



Vaakasuuntainen koolausratkaisu

Tuuletusvälin toiminta

Jani Karhumaa

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2022

Insinööri AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Karhumaa, Jani

Vaakasuuntainen koolausratkaisu. Tuuletusvälintoiminta

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 45 sivua

Tekniikan ala. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön aihe muodostui Elani-Rakennus Oy:n ehdotuksesta toteuttaa tutkimuksellinen katselmus heidän kehittämälleen koolausratkaisulle. Tavoitteena oli luoda tuotteelle kokoava aineisto, joka vahvistaa sen varmuutta markkinoilla. Koolausratkaisulle ei ole aikaisemmin tehty laskennallista tarkastelua.

Opinnäytetyössä haettiin koolausratkaisulle optimikoko tutkimalla tuotteen kantavuutta laskentaperustalla ja tuulettavuuden toteutumaa alan kirjallisuutta hyödyntäen. Laskentaperusta pohjautuu standardiin SF-EN 1995-1-1 sekä RIL:n ja Rakennustiedon kirjallisuuteen. Tuotteen tuuletuksen muodostavien mittojen optimointi tehtiin varmistamalla vaatimusten täyttyminen ja tekemällä tuotevertailua vastaavanlaisten tuotteiden kanssa. Työssä perehdyttiin lisäksi koolausriman palo-
luokituksen määrittämiseen alan kirjallisuutta käyttäen ja hyödyntämällä tutkimustuloksia.

Koolausratkaisulle luotiin kattava aineisto tuotteen mahdollisen jatkokehityksen tueksi. Toimeksiantaja voi tehdä työn pohjalta omia peliliikkeitään, jotka ovat nyt laskennallisen dokumentaation takana. Tämä koolausratkaisu tarjoaa kuluttajalle nopeamman ja ekologisemman toteutustavan toimivan koolauksen tekemiseen.

Avainsanat (asiasanat)

Tuuletusvälin toiminta

Vaakasuuntainen koolausratkaisu

Koolausratkaisu

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liite 1 on salassa pidettävä ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 21. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 20.5.2027.

Karhumaa, Jani

Title and possible subtitle

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 45 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Construction and Civil Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The topic of a thesis was from a think of the construction company Elani-Rakennus to carry out an exploratory review the product they developed. The goal was to make comprehensive material for the cladding pattern product.

In the thesis, the optimal size for the product was sought, utilizing the literature in the field. The basis of calculation is based on standard SF-EN 1995-1-1 and the literature of RIL and Rakennustieto. The dimensions of the product for ventilation were obtained by clarifying the ventilation requirements and making a comparison with other similar products. The thesis also looked at determining the fire classification of a product.

In the work, comprehensive material was made to support the further development of the product. the company now has a calculation basis for the product idea, and they can safely make moves to product development. this product offers the consumer a faster and more ecological implementation for cladding installation.

Keywords/tags (subjects)

cladding pattern product

Miscellaneous (Confidential information)

Appendices 1 are confidential and removed from the public thesis. The basis for secrecy is section 24(21) of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999). The period of secrecy is five (5) years, the secrecy will end on 20 May 2027.

Käsitteitä

Absoluuttinen kosteus = Vesihöyryn massan suhde ilman kokonaistilavuuteen. Yksikkönä käytetään grammaa vettä kuutiometrissä ilmaa g/m^3 .

Alipaine = Tietyissä ilmatilassa vallitseva paine, joka on pienempi kuin sitä ympäröivä ilmanpaine.

Diffuusio = Molekyylien liikettä väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan.

Höyrinsulku = Ainekerros, jonka tehtävä on estää vesihöyryn haitallinen diffuusio rakenteeseen.

Ilmansulku = Ainekerros, jonka tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi.

Kampa- ja kierrenaula = naula, jonka varresta tietty mitta on profiloitu tai muotoiltu.

Kastepiste = Lämpötila, jossa veden tiivistyminen alkaa. Ilman jäähtyessä sen kosteuspitoisuus kasvaa. Kosteuden saavuttaessa arvon 100 %, alkaa ylimääräinen kosteus tiivistyä vedeksi.

Konvektio = Ilmapaine-eroista johtuva ilmavirtaus. Konvektio voi olla luonnollista (lämpötilaerojen tiheyserot) tai pakotettua (ulkopuolinen voima). Vesihöyry siirtyy konvektiolla virtaavan ilman mukana.

Kyllästyskosteus = Absoluuttisen kosteuden maksimiarvo. Se kertoo kuinka paljon vesihöyryä ilmassa voi olla tietyissä lämpötilassa.

Rakennuksen vaippa = Rakennusosien muodostama tiivis kokonaisuus, joka erottaa lämpimän tilan ulkoilmasta.

Sileävirtainen naula = naula, jonka poikkileikkaus on yhtenäinen koko naulan varren pituudelta.

Suhteellinen kosteus (RH%) = Suhteellinen kosteus ilmoittaa sen hetkisen vesihöyryn prosenttiosuuden vallitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta.

Tuuletustila = Rakenteessa oleva yhtenäinen ilmatila, jonka kautta tuulettava ilmavirtaus kulkee. Tuuletustilaksi lasketaan tilat, jossa kanavan paksuus on yli 200 mm ilmavirran suuntaa vastaan kohtisuorassa.

Tuuletusväli = Rakenteessa oleva yhtenäinen ilmäväli, jonka kautta tuulettava ilmavirtaus kulkee. Tuuletusväliksi lasketaan tilat, jossa kanavan paksuus on ilmavirran suuntaa vastaan kohtisuorassa enintään 200 mm.

Tuulensuoja = Ainekerros, jonka tehtävä on estää tuulesta aiheutuva haitallinen ilmavirtaus rakenteen lämmöneristekerroksessa. Vesihöyryn läpäisevyys tuulensuojassa tulee olla hyvä.

Ylipaine = Tietyissä ilmatilassa vallitseva paine, joka on suurempi kuin sitä ympäröivä ilmanpaine.

Sisältö

1	Johdanto	8
1.1	Opinnäytetyön johdanto, tausta ja rajaukset	8
1.2	Elani-Rakennus Oy.....	9
2	Tietoperusta	10
2.1	Näkökulma	10
2.2	Ilmankosteus	10
2.3	Ilmanvirtaus.....	13
2.4	Tuuletusvälin ilmavirtaus	13
2.5	Tuuletusvälin suunnittelu.....	16
2.6	Ilmastonmuutos	17
3	Tuuletusväli Suomen rakentamismääräyskokoelman silmin	19
3.1	Laki ja asetukset	19
3.2	Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toiminnasta	22
4	Tuuletusvälit rakenteissa	23
4.1	Tuuletusraon pinta-alavertailu.....	24
4.2	Tarkasteltavat dimensiot.....	24
5	Naulaliitoksen tarkastelu	25
5.1	Puuosien välinen naulaliitos.....	26
5.1.1	Liitoksen leikkaus	26
5.1.2	Tuulen imupaine	28
5.1.3	Naulan ulosvetorasitus puumateriaalin painosta.....	29
5.1.4	Koolausriman puristuskapasiteetti	30
5.1.5	Naulan ulosvetolujuus	31
5.1.6	Naulojen yhdistetty leikkaus ja pituussuuntainen kuormitus	32
5.2	Naulaväli sekä reuna- ja päätyetäisyydet liitoksessa	33
6	Paloturvallisuuden osoittaminen	33
6.1	Tuuletusvälin palokatko	33
6.2	Tutkimus aiheesta	35
7	Markkinat	36
7.1	Muut vastaavanlaiset tuotteet.....	36
7.2	Tuotteen käypäisyys.....	37
8	Profiilin kustannusvertailu	38
8.1	Ristikoolauksen materiaalikustannukset	38

8.2	Teräskoolauksen materiaalikustannukset	38
8.3	Työkustannukset	38
9	Vertailua muihin	39
10	Pohdinta.....	40
	Lähteet	43
	Liitteet	46
	Liite 1. Vaakasuuntaisen koolausriman optimidimensiot (salassa pidettävä)	46

Kuviot

Kuvio 1.	Havainnekuva tuuletusvälistä	15
Kuvio 2.	Ilmastonmuutosmalleista saatuja skenaarioita maapallon keskilämpötilan muutokselle v. 2000-2100 (Ilmastonmuutos nd.)	18
Kuvio 3.	Periaatekuva rakenteiden tuuletusraoista, -välistä ja -tilasta (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 13).....	23
Kuvio 4.	Periaatekuva koolausratkaisusta. Rimassa ei ole tuuletustyöstöjä piirrettynä.....	25
Kuvio 5.	Yksileikkeisen liitoksen merkinnät.	26
Kuvio 6.	Tutkimuksessa käytetyt tuuletusvälistä olevat palokatkoratkaisut (Hietaniemi ym. 2004, 42).	35
Kuvio 7.	Tutkittujen palokatkojen vertailutulos verrattuna muun tyyppisiin seinärakenteisiin (Hietanen ym. 2004, 42).	36
Kuvio 8.	Ruukin tuulettava teräsrude (Peltokangas 2015).	36
Kuvio 9.	Lundell valmistaa tuulettavia koolauustuotteita useilla eri mitoilla ja vahvuuksilla (Tuulettuva hattulistarude n.d.)	37

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön johdanto, tausta ja rajaukset

Koolauksella tarkoitetaan rakennuksen seinän, katon tai lattian pintarakenteen kiinnittävää rakennosaa. Tyypillisesti koolaus on runkoon kiinnitetty puulaudoitus, jossa lautojen väliin jätetään määrämitta. Julkisivuverhouksen alla koolaus varmistaa ilman kierron rungon ja verhouksen välissä. Pystysuuntaisesti verhotuissa julkisivuissa koolauslaudat asennetaan ristiin, jotta saadaan rakenteelle lisää vahvuutta sekä tilaa tuulettumiselle ja mahdollisille johdotuksille.

Opinnäytetyön aihe valikoitui toimeksiantajan toiveesta toteuttaa tutkimuksellinen katselmus heidän kehittämälleen koolausratkaisulle. Suomen markkinoilla on useita vastaavanlaisia tuotteita, mutta ne ovat teräsvalmisteisia. Toimeksiantajan kehittämä tuote on puinen. Se on kehitetty elementtiteollisuuden yksinkertaistamaan elementtien valmistusta.

Koolausratkaisulla pyritään saavuttamaan säästöjä materiaalikustannuksissa ja työmäärässä sekä vahvistamaan laadukkaampaa rakentamista. Työmäärän väheneminen on huomionarvoista myös paikallarakentamisessa, mutta ennen kaikkea elementtitehtaalla, missä työkustannuksissa pienikin muutos on huomion arvoista tuloksen kannalta. Ajan hengen mukaisesti suuressa mittakaavassa työ- ja materiaalimenekin vähenemisellä on vaikutusta myös hiilidioksidipäästöihin.

Tutkimuksen aiheena oli perehtyä kyseiseen koolausratkaisuun ja selkeyttää sen käyttömahdollisuuksia. Työssä yhtenä osa-alueena oli ottaa selvää koolausratkaisun teknisten ominaisuuksien toimivuus nykymääräysten valossa. Työssä analysoitiin myös tuotteen taloudellista hyötysuhdetta. Tavoitteena oli luoda kokoava aineisto koolausratkaisulle, jonka arvioitiin olevan kustannustehokkaampi ja varmatoimisempi kuin perinteinen lautakoolaus.

Opinnäytetyössä tutkittavana kohteena oli vaakasuuntainen koolausratkaisu, jossa ristikkäistä eli toisen suuntaista koolausrimaa ei käytetä. Tässä koolausrimassa on itsessään tuulettumiseen tarkoitettut ilmaraot. Tuotteen tämänhetkiset dimensiot perustuvat toimeksiantajan arvioon sen toimivuudesta puujulkisivuverhouksen koolauksessa. Toimeksiantaja ei ole vielä työstänyt muita käyttömahdollisuuksia syvemmin, vaikka idean pohjana on ollut tieto ratkaisun monipuolisesta soveltuvuudesta.

Opinnäytetyössä pyritään löytämään kyseiselle rimalle optimikoko tuulettavuuden ja kantavuuden osalta. Tutkimustyötä tehtiin rakennusmääräysten, standardien ja käytäntöjen valossa. Työssä perehdytään arvioimaan myös vallitsevaa markkinatilannetta etsimällä vastaavanlaisia tuotteita ja tekemällä tuotteiden välistä vertailua. Taloudellisten hyötyjen mittaamisessa tarkastellaan materiaalimenekkiä ja asennustehokkuutta. Tuloksena pyrittiin saamaan näkemystä kysymykseen, onko kyseessä markkinoille valmiista tuotteesta.

Opinnäytetyössä käsitellään myös ilmastonmuutoksen seurauksia pohtimalla kosteusteknistä toimivuutta vaipparakenteissa tulevaisuuden ilmastossa. Yleisesti puhutaan että, ennustetun ilmastomuutoksen seurauksena ulkolämpötilat ja sademäärät nousevat. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkoilman suhteellinen kosteus voi nousta ja sen seurauksena lisätä kosteuden ilmaantumista etupäässä rakenteiden ulko-osissa. Tällöin rakenteiden kuivuminen on hitaampaa.

