

Henrik Autio

Levyrakenteisen julkisivun vikasietoisuuden parantaminen rantarakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

19.4.2016

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Henrik Autio Levyrakenteisen julkisivun vikasietoisuuden parantaminen rantarakentamisessa 56 sivua + 8 liitettä 19.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennesuunnittelu
Ohjaaja(t)	Rakennesuunnittelija Ville Nevalainen Anne Pietilä, Metropolia
<p>Insinööriytyössä tavoitteena oli tutkia korjausrakentamiseen soveltuvaa levyrakenteista julkisivua rannikko-olosuhteissa, ja parantaa kyseisen rakenteen vikasietoisuutta. Rannikon kovempien rasitusten takia rakenteessa todetut erityisesti kosteudesta aiheutuvat ongelmat korostuvat. Rakenteen kosteusteknistä ja pitkäaikaista toimintaa tarkasteltiin käytännönläheisestä näkökulmasta.</p> <p>Tutkittu levyrakenteinen julkisivu on kahdella tuuletusvälillä ja erillisellä ns. sadetakkirakenteella varustettu julkisivurakenne. Tutkittu rakenne on suhteellisen uusi, joten sen käytöstä ei ole pitkäaikaisia kokemuksia. Tutkimusaineistona insinööriytyössä käytettiin pääsääntöisesti ns. normaalin levyjulkisivun suunnitteluun, rakenteiden kosteudenhallintaan sekä rantarakentamiseen liittyviä ohjeita ja määräyksiä.</p> <p>Tutkimustyössä selvisi, että rannikko-olosuhteita ei ole ilmoitettu nykyisissä suunnitteluohjeissa ja -määräyksissä riittävän tarkasti. Tästä syystä sopivan varmuustason valitseminen voi olla vaikeaa. Kyseisellä julkisivurakenteella toteutuneiden kohteiden alhaisen määrän takia tiedon ja referenssikohteiden löytäminen oli hankalaa.</p> <p>Tutkimustyön perusteella rakenteen yleisimmille riskikohdille haettiin käytännön ratkaisuja. Levyrakenteinen julkisivu on rannikolle hyvin soveltuva ja varma rakenne, mikäli sen toiminta voidaan varmistaa. Perehtymällä korjauskohteessa vallitseviin olosuhteisiin voidaan suunnittelulle ja materiaaleille asettaa riittävä vaatimustaso. Materiaalien kosteudenkestävyys sekä detaljisuunnittelun ja toteutetun työn laatu parantavat rakenteen pitkäikäisyyttä. Lisäksi kummankin tuuletusvälin riittävä kuivattava vaikutus ja sadetakkirakenteen tiiviys on varmistettava rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta.</p>	
Avainsanat	korjausrakentaminen, levyjulkisivu, sadetakki, tuuletusväli

Author(s) Title Number of Pages Date	Henrik Autio Improvement of Fault Tolerance of Curtain Walls in Coastal Engineering 56 pages + 8 appendices 19 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Ville Nevalainen, Structural Engineer Anne Pietilä, Metropolia
<p>The aim of this thesis was to research a curtain wall facade and improve its fault tolerance in the Finnish coastal climate, with an emphasis on renovation. Due to the harsher conditions of the coast, especially moisture-related problems are emphasized. The moisture and long-term performances were surveyed from a practical point of view.</p> <p>The examined curtain wall is equipped with two separate ventilation spaces and a separate rain-stopping coated steel panel. This particular curtain wall is quite new, so there is no long-term experience of its use. The research material used in this study consisted mostly of directives and guides related to the designing of curtain walls, management of moisture in structures and coastal engineering.</p> <p>During the research process, it became clear that the coastal conditions have not been presented with sufficient accuracy in current design directives and guides. For this reason, choosing an appropriate level of certainty can be difficult. Finding reference sites and information was difficult due to the low number of actual buildings bearing the examined curtain wall.</p> <p>Practical solutions for the most common risk-structures of the examined façade were sought on the basis of the research work. The curtain wall is a secure, well suited façade fit for the coast, as long as its function can be verified. By familiarizing oneself with the reigning coastal climate, one can set an adequate standard for the design work and the materials used. Material moisture resistance, as well as the quality of detail-design and renovation work ensures a longer lifespan for the structure. Sufficient drying effect of the ventilation spaces and a watertight rain-stopping panel are critical in ensuring the moisture-technical functioning of the structure.</p>	
Keywords	renovation building, curtain wall, rain stopping panel, ventilation space

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoite ja rakenne	1
1.2	Tutkimusmenetelmät	1
1.3	Aiheen rajaus	2
1.4	Tutkimusongelma	3
2	Suomen Itämeren rannikko	4
2.1	Korjausrakentaminen Suomessa	4
2.2	Rannikko-olosuhteet	4
2.2.1	Rannikon sateisuus	5
2.2.2	Rannikon tuulisuus	5
2.2.3	Kosteuden siirtyminen rakenteeseen	7
2.2.4	Kosteuden ja ilmavuotojen aiheuttamat haitat	10
2.2.5	Rannikon kloridirasitukset	12
2.2.6	Auringon säteilyn vaikutukset	13
2.2.7	Ilmaston muutoksen vaikutukset Suomen rannikkoilmastoon	14
3	Levyrakenteisen julkisivun rakennekuvaus ja suunnittelu	15
3.1	Levyrakenteisen julkisivun rakennekuvaus	15
3.2	Levyrakenteisen julkisivun suunnittelu	21
3.2.1	Suunnittelua ohjaavat määräykset	21
3.2.2	Koko rakenteen kosteustekninen toiminta	23
3.2.3	Tuulen vaikutus levyrakenteen toimintaan	25
3.2.4	Tuuletusvälin määrittäminen	27
3.2.5	Levyrakenteisen julkisivun palomitoitus	29
3.2.6	Kiinnikkeiden suunnittelu	30
3.2.7	Levyjulkisivun saumat	31
3.2.8	Pitkäikäisyyden varmistaminen	32
4	Rantarakentamisen esimerkkikohde Helsingin ydinkeskustassa	34
4.1	Esimerkin tavoite ja tarkoitus	35
4.1.1	Kohteen erityspiirteet ja olemassa olevien rakenteiden selostus	35
4.1.2	Kohteen julkisivun uusimiseen liittyvät haasteet	36
4.1.3	Toteutuvan betonikuorielementtijulkisivun selostus	37
4.2	Levyjulkisivun soveltaminen kohteeseen	38
4.3	Levyjulkisivu- ja kuorielementtijärjestelmän vertailu	43

5	Tutkimustulokset	44
5.1	Levyrakenteisen julkisivun kosteusteknisen toiminnan parantaminen	45
5.2	Levyrakenteisen julkisivun pitkäaikaisen toiminnan parantaminen	46
5.3	Johtopäätökset	47
6	Kehitysehdotukset	49
7	Yhteenveto	50
	Lähteet	51
	Liitteet	
	Liite 1. Esimerkkikohteen rakennetyypit US1 (2 s.)	
	Liite 2. Esimerkkikohteen mitoittavat tuulikuorman laskelmat (6 s.)	

Sanastoa

Diffuusio

Vesihöyryn siirtyminen ilman välityksellä, kosteammasta ilmasta kuivempaan ilmaan tai kosteammasta ainekerroksesta kuivempaan ainekerrokseen.

Konvektio

Ilmavirran vaikutuksesta siirtyvä lämpö, vesi tai vesihöyry.

Levyrakenteinen julkisivu

Levyillä verhoiltu tuulettuva julkisivu. Levyverhous ripustetaan kantavaan rakenteeseen. Levyverhous voidaan toteuttaa mm. metallilevyistä ja -kaseteista, tiililaattapintaisista levyistä, betonilaatoista, rapatuista levyistä, luonnonkivilevyistä, kuitusementtilevyistä, komposiittilevyistä, kalsiumsilikaattilevyistä sekä keraamisista laatoista ja levyistä.

Rannikko

Suuria vesistöjä ympäröivät maa-alueet. Meri-ilmaston vaikutusalue, jossa ilmasto-olosuhteiden oletetaan olevan sisämaata rankemmat.

Sadetakkirakenne

Veden pysäyttävä ainekerros, yleisesti rakenteen ulkopinnassa. Tässä opinnäytetyössä levyjulkisivurakenteen tuuletusvälin taustalla oleva verhous.

Vesihöyryn vastus

Materiaalille ominainen arvo. Ilmaisee, kuinka hyvin tietty materiaali vastustaa vesihöyryn tunkeutumista.

1 Johdanto

1.1 Työn tavoite ja rakenne

Tämä opinnäytetyö toteutetaan Vahanen Oy:n toimeksi antamana. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia levyjulkisivurakennetta rantarakentamisolosuhteissa ja selvittää, miten kyseisen rakenteen vikasietoisuutta voidaan parantaa korjausrakentamisessa. Työ koostuu neljästä osasta; ensimmäisessä osassa selostetaan levyjulkisivuissa yleisimmin havaittavat ongelmat, tutustutaan Suomen tämänhetkiseen korjausrakentamisen tilaan ja perehdytään Suomen rannikon olosuhteisiin. Seuraavassa osiossa selostetaan tutkitun levyrakenteisen julkisivun rakennetta ja sen suunnitteluun liittyviä ohjeita rantarakentamisen näkökulmasta. Kolmannessa osiossa luodaan tutkimusaineistoa hyväksikäyttäen esimerkkirakenne rantarakentamiskohteeseen, ja verrataan luotua rakennetta toiseen julkisivurakenteeseen. Viimeisessä osiossa esitellään tutkimustulokset, päätelmät ja yhteenveto.

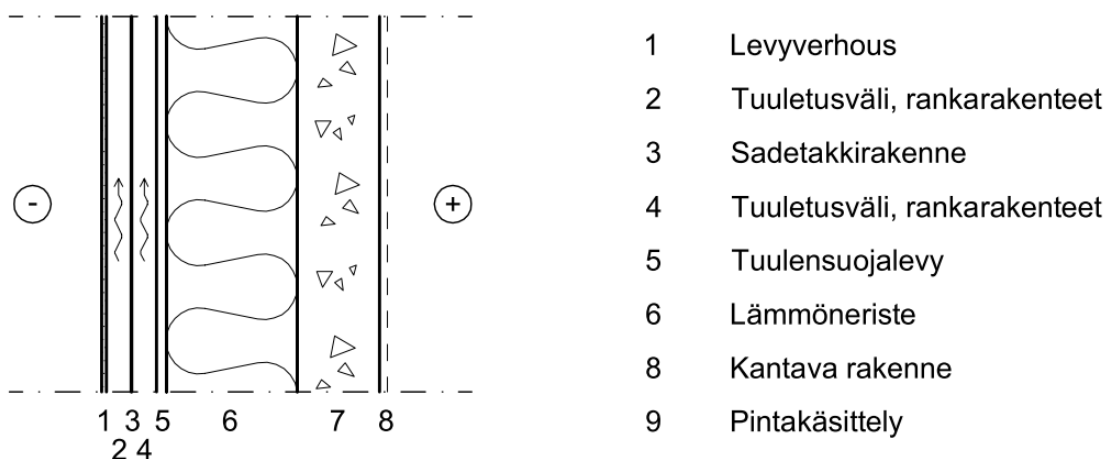
1.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusaineistona tässä opinnäytetyössä käytetään pääsääntöisesti olemassa olevaa aihepiiriin soveltuvaa kirjallisuutta ja yhtä toteutunutta kohdetta. Tutkimukseen soveltuvien kohteiden vähäisyyden takia aineiston hankkiminen perustuu osittain tavallisen levyjulkisivun suunnitteluohjeisiin ja niiden soveltamiseen tutkittuun rakenteeseen. Tutkimustuloksia sovelletaan esimerkkikohteeseen, jossa verrataan levyjulkisivun ja betonikuorielementtijulkisivun hyviä ja huonoja puolia. Tutkimustyön tulokset tulevat käsittämään korjausrakentamiseen soveltuvan levyjulkisivun suunnittelun pääperiaatteet.

