioidaan työhön liittyviä vaaroja. Elementtien nostot, korkealla työskentely, telineillä tai työtasoilla työskentely, työmaalla syntyvät kuilut ja aukot sekä tulityöt ovat suurimmat vaaratekijät elementtiasennuksessa. (Betonikeskus ym., 2007, s.16–17)

6 YHTEENVETO

Tämän työn aiheena oli betonisandwich-elementtien käyttö rakentamisessa. Työn tavoitteena oli käsitellä sandwich-elementtien rakennetta, ominaisuuksia ja hyötyjä. Työssä tarkasteltiin myös elementtirakentamisen historiaa ja rakennusfysiikan perusteita.

Sandwich-elementti koostuu betonisesta ulko- ja sisäkuoresta ja niiden välissä olevasta lämmöneristeestä. Kuoret liitetään toisiinsa ansaiden avulla. Sandwich-elementti voi olla joko kantava tai ei-kantava rakenne. Kantavuus riippuu sisäkuoren paksuudesta. Sandwich-elementti on todella yleinen ja käytetty julkisivurakenne.

Suurimmat haasteet sandwich-elementeissä ovat ympäristöystävällisyys, kosteuden hallinta ja tuuletus sekä kosteus- ja lämpötilarasitukset. Ympäristöystävällisyyden haasteet liittyvät koko ajan tiukentuviin rakennusmääräyksiin betonin hiilijalanjäljen ja elementin eristysvaatimuksien osalta. Kosteuden hallinta ja tuuletuksen vähäisyys voi aiheuttaa kosteusongelmia, jos rakenteeseen pääsee ylimääräistä kosteutta elementtien kuljetuksen tai käytön aikana. Tästä syystä rakenne pitää saada tiiviiksi ja huolehtia ettei ylimääräistä kosteutta pääse rakenteeseen. Sandwich-elementin sisä- ja ulkokuoreen kohdistuu kosteus- ja lämpötilarasituksia, jotka aiheuttavat pakkovoimia ja jännityksiä rakenteeseen. Tästä voi aiheutua rakenteen halkeilua ja kaareutumista. Kuitenkin halkeilua ja kaareutumista ehkäistään raudoituksen avulla.

Betonisessa sandwich-rakenteessa on paljon hyviä ominaisuuksia ja hyötyjä. Rakenne soveltuu moneen eri käyttötarkoitukseen, kuten asuin-, toimisto- ja teollisuusrakennuksiin. Se on kestävä ja sillä on pitkä käyttöikä. Betonilla on hyvä palonkestävyys, joten se on turvallinen. Lisäksi rakenteessa on hyvä ääneneristyskyky. Paksun lämmöneristekerroksen avulla saavutetaan energiatehokas rakenne. Sandwich-elementeillä rakentaminen on nopeaa, koska elementit kuljetetaan työmaalle asennusvalmiina. Tämän lisäksi vaipasta saadaan nopeasti tiivis ja lämpöä eristävä. Se soveltuu ympärivuotiseen rakentamiseen. Betonijulkisivuista sandwich-rakenne on edullisin. Julkisivun pintamateriaalivaihtoehtoja on useita, joten se soveltuu moneen eri arkkitehtoniseen ratkaisuun.

LÄHDELUETTELO

- Betoni, 2023a. Ääneneristys [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/ominaisuudet-ja-edut/aaneneristys/> [viitattu 16.9.2023].
- Betoni, 2023b. Elementit [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/ymparistoselosteet/sandwich-elementit/> [viitattu 23.9.2023].
- Betonikeskus, Koskenvesa, A., Immonen, S., & Heiska, T. (2007). *Betonielementtien turvallinen* asennus. Suomen betonitieto, 48 s. ISBN 978-952-5075-87-8
- Elementtisuunnittelu, 2020a. Elementtirakentamisen historia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia> [viitattu 12.9.2023].
- Elementtisuunnittelu, 2020b. Valmisosarakentaminen [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen> [viitattu 12.9.2023].
- Elementtisuunnittelu, 2023a. Äänieristys teoria [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/aanieristys/teoria> [viitattu 16.9.2023].
- Elementtisuunnittelu, 2023b. Sandwich-julkisivut [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/sandwich-julkisivut> [viitattu 12.9.2023].
- Elementtisuunnittelu, 2023c. Lämpö- ja kosteustekniikka [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/julkisivut/lampo-ja-kosteustekniikka> [viitattu 23.9.2023].
- Elementtisuunnittelu, 2023d. Elementtien kuljetus [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/toimitus/elementtien-kuljetus> [viitattu 31.10.2023].
- Elementtisuunnittelu, 2023e. Liitokset ja saumat [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/julkisivut/liitokset-ja-saumat> [viitattu 5.11.2023].
- Elementtisuunnittelu, 2023f. Seinäliitokset [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/seinaliitokset> [viitattu 5.11.2023].
- Hytönen, Y., & Seppänen, M. (2009). Tehdään elementeistä: Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. SBK-säätiö, 332 s. ISBN 978-952-92-5772-0
- Kovabetoni, 2023. Seinät [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://kovabetoni.fi/tuotteet/seinat/> [viitattu 14.9.2023].