Työn tietoperusta rajattiin käsittelemään vain tuuletusvälillisiä seinä- ja kattorakenteita. Työssä tarkastellaan vain pintamateriaalien kiinnittämiseen liittyvää tuotesaa. Työ käsittelee vain toimeksiantajan kehittämän kiinnikkeen ominaisuuksia ja mahdollisuuksia. Tuotteen profiilin työssä raportissa ei oteta kantaa. Ilmastonmuutokseen liittyvät asiat rajattiin käsittelemään vain kyseisen tuotteen kannalta oleellisin osin.

1.2 Elani-Rakennus Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Elani-Rakennus Oy. Elani-Rakennus on Jyväskylässä toimiva rakennusliike, joka valmistaa pari-, rivi-, ja kerrostaloja uudiskohteina. Yrityksen toiminnan perustana on rakennusten tuottaminen kuivaketjumallilla, joka mahdollistaa rakenteiden pitkäikäisen ja terveellisen elinkaaren. Elementit valmistetaan lämpimissä sisätiloissa ja kuljetetaan kohteeseen suojattuna. Kohteessa elementit asennetaan paikalleen.

2 Tietoperusta

2.1 Näkökulma

Sekundäärirakenteina koolauksen ja julkisivuverhouksen vaikutus kantaviin rakenteisiin on hyvin pieni. Käytännössä niiden osalta riittää, että ne pysyvät kiinni alustassaan. Pysyvyyden varmistamiseksi tuotteen vakautta tarkastellaan laskentaperusteisesti määrittämällä naulan/ruuvien uppouman tarvetta sekä liitoksen leikkaus- ja vetolujuutta. Työssä syvennytään ilman kosteustekniiseen käyttäytymiseen alan kirjallisuutta hyödyntäen. Tuotteen kosteustekniseen toimintaa perehdytään tutkimalla määräysten vaatimuksia tuulettuvuuden osalta ja toteutuvuutta kehityksessä tuotteessa. Työssä pohditaan myös tuuletusrakojen tehokkuutta nykyilmastossa ja ilmastonlämpenemisen seurauksena vaikuttavassa ilmastossa.

2.2 Ilmankosteus

Rakennuksen vaipan uloin rakennekerros toimii visuaalisena osana suojaten samalla rungon kantavia rakenteita kastumiselta. Ulkoseinän ulointa pintakerrosta kuormittavat kosteuslähteet ovat vesisade, ulko- ja sisäilman kosteus, maaperän kosteus, pintavesi, rakennuskosteus ja roiskevedet. Seinän toimintaan vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat myös aurinko ja tuuli sekä rakenteen eri puolilla vaikuttavat lämpötila- ja paine-erot. Seinän suuntauksella, ympäristön varjostuksella ja pinnan materiaaliominaisuuksilla voidaan vaikuttaa julkisivupinnan saamaan auringonsäteilyn määrään. Kuormittavimpana rasituslähteenä toimii kuitenkin vesisade eri olomuodoissa. (RIL 250-2020, 13; Pentti 2014, 120–122)

Sade voi tulla vetenä, lumena tai jäänä. Samaan aikaan vaikuttava tuuli tekee mahdolliseksi viistosateen. Viistosade on rasittavimmillaan syksyllä suuren sademäärän ja kovan tuulen takia. Viistosateen määrään vaikuttaa huomattavasti myös rakennuksen korkeus ja sijainti. Sisämaassa saderasitus on kevyempää kuin saaristossa ja merenrannoilla. Korkeissa rakennuksissa tuulen voimakkuus seinän yläosissa on suurempi ja ovat siksi alttiimpi raskaammalle viistosaderasitukselle. (Pentti 2014, 122.)

Pinnan muotoilu ja vedenimukyky vaikuttavat siihen, kuinka hyvin vesi pääsee tunkeutumaan seinärakenteeseen. Julkisivun pinnan ollessa tiivis, pinnalle muodostuu sateessa alaspäin valuva vesikalvo. Vesikalvo jakautuu tasaisemmin karheassa pinnassa. Sileässä pinnassa kuten esimerkiksi lassissa, vesikalvo valuu kapeampana aiheuttaen epätasaisen pinnan peseytymisen. Vesikalvo on ensisijainen sadeveden poistumisreitti julkisivupinnoilla. Tiiviitä julkisivumateriaaleja ovat mm. metalli, keraamiset laatat ja hyvin maalattu puuverhous. (Pentti 2014, 123.)

Huokoisessa materiaalissa viistosade imeytyy kapillaarisesti pinnan huokosiin, jolloin vesikalvon muodostuminen ottaa aikaa. Kun huokoisen julkisivumateriaalin imunopeus jää sateen tuloa pienemmäksi, alkaa vesikalvo muodostua. Huokoisia julkisivupintoja ovat mm tiili, rappaus ja pinnoittamaton puu. (Pentti 2014, 123.)

Tuuli kuljettaa seinän pinnalla valuvaa vesikalvoa myös sivuille ja ylöspäin saumoihin, rakoihin ja halkeamiin. Jossain vaiheessa rakennuksen elinkaaren aikana käy niin, että sadevesi pääsee tunkeutumaan kokonaan ulkoverhouksen läpi. Vuotovesi kulkeutuu verhouksen sisäpinnassa kertyen lopulta saumarakenteisiin, vaakarankojen ja ikkunankarmien päälle sekä sokkelihalkaisuun. Rakenteiden kastuminen voi johtua myös sisäpuolisista kosteuslähteistä kuten sisäilman kosteudesta, putkisto- ja vedeneristysvuodoista. Seinärakenteeseen pääsee kosteutta myös rakennusvaiheessa rakennusaikaisen kastumisen seurauksena. Rakennusaikainen rakennekosteus on yleensä lähtöisin korkeasta työaikaisesta sisäilmankosteudesta, betoni- ja muurattujen rakenteiden sekä rappaus-ten ja tasoitusten kuivumisesta. Näiden seikkojen takia rakenteilla tulee olla riittävä kuivumiskyky ja rakenteisiin päässeeseen kosteuden poisjohtaminen on varmistettava. Rakenteelle on suunniteltava kosteuden ulospääsy. (Pentti 2014, 123.)

Kevyen ulkoverhouksen suunnittelussa on huomioitava ulkoverhouksen ja kantavan rungon väliin tuleva yhtenäinen ja ulkoilmaan yhteydessä oleva tuulettuva ilmarako. Näin kosteus voi poistua ilmaraon kautta ja mahdollistaa rakenteen kuivumisen. Puhutaan tuuletusvälistä. Tuuletusvälin kautta saadaan myös mahdollinen sisäilman kosteus ja rakennusaikainen kosteus johdettua pois rungosta. Tuuletusvälin tulee olla riittävän suuri, mutta huomioita tulee kiinnittää lisäksi tarpeettoman tuulettumiseen. Liian iso tuuletusväli mahdollistaa tietyissä olosuhteissa liiallisen ulkoilmankosteuden siirtymisen tuuletusväliin. Tämä hidastaa kuivumista ja mahdollistaa kosteuden tiivistymiselle materiaalin pinnalle. (Pentti 2004, 133–136.)

Toimiva tuuletusrako on yhteydessä ympäristöönsä. Björkholtz (2004) tuo esille, kuinka tuuletusraon ja sen sisään virtaavan ilman lämpötilalla on ratkaiseva merkitys. Käytännössä tuuletusraossa olevan ilman pitää olla lämpimämpää kuin sisään virtaava ilma. Näin raolla on kuivattava vaikutus. Sen kyky sitoa kosteutta rakenteesta vaatii myös pienemmän vesihöyrypitoisuuden ilmaraossa kuin materiaalin pinnalla. Tuuletusraon toisesta päästä poistuvan ilmankosteuspitoisuuden ei tule ylittää ulkona olevan ilman kyllästyskosteutta. (Björkholtz 2004, 82–85.)

Luonnollisella konvektiolla tarkoitetaan ilman tiheyseroista johtuvaa pystysuoraa ilman virtausta. Pystysuorassa ilmaraossa tai huokoisessa lämmöneristeessä ilma lämpenee mentäessä kohti lämpimämpää pintaa ja samalla sen tiheys pienenee. Lämpimässä pinnassa ilma virtaa ylöspäin kevyemmän olomuodon takia ja vastavuoroisesti kylmän pinnan läheisyydessä ilmavirtaus on alaspäin. (Siikanen 2014, 34.)

Savupiippuvaikutus syntyy muun muassa, kun huoneilma lämpenee. Se laajenee ja samalla sen tiheys pienenee. Kevyempänä massana lämmennyt ilma pyrkii nousemaan ylöspäin. Ylöspäin virtaava ilma aiheuttaa ylipaineen huoneen yläosaan ja alaosaan muodostuu alipaine. Yli- ja alipaineen välissä vallitsee niin sanottu paineeton taso eli neutraaliakseli, jonka suuruus on sama ulkona vallitsevan ilmanpaineen kanssa. Neutraaliakselin sijaintiin riippuu huoneen aukotuksista, ilmanvaihdosta, hormeista, avoimista ikkunoista ja ovista. Rakenteiden ilmanpainesuhteilla on merkitystä enemmän kylminä vuodenaikoina, kun ilman lämpötila- ja kosteuserot ovat suuria. (Siikanen 2014, 34–35.)

Siikanen (2014, 38) kertoo, että Ilmapaine-erot rakennuksen sisä- ja ulkopuolilla ovat voimina vain muutaman Pascalin neliötä kohden. Vesihöyryn osapaineesta rakenteisiin aiheutuvat paine-erot ovat taas kooltaan useita satoja Pascaleita neliölle. Suuremman kosteusvaurioriskin muodostaa kuitenkin paine-eroista johtuva rakenteiden läpi tapahtuva ilmavirtaus. Pienikin reikä huoneen yläosissa saa aikaan rakenteista pois päin suuntaavan haitallisen ilmavirtauksen. Tämän seurauksena lämpimään huoneilmaan sitoutunut kosteus saattaa aiheuttaa poistuessaan kondenssia kohdassaan kylmiä pintoja. Vastaavasti alipaine voi tuoda rakenteiden alaosaan ulkoilman epäpuhtauksia rakenteisiin ja huoneilmaan, mikäli kulkureitti löytyy. (Siikanen 2014, 38–39.)

2.3 Ilmanvirtaus

Virtausmittaus yleisesti tarkoittaa tietyn poikkileikkauksen läpi virtaavan tilavuus- ja massavirran määrittämistä. Perusyksiköinä käytetään yleensä tilavuusvirralla m^3/s ja massavirralla kg/s . Virtaus mitataan aineen virtausnopeuden avulla, kun tiedetään kanavan poikkipinta-ala. Tilavuusvirtaus saadaan kaavalla 1. (Pihkala, n.d. 59.)

$$V = v A \quad (1)$$

missä $V =$ tilavuusvirtaus (m^3/s)

$v =$ virtausnopeus (m/s)

$A =$ poikkipinta-ala (m^2) (Pihkala, n.d. 59.)

Massavirtaus saadaan tilavuusvirrasta johdettua kertomalla se aineen tiheydellä kaavan 2 mukaisesti.

$$m = \rho v \quad (2)$$

missä $m =$ massavirtaus (kg/s)

$\rho =$ aineen tiheys (kg/m^3)

$V =$ tilavuusvirtaus (m^3/s) (Pihkala, n.d. 59.)

2.4 Tuuletusvälin ilmavirtaus

Tuuletusväli on toimiva silloin, kun se on yhteydessä ympäristöönsä. Sen toiminta perustuu käytännössä ilman lämpötilaeroista johtuvaan kosteuden sitomiskykyyn. Kun tuuletusvälissä oleva

ilma on ympäröivää ilmaa lämpimämpää, se sitoo kosteutta rakenteista. Tuuletusväli lämpiää kylmillä keleillä rakennuksen sisäpuolisen lämmittämisen seurauksena johtamalla seinän rakennekerrosten läpi. Kesällä kuivaustoimintaan osallistuu aurinko, jolloin tuuletusvälin lämpötilat nousevat korkealle ja kosteuden sitominen on tällöin voimakasta.

Laskentaperustaa

Ilmaraon kuljettama kosteusvirta saadaan kaavalla 3.

$$G = Q \cdot (v_{\text{ulos}} - v_{\text{sisään}}) \quad (3) \quad (\text{Björkholtz 2004, 83}).$$

missä G = kosteusvirta (kg/s)

Q = ilmaraossa kulkeva ilmavirta (m^3/s)

v_{ulos} ja $v_{\text{sisään}}$ = rakoon tuleva ja poistuva kosteuspitoisuus (kg/m^3)

Kun raon poikkileikkaus tiedetään, saadaan siinä ilman virtausnopeus u (m/s) kaavan 4 mukaan.