1.3 Aiheen rajaus

Opinnäytetyössä käsitellään ainoastaan pystysuoria levyjulkisivurakenteita ja niiden toimivuuden parantamista rantarakentamisessa. Työn tuloksia voidaan soveltaa ensisijaisesti korjausrakentamisessa. Tässä opinnäytetyössä tutkittava levyjulkisivurakenne on niin sanotusta ”normaalista” yksinkertaisesta tuuletusvälillisestä rakenteesta eroava, kahteen erilliseen tuuletusväliin perustuva rakenne. Rakenteen julkisivulevyinä voidaan käyttää mm. ohuita kuitubetonilevyjä, keraamisia laattoja tai peltikasetteja. Julkisivulevyn ja kantavan rungon ulkopuolisen eristekerroksen välissä on kaksi erillistä tuuletusväliä, joiden keskellä on veden ja kosteuden pysäyttävä rakenne, ns. sadetakkirakenne. Esim. pinnoitetusta teräsohutlevystä koostuva sadetakkirakenne ohjaa veden tuuletusväliä pitkin ulos seinärakenteesta sekä suojaa sisempää tuuletusväliä ja eristekerroksia kostumiselta. Niin levyjulkisivu kuin sadetakkirakenne kannatetaan rakennuksen rungosta kiskoilla ja runkoon kiinnitettävillä ankkureilla. Tutkitun rakenteen periaaterakennetyyppi on esitetty kuvassa 1.

Opinnäytetyössä mainittua levyjulkisivua ei tule sekoittaa kaksoisjulkisivuun, jonka toimintaperiaate on samantapainen kuin levyjulkisivulla. Kaksoisjulkisivun suurin ero levyjulkisivuun verrattuna on ulkokuoren sisäpuolinen tila, joka kaksoisjulkisivussa on tuuletusväliä huomattavasti leveämpi ja avonaisempi, jopa ihmisen kokoinen tila. Kyseinen välitila helpottaa mm. sisempien rakenneosien huollettavuutta.



Kuva 1. Kahdella tuuletusvälillä ja erillisellä sadetakkirakenteella varustetun levyrakenteisen julkisivun periaaterakennetyyppi.

1.4 Tutkimusongelma

Opinnäytetyön taustalla on rantarakentamiseen liittyvän ohjeistuksen ja soveltuvan tiedon hajanaisuus ja puute. Selkeitä rantarakentamiseen liittyviä ohjeita löytyy ns. tavanomaiseen rakentamiseen verrattuna vähän. Kahdella tuuletusvälillä varustettujen levyjulkisivujen käytöstä ei ole paljon kokemuksia, sillä rakenne on melko uusi. Yhden tuuletusvälin omaavia levyjulkisivuja on kuitenkin käytetty jo 1960-luvulta lähtien. Olosuhteet Suomen rannikolla ovat muuta maata rankemmat, etenkin kosteuden ja tuulen suhteen; monisaumaisissa rakenteissa, kuten levyjulkisivuissa, onkin esiintynyt ongelmia alusta lähtien.

Vedellä ja kosteudella on taipumus tunkeutua rakenteisiin ja aiheuttaa ongelmia, etenkin mikäli rakenne ei pääse kunnolla kuivumaan. Levyjulkisivuissa liitoskohtia on paljon, joten saumatyypistä riippuen vesi voi päästä lähes vapaasti kulkemaan sadetakkirakenteelle asti. Sadetakkirakenne oletetaan tiiviiksi, mutta se ei ole saumaton, joten veden kulkeutuminen sisempiin rakenteisiin voi olla mahdollista. Tämän lisäksi julkisivuverhouksen läpiviennit lisäävät reittejä kosteuden tunkeutumiselle sisärakenteisiin. Levyverhouksen ja sadetakkirakenteen tuuletusvälit ovat avainasemassa rakenteen kuivumisprosessissa, mutta kahden erillään toimivan tuuletusvälin toteuttaminen saattaa koitua hankalaksi.

Levyjulkisivurakenteet kannatetaan rakennuksen rungosta, mm. pysty- ja vaakasuuntaisten kiskojen ja ankkureiden varaan. Rannikkoalueilla vallitsevien olosuhteiden johdosta niin levyt kuin kiinnikkeetkin ovat alituisesti voimakkaiden rasitusten alaisia. Julkisivun ulkopintaan kohdistuu kovia tuulikuormia ja lämpötilanvaihteluja, jotka saavat aikaan muodonmuutoksia levyissä. Levyistä siirtyvien kuormien lisäksi kiinnikkeet ovat altistuneet meri-ilmaston suolarasitukselle.

Edellä mainittujen yleisten vikojen ja heikkouksien perusteella opinnäytetyössä haetaan vastauksia seuraaville tutkimuskysymyksille:

- Miten levyrakenteisen julkisivun kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa rantarakentamisessa?
- Miten levyrakenteisen julkisivun pitkäaikaista toimintaa voidaan parantaa rantarakentamisessa?

2 Suomen Itämeren rannikko

2.1 Korjausrakentaminen Suomessa

Suuri osa maamme vanhoista kaupungeista sijaitsee Itämeren rannikolla. Monet näistä kaupungeista toimivat edelleen maamme johtavina teollisuuskeskuksina. 1960-luvun muuttoliikkeiden seurauksena Suomen kaupungistuminen ylsi huippuunsa 1970-luvun alussa. (Miettinen et al. 1996: 6; Rakennusperintö 2016.) Yli 50 % maamme rakennuskannasta on vuoden 1970 jälkeen rakennettua (Miettinen et al. 1996: 6). Alkupää kyseessä olevasta rakennuskannasta lähestyy 50 vuoden ikää ja korjausrakennustarve kasvaa. Etenkin julkisivut, ikkunat, parvekkeet ja katot vaativat toimenpiteitä. (Rakentaminen 2015-2016: 7.) Korjausrakentamisen osuus rakennustuotannon arvosta Suomessa on pysynyt tasoissa uudisrakentamisen kanssa 1990-luvulta lähtien, ja ajoittain ohittanut sen (Miettinen et al. 1996: 6; Pajakkala 2015: 18; Pakarinen 2015: 16). Vuonna 2015 korjausrakentamisen osuus (11,7 mrd. €) rakennustuotannosta (22,4 mrd. €) oli yli 50 %. Korjausrakentamisen osuuden ennustetaan kasvavan seuraavien vuosien aikana tasaisesti ja yltävän lopulta 55...60 %:iin, seuraten muuta Eurooppaa. (Pakarinen 2015: 16.)

2.2 Rannikko-olosuhteet

Suomen osuus Itämeren rannikosta on noin 1100 km. Rannikon leveys riippuu saariston määrästä ja rannan sulkeutuneisuudesta. Esimerkiksi Turun saariston rannikkovyöhykkeen leveys on moninkertainen pääkaupunkiseudun saaristoon verrattuna. (Granö et al. 1995: 8.)

Suomi on pohjoinen maa ja kuuluu viileään ilmastoon (Karttunen et al. 2008: 135). Maamme sijainti ja pituus sekä maassamme esiintyvät neljä vuodenaikaa mahdollistavat monipuoliset sääilmiöt (Saukkonen 2008: 5). Rannikolla sääilmiöt usein voimistuvat kovemman tuulen vaikutuksesta. Rannikkovyöhykkeillä ja Etelä-Suomessa sataa enemmän kuin muualla Suomessa ja sade tulee useimmin veden lisäksi myös räntänä. Myös lämpötilanvaihtelut jäätymispisteen molemmin puolin ovat yleisempiä kuin muualla maassa. (Lahdensivu 2010: 14.)

2.2.1 Rannikon sateisuus

Sade muodostuu, kun ilman vesihöyry tiivistyy vesipisaroiksi lämpötilan laskiessa kastepisteeseen. Sade voi johtua konvektion seurauksesta, jolloin lämmin ilma kohoaa korkealle ja jäähtyy tiivistyen sateeksi. Vettä muodostuu myös silloin, kun vesihöyryn kyllästyskosteus nousee sataan prosenttiin. Vesimolekyyliden tiivistyessä vesipisara alkaa pudota ja se kerää matkalla lisää molekyylejä kasvattaen samalla kokoaan. Täysikokoisina vesipisarot voivat pudota jopa 10 m/s nopeudella (Kakkuri & Hjelt 2000: 91-93.)

Suomessa yleisin sadetyyppi on rintamasade, joka johtuu säärintamien aiheuttamista ilmassojen nousuista (Kakkuri & Hjelt 2000: 93). Merituulivyöhykkeellä mantereella sademäärät ovat hieman muuta sisämaata suurempia kuurosateiden ansiosta (Karttunen et al. 2008: 312; Saukkonen 2008: 66, 71).

Suurin osa Suomen sateista ajoittuu loppukesälle (heinä-, elokuu) jolloin vettä keskimäärin sataa 50–80 mm (Ilmatieteen laitos 2016a). Vuosien 1981 ja 2010 välisenä aikana Helsingin Kaisaniemessä mitattiin keskimäärin 111 sadepäivää vuodessa, jolloin satoi vähintään 1,0 mm vuorokaudessa, sekä 18 päivää jolloin satoi vähintään 10,0 mm vuorokaudessa. (Pirinen et al. 2012: 25.) Kesällä sateet ovat useimmiten kuurosateita ja syksyllä suurin osa sateista liittyy säärintamiin (Saukkonen 2008: 66, 68, 71). Marras- ja maaliskuun välisenä aikana Helsingissä tavanomaisesti 31 % sateesta tulee vetenä, 7% räntänä ja 60% lumena (Saukkonen 2008: 64).

Suomessa vesi- ja räntäsateet tulevat yleensä etelästä tai lännestä. Vesi- ja räntäsateen suunta ei välttämättä aina määräydy yleisten tuulensuuntien mukaan (Lahdensivu 2010: 15). Rannikon kovien tuulien ansiosta viistosateet ovat yleisempiä kuin sisämaassa ja ne voivat yltyä lähes vaakasateeksi (Nousiainen 2009: 4-5). Jopa 60 % rannikon sateista on viistosateita (Pentti et al. 2013: 19).

2.2.2 Rannikon tuulisuus

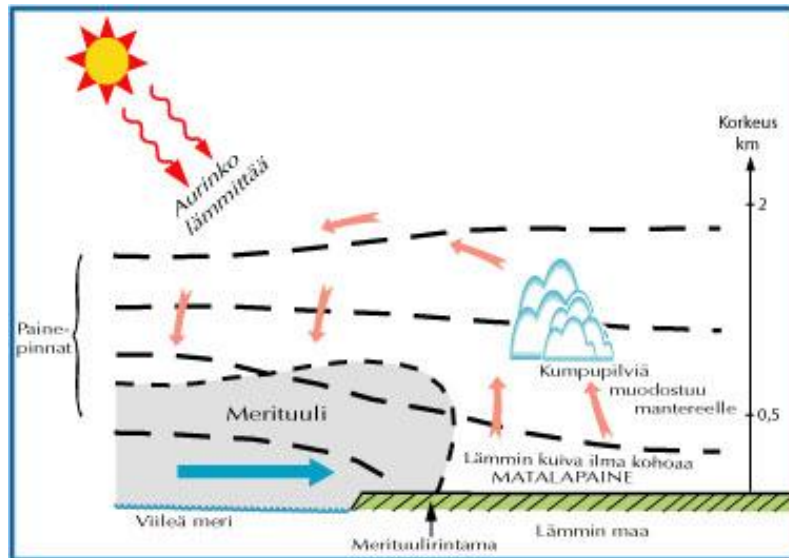
Suomen ylitse liikkuvat matala- ja korkeapaineet saavat aikaan monenlaisia sääilmiöitä. Tuulet ovat yleisiä, etenkin matala- ja korkeapaineen kohdatessa (Saukkonen 2008: 84, 87). Helsingin edustalla sijaitsevalla Harmajan havaintoasemalla on vuosien 1992 ja 2014 välisenä aikana todettu keskimäärin 148 päivää vuodessa,

jolloin tuuli ylittää 10 m/s nopeuden (navakka tuuli). Eniten tuulisia päiviä tavataan loppusyksyn ja talven aikana. Tuulen ylittäessä 21 m/s, on kyseessä myrskytuuli. Vuosien 1994 ja 2014 välillä myrskyhavaintojen vuosikeskiarvo Suomen merialueilla oli 19. (Ilmatieteen laitos 2016c.) Tuulen nopeuden raja-arvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tuulen nopeudet (Karttunen et al. 2008: 204, Saukkonen 2008: 95).