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. Annettu Helsingissä 5.2.1999

Ormiskangas, P. (2009). *Betonisandwich-elementin kosteustekninen toiminta paksuilla eristeillä* (Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto). Haettu osoitteesta <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201506181433>

Puuinfo, 2021. Puuta ja betonia yhdistävä hybridiseinäelementti edistää vähähiilisempää rakentamista. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2021/05/22/puuta-ja-betonia-yhdistava-hybridiseinaelementti-edistaa-vahahiilisempaa-rakentamista/> [viitattu 13.9.2023].

Rakennustuoteteollisuus & Rakennustuoteteollisuus RTT ry. (1998). Uudet betonijulkisivurakenteet. Suomen betonitieto, 171 s, ISBN 952-5075-13-3

Siikanen, U. (1996). *Rakennusfysiikka: Perusteet ja sovellukset*. Rakennustieto, 219 s, ISBN 951-682-340-8

Suomen betonitieto (2007). Betonijulkisivut. Betonikeskus ry, 96 s. ISBN 978-952-5075-91-5

Tiili-info, 2023. Ääneneristys [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.tiili-info.fi/maaraykset-ja-ohjeet/aaneneristys/> [viitattu 16.9.2023].

Valtioneuvoston asetus, 205/2009. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Annettu 26.3.2009. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090205>

Ympäristöministeriön asetus, 796/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Annettu Helsingissä 24.11.2017. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>

Ympäristöministeriön asetus, 848/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Annettu Helsingissä 28.11.2017. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>

Liite 1. Laskennassa käytetyt olettamukset.

Sisä- ja ulkokuoren (80 + 70 mm) betonin lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoksi valittiin standardin SFS-EN ISO 10456:2008 mukaan 1,65 W/(mK).

Tuuletusurat on otettu laskennassa huomioon vain mineraalivillaeristeisissä seinissä, koska tutkimuksen mukaan EPS-, XPS- ja PUR/PIR- eristeisissä rakenteissa ei tuuletusuritusta tarvita (Ormiskangas 2009).

Tuuletusurallinen rakenne on lievästi tuulettuva, joten rakenteen ulkokuori otetaan normaalisti U-arvon laskennassa huomioon ja ulkopinnan pintavastuksena käytetään arvoa 0,04 m²K/W. Sisäpinnan pintavastus on puolestaan 0,13 m²K/W.

Mineraalivillaeristeen tuuletusurina käytettiin 30 mm leveää ja 20 mm paksua uritusta, jotka sijaitsevat 200 mm:n jaolla eristeen ulkopinnassa. Rakenne oletettiin lievästi tuulettuvaksi ja tuuletusuran ilman lämmönvastuksena käytettiin arvoa 0,085 m²K/W, joka on puolet tuulettumattoman ilmvälin lämmönvastuksesta (Hakkarainen & Vinha 2010).

Kokonaislämmönvastuksen laskenta suoritettiin standardin SFS-EN ISO 6946:2008 mukaisella yläraja-alaraja -menetelmällä.

Ulkokuoren ja sisäkuoren välisinä sidosraudoitteina käytettiin ruostumattomasta teräksestä valmistettuja halkaisijaltaan 5 mm paksuja diagonaaliansaita, jotka sijaitsevat 600 mm:n jaolla ja vaihtoehtoisesti pistokkaita 4 kpl/m². Ansaiden diagonaalien määrä on noin 6 kpl/m² ja niiden vaikutus otettiin huomioon käyttämällä ansaiden pistemäisenä lisäkonduktanssina arvoa 0,0035 W/K.