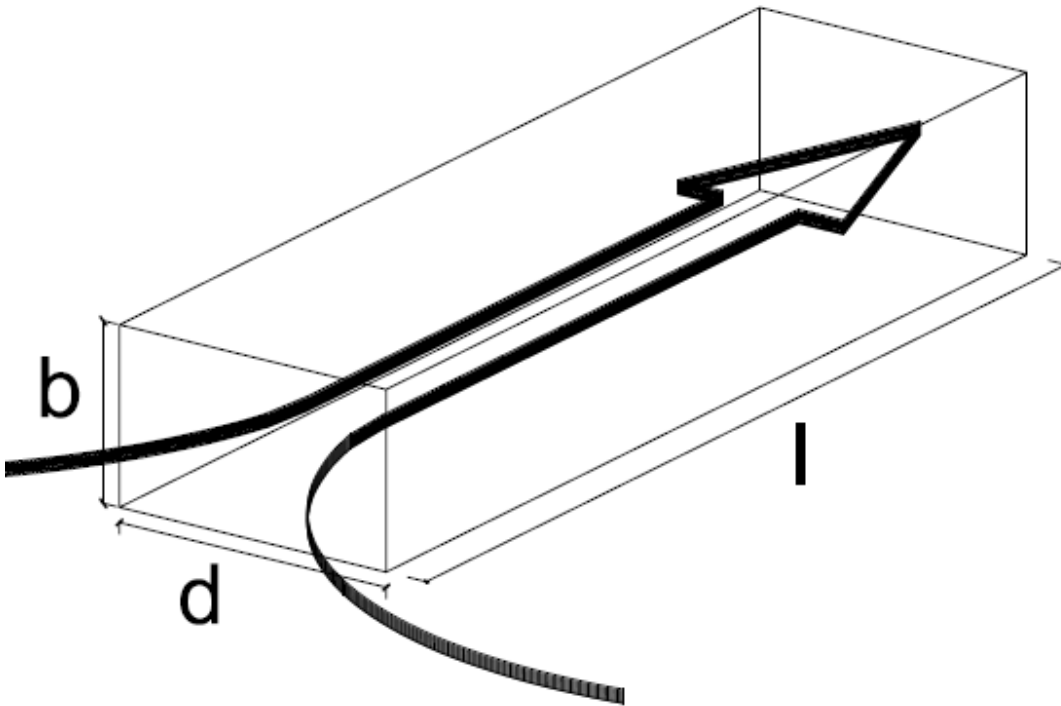
$$u = \frac{d \cdot b}{Q} \quad (4) \quad (\text{Björkholtz, 2004, 83}).$$

missä u = ilmavirran nopeus (m/s)

d = ilmaraon leveys (m)

b = ilmaraon korkeus (m)

Q = ilmaraossa kulkeva ilmavirta (m^3/s) (Björkholtz, 2004, 83.)



Kuvio 1. Havainnekuva tuuletusvälistä

Kun kosteusvirta G jaetaan seinämän suuntaisella pinta-alalla ($d \cdot l$), saadaan tuuletusvälin kosteusvirta g ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) kaavalla 5.

$$g = \frac{b \cdot u}{l} (v_{\text{ulos}} - v_{\text{sisään}}) \quad (5) \quad (\text{Björkholtz, 2004 83}).$$

missä b = Ilmaraon korkeus (m)

l = ilmaraon pituus (m)

u = ilmavirran nopeus (m/s)

v_{ulos} ja $v_{\text{sisään}}$ = rakoon tuleva ja poistuva kosteuspitoisuus (kg/m^3) (Björkholtz 2004, 83.)

Toimivalla perusrakenteella konvektion ja diffuusion vaikutus on hyvin pientä. Viistosade kastelee rakenteita voimakkaammin. Tuuletusvälin diffuusiotarkasteluun syvennyttään tarkemmin Björkholtzin (2004) teoksen esimerkeissä. (Björkholtz 2004, 83.)

Kaikki seinärakenteet ovat turvallisia diffuusiotarkastelun osalta, jos sisäilman kosteuslisä on pieni ja rakenteeseen ei pääse vettä kosteusvuotojen takia. Kaikki seinärakenteet ovat turvallisia konvektion kannalta, jos rakennuksessa on alipaine tai rakenteessa on ehjä ilmansulkukerros. Ks. lisäksi Vinha & Käkelän (2001) tutkimus diffuusion ja konvektion vaikutuksesta seinärakenteissa. (Vinha & Käkelä 2001, 3.)

Tuuletusvälin kuivauskyvyn mittaus voidaan tehdä erilaisilla kokeilla mittausanturoineen. Kun mitaustulosten perusteella todetaan, että tuuletusvälillä on kuivattava vaikutus, voidaan vertailla kuivauskykyä eri tuuletusratkaisujen välillä.

2.5 Tuuletusvälin suunnittelu

Rakenteiden kosteusteknisen mitoituksen suunnittelussa on kaksi lähtökohtaa. Ensiksi rakennukset suunnitellaan niin, ettei niihin sitoutunut kosteus rakentamisen ja käytön aikana aiheuta huomattavaa haittaa käytölle ja rakenteiden toiminnalle. Toiseksi suunnittelussa otetaan huomioon rakenteiden tilapäinen kastuminen ja kyky kuivua. (RIL 250-2020, 89.)

Suunnittelussa tukeudutaan pääsääntöisesti kokemukseen rakenneratkaisujen ja materiaalien suhteen. Rakenneratkaisut, joiden toimintaan on vähän kokemuseräistä tietoa, osoitetaan käytännön dokumentoiduin kokein ja laskennallisesti koko suunnitellun käyttöiän ajan toimiviksi. (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 11.)

Ulkovaipparakenteisiin päätyneen kosteuden on voitava poistua rakenteista ilman rakenteille koi- tuvaa haittaa. Usein tämä hoidetaan käyttämällä tuuletusväliä. Tuuletusvälien yhteydessä olevat tuuletusraot sijoitetaan niin, että niiden välille saadaan aiheutettua paine-ero. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi sijoittamalla tuuletusraot vastakkaisille räystäälle, jolloin hyödynnetään rakennuksen eri puolille tuulesta kehittyvää ali- ja ylipainetta. Tuuletusraot voidaan sijoittaa myös eri korkeusasemiin, jolloin hyödynnetään lämpötilaeroista syntyvää painetta. (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 11–13.)

Suunnittelun ohella rakenteiden toimivuuteen vaikuttaa työvaiheiden toteuttaminen. Toimivan tuuletusvälin tekemisessä on huomioitava, etteivät laastikokkareet ja lämmöneristepullistumat aiheuta tuulettumiselle esteitä tuuletusvälissä. Tuuletusväliin ei saa muodostua alueita, joissa tuulettuminen on estynyt. Rakennuksen yksityiskohtien, kuten ikkunoiden ja savuhormien suunnittelussa tulee tarkastaa tuuletusilman virtausreitti. Esimerkiksi ikkunan ala- ja yläpuolella tuulettuminen on hyvä huomioida järjestämällä sinne ilman virtaukselle tarpeelliset tuuletusraot. (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 13)

Sekä RIL:n (250–2020), että Ympäristöministeriön ohjeen (2020) mukaan suunnittelulla on tärkeä rooli rakennushankkeen kosteusteknisestä toimivuudesta osalta. Hyvillä ratkaisuilla voidaan vaikuttaa terveen ja toimivan rakennuksen toteuttamiseen. RIL (250–2020) korostaa, että kosteusteknistä suunnittelua tulee käsitellä yhdessä muiden vaatimusten kanssa. Ympäristöministeriön ohje (2020) nostaa esille ilmastonmuutoksen huomioimisen kertomalla että, rakennusten suunnittelua ohjataan vikasietoisemmiksi. (RIL 250-2020, 71; Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 3.)

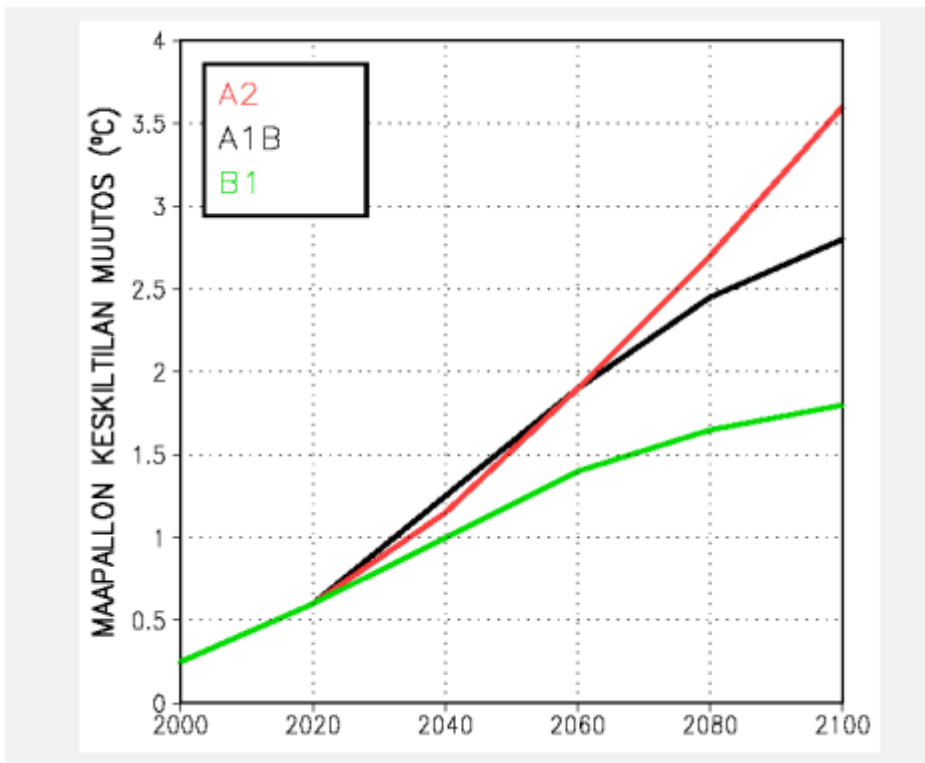
2.6 Ilmastonmuutos

Vastaavan rakennesuunnittelijan tehtävä on suunnitella rakennus kosteutta kestäväksi tekemällä yhteistyötä muiden suunnittelijoiden kanssa. Kosteusteknisessä suunnittelussa tulee nykyisin ottaa huomioon nykyisen ilmastorasituksen lisäksi riittävältä osin ennustettu ilmastonmuutos koko elinkaaren ajalta. (RIL 205-2020, 88.)

Ilmastomalleista johdetut ennusteet kertovat ilmastonlämpenemisen jatkuvan nousua 0,2 asteella kymmenessä vuodessa. Lämpimään ilmakehään mahtuu enemmän vesihöyryä, joten veden kierto- ja kulkuväli voimistuu lisäten haihduntaa ja sademääriä. (Maapallon ilmasto tulevaisuudessa n.d.)

Ennustettu ilmastonmuutos voi tuoda haasteita tuuletusvälin toimintaan ilmankosteuden lisääntymisen takia. Tuuletusväli on yhteydessä ulkoilmaan, ja mikäli tuuletusrakojen kautta tuleva ilma on kosteuspitoisuudeltaan nykyistä korkeampaa, voi sillä olla vaikutusta tuuletusvälin kuivauskykyyn. Tämä olisi hyvä ottaa huomioon välttämällä tarpeetonta tuulettamista.

Tiedeyhteisö on yleensä yksimielinen siitä, että ilmastonmuutos on tosiasia. Ilmatieteen laitoksen (Ilmastonmuutos n.d.) mukaan pienet näkemyserot eri tieteenalojen välillä saattavat johtua tilastollisten lähestymistapojen ja fysikaalisten ilmiöiden mallintamiseen liittyvien seikkojen takia. Sen takia kasvihuonekaasuskenaarioita on useita. (Maapallon ilmasto tulevaisuudessa n.d.; Ilmastonmuutos n.d.)



Kuvio 2. Ilmastonmuutosmalleista saatuja skenaarioita maapallon keskilämpötilan muutokselle v. 2000-2100 (Ilmastonmuutos nd.)

Rakentaminen ja rakennukset tuottavat noin kolmanneksen Suomen kasvihuonepäästöistä. Ympäristöministeriö (Vähähiilinen rakentaminen n.d.) toteaa, että Suomessa rakennusalan päästöjä on vähennettävä, jotta Suomi pystyisi saavuttamaan kansalliset ja kansainväliset ilmastotavoitteet. Suomessa on näihin päiviin asti keskitytty rakennusalan päästöasioissa lähinnä energiatehokkuuteen ja rakennusaikaiseen päästöpolitiikkaan. Rakennussektorin päästöihin onkin etsittävä uusia ratkaisuja. (Vähähiilinen rakentaminen n.d.)

Valmisteilla olevassa ohjauksessa on otettu käsittelyyn etupäässä rakennuksen elinkaaren alku- ja loppupää. Eli tarkastelun kärjessä keskitytään muun muassa rakennusmateriaalien valmistukseen,

rakentamiseen, jätteiden vähentämiseen ja kierrätykseen. Ympäristöministeriön laatimat vähähiilisen rakentamisen kriteerit aiotaan ottaa ensin käyttöön julkisissa rakennushankkeissa. Elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä tavoitellaan ohjattavaksi lainsäädännöllä 2020-luvun puoliväliin mennessä. (Vähähiilinen rakentaminen n.d.)