Tuulen nopeus (m/s)	Nimitys	Vaikutus maalla
0	Tyyntä	Savu nousee suoraan ylös
1-3	Heikko tuuli	Puiden lehdet kahisevat, tuuli tuntuu iholla
4-7	Kohtalainen tuuli	Lehdet ja pienet oksat heiluvat, pöly nousee maasta
8-13	Navakka tuuli	Suuret oksat heiluvat, meri kohisee
14-20	Kova tuuli	Puut heiluvat, puiden oksat katkeilevat, ulkona liikkuminen vaikeaa
21-31	Myrsky	Puut katkeilevat, aallot merellä korkeita
32-	Hirmumyrsky	Tuhoaa rakennuksia. Ei tavata Suomessa

Rannikolla tavattava merituuli syntyy paikallisten ilmanpaine- ja lämpötilaerojen vaikutuksesta. Merituuli vaikuttaa rantaviivan läheisyydessä, virtaa mereltä mantereelle ja on voimakkuudeltaan useimmiten 3–9 m/s (Karttunen et al. 2008: 339.) Merituuli on voimakkain keväisin (Saukkonen 2008: 25). Täysin kehittyneenä merituuli on länsilounaistuulta ja vaikuttaa koko Suomen rannikolle; tällöin merituuli voi ylittää jopa 30–60 km sisämaahan. Merituuli voi vaikuttaa myös idästä, jolloin se parhaimmillaan ulottuu 10–20 km sisämaahan. Helsingissä merituulta havaitaan yhteensä noin 30 päivänä yhden kesän aikana. (Karttunen et al. 2008: 341.) Kuvassa 2 kuvataan merituuli-ilmiötä.



Kuva 2. Merituulen muodostuminen (Ilmatieteen laitos 2016b)

Tuulen nopeus merellä ja rannikolla voi olla kaksinkertainen sisämaan tuulennopeuteen verrattuna meren tasaisuuden vuoksi (vrt. metsikkö, asutus), vaikka paine-erot olisivat yhtä suuret. (Karttunen et al. 2008: 250.) Syksyisin mereltä tuleva tuuli voi viilentää lämpötiloja rannikon ja sisämaan välillä jopa 10 astetta (Saukkonen 2008: 25).

2.2.3 Kosteuden siirtyminen rakenteeseen

Kosteuden siirtymismuodot

Kosteus siirtyy rakenteissa painovoimaisesti, kapillaarisesti sekä diffuusion tai konvektion vaikutuksesta. Veden pintajännitysvoimat voivat aiheuttaa veteen kosketuksissa olevissa huokoisissa materiaaleissa huokosalipaineen, joka mahdollistaa kosteuden kapillaarisen siirtymisen. Kosteuden kapillaarinen siirtyminen voi olla painovoiman vastaista. (Flannigan & Morey 1996: 31.) Vesihöyryn diffuusiosta ilman vesihöyryn kosteuserot pyrkivät tasapainottumaan; kosteampi ilma luovuttaa kosteutta kuivemmalle ilmalle. Konvektiolla tarkoitetaan tässä yhteydessä veden tai vesihöyryn siirtymistä ilmavirtauksen tai tuulen vaikutuksesta. Vesihöyryn kosteus voi siirtyä kaikkialle, jonne ilmavirtaus sen johtaa kun taas ilmavirtauksen kuljettama vesi liikkuu yleensä pintoja pitkin – jopa painovoiman vastaisesti. (Varis et al. 2009: 8.)

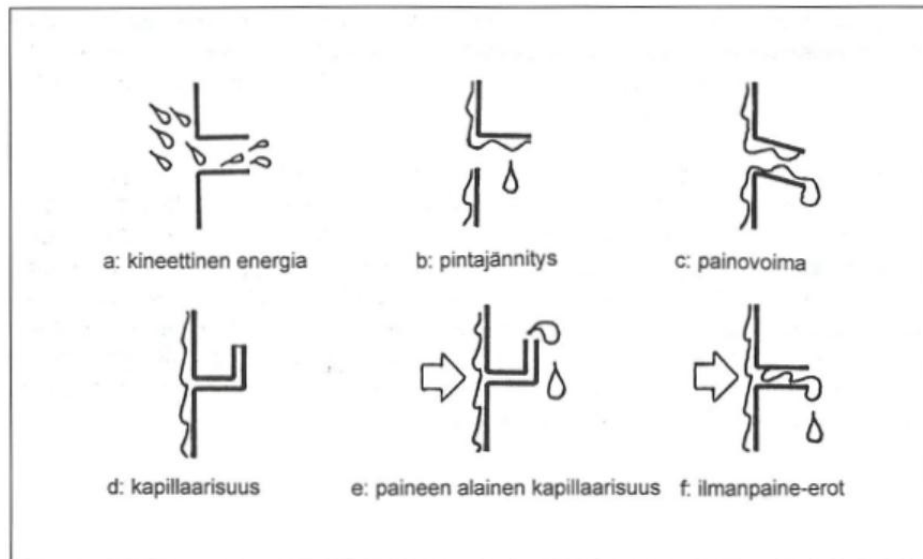
Ulkoseinän kosteudenlähteet

Rakennuksen vaipan kosteuspitoisuuteen vaikuttavat monet tekijät, mm. vuodenajat, sademäärät sekä ulko- ja sisäilman kosteuspitoisuudet (Björkholtz 1997: 66). Säärasitukset ovat suuri tekijä rakenteiden ja materiaalien vaurioitumisessa ja turmeltumisessa. Syitä vaurioitumiseen ovat mm. nykypäivän sääolosuhteita huonosti kestävä materiaalit, huonosti suunnitellut ja toteutetut liitokset sekä detaljit ja työvirheet. Vaurioituminen viime vuosikymmeninä on ollut nopeinta erityisesti rannikkovyöhykkeellä ja Etelä-Suomessa muuhun maahan verrattuna. (Lahdensivu 2010: 14.)

Sateen aiheuttamat vauriot kohdistuvat etenkin rakennusten yläosiin ja nurkkiin. Korkeissa rakennuksissa rasitukset korostuvat entisestään. Rakennuksen sijainnilla, suojaisuudella ja muodolla on suuri vaikutus aiheutuviin rasituksiin. Saman rakennuksen eri julkisivujen rasitukset voivat erota toisistaan suuresti. Pystysuoraan julkisivuun kohdistuva veden määrä on normaalisti noin 50 % vaakapinnalle sataneen veden määrästä. Viistosaderasitukseen vaikuttaa tuulennopeuden ja -suunnan lisäksi sadepisaran koko sekä putoamisnopeus. (Lahdensivu 2010: 14-15.)

Ilman siirtyessä viileämmälle pinnalle kosteus ilmassa tiivistyy. Tiivistyminen on mahdollista esimerkiksi julkisivun läpäisevissä, riittämättömästi eristetyissä kylmäsiltoina toimivissa rakenteissa. (Flannigan & Morey 1996: 37-38, Kangas et al. 1998: 45; Rakennusfysiikan käsikirja 2015: 16-17, 20.) Tiivistyvän veden määrä riippuu ilman kosteudesta ja lämpötilasta sekä liittyvän aineen lämpötilasta (Karttunen et al. 2008: 46-47). Vuosien 1981 ja 2010 välisenä aikana Suomen rannikolla on keskimäärin mitattu kesäisin suhteelliseksi kosteudeksi 65–80 % ja talvisin 80–90 %. Suhteellinen kosteus on alhaisin keskipäivän aikaan ja se yltää maksimiin puolen yön aikaan. (Pirinen et al. 2012: 25.)

Riittämättömästä rakennusaikaisesta sateensuojauksesta johtuen rakenteeseen voi kerääntyä kosteutta (RIL 255-1-2014: 122; Vinha 2012: 49). Vesi ja lumi siirtyvät julkisivurakenteiden taakse avonaisten liittymien tai saumojen kautta pääsääntöisesti tuulen vaikutuksesta (Kangas et al. 1998: 38). Kuvassa 3 esitetään veden mahdollisia siirtymistapoja julkisivun läpi epäjatkuvuuskohdista.



Kuva 3. Sadeveden kulkeutuminen liitoksen läpi (Kangas et al. 1998: 38).

Rakenteeseen voi tiivistyä kosteutta, vaikka se ei olisi suorassa yhteydessä veteen. Mikäli rakenne on tiivis sisäpuolelta mutta tuulensuojaus on puutteellinen, voivat ns. rakennevirtaukset (rakenteen sisällä kulkevat ilmavirtaukset) jäähdyttää rakenteen osia. Tämä voi johtaa ulkoilman kosteuden konvektion tiivistymiseen rakenteen sisällä. (Björkholtz 1997: 35-37.) Lisäksi nopeat lämpötilan laskut ja avaruuden kosminen taustasäteily voivat saada aikaan rakenteen sisältämän vesihöyryn äkillisen tiivistymisen (Suvanto 2013a: 4-5).

Kosteuden on mahdollista siirtyä rakenteisiin myös rakennuksen sisäpuolelta epätiivien ilman- ja höyrynsulkujen lävitse. Lämpivirtaus mahdollistaa ilmavirtaukset rakenteen läpi niin sisältä ulos kuin ulkoa sisään. Rakenteen läpäisevät ilmavirtaukset voivat aiheuttaa kosteuden tiivistymistä eri materiaalien yhtymäkohtiin ja erityisesti eristekerrokseen niin diffuusion kuin konvektionkin vaikutuksesta. Sisäilman kosteuspitoisuus on usein ulkoilmaa korkeampi, joten kosteus siirtyy yleensä sisältä ulospäin. (Björkholtz 1997: 35-37.)

Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttavat mm. ulkoilman kosteuspitoisuus, rakennuksen sisäpuolisen kosteuden tuoton määrä ja ilmanvaihdon suuruus. Yhä tiiviimmät vaipparakenteet vähentävät ilmanvaihdon tarvetta vähentyneiden ilmavuotojen takia. Tämä saattaa johtaa rakennuksen sisäpuolella tuotetun kosteuden määrän kasvamiseen. Kosteuden tuoton määrä vaihtelee rakennuksen käyttötarkoituksen ja kellonajan mukaan; mm. toimistorakennuksissa suurin

kosteustuotto ajoittuu yleensä yleisten työaikojen kohdalle kun taas asuinrakennuksissa suurin kosteudentuotto yleensä liittyy ruoanlaittoon tai suihkussa käyntiin. (Björkholtz 1997: 48-49.)