Ympäristöministeriön mukaan rakennussektorin ympäristövaikutuksia voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta, mutta hankintakriteerien tulokulmaksi on otettu vähähiilisyys. Ympäristöministeriö kertoo tällä toteutettavan kansallista ja kansainvälistä ilmastopolitiikkaa ja opastaa kohti piakkoin voimaan tulevaksi kaavailtua rakennusten hiilijalanjäljen säädösohjausta. (Vähähiilinen rakentaminen n.d.)

3 Tuuletusväli Suomen rakentamismääräyskokoelman silmin

Maankäyttö ja rakennuslaki määrittelee rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettelyt ja viranomaisvalvonnan. Tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Suomen rakentamismääräyskokoelma sisältää asetukset, ohjeet ja muun oheismateriaalin. Asetuksena annetut ja Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootut rakentamista koskevat säännökset ovat velvoittavia. Ministeriön antamat ohjeet ovat sen sijaan opastavia, eivätkä siis sido rakentajaa mihinkään.

3.1 Laki ja asetukset

Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta perustuu asetukseen A 782/2017, joka taas on johdettu maankäyttö- ja rakennuslaista L 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki sanoo seuraavaa.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn,

veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn taikka rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi. (L132/1999, §117 c.)

Rakentamisessa on käytettävä tuotteita, joista ei niiden suunnitellun käyttöiän aikana aiheudu sisäilmaan, talousveteen eikä ympäristöön sellaisia päästöjä, joita ei voida pitää hyväksyttävänä. Rakennuksen järjestelmien ja laitteistojen on sovelluttava tarkoitukseensa ja ylläpidettävä terveellisiä olosuhteita. (L132/1999, §117 c.)

Ympäristöministeriön asetuksella voidaan antaa uuden rakennuksen rakentamista, rakennuksen korjaus- ja muutostyötä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta varten tarvittavia tarkempia säännöksiä rakennukselta edellytettävistä terveellisyyteen liittyvistä fysikaalisista, kemiallisista ja mikrobiologisista olosuhteista, taloteknisistä järjestelmistä ja laitteistoista sekä rakennustuotteista. (L132/1999, §117 c.)

Maankäyttö- ja rakennuslaissa kerrotaan kiteytetysti tuuletusväliä tarkastellessa, että rakennukset on suunniteltava kosteus- ja lämpöolosuhteet huomioon ottaen. Laki ei kuitenkaan mene tarkemmin yksityiskohtiin. Lait säädetään tarkemmin asetuksilla. Kun suunnitellaan toimivaa tuuletusväliä, on huomioitava seuraavat asetuspykälät.

Sisäisistä ja ulkoisista kosteuslähteistä peräisin oleva vesihöyry, vesi, lumi tai jää ei saa haittaa aiheuttaen kulkeutua rakenteisiin. Sadevesi tai lumi ei saa kulkeutua eikä kosteus saa kerääntyä vaipparakenteeseen myöskään ikkunoiden, ovien tai muiden vaippaan liittyvien rakenteiden, rakennusosien ja laitteiden kautta. Rakennuksen vaipan ja sen rakennekerrosten ja liitosten on muodostettava kokonaisuus, joka estää tuulta, viistosadetta ja tuulenpainetta kuljettamasta vettä vaipan pintaa pitkin rakenteisiin. (A 782/2017, §5.)

Rakennuskosteuden ja rakenteisiin ulko- tai sisäpuolelta satunnaisesti kulkeutuvan kosteuden on voitava poistua haittaa aiheuttamatta. Pinnoiltaan kastuvien rakenteiden on kestävä veden vaikutus. (A 782/2017, §5.)

Tuuletustilalla tai -välillä varustetun rakenteen tuuletustilaan tai -väliin johtavien tuuletusaukkojen tai -rakojen on sijoitettava niin, että tuuletustila tai -väli on kokonaisuudessaan tuuletusilman virtausreitillä ja ettei tuuletustilaan tai -väliin jää kokonaan suljettuja, tuulettumattomia alueita. (A 782/2017, §7.)

Rakenteissa käytettävien rakennustuotteiden ominaisuuksien on vastattava suunnitelmassa esitettyjä vaatimuksia ja rakennustuotteiden on oltava rakennuspaikan olosuhteisiin soveltuvia. Rakennustuotteen on oltava käyttötarkoituksensa mukaisessa kunnossa sitä asennettaessa. Rakennustuotteen on kestävä asentamisen sekä asennus- ja käyttöolosuhteiden aiheuttamat rasitukset koko rakenteen käyttöiän tai suunnitellun huolto- ja korjausvälin ajan. (A 782/2017, §11.)

*Ulkoseinän ja sen eri kerrosten on muodostettava kokonaisuus, joka estää veden haitallisen kulkeutumisen rakenteiden sisään. Ulkoseinän ja sen eri kerrosten sekä ulkoseinään liittyvien rakenteiden ja ulkoseinän liitosten vesihöyrynvastuksen ja ilmatii-
viyden on oltava sellainen, ettei seinän kosteuspitoisuus sisäilman vesihöyryn
diffuusion tai konvektion vuoksi muodostu rakenteen kosteusteknisen toimivuuden
kannalta haitalliseksi. Jos rakenteessa on käytetty ilmansulkua tai höyrynsulkua, on
saumojen, reunojen ja läpivientikohtien oltava tiiviitä. (A 782/2017, §24.)*

*Yläpohjan kerrosten ja katon tuuletuksen on estettävä vesihöyryn diffuusiosta tai il-
mavirtauksista johtuva, haittaa aiheuttava kosteuden kertyminen yläpohjarakentee-
seen. Jos rakenteessa on käytetty ilmansulkua tai höyrynsulkua, on saumojen, reuno-
jen ja läpivientikohtien oltava tiiviitä. (A 782/2017, §27.)*

Asetukset ohjaavat rakenteiden suunnittelua lakia tarkemmin ja tuuletusväliin otetaankin jo kantaa. Edellä mainittujen asetusten mukaan rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus ei saa aiheuttaa haittaa rakenteille ja sen on voitava poistua. Käytännössä yleensä tämä tarkoittaa tuuletusvälin järjestämistä. Tuuletusvälin tulee olla ulkoilmaan yhteydessä oleva avoin tila, jossa ilma pääsee vapaasti virtaamaan. Veden haitallinen kulkeutuminen rakenteiden sisään on estettävä.

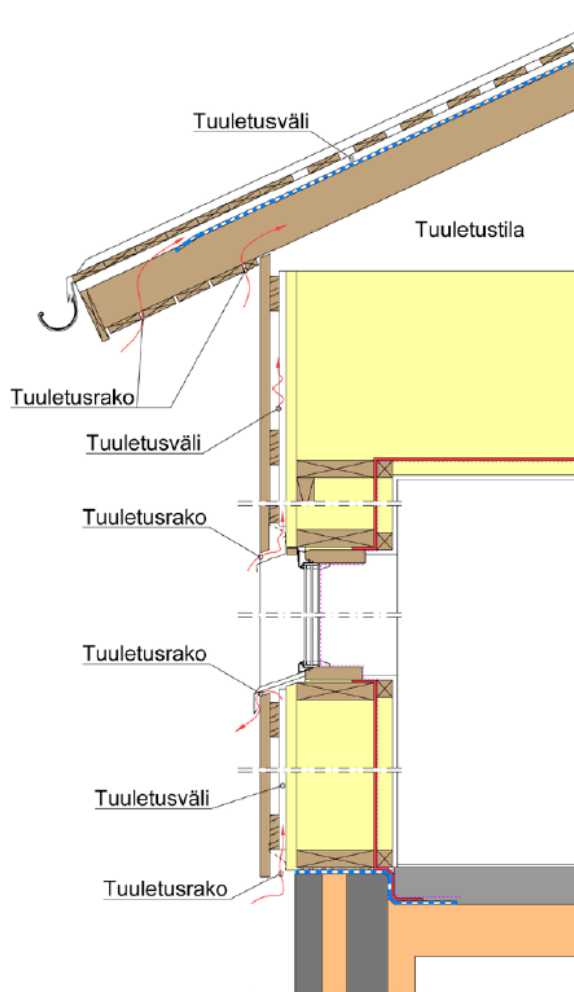
Asetuspykälän §11 (A 782/2017) mukaan rakennustuotteet tulee olla kohteeseen soveltuvia. Koolaukselle tämä tarkoittaa lähinnä siitä, että tuotteella tulee olla kestävyys kosteutta vastaan sen suunnitellun käyttöajan ajan.

Kattorakenteisiin asetus ottaa enemmän kantaa yläpohjatilan tuulettumiseen, mutta kun tarkastellaan lappeen myötäisesti eristettyjä kattoja, voidaan todeta, että tuuletustilan tulee olla asetuksen mukaisesti yhtenäinen. Tämän takia esimerkiksi kattoikkunaa suunniteltaessa on kiinnitettävä tuuletusvälin suunnitteluun huomioita.

3.2 Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toiminnasta

Ympäristöministeriö on julkaissut maankäyttö- ja rakennusasetusta selkeyttävän ohjeen, jossa on kuvattu pykäläkohtaisesti asetuksen sisältö. Kyseinen ohje on tarkoitettu muun muassa rakennushankkeeseen ryhtyvien, suunnittelijoiden, rakennusvalvontaviranomaisten ja materiaalivalmistajien tueksi olematta kuitenkaan sitova. Ohje sisältää kokemuspäisiä, toimiviksi todettuja ratkaisuja. Ohje ei ole velvoittava vaan sen rooli on tukea hyvää rakentamistapaa. Ohje vie lukijan säädettyjen asetusten kuvaamisen osittain detaljitasolle saakka ja antaa tarkkojakin ratkaisuja toteutukseen.

Ulkoseinän sisälle päässeeseen kosteuden on voitava poistua rakenteita haittaamatta. Jos ulkoseinän kuivumista ei ole muulla tavalla varmistettu, on verhouksen taakse toteutettava tuuletusväli. Tuuletusraot on sijoitettava niin, että niiden välille saadaan aiheutettua paine-ero. Tämä hoidetaan verhotuissa seinärakenteissa sijoittamalla tuuletusraot eri korkeusasemaan. Tiiliverhouksen takana olevan tuuletusvälin on oltava vähintään 30 mm ja puuverhouksella vähintään 20 mm. Tuuletusvälin rakenteet eivät saa johtaa vesiä rakenteeseen. Muutos- ja korjaustöissä tuuletusväliä ei saa heikentää. (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 13,37.)



Kuvio 3. Periaatekuva rakenteiden tuuletusraoista, -välistä ja -tilasta (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 13).

4 Tuuletusvälit rakenteissa

Ympäristöministeriön ohjeen (2020) mukaan tuuletusvälin tulee olla tiiliverhotuissa rakenteissa vähintään 30 mm ja tiiviimmillä pintarakenteilla kuten puuverhouksella vähintään 20 mm. Vaikka ohjeistus antaa tarkkoja ohjeita tuuletusvälin paksuuteen, ei siinä oteta kantaa ilmarakojen varsinaiseen kokoon.

4.1 Tuuletusraon pinta-alavertailu

Yleisesti puuverhotun seinän tuuletusväli hoidetaan asentamalla 22 mm x 100 mm laudoitus noudattaen 600 mm jakoväliä. Tällöin tuuletusvälin noudattaa ohjeistuksen mukaista vähintään 20 mm tuuletusväliä. Tuuletusraon pinta-ala on 11000 mm² ja juoksumetrille raon pinta-alaksi muodostuu 18 700 mm² /jm.