2.2.4 Kosteuden ja ilmavuotojen aiheuttamat haitat

Julkisivu suojaa sisempiä rakennusosia sateelta, mutta siitä huolimatta ulkoilman kosteutta pääsee tunkeutumaan sisempiinkin rakennekerroksiin. Eri rakennusmateriaaleilla on tietty kosteuskapasiteetti, mikä tarkoittaa, että kyseinen materiaali voi varastoida ja vapauttaa kosteutta kun ilman kosteuspitoisuus muuttuu. (Björkholtz 1997: 48-49.) Tämä tarkoittaa, että rakenteiden kuivumiskyky riippuu ulkoilman kosteudesta ja lämpötilasta (Pajunen 2013: 31). Vesivuodot ja vesihöyryn diffuusio ja konvektio lisäävät rakenteiden kosteusrasituksia ja näin heikentävät niiden kuivumiskykyä. Ylimääräinen kosteus tai rakenteessa vapaasti virtaava ilma voivat aiheuttaa monia haittoja rakenteelle mm. homeeriskin kasvua tai rakenteiden lämmöneristävyuden heikkenemistä. (Björkholtz 1997: 35-37; Leivo et al. 1998: 20-23, 36.) Taulukossa 2 on esitetty eri rakennusmateriaalien homehtumisherkkyysluokkia.

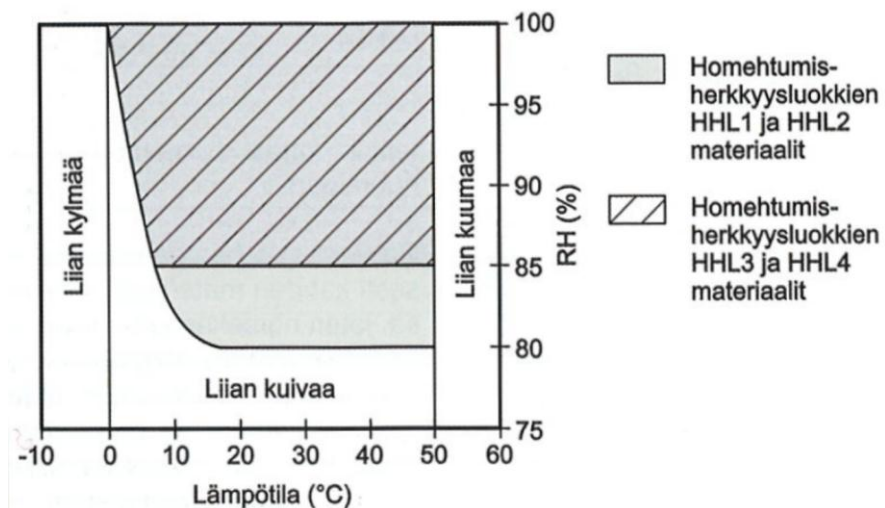
Taulukko 2. Eri materiaalien ja pintojen homehtumisherkkyysluokat (RIL 255-1-2014: 61).

Homehtumisherkkyysluokka	Rakennusmateriaalit
HHL1, hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
HHL2, herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
HHL3, kohtalaisen kestävä	Mineraalivillat, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
HHL4, kestävä	Lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Homeet ja muut mikrobit ovat eläviä organismeja, jotka leviävät ilmavirtausten mukana ja aiheuttavat sisäilmaongelmia, mm. terveydellisiä haittoja ihmisille (Flannigan & Morey 1996: 39). Homeen ja mikrobien kasvamiselle on tietyt kriteerit, jotka on täytettävä. Homeen kasvu on mahdollista ilmankosteuspitoisuuden ylittäessä 60 % ja lämpötilan + 0 °C. Korkeammat ilman kosteuspitoisuudet ja lämpötilat nopeuttavat homeen kasvua. Otollisten olosuhteiden on jatkuttava tarpeeksi kauan merkittävän homekasvuston alkamiseksi. (Finnisol 2016.) Mainittuja olosuhteita voi kohdata esim.

julkisivurakenteessa, jossa eristekerros on kostunut ja ilmavirtaukset rakenteen sisällä tai sen lävitse ovat mahdollisia (Flannigan & Morey 1996: 37-38). Vaikka rakenteessa olisi homeetta, ei se välttämättä aiheuta sisäilmaongelmia, mikäli rakenteen läpi ei kulje ilmavuotoja (Sisäilmayhdistys 2008a). Homehtumisriski eri homehtumisherkkyyksiluokille on kuvattu kuviossa 1.

Rakennusmateriaalien iällä ei ole vaikutusta rakenteen mikrobipitoisuuksiin; niin kauan kuin rakenteet ovat kuivia ja tiiviitä, ei niissä juuri tavata homekasvustoa vaikka homeitiöt pääsisivät rakenteeseen (Säteri & Ahola 2015: 359, 364). Homeen kasvua voidaan kuvata homeindeksin avulla, asteikolla 0...6. Asteikon arvo 1 tarkoittaa, että homekasvusto on havaittavissa mikroskoopilla ja arvo 6, että koko tarkasteltava ala on homekasvuston peitossa. (Finnisol 2016.)



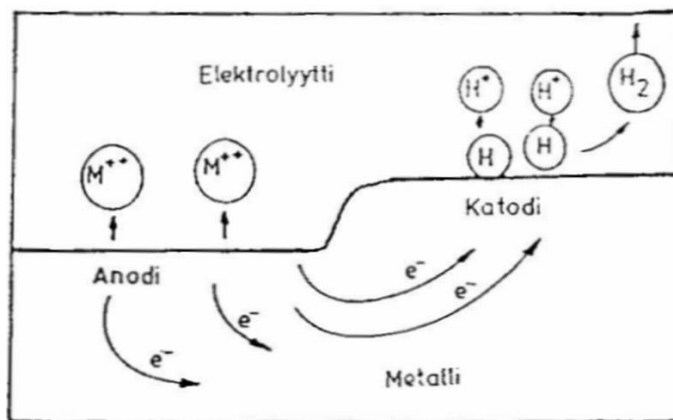
Kuvio 1. Otolliset lämpötila- ja kosteusolosuhteet homeen kasvamiselle eri homehtumisherkkyyksiluokissa (RIL 255-1-2014: 61)

Veden tilavuus kasvaa jäätyessä, joten kostuneiden huokoisten materiaalien altistuminen pakkaselle voi aiheuttaa materiaalin rapautumista. Kyseinen ilmiö on yleisintä betonille ja muille kapillaarisille materiaaleille. (BY 201 2004: 104; Lahdensivu 2010: 21; Leivo et al. 1998: 36-37.) Kapillaarisuudestaan johtuen myös puu- ja puuperäiset rakennustuotteet ovat suojaamattomina alttiita kosteudesta aiheutuille muodonmuutoksille. Ollessaan kosketuksessa veteen riittävän kauan, voivat lahottaj sienet ja muut hajottavat organismit tuhota puutuotteita. (Lahdensivu 2010: 23; Leivo et al. 1998: 50.)

Rakennevirtaus ja / tai kostunut eristekerros heikentää rakenteen lämmöneristävyyttä ja jäädyttää koko rakennetta. Rakennevirtauksen mukana tiivistyvä kosteus voi myös luoda homeelle sopivat kasvuolosuhteet. (Björkholtz 1997: 35-36.) Homeen ja mikrobien lisäksi ulkoilman epäpuhtaudet, mukaan lukien radon ja muut haitta-aineet, aiheuttavat sisäilman laadun heikkenemistä kulkeutuessaan sisätiloihin. Rakenteen läpi kulkevat ilmavirtaukset voivat myös aiheuttaa vedon tunnetta. (Säteri & Ahola 2015: 181.)

2.2.5 Rannikon kloridirasitukset

Meri-ilma sisältää merisuola-aerosoleja, täten rannikkoalueet ovat sisämaata suuremman kloridirasituksen alaisia (SFS-EN ISO 12944-2: 8). Itämeren vesi luokitellaan murtovedeksi, sillä mantereelta valuva makea vesi laimentaa Atlantilta peräisin virtaavaa suolaista vettä. Itämeren suolapitoisuus Suomen rannikolla on vain 0,2 – 0,5 % välillä, kun se Tanskan salmien läpi tullessaan voi olla jopa 3,5 %. (Furman 2014: 4.) Verrattavan laimealla murtovedellä ei ole yhtä voimakkaita korrodoivia ominaisuuksia kuten suolaisella merivedellä (Varis et al. 2009: 6)



Kuva 4. Sähkökemiallisen korroosion havainnekuva. Anodi ja katodi voivat koostua kahdesta eri metallista tai sijaita saman metalliosan eri kohdissa. Hapettimina rannikolla toimivat ilman epäpuhtaudet ja kloridit. (Jokialho 2013: 14.)

Sähkökemiallinen korrosio on mahdollista, kun metallipinnalle muodostuu kosteuskalvo ja pinta on alttiina ilmalle. Muun muassa pinnoittamattomat teräkset ja teräsosien vauriokohdat ovat alttiita korroosiolle. (Pajunen 2013: 59.) Ilman suhteellisen kosteuden noustessa yli 80 %:iin ja lämpötilan ollessa yli 0 °C on korroosioreaktio hyvin todennäköinen. Korkeampi ilman suhteellinen kosteus ja veden

kondensoituminen metallipinnalle nopeuttavat korroosiota. Myös ilman epäpuhtaudet (rikkipitoiset päästöt, teiden suolauksesta aiheutuvat kloridit ja sulfaatit), mukaan lukien meri-ilmaston kloridit, nopeuttavat korroosiota ja mahdollistavat sen alhaisemilla ilmankosteuksilla. (Pajunen 2013: 59; SFS-EN ISO 12944-2: 6, 8.) Sähkökemiallisen korroosion reaktiota on havainnollistettu kuvassa 4.

Korroosiota voi myös esiintyä käytettäessä eri metalleja toistensa läheisyydessä, metallien ollessa joko suorassa kosketuksessa toisiinsa tai veden välityksellä (mm. valumat seinärakenteissa). Tämän tyyppistä sähkökemiallista korroosiota kutsutaan galvaaniseksi korroosioksi. Galvaanisessa korroosiossa metallien välinen kosteus toimii elektrolyytinä ja alhaisemman normaalipotentialin omaava metalli (anodi) hapettuu kun taas korkeamman normaalipotentialin omaava metalli (katodi) pelkistyy. Sähkökemiallinen korrosio voi tapahtua paikallisesti tai koko metallirakenteen pinnalla. (Jokialho 2013: 6-7, 13; Pajunen 2013: 57.)

Kloridit voivat myös tunkeutua eri materiaaleihin ja heikentää niiden ominaisuuksia. Kloridit ja ulkoilman epäpuhtaudet aiheuttavat mm. betonille nopeutunutta karbonatisoitumista, joka alentaa betonin emäksisyyttä. Karbonatisoitunut betoni ei suojaa betoniteräksiä yhtä tehokkaasti joka johtaa terästen nopeampaan ruostumiseen. (BY 201 2004: 97, 99-100; Lahdensivu 2010: 20.)

2.2.6 Auringon säteilyn vaikutukset

Auringon säteily on sähkömagneettista säteilyä joka koostuu ultraviolettisäteilystä, näkyvästä valosta ja infrapuna- eli lämpösäteilystä. Maapalloon kohdistuvasta säteilystä noin 45 % läpäisee ilmakehän. Ennen imeytymistään eri pintoihin säteily heijastuu tehokkaasti pilvien, lumen ja jään pinnasta sekä vedestä ja maasta. (Karttunen et al. 2008: 58, 112-113.)

Ultraviolettisäteily aiheuttaa mm. rakennusmateriaalien nopeutunutta vanhenemista ja haurastumista. Erityisesti pitkäketjuiset polymeerituotteet (kuten saumaustuotteet ja muovit) haurastuvat UV-säteilyn vaikutuksesta. Pinnoitettujen metallilevyjen altistuminen UV-säteilylle mahdollistaa metallipinnan korroosion suojapinnan haurastuessa. (Lahdensivu 2010: 19, 52.) UV-säteilyn vaikutukset voivat myös olla vain kosmeettisia, mm. värien haihtumista (RT 055.30 1976: 1).

Infrapunasäteily lämmittää materiaalien pintaa ja aiheuttaa materiaalien lämpölaajenemista (RT 055.30 1976: 1). Lämpölaajenemisen vaikutukset ovat suurempia tummemmilla pinnoilla (Björkholtz 1987: 100). Infrapunasäteily lämmittää myös siltä suojattuja rakennusosia epäsuorasti aiheuttamansa konvektion kautta (Suvanto 2013b: 3, 5 ,9).

Auringon säteilyn voimakkuus riippuu vuodenajasta ja tarkasteltavasta ilmansuunnasta. Auringon säteily on voimakkaimmillaan kesäisin, mutta myös talvisin voidaan mitata korkeita säteilylukemia mm. lumen heijastavan vaikutuksen ansiosta. Suomessa eteläisiin ja läntisiin julkisivuihin kohdistuu enemmän säteilyä kuin pohjoisiin ja itäisiin julkisivuihin. (RT 055.30 1976: 1-5.)

2.2.7 Ilmaston muutoksen vaikutukset Suomen rannikkoilmastoon

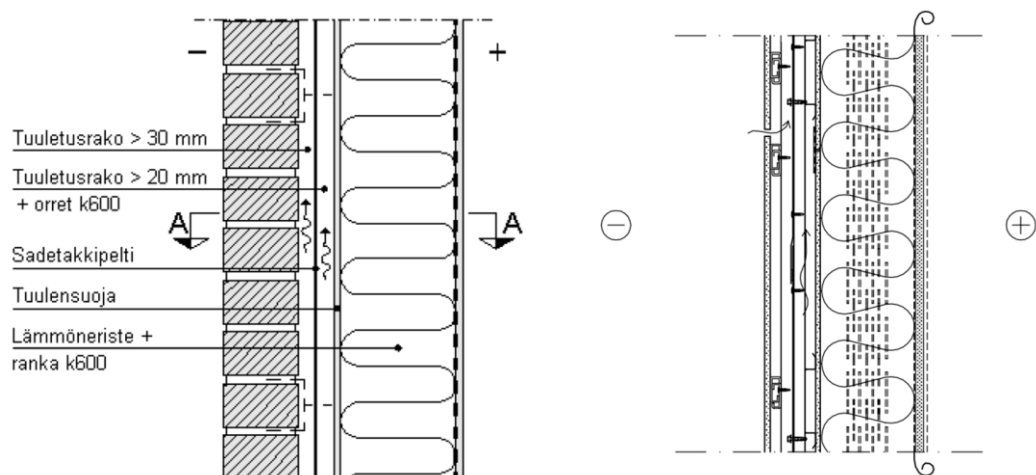
Pelkästään viimeisen noin 160 vuoden aikana tehtyjen mittausten perusteelta voi todeta, että Suomen ilmasto on muuttunut lämpimämmäksi – ja muuttuu edelleen tulevaisuudessa. Maamme keskilämpötila on vuodesta 1847 vuoteen 2013 verrattuna todennäköisesti noussut 2 °C. (Mikkonen et al. 2014: 1-2.) Ilmaston lämpeneminen saa aikaan voimakkaampia sääilmiöitä mm. sademäärän kasvua, tuulien voimistumista sekä ääri-ilmiöiden määrän lisääntymistä (Saukkonen 2008: 155, 161-164; Laaksonen 2015: 2) Ilmaston muutosta tutkivan ACCLIM-tutkimushankkeen mallikokeiden mukaan Suomen sadan vuoden sademäärän muutos kasvaa keskimäärin 10–30 % vuoden 2100 loppuun mennessä. Sateiden määrät yleistyvät etenkin talvisin, jolloin sateet tulevat entistä useammin vetenä. Tämän lisäksi kesäiset kuurosateet muuttuvat rankemmiksi. (Karttunen et al. 2008: 196.)

Yleistyvien olosuhdemuutosten ja voimistuvien sääilmiöiden johdosta julkisivut ovat tulevaisuudessa entistä kovemman rasituksen alaisia (mm. lämpötilan vaihtelut nollan molemmin puolin lisääntyvät, materiaalien lämpölaajeneminen ja -supistuminen kasvaa). (Laaksonen 2015: 2.) Julkisivurakenteiden ylläpitovaatimukset kasvavat lisääntyvän sademäärän ja tuulisuuden kasvaessa (Ala-Outinen et al. 2004: 4). Kuivan ja viileän ilmastomme muuttuessa yhä kosteammaksi ja lämpimämmäksi – yhdessä tiukentuvien energiamääräysten johdosta paksunevien eristekerrosten kanssa – johtavat tulevaisuudessa julkisivujen homeriskin kasvuun. (Ilmasto-opas 2016; RIL 107-2012: 28.) Nykypäivän toimivat ratkaisut eivät välttämättä toimi enää tulevaisuudessa.

3 Levyrakenteisen julkisivun rakennekuvaus ja suunnittelu

3.1 Levyrakenteisen julkisivun rakennekuvaus

Tässä osiossa kuvataan tutkittavan levyjulkisivun eri osia ja niiden erityispiirteitä kyseisen osan toimivuuden kannalta. Lähteinä on käytetty pääsääntöisesti Vesa Pajusen diplomityötä *Rantarakentamisen julkisivurakenteiden suunnitteluohjeistoa* (2003), Helsingin kaupungin *Rantarakentamisen ohjeistoa* (2009), RIL 107-2012:ta sekä RIL 255-1-2014:ta. Kuvassa 5B on esitetty Meilahden sairaalan (2011) parvekkeiden ulkoseinässä käytetty levyrakenteisen julkisivun rakennetyyppi. Kyseiset parvekkeet ovat lasittamattomat ja sijaitseva rakennuksen reunoilla, merenpuoleisella julkisivulla (Meilahden sairaalan potilastorni 2011). Kuva 5A esittää sadetakkiperiaatetta tiilimuuratussa julkisivussa.



Kuva 5. A [Vasen] Sadetakkiperiaate kahdella tuuletusvälillä ulkoseinärakenteessa (Vinha et al. 2013: 180). B [Oikea] Kahdella tuuletusvälillä ja sadetakkirakenteella varustetun levyrakenteisen julkisivun rakennetyyppi (Meilahden sairaalan potilastorni 2011).

Levyrakenne

Julkisivun tehtäviin kuuluu suojata sisempiä rakenneosia vedeltä ja kosteudelta sekä ohjata vesi pois rakenteesta. Tiivis levyjulkisivu mahdollistaa veden valumisen julkisivun pintaa pitkin alas tunkeutumatta rakenteeseen. (RIL 107-2012: 67, 75.) Levyrakenteisissa julkisivuissa kosteudesta aiheutuvat vauriot liittyvät usein detaljisuunnittelu- tai toteutusvirheeseen. Levyjulkisivuissa on suuri määrä liitoskohtia, joiden kautta vesi ja kosteus pääsevät levyrakenteen taakse. Tästä syystä

julkisivurakenteissa on tärkeää käyttää kosteutta hyvin kestäviä materiaaleja ja detaljisuunnitteluun on kiinnitettävä erityishuomiota. Tuulisimman ilmansuunnan vastaiset julkisivut ovat useimmin muita julkisivuja kovimman rasiusten alaisia. (Pajunen 2013: 14, 20, 33, 62.) Tuuletusväällisen levyrakenteen tarkoituksenmukaisen toiminnan kannalta levyn taustan riittävän tuuletuksen varmistaminen on hyvin tärkeää (Pentti & Hyyppöläinen 1999: 46).

Eri julkisivuverhousmateriaalit ovat rannikko-olosuhteissa toimivuudeltaan keskenään lähes samanvertaisia (Pajunen 2013: 33). Julkisivumateriaali ei yksin varmista rakenteen toimivuutta, myös saumoilla ja detaljeilla on suuri merkitys (Varis et al. 2009: 18). Käytettävien materiaalien on sovelluttava rakenteeseen ja toimittava yhdessä. Julkisivulevyjen käyttöiän tulisi olla taustarakenteiden käyttöikä lyhyempi tai korkeintaan yhtä pitkä, jotta ulkoeristyksen huolto ja vaihdettavuus helpottuisi. (Pajunen 2014: 33.)

Rankarakenne ja kiinnikkeet

Levyjulkisivuissa yleisiä ongelmia on havaittu levyjen kiinnityksissä ja rankarakenteissa. Levyjulkisivujen kannatuksessa on suositeltavaa käyttää teräs- tai alumiinirankoja esim. puurankojen sijasta paremman kosteuden kestävyys takia. (Pajunen 2013: 63.) Puurakenteissa esiintyy kohtalaisen suurista kosteudesta aiheutuvia liikkeitä. Tämän johdosta vedelle alttiit puuosat tulisi suojata pellityksellä ja viistota rakenteesta ulospäin. (RIL 107-2012: 74.)

Metallirangat ja sitä kannattelevat kiinnikkeetkin tulisi suunnitella siten, että ne johdettavat veden pois rakennuksen rungosta (Pajunen 2013: 63; RIL 107-2012: 75). Rankarakenteissa lämpöliikkeet on otettava huomioon liikevaroilla, sillä jännevälit saattavat olla pitkiä ja lämpöliikkeet voivat olla useita millimetrejä metriä kohden (Lahdensivu 2007: 5). Kylmäsiltojen vaikutuksia voidaan ehkäistä eristämällä kantavaan rakenteeseen kiinnitettävät osat huolellisesti (RIL 255-1-2014: 28-29, 136).

Sisäpuolinen sadetakkirakenne

Tutkittavassa rakenteessa levyjulkisivun ja tuuletusvälin taustalla on erillinen sadetakkirakenne, jonka tehtävänä on estää veden siirtyminen taustarakenteisiin. Sadetakkirakenteen limityksiin ja veden ulos rakenteesta johtamiseen tulee kiinnittää huomiota erityisesti avosaumaisissa julkisivuissa. (Vinha et al. 2013: 179; Pajunen 2013: 34-36.) Sadetakkirakenteen toiminnan varmistamiseksi tulisi detaljisuunnitteluun kiinnittää erityishuomiota. Sadetakkirakenteeksi voi soveltua mm. muovipinnoitteinen tai polttomaalattu kuumasinkitty teräsohutlevy. Sadetakkirakenteessakin on huomioitava lämpöliikkeet riittävällä liikevaralla. (Pajunen 2013: 34-36.) Sadetakkirakenne toimii rakennusaikaisena sateensuojana kunnes rakennuksen julkisivu saadaan asennettua (Vinha et al. 2013: 179).

Tuuletusvälit

Tuuletusvälien tehtävä on kuivattaa rakennetta ja mahdollistaa rakenteeseen sisälle tiivistyneen kosteuden valuminen pois rakenteesta, mielellään rakennuksen jokaisen kerroksen kohdalta (Pentti & Hyyppöläinen 1999: 46; RIL 107-2012: 68, 75). Tuuletusväleihin päässeän veden liikkumista voidaan rajoittaa hidastamalla tuuletusvälin ilmavirran nopeutta. Jotta ilmavirta saadaan hidastumaan, on kaikkien tuuletusväleihin johtavien saumojen, liitosten ja aukkojen oltava itse tuuletusväliä ohuempia. (Varis et al. 2009: 20.) Sekä sisemmän että ulomman tuuletusvälin tulisi olla päistään avonaisia ulkoilmalle (Vinha et al. 2013: 179). Tuuletusväli voi toimia ainoastaan, jos sillä on tulo- ja poistumisaukot (RIL 107-2012: 68).

Tuuletusvälien lämpötilavaihteluista aiheutuvat lämpölaajentumiset ja -kutistumiset on huomioitava liikevaroina eri rakenneosien liitoksissa. Toimintaperiaatteensa takia tuuletusväli toimii samalla tavalla niin rannikko-olosuhteissa kuin sisämaassa. (Pajunen 2013: 36, 37, 63.) Jotta koko rakenne toimisi toivotulla tavalla, on riittävä tuuletus varmistettava. Tuuletusvälin leveys riippuu valitusta rakenteesta mutta sen tulisi aina olla vähintään 20 mm. (RIL 107-2012: 75.)