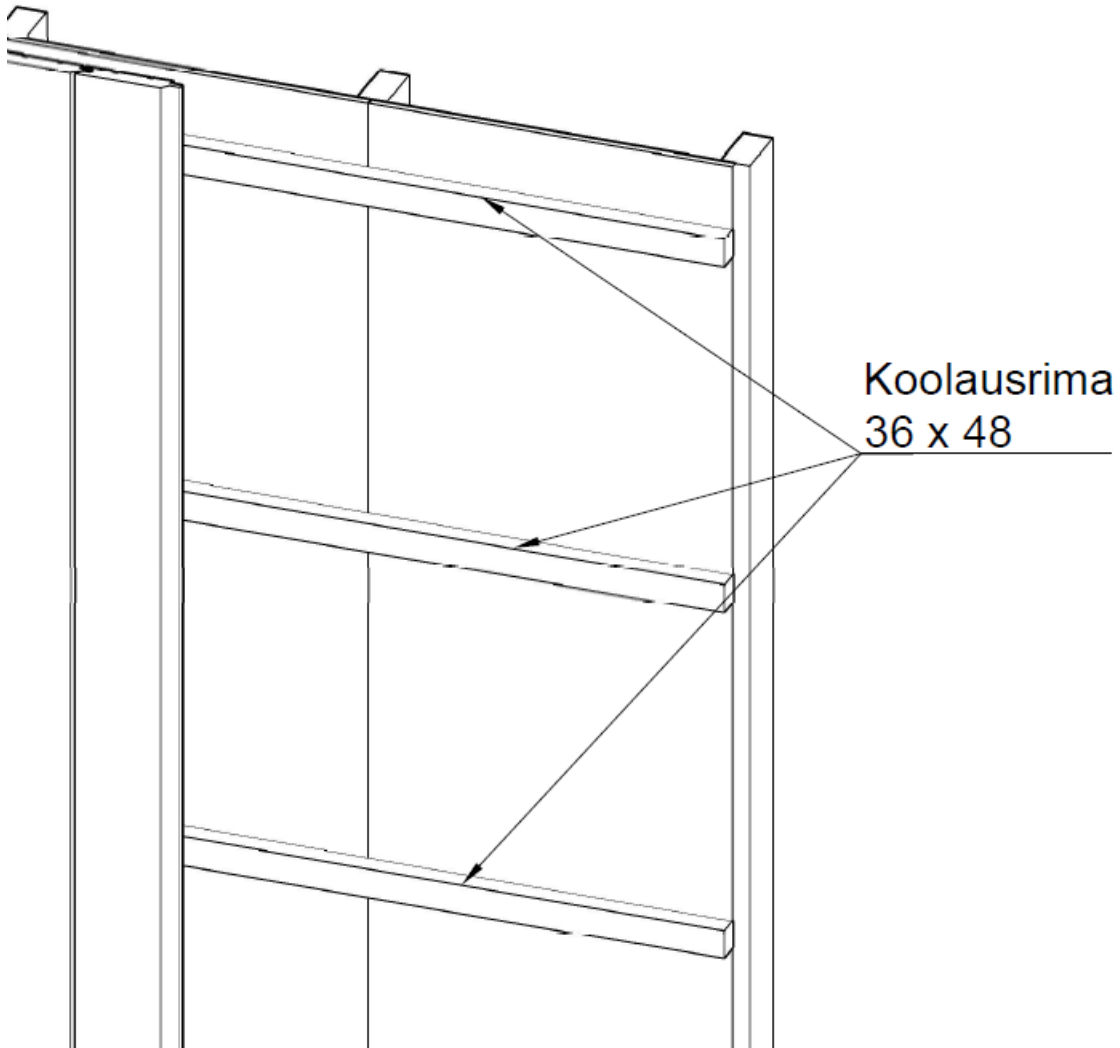
Tiiliverhotuissa seinärakenteissa ohjeistus määrittää tuuletusväliksi vähintään 30 mm. Jos tehdään ohjeistuksen mukainen tiiliverhous, tuuletusväli noudattaa tasaisesti joka kohdasta 30 mm mittaa. Mutta kun tarkastellaan tuuletusväliin johtavia tuuletusrakoja, huomataan niiden olevan pieniä, kun verrataan rakennetta puuverhottuun ulkoseinään. Vähintään joka kolmas alimman tiilikerroksen pystysauma jätetään auki (Tiilijulkisivuun tehtävien tuuletusaukkojen mitoitus n.d). Kun käytetään 270 mm tiiliä ja 18 mm saumaa, saadaan tuuletusrakojen pinta-alaksi 1350 mm² /m. Tiiliverhouksissa ikkunoiden kohdilla tuuletusrakojen koko on suurempi (Tiilijulkisivuun tehtävien tuuletusaukkojen mitoitus n.d).

Paroc ja ISOVER myyvät yläpohjarakenteisiin tarkoitettuja uritettuja eristelevyjä. ISOVER OL-TOP eristeen urakoko 15 mm X 25 mm k 150 mm, Parocilta löytyy PAROC ROS 30 g, jossa urat tuulettamiseen 20 x 30 mm k 200 mm. Näissä saadaan tuuletusvälille per metri pinta-alaksi 2500 mm² – 3000mm². (ISOVER OL-TOP, n.d; PAROC ROS 30 g, n.d.)

4.2 Tarkasteltavat dimensiot

Tuotteelle hypoteesina annetaan tarkasteltavaksi seuraavat dimensiot. Riman koko 36 mm x 48 mm, jossa leveämpi puoli tulisi seinää vasten mahdollistaen kohtuullisen naulaamisen. Tuuletusuran halkaisija 15 mm lyhyemmän sivun suunnassa. Tällöin tuuletusuran koko on 4000m²/jm. Tehdään liitostarkastelut tyypillisellä konenaulalla 3,1x90.

Otetaan tarkasteltavaksi rakennukseksi tasakattoinen hallirakennus. Rakennuksen sivumitat ovat 20 m x 30 m ja korkeus 8 m. Käytetään koolausriman materiaalina sahatavaraa C24, jonka laskennallinen tiheys $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$. Puumateriaalin painoa laskettaessa käytetään painona 500 kg/m³.



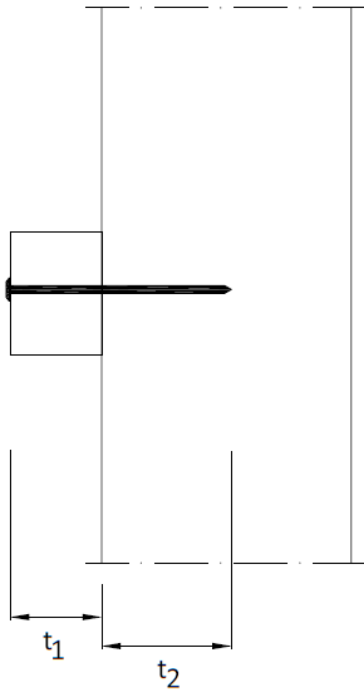
Kuvio 4. Periaatekuva koolausratkaisusta. Rimassa ei ole tuuletustyöstöjä piirrettynä.

5 Naulaliitoksen tarkastelu

Seuraavien naulaliitosten lujuustarkastelut perustuvat standardiin SFS-EN 1995-1-1-5. RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje on lyhennetty ja tiivistetty sisältö edellä mainitusta standardista. Laskelmissa tehdään tarkastelua näiden julkaisujen pohjalta. Tarkastelua tehdään yksileikkiselle liitokselle.

5.1 Puuosien välinen naulaliitos

Yksileikkeisen liitoksen paksuuksille käytetään seuraavia merkintöjä. t_1 = liitoksen kannanpuoleinen paksuus ja t_2 = liitoksen kärjen puoleinen tunkema (SFS-1995-1-1, 60).



Kuvio 5. Yksileikkeisen liitoksen merkinnät.

Yleisesti naulaliitos sileillä nauloilla kärjenpuoleisen tunkeuman edellytetään standardin mukaan olevan vähintään $8d$. Muilla standardin mukaisilla nauloilla edellytetään kärjenpuoleisen tunkeuman mitaksi $6d$. Naulan paksuutta kuvataan sen halkaisijalla d . RIL (205-1, 111) kuitenkin ohjeistaa liitoksen naulan kannanpuoleiselle jäävän puun paksuudelle vähintään $7d$ ja kärkiosan tunkeumalle vähintään $8d$. Näillä ohjeilla voidaan todeta turvalliset minimimitat naulan tunkeumalle kuvion 10 mukaisin merkinnöin $t_1 \geq 7d$ ja $t_2 \geq 8d$. (Standardi 1995: RIL 205-1.)

5.1.1 Liitoksen leikkaus

Standardin (1995-1-1, 60) mukaan liitoksessa edellytetään olevan vähintään kaksi naulaa. Laskeaan tarkastelun vuoksi tulevat liitoslaskut yhden naulan liitoksena, johon vaikuttaa $600 \text{ mm} \times 600$

mm verhousalue. Liitos oletetaan kestävän yhdellä naulalla. Laskennan myötä voidaan spekuloida tuplanaulauksen tarpeellisuudesta.

RIL:n (2005-1, 112) mukaan, kun liitoksessa $t_1 \geq 8d$ ja $t_2 \geq 12d$, naulan ominaisleikkauskestävyys per leike saadaan kaavalla 6. Käytetään liitoksessa naulaa 3.1x90. Liitokseen ei tehdä esiporausta.

$$R_k = 120 \cdot 3,1^{1,7} \text{ (N)} \quad (6) \quad (\text{RIL 205, 8.5.1S})$$

$$R_k = 821,3 \text{ N}$$

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo leikettä kohden saadaan kaavoilla 7 ja 8.

$$k_t = \text{maks} \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,3 \cdot \frac{36 - 8 \cdot 3,1}{8 \cdot 3,1} = 1,13 \\ 1 + 0,3 \cdot \frac{54 - 12 \cdot 3,1}{6 \cdot 3,1} = 1,35 \end{array} \right. \quad (7) \quad (\text{RIL 205, 8.5.5s})$$

$$R_d = \frac{0,6}{1,3} \cdot \sqrt{\frac{350}{350}} \cdot 1,35 \cdot 821,3 \text{ N} = 511 \text{ N} \quad (8) \quad (\text{RIL 205, 8.5.3s})$$

$$R_{v,d} = 511 \text{ N}$$

Leikkaukselle tuleva pysyvä pitkäaikainen voima on peräisin tuotteen omasta painosta ja kiinnitettyjen julkisivupaneelien painosta. Kriittisenä voimana voidaan pitää asennusaikaista yllättävää iskuä. Tällaisten laskeminen ei ole työn kannalta oleellista, joten todetaan vain, että liitos kestää leikkausvoimaa 511N.

Käytetään puun painona 500 kg/m^3 . Koolausrimoja kiinnitetään 8 m korkealle seinälle yhteensä 14kpl. Materiaalin painot seinän metriä kohden on rima = $0,9 \text{ kg/m}$ ja paneelit (28 mm) = 112 kg/m . Paneelien paino jakautuu kuitenkin 14 eri koolausriman liitokselle, joten yhden liitoksen tarkastelussa paino jaetaan koolausjaon mukaisesti. Paneelien painoksi saadaan 8 kg/m . Liitosten välinen etäisyys vaakasuunnassa noudattaa rankarungon k-jakoa, joten leikkausvoimaan vaikuttava verhouksen omapaino putoaa vielä $(8+0,9) \text{ kg/m} \cdot 0,6 \text{ m} = 5,4 \text{ kg}$

Kun ajatellaan koolausrima ulokkeena, liitokseen kohdistuva leikkausvoima on tällöin ulokkeen päähän kohdistuva voima. Kilogrammojen muutos Newtoniksi tehdään kertomalla massa maan vetovoimankiihtyvyydellä. Ulokkeen päähän kohdistuva voima on nyt $5,4 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 54\text{N}$.

$$F_{v,k} = 54\text{N}$$

Liitokseen kohdistuva leikkausvoima on peräisin vain verhouksen ja riman omasta painosta. Käytetään kuormitusyhdistelmää 1.

$$F_{v,d} = 1,35 \cdot 1,0 \cdot 54\text{N} = 73\text{N}$$

Liitoksen leikkauskapasiteetti on:

$$KA = \frac{73 \text{ N}}{511\text{N}} = 15\%$$

Voidaan todeta liitoksen kestäväen leikkausrasitusta hyvin.

5.1.2 Tuulen imupaine

Kun määritetään rakenneosien tuulikuormia, se tehdään pintapaineiden avulla (RIL 201-1, 139). Tarkastellaan tilannetta, jossa tuulen aiheuttama rasitus olisi mahdollisimman suuri. Oletetaan rakennuksen sijaitsevan lähellä meren rantaa, jolloin se kuuluu maastoluokkana 0. Tarkastellaan tuulen imua rakennuksen etunurkassa tuulen suunnassa niin, että saadaan suurin mahdollinen imupaine.

Nurkan pituus, johon kyseinen imupaine vaikuttaa on 3,2 m. (RIL 201-1, 150)

Käytetään nurkassa ulkopuolisen paineen kerrointa $c_{pe,1} = -1,4$

Puuskannopeuspaineeksi saadaan $q_{p0}(8 \text{ m}) = 1,05 \text{ kN/m}^2$.

Julkisivuverhouksen koolausrimaan vaikuttava tuulenpaine saadaan kaavalla 9.

$$w_e = 1,05 \text{ kN/m}^2 \times (-1,4) = -1,47 \text{ kN/m}^2 \quad (9)$$

Julkisivupintaan vaikuttavaan kokonaiskuorma saadaan lisäämällä tuulenpaineeseen vielä rakennekerroin $c_{s,c_d} = 1$ ja tuulen paineen vaikutusala.

Vaikutuspinta-ala on $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$.

Tuulen aiheuttama maksimaalinen kuorma liittimelle lasketaan kaavalla 10.

$$F_{w,e} = 1 \times (-1,47 \text{ kN/m}^2) \times 0,36 \text{ m}^2 = -0,53 \text{ kN} \quad (10)$$

Tuulesta aiheutuva maksimaalinen ns. repivä kuorma on liitoksessa naulalle vetoa 530 N. Vetorasitus on laskennallisesti kuormittavimmillaan, kun liittimen vaikutuspinta-ala on maksimaalinen eli heti reuna-alueiden sisäpuolella. Reunoilla ja nurkissa oleviin liitoksiin kohdistuu vähäisempi imupaine vaikutusalueen ollessa pienempi.

5.1.3 Naulan ulosvetorasitus puumateriaalin painosta

Seuraavaksi tutkitaan liitoksessa vaikuttavaa voimaa naulan irtoamiselle. Kun katsotaan kiinnitettyä koolausrimaa sivustapäin, voidaan todeta kokonaisuuden olevan uloke. Tällöin julkisivun painosta aiheutuva voima kohdistuu ulokkeen päähän muodostaen ulokkeen juureen momentin. Ulokkeen juuressa momentti jakautuu voimaparille, veto- ja puristuskomponenteille. Tässä liitoksessa voimaparin muodostaa naulan vetolujuus ja puun puristusrumtokestävyys.

Momentti tässä tapauksessa on voima kerrottuna varrella, jossa paneelien paino muodostaa voiman ja koolausriman paksuus varren. Käytetään voimana edellä mainittua $F = 54 \text{ N}$

$$M_{\max} = 0,036 \text{ m} \cdot 54 \text{ N} = 1,95 \text{ Nm} \quad (11)$$

Veto- ja puristuskomponenttien suuruuteen vaikuttaa voimaparin etäisyys toisistaan. Käytännössä liitos on kestävimmillään, kun naula saadaan laitettua mahdollisimman korkealle reunaetäisyys

huomioiden. Tarkastellaan nyt tilannetta, missä naula on asennettu mahdollisimman alas, jolloin voimaparin etäisyydeksi muodostuu reunaetäisyyden minimiarvo eli $5d = 15,5 \text{ mm}$.

$$F_{ax,k} = \frac{1,95Nm}{0,0155m} = 125,8N \quad (12)$$

Naulaan kohdistuu verhouksen painosta 125,8 N vetorasitus.

5.1.4 Koolausriman puristuskapasiteetti

Momenttiparin toiselle puolelle tulee vetorasituksen lisäksi 125,8 N rasitus, joka on puolestaan puristusta. Puristusvoiman jakautuu 600 mm x 1 mm pinta-alalle.

Puun C24 puristumurtokestävyys on 21 N/mm². (RIL 205, 51)

Riman kulma, joka ottaa vastaan rasituksen saadaan puristuskestävyyttä 600 mm x 1 mm x 21 N/mm² = 12 600 N.

Puristuskomponenttiin vaikuttaa omanpainon lisäksi myös seinää vastaan kohtisuoraa puhaltava tuuli. Maksimaalinen tuulen vaikutus puristukseen lasketaan kaavoilla 13 ja 14.

$$c_{pe,1} = 1,0$$

$$q_{p0}(8 \text{ m}) = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e = 1,05 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 = 1,05 \text{ kN/m}^2 \quad (13)$$

$$c_s c_d = 1$$

Vaikutuspinta-ala on 0,6 m x 0,6 m = 0,36m².

$$F_{w,e} = 1 \times (1,05 \text{ kN/m}^2) \times 0,36 \text{ m}^2 = 0,378 \text{ kN} \quad (14)$$

Puristusrasitusta tulee siis yhteensä $378 \text{ N} + 125,8 \text{ N} = 503,8 \text{ N}$, joten todetaan puristuspuolen toimivan puristuslujuuden ollessa $12\,600 \text{ N}$.

5.1.5 Naulan ulosvetolujuus

Naulan ulosvetokestävyys lasketaan seuraavilla kaavoilla.

$$\text{Naulan ulosvetolujuus } f_{ax,k} = (20 \cdot 10^{-6}) \cdot 350^2 = 2,45 \text{ N/mm}^2. \quad (13) \quad (\text{RIL 205, 8.25})$$

$$\text{Naulan kannan läpivetolujuus } f_{head,k} = (70 \cdot 10^{-6}) \cdot 350^2 = 8,5 \text{ N/mm}^2. \quad (14) \quad (\text{RIL 205, 8.26})$$

$$\text{Tartuntapituus kärjen puolella } t_{pen} = 54 \text{ mm} \quad (15) \quad (\text{RIL 205, 119})$$

$$\text{Naulan kannan halkaisija (yleensä } d_f = 2d), d_h = 2 \cdot 3,1 = 6,2 \text{ mm} \quad (16) \quad (\text{RIL 205, 119})$$

$$R_k = \min \begin{cases} 2,45 \text{ N/mm}^2 \cdot 3,1 \text{ mm} \cdot 54 \text{ mm} = 410 \text{ N}, \text{ huom. kaikki naulat} \\ 8,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot (6,2 \text{ mm})^2 = 326,4 \text{ N}, \text{ huom. kampa ja kierrenaulat} \end{cases} \quad (17) \quad (\text{RIL 205, 8.23})$$

Kun käytetään $3,1 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ naulaa, kärjen uppouma on suuri ja se vaikuttaa tulokseen huomattavasti. Jos lasketaan kärjen uppoamaksi tasan $12d$, saadaan $R_k = 282,5 \text{ N}$. Käytetään kuitenkin todellista R_k :n arvoa 410 N . Kuorman keston muunnoskerroin $k_{mod} = 1,1$, koska kyseessä on tuulikuorma.

$$\text{Mitoituskestävyys} \quad R_d = \frac{1,1 \cdot 410 \text{ N}}{1,3} = 346,9 \text{ N} \quad (18) \quad (\text{RIL 205, 8.0.1S})$$

Naulaan vaikuttava vetorasitus on lähtöisin verhouksen omasta painosta ja tuulen imupaineesta. Käytetään vetokestävyyttä laskettaessa kuormitusyhdistelmää 2, jossa määräävä muuttuva ominaisarvo johdetaan tuulesta. Vetorasituksen mitoitusarvo saadaan kaavalla 19.

$$F_{ax,d} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 125,8 \text{ N} + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 530 \text{ N} = 939,7 \text{ N} \quad (19) \quad (\text{RIL 205, 2.1.1S})$$

Liitoksen naulan vetokestävyyden käyttöaste:

$$KA: \frac{939,7 N}{346,9 N} = 270 \%$$

Edellä laskettujen laskujen perusteella voidaan todeta, että liitoskestävyyden kanssa tulee ongelmia. Kyseisissä laskuissa siis käytettiin sileää 3,1x90 konenaulaa (lankanaula).

Julkisivupaneelien kiinnityksessä tarkastellaan uppouman tarpeita. Naulattujen puutavaroiden liitoksen tunkeutumien minimimitat RIL (205, 109) ovat $t_1 \geq 7d$ ja $t_2 \geq 8d$. Kun meillä on käytössä riman mukainen kiinnike alustana, jonka paksuus 36 mm. Tuuletusraon kohdalla kiinnikkeen paksuutta on kuitenkin jäljellä $36 \text{ mm} - 15 \text{ mm} = 21 \text{ mm}$. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että naulan määrääväksi tekijäksi tulee riman kapein kohta 21 mm.

Valitaan naulaksi konenaula 2,1 x 50. Tällöin naula on pituudeltaan oikean mittainen ja paksuuden puolesta käypä $2,1 \text{ mm} \times 8 = 16,8 \text{ mm}$. Jos naulaksi haluttaan 2,5 x 60, tulee huomioida naulan liiallinen uppoaminen. Kun verhouspaneeli on 28 mm ja riman kokonaispaksuus 36 mm, saadaan puitua tälle yhdistelmälle 64 mm.

RIL (205, 118) taulukossa 8.2bS on esitetty profiloidun naulan ulosvetokestävyyden mitoitusarvoja.

5.1.6 Naulojen yhdistetty leikkaus ja pituussuuntainen kuormitus

Pituussuuntaisen kuormituksen (F_{ax}) ja leikkausrasituksen (F_v) samanaikaisesti kuormittaman liitoksen tulee olla toteuttaa kaava 20 (RIL 205, 120).

$$\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} + \frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \leq 1 \quad (20)$$

$$\frac{939,7N}{346,9N} + \frac{73N}{511N} = 2,85 \geq 1$$

Laskenta siis osoittaa liitoksen kestättömyyden ja vaatii enemmän tarkastelua.

5.2 Naulaväli sekä reuna- ja päätyetäisyydet liitoksessa

Edellinen laskentaperusta osoittaa, että liitos ei kestä yhden lankanaulan liitosperiaatetta meren läheisyydessä. Oletetaan tässä vaiheessa, että liitos kestää kahdella naulalla naulattuna ja tehdään liittimien etäisyydeltä tarkastelut sillä olettamuksella.

Naulaväli syysuuntaan vastaan kohtisuorassa edellytetään standardin (1995-1-1, 61) ja RIL:n (205–1, 113) mukaan olevan $5d$. Kun naulat ovat syysuuntaisesti rivissä, standardin edellyttämä naulaväli on riippuvainen naulaliitokseen tulevan voiman tulokulmasta. Sen mukaan naulaväli a_1 johdetaan kaavalla 19, kun naulan paksuus on alle 5 mm.

$$a_1 = (5 + 5 |\cos \alpha|) d \quad (21) \quad (\text{SFS-EN-1995-1-1, taul. 8.2})$$

Kun liitokselle tuleva voima on puun syysuuntaisesti 90° , saadaan kaavaa 19 käyttämällä syysuuntaiseksi naulausväliksi $5d$. Tämä on $3,1 \times 90$ naulalla $15,5$ mm. Jos voiman tulokulma on 45° , saadaan naulaväliksi $8,5d$.

RIL (205–1, 113) ohjeistaa kuitenkin syysuuntaiseksi naulaväliksi suoraan $10d$ ottaen sillä huomioon liitokselle tulevien voimien tulokulmat. Nyt voimme kuitenkin havaita ongelman, mikäli tarkastellaan tilannetta, missä koolausrima on leveydeltään 48 mm sekä sitä risteävä runkopuu myös 48 mm. Naulaväli ja reunaetäisyydet ovat puun syysuunnassa nyt $5d + 10d + 5d$. Tämä tarkoittaa $3,1$ mm paksulla naulalla 62 mm. Käytännössä siis joko runkopuun tai koolausriman tulisi olla vähintään 62 mm leveä, jotta etäisyydet tulisi laskennallisesti oikein huomioitua.

6 Paloturvallisuuden osoittaminen

6.1 Tuuletusvälin palokatko

Rakennustarvikkeet jaetaan luokkiin paloon osallistumisen perusteella. Luokitus kertoo materiaalin syttymisherkyyden, palon leviämiseen liittyvistä ominaisuuksista sekä savun ja palavien pisaroiden tuotosta. Rakennustarvikkeen luokka määritetään standardien mukaisilla polttokokeilla. (Paloturvallinen puutalo, 2021, 40).

Palon leviäminen estetään pääasiassa osastoivilla rakennusosilla, mutta niissä ilmenee usein epä-jatkuvuuskohtia, kuten tuuletusraot, läpiviennit ja ontelot. Nämä huomioidaan käyttämällä palokatkoja. (Paloturvallinen puutalo, 2021, 40.) P2 paloluokassa puujulkisivun käytölle asetetaan ehtoja yli 2 krs. rakennuksessa sekä hoitolaitosrakennuksissa. Näissä tapauksissa palon leviämistä puujulkisivua pitkin tulee rajoittaa. (Paloturvallinen puutalo, 2021, 41.)

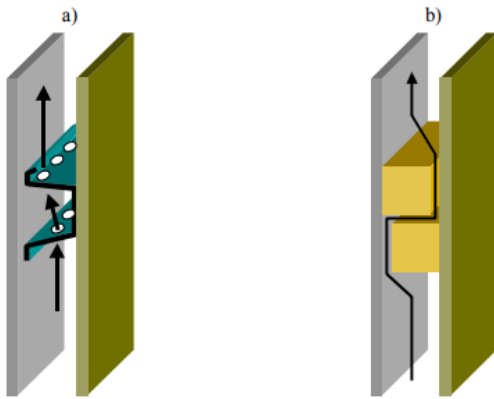
Polttokoetutkimuksissa on havaittu palon leviämisen olevan voimakkaampaa tuuletusvälissä kuin ulkoverhouksen ulkopinnalla. Tutkimustulosten perusteella on kehitetty palokatkoratkaisuksi rei'itetty peltiprofiili. Sen toiminta perustuu ilmavirtauksen hidastumiseen tuotteen kohdalla. Palon aikana palokaasut kertyvän kyseiseen peltiprofiiliin hidastaen ilmavirtausta. Palokaasun hidastuva eteneminen taas viivästyttää palolle tärkeää hapen saamista. (Paloturvallinen puutalo, 2021, 41.)

Vaakasuuntaisen palokatkon lisäksi on estettävä palon leviäminen myös vaakasuunnassa pystysuuntiasilla palokatkoilla. Koolausväli tukitaan pystysuunnassa kokonaan, jottei savukaasut pääse leviämään sivusuunnassa. Palo ei saa levitä myöskään peltiprofiilin sisällä sivusuunnassa viereiseen tuuletusonteloon. (Paloturvallinen puutalo, 2021, 41.)

Vaakasuuntaisia palokatkoja laitetaan yksi kappale kerrosta kohden. Palokatkojen sijainnilla ei ole merkitystä. Tärkeämpää on, että palokatkot noudattavat yhtenäistä väliä kerrosvälin kanssa. (Paloturvallinen puutalo, 2021, 41.)