Tuulensuoja

Kosteutta heikosti kestävät tuulensuojamateriaalit ovat yleinen syy taustarakenteiden ongelmiin (Pajunen 2013: 36). Tuulensuojaus on toteutettava levyjulkisivurakenteessa sisältäpäin katsottuna eristekerroksen ulkopuolelle, erityisesti avohuokoisten lämmöneristeiden suojaksi. Tuulensuojalevyn tulisi olla vesihöyryä läpäisevä niin, että sisempien eristekerrosten kosteus pääsee haihtumaan ulospäin. (RIL 107-2012: 28, 76.) Käytettävä materiaali valitaan siten, että se ei ole kosteusvaurioille altis (Pajunen 2013: 69).

Monimutkaiset ratkaisut tuulensuojauksen toteutuksessa vaikeuttavat tiiviin kokonaisuuden saavuttamista ja kasvattavat riskejä huomattavasti. Jos tuulensuojakerros ei ole tarpeeksi tiivis, saattaa kosteus ja kylmä ilmaa päästä konvektion mukana eristekerrokseen ja näin aiheuttaa home- tai kosteusvaurioita sisemmissä rakennekerroksissa. Tästä syystä saumojen tiivistykset tulisi toteuttaa erityisen huolellisesti. (RIL 107-2012: 28; Varis et al. 2009: 20.) Jos tuulensuojaus on puutteellista, voimistuvat rakenne- ja läpivirtaukset (Björkholtz 1997: 37). Hyvin toteutetulla tuulensuojauksella rakenteen läpäisevien kylmäsiltojen vaikutukset vähenevät (RIL 107-2012: 76). Rakenteessa käytettävän tuulensuojan ilmanläpäisevyyškertoimen K_a tulisi olla enintään $10 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$ (Suomen Rakentamismääräyskokoelma C4 Lämmöneristys 2003: 7).

Lämmöneristeet

Lämmöneristeet voidaan luokitella joko avohuokoisiksi tai umpisoluisiksi (Kokko et al. 1999: 139; RIL 255-1-2014: 27; RT 36-10689 1999: 4; RT 36-11113 2013: 3). Avohuokoiset lämmöneristeet ovat eristeitä, joissa ilma ja vesihöyry voivat kulkea vapaasti, esimerkiksi useimmat mineraalivillaeristeet. Avohuokoisten lämmöneristeiden diffuusiovastus on matala eivätkä ne pysäytä ilmavirtauksia, joten erillisen höyryn- ja ilmansulun käyttö eristeen sisäpinnassa ja tuulensuojan käyttö eristeen ulkopinnassa on suositeltavaa. (RIL 107-2012: 28, 76.)

Huokoiset lämmöneristeet ovat umpisoluisia lämmöneristeitä alttiimpia kostumiselle, joten eristeiden kuivuminen tulisi mahdollistaa käyttämällä vesihöyryä läpäisevää tuulensuojaa (RIL 107-2012: 28, 76). Umpisoluiset eristeet kuten polyuretaani-, polystyreeni- ja useimmat fenolieristeet ovat melko ilmatiiviitä, omaavat korkean

diffuusiovastuksen ja ovat usein kovia (Kooltherm 2016; RT 36-11113 2013: 1, 3). Mikäli eristeen diffuusionvastus on tarpeeksi korkea, ei se välttämättä tarvitse taustalleen erillistä höyrynsulkua. Lämmöneristeille tulee määrittää kantavista rakenteista riippuvat palonkesto-ominaisuudet, etenkin tuuletusvälillisissä julkisivuissa. (RIL 107-2012: 68, 77.)

Materiaalista riippumatta lämmöneristeen tehtävä on estää rakennuksen lämmön johtuminen ulos ja kylmyyden tunkeutuminen sisään. Lämmöneristeen toiminta perustuu korkeaan lämmönvastukseen, eli se johtaa heikosti lämpöä. Eristämiseen voidaan käyttää mitä tahansa ulko-olosuhteita kestäviä eristeitä. (RIL 255-1-2014: 26-28.) Haitallisen konvektion takia ilmavirtaukset on pysäytettävä etenkin avohuokoisissa lämmöneristeissä sekä lämmöneristekerroksen, tuulensuojan ja taustarakenteen välissä. Eristekerroksen läpäisevät rakenneosat tulisi eristää ja tiivistää huolella kylmäsiltojen estämiseksi. (RIL 107-2012: 67.)

Ilman- ja höyrynsulku

Höyrynsulun tehtävänä on pysäyttää vesihöyryn ja veden siirtyminen rakenteen läpi etenkin sisältä ulos, kun taas ilmansulku pysäyttää ilmavirtaukset rakenteen läpi ja estää ulkoilman epäpuhtauksien pääsyn sisätiloihin. Ilman- ja höyrynsulku sijoitetaan rakenteen lämpimälle puolelle niin, että viileän ulkoilman vesihöyry ei tiivistyisi höyrynsulun pinnalle ja jotta kostea sisäilma ei pääsisi tiivistymään eristekerrokseen. (RIL107-2012: 27, 28.)

Ilman- ja höyrynsulun on kestettävä rakenteiden liikkeistä aiheutuvat jännitykset ja kalvon läpäisevät reiät on tiivistettävä huolella. Asennettaessa muita ainekerroksia on varottava puhkaisemasta ilman- tai höyrynsulkua. Ilman- ja höyrynsulukuksi kelpaa mm. yhtenäinen muovikalvo, korkean diffuusiovastuksen omaava umpisoluinen eriste tai betonirakenne. Ilman- ja höyrynsulkukalvoja voidaan tiivistää mm. tiivistysteipillä tai saumanauhalla. Käytettävän tiivisteiden tulisi soveltua käyttötarkoitukseen ja olla pitkäikäinen. Tärkein ominaisuus höyrynsulun toimivuuden kannalta on tiiviys saumojen, kiinnikkeiden ja läpivientien kohdalla. (RIL 107-2012: 28, 39, 41, 45.)

Liittymät ja saumat

Kaikki rakennusmateriaalit reagoivat lämpöön ja kosteuteen eri tavoin. Tästä syystä etenkin eri materiaalien liittymäkohdissa on huomioitava liikevarat. Ulkoseinärakenteiden liitokset ja saumat tulisi kuitenkin toteuttaa siten, että niiden läpi ei kulkeutuisi paljon vettä rakenteeseen. (RIL 107-2012: 85.) Liitos- ja saumatyyppejä on monenlaisia, mm. avonaisia, pontattuja, limitettyjä ja tiivistettyjä. Käytetty materiaali ja rakenne määräävät osin minkälaisia liitoksia ja saumoja voidaan käyttää. Julkisivurakenteissa liitokset ja saumat jäävät näkyviin, kun taas ulkoseinärakenteen sisällä ne jäävät piiloon. (Julkisivujen korjausopas 2009: 77-88; RT 82-10614 1996: 4, 6, 8-9; RT 80-11202 2016: 3.)

Jos rakenne suunnitellaan avosaumoilla, on varmistettava että saumojen läpi kulkeva vesi ei aiheuta haittoja sisemmille rakenteille. Kohdissa, joissa lämmöstä tai kosteudesta aiheutuvat liikkeet ovat mahdollisia ja tiiviys on tärkeää, on syytä käyttää elastisia ja hyvin taustaan tarttuvaa saumausaineita. Liittymät tulisi tarkistaa tietyin väliajoin niiden toimivuuden varmistamiseksi. (RIL 107-2012: 68, 85.) Vaikeasti huollettavat ja tarkastettavat kohdat tulisi suunnitella ja toteuttaa erityisen huolellisesti.

Läpiviennit ja muut huomioitavat asiat

Läpiviennillä tarkoitetaan yhden tai useamman rakennekerroksen läpäisevää rakennusosaa. Läpiviennit, jotka yltyvät sisärakenteisiin asti, saattavat toimia kylmäsiltoina ellei niitä eristetä huolella. Jos läpäisevä rakennusosa johtaa hyvin lämpöä, on lisäeristäminen tai lämpökatkon käyttäminen läpiviennin kohdalla kannattavaa. (Flannigan & Morey 1996: 38.) Ilman- ja höyrynsulun läpiviennissä tulisi käyttää tarkoituksenmukaisia tiivistysosia kuten erityyppisiä kauluksia (RIL 107-2012: 45). Pienetkin aukot ilmansulussa voivat johtaa suuriin ilmavirtauksiin rakenteen läpi (Björkholtz 1997: 35).

Julkisivun vedenohjaus etenkin ulokkeiden ja läpivientien kohdalla tulisi toteuttaa niin, ettei vesi valuisi rakennusta päin (RIL 107-2012: 85). Räystäs- ja ikkunaliittymät sekä eri materiaalien väliset liitoskohdat ovat kriittisimpiä kosteuden tunkeutumisen kannalta levyrakenteisissa julkisivuissa (Pajunen 2013: 70).

3.2 Levyrakenteisen julkisivun suunnittelu

3.2.1 Suunnittelua ohjaavat määräykset

Suomessa on perinteisen rakentamismääräyskokoelman ohelle viime vuosikymmenen aikana otettu suunnittelutyössä käyttöön eurokoodi-suunnittelu. Eurokoodit ovat EU-standardeihin perustuvia suunnitteluohjeita, jotka ovat yhtenäisiä jokaiselle Euroopan jäsenvaltiolle. Jokaista eurokoodia ja jäsenvaltiota varten voidaan luoda kansallinen liite, joka huomioi maan erityispiirteet ja olosuhteet. (Eurokoodi Help Desk 2016.)

Vanhoja rakentamismääräyskokoelman osia on kumottu sitä mukaa kun uusia eurokoodin osia valmistuu. Toistaiseksi kummankin suunnittelumenetelmän käyttö on mahdollista, tosin rakentamismääräyskokoelman ja eurokoodien suunnitteluohjeita ei saa käyttää ristiin. Rakentamismääräyskokoelmasta on tällä hetkellä voimassa mm. C1 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksissa (1998), C2 Kosteus (1998), C4 Lämmöneristys (2003), D3 Rakennusten energiatehokkuus (2012) ja E1 Rakennusten paloturvallisuus (2011).

Suunnittelun ohjauksen lisäksi Euroopassa on otettu käyttöön CE-merkintä, jolla voidaan varmistaa, että käytettävät rakennustuotteet täyttävät EU:n lainsäädännön vaatimukset. Rakennustuotteella tarkoitetaan tässä yhteydessä rakennukseen kiinteästi jääviä osia. CE-merkintä on pakollinen lähes kaikille Euroopassa käytettäville rakennustuotteille 1.7.2013 alkaen. Eri rakennustuoteryhmille on olemassa harmonisoituja tuotestandardeja (hEN), jotka määrittävät tuotteiden ominaisuudet, laadunvalvonnan tason ja CE-merkinnässä esitettävät tiedot. Ne eivät kuitenkaan ota kantaa tuotteiden laatuun tai turvallisuuteen. Uusille tuotteille joilla ei ole CE-merkintää voidaan sellainen hakea eurooppalaisen teknisen arvioinnin perusteella (ETA). Tuotteen valmistaja on vastuussa CE-merkinnän hankkimisesta. (CE-merkintä 2013; CE-merkki - valmistajan ilmoitus tuotteen vaatimustenmukaisuudesta 2014.)

Rantarakentamiskohteissa on perinteisesti sovellettu samoja ohjeita ja normeja kuin sisämaan kohteissa, vaikka olosuhteet voivat erota toisistaan suuresti. Edellä mainitut suunnitteluohjeet ja -normit ilmoittavat vähimmäisvaatimustason, joka rannikko-olosuhteissa ei aina riitä. Tähän mennessä rannikon erityispiirteitä ei ole otettu tarpeeksi hyvin huomioon. (Pajunen 2013: 28, 31.)