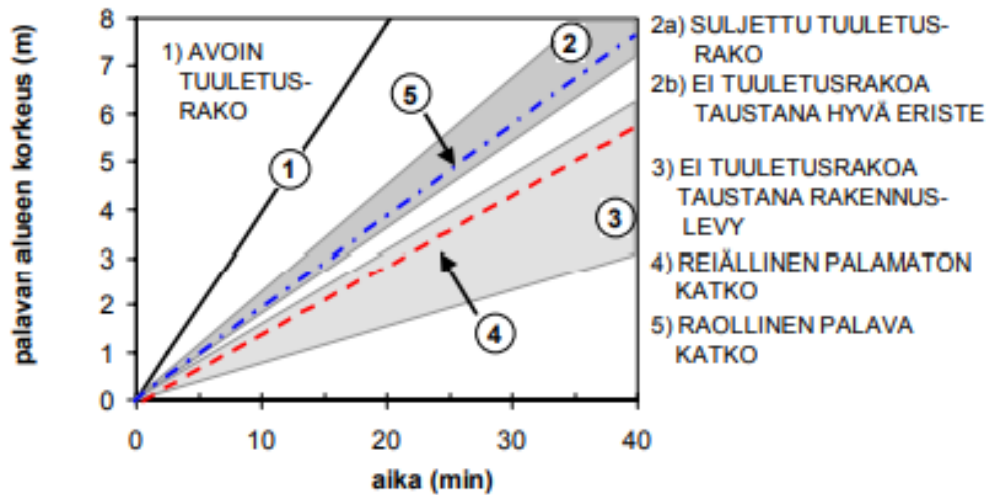
6.2 Tutkimus aiheesta

Hietanen, Vaari, Hakkarainen, Huhta, Jumppanen, Korhonen, Kouhia, Siiskonen ja Weckman (2004, 40) tuovat tutkimuksessaan esille kahden erilaisen palokatkon toimintaa puuverhotussa rakenteessa. Palokatkoina käytettiin kuvan 6. mukaisia ratkaisuja. (Hietanen ym. 2004, 42.)



Kuvio 6. Tutkimuksessa käytetyt tuuletusvälissä olevat palokatkoratkaisut (Hietaniemi ym. 2004, 42).

Tutkimuksessa palokatkoina käytettiin rei'itettyä teräsprofiilia ja kahdesta puurimasta tehtyä ratkaisua. Teräsprofiilin reikien yhteispinta-ala vastasi 5 % katkaistun raon poikkipinta-alaa. Virtausmekanisten tarkastelujen mukaan tämä riittää kosteusteknisen toiminnan kannalta, kunhan sadevesi ei pääse merkittävästi tuuletusrakoon. Pontattua puurakennetta Hietanen ja muut (2004, 42) pitivät riittävän tiiviinä rakenteena tähän tarkoitukseen. Puurimaratkaisussa käytettiin palokatkona 7 mm rakoa tuuletusvälissä, joka vastasi 20 % katkaistun tuuletusvälin poikkipinta-alasta. Pienempää väliä Hietanen ja muut eivät suosittele mittatarkkuuden, kosteuselämisen, roskaantumisen ja pölyntymisen takia. (Hietanen ja muut, 2004, 41.)



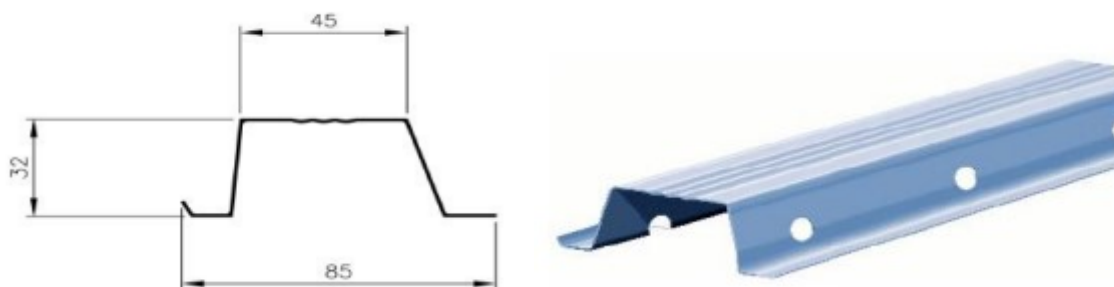
Kuvio 7. Tutkittujen palokatkojen vertailutulos verrattuna muun tyyppisiin seinärakenteisiin (Hietanen ym. 2004, 42).

Kokeissa saaduissa tuloksissa kävi ilmi palokatkojen verrattain hyvä toimivuus. Reiällinen teräsprofiili hidasti liekkien etenemistä 12–13 min. verrattuna ratkaisuun ilman palokatkoa. Puurimaratkaisu hidasti vastaavasti liekkien etenemistä 7–8 minuutilla. Hietanen ja muut toteavat molempien palokatkoratkaisujen katkaisevan tuuletusraossa leviävää paloa varsin tehokkaasti. (Hietanen ja muut, 2004, 42.)

7 Markkinat

7.1 Muut vastaavanlaiset tuotteet

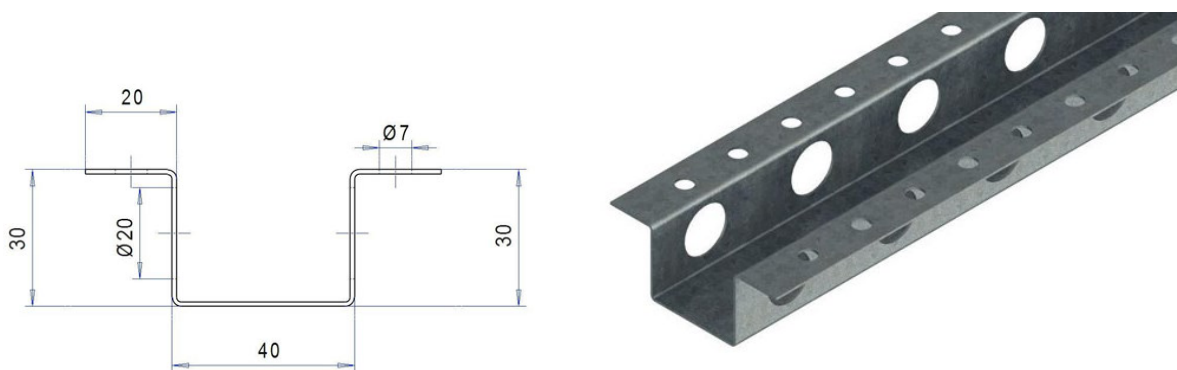
Ruukki tuulettava teräsuode. Kuvion 18 mukaiset dimensiot. Hinta ilman arvonlisäveroa 2,8 €/m (Tuulettava teräsuode n.d.)



Kuvio 8. Ruukin tuulettava teräsuode (Peltokangas 2015).

Saint-Gobain Finland Oy valmistaa Aquaroc ATR 30 nimistä tuulettuvaa ruodetta. Tuote kuuluu Aquaroc julkivisujärjestelmään. Jälleenmyyjinä ovat mm. Stark ja K-rauta. Heidän nettisivuiltaan ei kuitenkaan kyseistä tuotetta löytynyt. Tässä tuotteessa käytetään pyöreitä halkaisijaltaan 20 mm tuuletusrakoja 100 mm jaolla. (Aquaroc™ n.d.)

Aulis Lundell Oy tekee erilaisia teräprofiileja koolaustarkoitukseen nimellä KOOLARI. Näissä Tuuletusaukot ovat 50 mm jaolla olevia, halkaisijaltaan 20 mm rakoja. Rakojen pinta-ala juoksumetrille 6300 mm²/jm. Tuotetta saa eri vahvuuksilla ja eri mitoilla. Tarkastellaan tuotetta HTL ruode 30x40x07. Veroton hinta tuotteelle 5,80 €/m. Sivustolta löytyy myös pyydä tarjous painike sekä paikka alennuskoodia varten. (Tuulettuva hattulistaruode n.d.)



Kuvio 9. Lundell valmistaa tuulettuvia koolaustuotteita useilla eri mitoilla ja vahvuuksilla (Tuulettuva hattulistaruode n.d.)

Suomessa erikseen myytävät tuulettuvat koolaustuotteet näyttävät olevan teräsvalmisteisia. Suomen ulkopuolella niitä myydään myös muovivalmisteisina, kuten Uusiseelantilainen yritys VENT tuotteellaan VB20. (VENT Systems Vented Batten-VB20 n.d.)

7.2 Tuotteen käypäisyys

Tutkimuksen kohteena oleva koolaustuote käy hyvin eri verhousohjeisiin. Usein pintamateriaalien valmistajat määrittelevät liitintyyppit sekä liitinvälit ja reunaetäisyydet. Jos pintamateriaalin valmistaja ei ole erikseen määrittellyt tuotteen liittimien reunaehtoja, sovelletaan standardeja.

Gyproc-kipsilevyt

Gyproc-kipsilevyjä käytettäessä reunaetäisyydet ovat leikkaamattomasta pinnasta 10 mm ja leikattusta pinnasta 15 mm. Suunnitteluohjeessa todetaan myös, että reunaetäisyydet ovat riittävät, kun levyjen reunamurtumia ei synny. Kyseiselle kipsilevyille ruuviväli on 100–200 mm. Pienin sallittu kiinnikeväli saa olla kartonkipintaisilla ja lasikuitumattovahvistetuilla kipsilevyillä 70 mm. Kuituvahvistetuilla kipsilevyillä konenaulat saa olla 60 mm ja muut kiinnittimet 80 mm välein. (Leskelä, 2017.)

8 Profiilin kustannusvertailu

Tehdään kustannusvertailut aikaisemmin esille tulleelle hallirakennukselle. Hallirakennuksen sivumitat ovat 20 m x 30 m ja seinien korkeus 8 m.

8.1 Ristikoolauksen materiaalikustannukset

Ristikoolaukseen menevä puumateriaali tällä hetkellä maksaa noin 1 €/m. Ristikoolauksella toteutettu tuuletusväli tarvitsee tällöin koolauslautaa yhteensä 2700 m. Sille saadaan hinnaksi 2700 €. (Stark; K-rauta).

Jos jokaiseen liitokseen menee 2 naulaa, niin tarkasteltavan rakennuksen naulojen määrä on laskennallisesti noin 2200 kpl eli paketillinen, jonka hinta on noin 100 €. Ristikoolauksessa puumateriaalin ja naulojen määrä on puolet enemmän yksinkertaiseen koolaukseen verrattuna.

8.2 Teräskoolauksen materiaalikustannukset

Käytetään tarkastelun kohteena hinnan edukkuuden vuoksi ruukin tuulettavaa teräsrudetta. Koolausruoteen määränä käytetään puolet ristikoolauksen määrästä eli 1350 m. Tällöin Ruukin teräsrudeteille hinnaksi saadaan 3780 €. Ruuvit mukaan luettuna tulee paketille hintaa 4000 €.

8.3 Työkustannukset

Rakennustöiden menekit 2020 (2019, 92) mukaan Julkisivuverhouksen koolaukseen kuluva työ riippuu koolaustyyppistä. Yksinkertaista koolausta tehdessä saadaan työmenekiksi 0,04 työntekijätuntia seinän neliötä kohden (tth/seinä-m²) ja kaksinkertaiselle eli ristikoolaukselle 0,07 tth/sienä-

m². Ohje on tarkoitettu paikallarakentamiseen, mutta voidaan olettaa työmäärän suhteen olevan sama myös silloin, kun valmistetaan elementtejä halliolosuhteissa.

Käytetään tässä tarkastelun lähtökohtana aikaisemmin kohdassa 5.2 mainittua rakennusta. Rakennuksen mitat siis 20 m x 30 m ja korkeus 8 m. Saadaan ulkoseinän pinta-alaksi yhteensä 800m². Kaavoilla 14 ja 15 saadaan laskettua eri koolausratkaisuihin kuuluva työ.

Ristikoolaus

$$800 \text{ m}^2 \cdot 0,07 \text{ tth/m}^2 = 56 \text{ tth} \quad (22)$$

Yksinkertainen koolaus

$$800 \text{ m}^2 \cdot 0,04 \text{ tth/m}^2 = 32 \text{ tth} \quad (23)$$

Kun ajatellaan timpurin palkan olevan karkeasti 20 €/h, eikä muita kuluja huomioida, saadaan ristikoolaukselle työn hinnaksi 1120 € ja yksinkertaiselle koolaukselle hintaa 640 €.

9 Vertailua muihin

Muut vastaavat tuotteet ovat siis valmistettu teräksestä lukuun ottamatta perinteistä ristikoolausta. Ristikoolaus on hyvä tapa hoitaa tuuletus, eikä tuuletusvälin varsinaisesti ole ollut tarvetta viime aikoina muuttua. Tämä tuote on kuitenkin kehitetty hiomaan yksityiskohtia. Tällä ratkaisulla saadaan mahdollisesti nipistettyä ylimääräisiä kustannuksia sieltä, missä sitä on liikaa. Samalla tuetaan hyvää rakentamistapaa helpottamalla johdotuksien tekemistä maksimoiden samalla asumistilan koon.

Puu on helpompi työstää työmaalla. Terästuotteiden katkomisessa tarvitaan järeämpiä työkaluja ja vaatii enemmän ympäristön huomioimista esimerkiksi paloturvallisuuden kanssa. Terästuotteissa kiinnittämiseen käytetään yleensä poraruuveja. Vaihtoehtoisesti muita kiinnittimiä käytettäessä tulee tehdä teräsprofiilin esireiät. Puuliitokseen riittää konenaulan käyttö.