Rantarakentamiskohteen suunnittelulle voidaan asettaa perusohjeistusta korkeampi vaatimustaso, mutta liika varmuus rakenteissa voi kuitenkin olla epätaloudellista. Jotta saavutettaisiin mahdollisimman hyvä lopputulos, tulisi kohdekohtaiset rannikko-olosuhteet selvittää perinpohjaisesti ja huomioida jo projektin alkuvaiheessa. Muun muassa yleisimpien tuulensuuntien ja -voimakkuuksien tunteminen sekä alueella havaittujen rasiusten, kuten kloridipitoisuuksien ja sademäärien tunteminen, helpottavat sopivien rakenneratkaisujen ja materiaalien valinnassa. Tämän lisäksi rakentamisen laatu ja työnaikainen valvonta vaikuttavat hyvän lopputuloksen saavuttamiseen. (Pajunen 2013: 31, 32, 70.)

Jokaiselle materiaalille on arvioitu tietty käyttöikä, joten julkisivun huolto- ja uusimistarve riippuu osaltaan valitusta materiaalista (Varis et al. 2009: 18). Rannikolla julkisivumateriaalien käyttöikä ja huoltoväli lyhenevät rankempien olosuhteiden johdosta, joten julkisivun kunnon säännöllisen tarkastamisen tarve korostuu. Toimiviksi havaitut ratkaisut ja materiaalit soveltuvat parhaiten rannikon erityisolosuhteisiin. (Pajunen 2013: 34, 37.)

Helsingin Kaupungin julkaisema *Rantarakentamisen ohjeisto* (2009) sekä Vesa Pajusen diplomityö *Rantarakentamisen julkisivurakenteiden suunnitteluohje* (2013) ottavat kantaa rantarakentamisen erityispiirteisiin ja tarjoavat ohjeistusta mm. eri materiaalien ja menetelmien käyttöön. Helsingin Kaupungin ohjeistossa kuvataan pääkaupunkiseudun merenrantarakentamisen vaatimuksia ja Helsingin rannikon erityispiirteitä. Ohjeisto on koottu asiantuntijoiden tiedon ja kokemusten pohjalta. Pajusen diplomityö perustuu asiantuntijahaastattelujen perusteella kerättyyn tietoon ja keskittyy julkisivurakenteiden suunnitteluun. Tämän opinnäytetyön osioihin 3.2.2 – 3.2.8 on kerätty levyjulkisivun suunnitteluun liittyviä ohjeita ja määräyksiä niin voimassa olevista RakMK:n osista kuin eurokoodeista sekä muista levyrakenteiden suunnitteluun liittyvistä lähteistä.

3.2.2 Koko rakenteen kosteustekninen toiminta

Rakenteen kosteustekninen mallinnus

Ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintaa voi tutkia monella eri menetelmällä. Eri materiaalien kosteusteknisiä ominaisuuksia voi tarkastella erikseen, mutta tuolloin koko rakenteen toiminta saattaa jäädä epäselväksi. Jotta ulkoseinärakennetta voitaisiin tutkia kokonaisuutena, voidaan joko esim. laskea käsin, tehdä rasiuskokeita todellisella rakenteella tai mallintaa rakenne ohjelmalla ja tehdä virtuaalisia simuloitteja. (Pentti & Hyypöläinen 1999: 9-11; WUFI Pro 2016.)

Todellisen rakenteen tarkastelu tuottaa toki tarkempia tuloksia, mutta rasiuskokeiden teko vaatii resursseja ja vie paljon aikaa. Käsin lasku on työlästä ja soveltuu yksinkertaisille rakenteille, joten jäljelle jäävä varteenotettava vaihtoehto on simulointi. (Pentti & Hyypöläinen 1999: 9-11.) Simulointiohjelmilla tutkimuksia voidaan tehdä nopeasti ja tehokkaasti. Ohjelmat vaativat tarkasteltavan rakenteen materiaaliominaisuuksien lisäksi rakennetta rasittavien olosuhteiden määrittämisen. Ohjelmat käyttävät laskuissaan todellisen rakennusfysikaalisen testivuoden tilastotietoa mahdollisimman tarkan simuloinnin luomiseksi. (Saari 2015: 17-20.) Ohjelmat voivat luoda tarkastelluille rakenteille ns. kosteuskäyriä annettujen lähtötietojen perusteelta, joista selviää mm. rakenteen kosteuden kertyminen, kuivumisaika ja homehtumisriski (WUFI Pro 2016, WUFI Bio2016).

Rakenteen kosteusteknisen toiminnan selostus

Julkisivurakenteita on hyvin vaikeaa toteuttaa niin, ettei vesi tai kosteus pääsisi jossain määrin tunkeutumaan rakenteisiin (RIL 107-2012: 67). Tämä oletettu kosteusrasitus on otettava huomioon suunnittelutyössä (Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2 Kosteus 1998: 10). Tuuletus useiden eri ainekerrosten omaavissa ulkoseinärakenteissa, kuten levyjulkisivussa, on suositeltavaa, sillä rakenteet kuivuvat tehokkaasti konvektion vaikutuksesta tuuletusvälin toimiessa oikein. Tuuletusväliin kondensoitunut tai tunkeutunut vesi pääsee myös valumaan pois rakenteesta välin seinämiä pitkin. (Björkholtz 1997: 57-58; Flannigan & Morey 1996: 55; RIL 107-2012: 68.)

Rakennetta suunniteltaessa tulisi välttää ratkaisuja, joissa vesi tai tiivistynyt kosteus voi lammikoida ja kerääntyä yksittäiseen paikkaan. Paikat, johon kosteutta voi kerääntyä, tulisi olla helposti tarkastettavissa ja huollettavissa (Flannigan & Morey 1996: 53). Lumen ja sadeveden siirtyminen vaipparakenteisiin tulisi yrittää estää esim. räystäillä ja myrskypelleillä. Ulkoseinien sisäpintojen jäähtyminen ja kosteuden kondensoituminen eristekerroksiin pitäisi estää sopivalla lämmöneristyksellä ja toimivalla tuulensuojauksella. (Björkholtz 1997: 35-37, 42.)

Rakennuksen ilmanvaihdon tulisi olla riittävä, ettei sisäilman kosteus muodostuisi liian korkeaksi. Ilmanvaihdon tulisi olla säädettävissä kosteuslähteiden määrän muuttuessa (vrt. päivä / yö toimistorakennuksessa) (Pentti & Hyyppiöläinen 1999: 21-22). Rakennuksen ulkovaipan kosteutta voidaan periaatteessa alentaa mm. tehostamalla tuuletusvälin toimintaa koneellisesti (Flannigan & Morey 1996: 55).

Useimmat rakennusmateriaalit eivät pilaannu kosteuden tai veden lyhytaikaisista vaikutuksista, joten rakenteen kastuessa osittain, ei vauriota välttämättä pääse syntymään (Pentti & Hyyppiöläinen 1999: 9). Huokoiset rakennusmateriaalit, kuten villaeristeet, ovat vaurioalttiimpia kosteudelle kuin tiheät teräksen ja betonin kaltaiset materiaalit mm. pitemmän kuivumisaikansa takia (RIL 255-1-2014: 463-473; RT 36-11113 2013: 4). Kosteudelle alttiita materiaaleja tulisi välttää rakenteissa tai ne tulisi ainakin suojata kunnolla kosteudelta (Flannigan & Morey 1996: 55).

Tiivistyskorjauksia suunniteltaessa on huomioitava, että korjauskohteen lämpö- ja kosteustekninen toiminta saattaa muuttua. Kaikki rakennuksen tai rakenteen ilmapuodot on havaittava ja korjattava jotta tiivistys onnistuisi. Tiivistykseen käytettävien materiaalien on oltava ilmanpitävyydeltään, pitkäikäisyydeltään sekä tartunta- ja muodonmuutoskyvyltään käyttötarkoitukseen testattuja ja soveltuvia. (Säteri & Ahola 2015: 183, 185.) Tiiviyskorjaukseen soveltuvat liitoksesta riippuen mm. erilaiset saumanauhat, polyuretaanivahto, tiivistysmassa sekä erikoisteippi tai -liimanauha (RIL 107-2012: 45).

3.2.3 Tuulen vaikutus levyrakenteen toimintaan

Levyrakenteiden kannalta määräävät tuulen aiheuttamat rasitukset ovat tuulenpaine ja tuulen imu. Eri kuormitusten määrittämistä varten on tunnettava kyseessä olevan rakennuksen sijainti, maastoluokka, muoto ja korkeus. Maastoluokka määräytyy rakennuksen sijainnin ja ympäristön perusteella, mm. läheiset rakennukset saattavat voimistaa tai heikentää tuulikuormia. Taulukossa 3 esitellään eri maastoluokat ja kyseisille maastoluokille ominaiset piirteet, rosoisuusmitta ja tuulen minimikorkeus. (SFS-EN ISO 1991-1-4 + AC + A1: 30.)

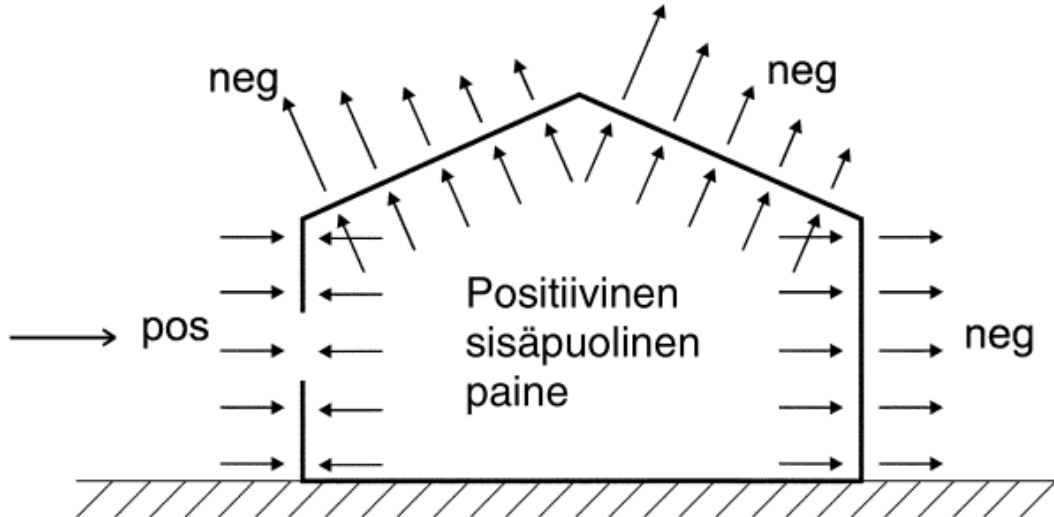
Taulukko 3. Maastoluokat ja maastoparametrit (SFS-EN ISO 1991-1-4 + AC + A1: 36).

Maastoluokka	Rosoisuusmitta z_0 (m)	Tuulen minimikorkeus z_{min} (m)
0 Avomeri tai merelle avoin rannikko	0,003	1
I Järvet tai tasanko, jolla enintään vähäistä kasvillisuutta eikä tuuliesteitä.	0,01	1
II Alue, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus	0,05	3
III Alueet, joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä tuuliesteitä, joiden keskinäinen etäisyys on enintään 20 kertaa esteen korkeus (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)	0,3	5
IV Alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15% on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m	1,0	10

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo $v_{m(z)}$ saadaan kertomalla tuulennopeuden modifioimaton perusarvo $v_{b,0}$ tuulen suuntaisen ympäristön rosoisuuskertoimella $c_{r(z)}$ ja pintojen kaltevuudesta riippuvalla pintamuotokertoimella $c_{0(z)}$. Tuulennopeuden modifioidun perusarvon avulla voidaan määrittää rakennukseen tai rakenteeseen kohdistuvia tuulikuormia. (SFS EN 1991-1-4 + AC + A1: 32-38.) Tuulennopeuden modifioidun perusarvon laskukaavat löytyvät SFS EN 1991-1-4 kohdasta 4.3 ja liitteen A kohdista A.3, A.4 ja A.5.