Usein hinta on myös ratkaiseva tekijä kilpailukyvyn kannalta. Vaikka puun hinta on noussut kovasti viime aikoina, terästuotteiden käyttö on puuhun verrattuna edelleen hintavaa. Teräsvalmisteiset tuotteet maksavat monesti enemmän valmistus- ja työstökustannusten takia.

Tuotteen yksi profiilimuoto soveltuu moneen eri käyttötarkoitukseen. Tuotetta voi hyödyntää mm. julkisivuverhouksen kannattajana, sisäseinä-, alakatto- ja lattiakoolauksissa sekä kattoruoteena. Sama profiili toimii niin ulkona julkisivuverhouksen kuin sisällä alakaton koolauksessa. Tuulettuvuuden lisäksi ratkaisulla voidaan hoitaa kätevästi johdotukset rakenteiden kuten sisäkattojen sisään. Sisäkatto ei tule tällä profiililla paljoa alemmas, mutta mahdollistaa silti johtojen kuljettamisen katon kautta ympäri rakennusta.

Erilaiset ratkaisut saattavat herättää kiinnostavat markkinoilla, jos ne ovat totuttuihin tapoihin verrattuna käytännöllisempiä ja kuitenkin kukkarolle sopivia. Tämän tuotteen materiaali on puu, joka on sama kuin millä on totuttu tekemään koolaukset aikaisemminkin. Käyttökokemus on siis tuttua ja turvallista. Kysyntää tuotteelle varmasti on. Tuotteen saaminen kuluttajan käyttöön ottaa kuitenkin aikansa ja paras mahdollinen tarve- ja käyttöselvitys tulisi heiltä palautteen muodossa.

Tällaista tuotetta ei Suomen markkinoilla nyt ole. Kauppojen hyllyiltä löytyy useanlaista teräsprofiilia samaan tarkoitukseen, mutta puuvalmisteista tuulettuvaa koolausrimaa kysellessä kauppiat tarjoavat vain vajaasärmäistä lautaa. Puu koolausriman materiaalina voi antaa mahdollisesti etulyöntiaseman markkinoilla oleviin teräsprofiileihin verrattuna. Uusi ratkaisu, mutta vanhalla ja totutulla tuotetuntumalla herättää ainakin halua kokeilla.

10 Pohdinta

Puuverhotun julkisivun koolauksessa perinteinen koolaustapa on toiminut hyvin siitä lähtien, kun verhouksen ja seinän väliin ymmärrettiin järjestää tuuletus. Nykyään tuuletusvälin huomioiminen verhouksen ja seinän välissä on suomalaiselle rakentajalle itsestäänselvyys. Puuverhoukseen tuuletuksen järjestäminen hoidetaankin pääasiassa puulaudoituksen asentamisella verhouspaneelien taakse.

Vaikka rakenteiden kuivumisen järjestäminen on pakollista, puuverhouksessa toimivan tuuletusvälin mittoihin on vain viitteellisiä ohjeita. Kun tuuletusvälit puuverhouksessa otettiin käyttöön, on todennäköisesti ajateltu vain sen toteuttamista mahdollisimman yksinkertaisella tavalla. Ratkaisuksi osoittautui rautakaupan 22 mm x 100 mm karvalauta. Sen huomattiin toimivan, joten isompaa aiheen käsittelyä ei tarvittu.

Verhouksen takana tuuletus hoituu todennäköisesti ohjemittoja pienemmilläkin tuuletusvälin mitoilla. Tarkkoja mittauksia ja tutkimustuloksia puuverhotun seinän tuuletusvälin toiminnasta ei löytynyt. Kauppojen hyllyillä kuitenkin myydään muun muassa uritettuja villalevyratkaisuja, joissa tuuletusurien mitat ovat optimoitu ohjemittoja pienemmiksi. Puuverhouksen tuuletusväliin liittyviä tutkimuksia on vähän saatavilla ehkäpä aiheen vähäpätöisyyden takia ja siksi tuuletusvälien optimointi on hyvin pitkälle tuotekehittäjien omissa käsissä.

Ennustetun ilmastonmuutoksen seurauksena ulkoilman kosteus- ja lämpöolot voivat muuttua. Tätä asiaa tarkastellessa, voidaan havaita tarve tuuletusvälin mittoihin liittyvistä tutkimuksista. Tarvetta on tiedoille kuivumiseen liittyvistä rajapinnoista. Kosteusteknisen toiminnan kannalta puuverhouksen tuuletusväli ei saa olla liian iso tulevaisuuden ilmastossa.

Laskentaperustan johdattelemana voimme todeta, että koolauslaudan kiinnittäminen kahdellakin naulalla per liitoskohta voi osoittautua riskirakenteeksi merenrannan läheisyydessä. Tuulen imupaine tuulta vastaan kohtisuorassa olevalla rakennuksen etunurkalla kasvaa niin suureksi, että sillä voi olla verhousta ja koolauslaudoitusta repivä vaikutus. On todennäköistä, että avoimella paikalla, merenrannan läheisyydessä sienän puuverhouksen käyttöikä on annettua pienempi.

Opinnäytetyössä käsiteltävä koolausratkaisu on kehitelty elementtitehtaan olosuhteisiin vähentämään työvaiheita. Pystysuuntaisen puuverhouksen koolauksessa on perinteisesti käytetty ristilaudoitusta tuuletusvälin mahdollistamiseksi. Tällä ratkaisulla saadaan karsittua toinen laudoituskerta kokonaan pois. Tuuletuksen järjestäminen koolausrimaan mahdollistaa myös johdoitusten viemisen riman läpi. Tuote soveltuu moneen eri käyttötarkoitukseen.

Ongelmana on ollut tuotteen toiminnan selkeyttäminen. Koolausratkaisulle on ollut ajatuksia ja ideoita, mutta varsinaista laskentaperustaa ei kuitenkaan ole aikaisemmin tehty. Opinnäytetyö tarjoaa kokoavan aineiston tuotteen käytön osalta puuverhouksen koolauksessa. Koolausratkaisulle suurin rasitus muodostuu tuulen imupaineesta rakennuksen nurkalla, joten toimintavarmuus muissa käyttökohteissa on varmallalla puolella. Koolausratkaisun käyttö katon ruoteena on kuitenkin tarkasteltava erikseen.

Tuloksena saatiin kyseiselle koolausratkaisulle optimidimensiot ja liitostiedot. Työn pohjalta tilaaja voi tehdä laskentaperustan mukaan omia dimensiomuutoksia ja liitosvalintoja niin, että tuotteen kestävyys on johdettu standardeista. Työn antama näkemys tuuletukselta koosta ja koottu palotekninen aineisto mahdollistaa tilaajalle hyvät lähtökohdat tuotteen jatkokehitykselle.

Tilaajan toiveena oli saada näkemystä myös tuotteen markkinamahdollisuuksista. Alkuun työ näyttäytyi hyvin lyhyeltä ja tavoitteeksi teknisen tarkastelun lisäksi asetettiin markkinänäkemyksen selkeyttäminen. Sen osalta materiaali jäi kuitenkin laihaksi. Myös perusteellinen käyttökohteiden selkeyttäminen jäi lähinnä kevyen spekulointin varaan.

Jälkeenpäin ajateltuna työn rajaamiseen olisi voinut käyttää enemmän aikaa. Markkinamahdollisuudet ja käyttökohteiden selkeyttäminen ovat kuitenkin laajuudessaan omia tutkimusaiheita. Teknisen tarkastelun puolesta tavoitteisiin päästiin hyvin ja sen pohjalta tilaaja saa arvokasta tietoa tuotekehityksen tueksi.

Lähteet

A 782/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Viitattu 16.2.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>.

Aquaroc™ – tuulettuva rapattu julkisivujärjestelmä Suunnittelu- ja asennusohje. 2014. Gyproc tuotteen suunnittelu ja asennusohje. Viitattu 22.3.2022. <https://www.gyproc.fi/sites/gypsum.nordic.master/files/gyproc-site/document-files/FI/Muut/Aquaroc%20julkisivujärjestelmä%20asennusohje%2016%201%202014.pdf>.

Björkholtz, D. 2004. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. 3. painos. Helsinki: Rakennustieto oy.

Hietanen, J., Vaari, J., Hakkarainen, T., Huhta, J., Jumppanen, U., Korhonen, T., Kouhia, I., Siiskonen, J., Weckman, H. 2004. VTT Tiedotteita 2249. Ontelotilojen paloturvallisuus. Viitattu 14.3.2022. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2004/T2249.pdf>.

Ilmastonmuutos. N.d. Ilmatieteen laitoksen artikkeli ilmastonmuutoksesta. Ilmatieteenlaitoksen nettisivuilla. Viitattu 10.3.2022. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoksesymyksiä>.

ISOVER OL-TOP. N.d. Tuote-esittely ISOVERIN nettisivuilta. Viitattu 14.3.2022. <https://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/isover-ol-top#descriptions>.

Leskelä J. 2017. Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje. Viitattu 4.4.2022. https://www.gyproc.fi/sites/gypsum.nordic.master/files/gyproc-site/document-files/fi/Gyproc_jaykistysertifikaatti_suunnitteluohjeet_012017.pdf.

Maapallon ilmasto tulevaisuudessa. N.d. Ilmatieteen laitoksen tuottama julkaisu ilmasto-opas.fi nettisivulla. Viitattu 10.3.2022. <https://ilmastoopas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/6c5a9908-7033-47a8-9855-e745b4fa7604/maapallon-ilmasto-tulevaisuudessa.html>.

L 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki. Viitattu 16.2.2022. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Paloturvallinen puutalo. 2021. Asuin- ja toimitilarakentaminen. Puuinfo. Viitattu 15.4.2022. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf.

PAROC ROS 30 g. Kattoeriste, ala- ja välikerroseriste. N.d. Tuote-esittely Parocin nettisivuilta. Viitattu 14.3.2022. <https://www.paroc.fi/tuotteet/rakennuseristeet/loivien-kattojen-eristeet/paroc-ros-30g>.

Peltokangas, H. 2015. Ruukin tuulettava teräsrude. Opinnäytetyö, SeAMK. Seinäjoen ammattikorkeakoulu, tekniikan ala. Degree Programme in Construction Site Management. Viitattu 22.3.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/101956/Peltokangas_Harri.pdf?sequence=2.

Pentti M. 2014. Ulkoseinät. Julkaisussa RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 120–133. Viitattu 10.2.2022.

Pihkala, J. N.d. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. painoksen muuttumaton lisäpainos. Helsinki: Opetushallitus.

Rakennusten kosteustekninen toimivuus. 2020. Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Rakentamismääräykset. Ympäristöministeriö. Viitattu 7.3.2022. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>.

Ratu KI-6035. 2019. Rakennustöiden menekit 2020. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 22.3.2022. <https://janet.finna.fi> ,RT-kortisto.

RIL201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

RIL205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

RIL 250-2020. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

RT 82-11006. 2010. Ulkoseinärakenteita. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 14.3.2022. <https://janet.finna.fi> ,RT-kortisto.

SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC:2014. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 16.6.2014. Viitattu 16.2.2022. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto.

Suomalainen homemalli. N.d. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 16.3.2022. <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>.

Tiilijulkisivuun tehtävien tuuletusaukkojen mitoitus. N.d. Suomen Tiiliteollisuusliitto ry:n tekemä ohjeistus tuuletusaukkojen mitoituksesta tiili-info sivustolla. Viitattu 9.3.2022. <https://www.tiili-info.fi/maaraykset-ja-ohjeet/tiilijulkisivuun-tehtavien-tuuletusaukkojen-mitoitus/>.

Tuulettuva hattulistaruode. N.d. Lundel Oy:n verkkokauppa. Viitattu 22.3.2022. <https://www.aulis-lundell.fi/naytatuoteperhe/HTL+Ruode/26083>.

Tuulettuva teräsrude RA545 3700. N.d. Tuoteinfo rakentaja.fi verkkokaupassa. Viitattu 22.3.2022. <https://kauppa.rakentaja.fi/tuote/tuulettava-terasruode-ra545-3700/>.

VENT Systems Vented Batten – VB20. N.d. Tuulettuva kattoruode tuote-esittely valmistajan nettisivuilla. Viitattu 22.3.2022. <https://www.ventsystems.com.au/products/roof-ventilation/ventilated-batten-vb20/>.

Vinha, J. & Käkelä, P. 2001. Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusion ja konvektion vaikutuksesta. Julkaisu 96. Kolmas uudistettu painos. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. Viitattu 15.3.2022. https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/116739/vinha_kakela_vesihoyryn_siirtyminen_seinarakenteissa.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Vähähiilinen rakentaminen. N.d. Ympäristöministeriön julkaisu kasvihuoneilmiön huomioimisesta ympäristöministeriön nettisivulla. Viitattu 10.3.2022. <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>.

Liitteet

Liite 1. Vaakasuuntaisen koolausriman optimidimensiot (salassa pidettävä)