Tuulikuormat voidaan määrittää voimakertoimien tai painekertoimien avulla. Voimakertoimien käyttö soveltuu rakenteen kokonaistuulikuorman määrittämiseen kun taas painekertoimien avulla voidaan määrittää tiettyyn rakennusosaan vaikuttavat tuulikuormat. (SFS EN 1991-1-4 + AC + A1: 44, 46, 48.) Koska julkisivulevyt ovat usein

toisistaan irrallisia, erillisiä rakennusosia, soveltuu painekerroinmenettely hyvin niihin liittyviin tuulikuormatarkasteluihin. Tuulikuormien laskukaavat löytyvät SFS EN 1991-1-4 kohdasta 5.4.



Kuva 6. Positiivinen ja negatiivinen tuulen vaikutus rakennukseen (SFS EN 1991-1-4 + AC + A1: 44).

Painekertoimet c_{pe} määrittävät miten tuulen vaikutus jakautuu rakennuksen eri osien kohdalla, mm. reunoilla, katolla tai nurkissa. Painekertoimet riippuvat rakennuksen tai rakenteen muodosta ja korkeudesta sekä katon tyypistä ja ne voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia. Esimerkiksi vain yhteen julkisivuun kohdistuva tuuli voi luoda imua rakennuksen muille tuulettomille sivuille. Rakennuksen sisäinen paine voidaan myös laskea painekertoimien c_{pi} avulla, jos rakennuksessa on aukkoja kuten avonaisia ikkunoita tai ovia. (SFS EN 1991-1-4 AC + A1: 44-46.) Kuva 6 havainnollistaa sisä- ja ulkopuolisen paineen jakautumisen rakennuksen eri pintoihin. Kaavat 1, 2 ja 3 on otettu EN SFS 1991-1-4 kohdasta 7.2.10 ja niillä voidaan korjata tuulettuvien levyjulkisivujen painekerroinarvojen. ($c_{p,net}$ on nettopainekerroin, c_{pe} on ulkopuolinen painekerroin ja c_{pi} on sisäpuolinen painekerroin.)

$$c_{p,net} = 2/3 * c_{pe} \quad (1)$$

Julkisivulevyyn vaikuttava tuulenpaine kohtisuoran tuulen vallitessa, kun levyä ympäröivät aukot ovat samankokoisia, tuuletusvälin sisäpinta on ilmanpitävä (ilmanläpäisevyys $\mu < 0,1 \%$) ja tuuletusvälin paksuus on alle 100 mm. (SFS EN 1991-1-4 + AC + A1: 90.)

$$c_{p,net} = 2/3 * c_{pe} \quad (2)$$

Julkisivulevyyn vaikuttava tuulenpaine kohtisuoran tuulen imun vallitessa, kun levyä ympäröivät aukot ovat samankokoisia, tuuletusvälin sisäpinta on ilmanpitävä (ilmanläpäisevyys $\mu < 0,1$ %) ja tuuletusvälin paksuus on alle 100 mm. (SFS EN 1991-1-4 + AC + A1: 90.)

$$c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi} \quad (3)$$

Tuuletusvälin sisäpuoliseen pintaan vaikuttava tuulenpaine kohtisuoran tuulen vallitessa, kun levyä ympäröivät aukot ovat samankokoisia, tuuletusvälin sisäpinta on ilmanpitävä (ilmanläpäisevyys $\mu < 0,1$ %) ja tuuletusvälin paksuus on alle 100 mm. (SFS EN 1991-1-4 + AC + A1: 90.)

3.2.4 Tuuletusvälin määrittäminen

Tuuletusvälin tehtävä on kuivata ulkoseinärakennetta. Tuuletusvälin toiminta perustuu tuuletusvälin ylä- ja alapään ilmanpaine-eroihin ja niiden välissä virtaavan ilman kuivattavaan vaikutukseen. Tuuli, tuuletusvälin avoimuus, pystysuuntaiset saumat, rakenteen läpäisevä sisäpuolinen lämpövirta ja ulkopuolinen lämpösäteily vaikuttavat myös tuuletusvälin toimintaan. (Pentti & Hyppöläinen 1999: 42, 46; Kangas et al. 1998: 34-36, 44.) Jotta tuuletusväli toimisi oikein, tulisi tuuletusvälissä virtaavan ilman vaikuttaa rakenteen kosteustasapainoon negatiivisesti eli kuivattaa rakennetta eikä kostuttaa sitä (Sisäilmayhdistys 2008b).

Tuuletusvälin kosteuslähteisiin voidaan laskea julkisivujen läpi tunkeutunut tai tiivistynyt vesi, rakennusaikainen kosteus sekä ulko- ja joskus myös sisäilman kosteus (Sisäilmayhdistys 2008b). Tuuletusvälin ilmavirta voidaan olettaa normaalitapauksissa lähes laminaariseksi virtaukseksi, eli samansuuntaiseksi virtaukseksi. Jos tuuletusvälin reunat ovat avonaisia tai tuuletusvälin paksuus vaihtelee esim. kannakkeiden takia, voidaan tuuletusvälin ilmavirta olettaa lievästi turbulenttiseksi. (Van Straaten 2003: 18-20, 29.)

Kostea ilma koostuu kuivasta ilmasta ja vesihöyrystä. Ilma on kaasu, joten sen tilavuus kasvaa, kun ilmanpaine laskee tai ilma lämpenee. Ilman suurempi tilavuus varastoi suuremman määrän vesihöyryä, joten lämpimällä säällä ilma sisältää enemmän kosteutta kuin viileällä säällä. Vesihöyryn kyllästymispaine (p_k) kasvaa lämpötilan

noustessa, eli vesihöyry tiivistyy herkemmin viileässä kuin lämpimässä, jos ilmanpaine pysyy vakiona. Jotta kosteus tiivistyisi lämpimissä olosuhteissa, tulisi vesihöyryn paineen olla normaalia korkeampi. Vesihöyry on kuivaa ilmaa kevyempää, joten vesihöyryn ja kuivan ilman sekoittuessa muodostuva vesihöyrypitoinen ilma nousee ylöspäin. (Björkholtz 1997: 43-44.) Taulukkoon 4 on kerätty ilman ominaisuuksia eri lämpötiloissa.

Vesihöyryn kyllästyskosteutta (v_k), eli kuinka paljon vesihöyryä ilma voi maksimissaan varastoida tietyssä lämpötilassa, ilmaistaan grammoina per kuutiometri (g/m^3). Ilman suhteellisella kosteudella (RH) voidaan kertoa kuinka suuri ilman kosteusmäärä (v) on kyllästyskosteuteen verrattuna; esim. jos ilman suhteellinen kosteus on 80 % ja kyllästyskosteus 5 g/m^3 , on ilman todellinen kosteusmäärä $0,8 * 5 \text{ g/m}^3 = 4 \text{ g/m}^3$. (Björkholtz 1997: 43-45.)

Taulukko 4. Ilman ominaisuudet eri lämpötiloissa normaalin ilmakehän paineen vallitessa (101,32 kPa). Oso Björkholtzin alkuperäisestä taulukosta 9. (1997: 44).

t (°C)	v_k (g/m^3)	p_k (Pa)	t (°C)	v_k (g/m^3)	p_k (Pa)
-20	0,87	102	+5	6,84	878
-15	1,38	164	+10	9,45	1234
-10	2,20	266	+15	12,86	1708
-5	3,33	412	+20	17,28	2337
0	4,85	611	+25	23,00	3162

Jotta tuuletusvälin ilmavirta kuivattaisi rakenteita, on ilman vesihöyrynpitoisuuden (v) oltava rakenteen pinnan vesihöyrynpitoisuutta (v_p) matalampi. Tämä tarkoittaa, että tuuletusvälin lämpötilan tulisi olla sisään virtaavaa ilman lämpötilaa korkeampi, muuten riskinä on ulkoilman kosteuden tiivistyminen tuuletusväliin. Tämän lisäksi tuuletusvälistä ulos virtaavan ilman kosteuspitoisuuden (v_u) ei tulisi ylittää ulkoilman kyllästyskosteuspitoisuutta (v_k) jotta kosteus ei tiivistyisi heti tuuletusraon yläreunaan. Ilmavirtaa voidaan mitata tilavuusvirtana (Q), jossa yksi kuutio ilmaa liikkuu yhden metrin sekuntivauhdilla (m^3/s). Kaavalla 4 voidaan määrittää tuuletusvälin ja tuulettuvan rakenteen välisen kosteusvirran suuruus julkisivurakenteissa. (Björkholtz 1997: 82-83.) Björkholtzin rakennusfysiikan oppaasta löytyy myös variaatioita mainitulle kaavalle, jotka huomioivat mm. ympäröivien pintojen lämpötilojen vaikutuksen (1997: 83-86).

Tuuletusvälin kosteusvirta

$$g = \frac{b \cdot u}{l} * (v_u - v_s) \quad (4)$$

$$[Q = b * d * u; G = Q * (v_u - v_s); G = g * d * l]$$

Q	= tilavuusvirta (m ³ /s)	
G	= massavirta (kg/s)	
g	= kosteusvirta (kg/m ² s)	
b	= tuuletusvälin paksuus	(m)
l	= tuuletusvälin korkeus	(m)
d	= tuuletusvälin leveys	(m)
u	= ilmavirran nopeus	(m/s)
v _u	= tuuletusvälistä ulos virtaavan ilman kosteuspitoisuus	(kg/m ³)
v _s	= tuuletusväliin sisään virtaavan ilman kosteuspitoisuus	(kg/m ³)

3.2.5 Levyrakenteisen julkisivun palomitoitus

Kaikille rakennuksille on määritetty paloluokka, joka on P3, P2 tai P1. Paloluokka riippuu mm. rakennuksen käyttötarkoituksesta, korkeudesta ja kerrosten määrästä. P3-luokan rakennuksilla korkeus ja kerrosten määrä on hyvin rajoitettu. P2-luokan rakennuksilla on luokkaa P3 löyhemmät rajoitukset, kun P1-luokan rakennuksille taas ei ole asetettu korkeus- tai kerrosrajoitteita. Rakenteiden palovaatimukset kasvavat siirryttäessä korkeampaan paloluokkaan (P3 → P2 → P1). (RakMk E1 2011: 10-12; Ympäristöopas 39 2003: 47-49.)

Kaikille kantaville rakenteille on kantavuuden säilyttämiseksi määritettävä palonkestävyysaika (R), joka kertoo, kuinka kauan rakenne kestää palotilanteessa, esim. R60-merkityn rakenteen tulisi kestää 60 minuuttia sortumatta. Eristeille tulee määrittää tiiviys- (E) ja eristävyysaika (I), niin että palon leviäminen voidaan estää suunnitelluksi ajaksi. Jotta määritettyihin tavoiteaikoihin ylletään, on rakenteissa käytettävä soveltuvia materiaaleja. Kaikille rakennusmateriaaleille on määritetty tietty luokka sen mukaan, miten ne käyttäytyvät palotilanteessa. Rakennustarvikkeen luokka kertoo mm. osallistuuko materiaali paloon ja tuottaako se savua tai palavia pisaroita. (RakMk E1 2011: 5, 14-19; Ympäristöopas 39 2003: 30, 63, 73.)

Rakennukset jaetaan usein palo-osastoihin, palon leviämisen estämiseksi. Kerrostaloissa osastointi voidaan toteuttaa esim. kerroksittain. Levyjulkisivuissa palon syttymisen riski on pieni, mutta palon leviäminen tuuletusvälien kautta on mahdollista.

(Ympäristöopas 39 2003: 57, 87.) Korkeissa rakennuksissa, joissa on korkeat yhtenäiset tuuletusvälit, voi tulipalo levitä hetkessä korkeampiin kerroksiin (Pajunen 2013: 68). Tästä syystä tuuletusvälit tulisi katkaista tietyin välein, esim. kerroksittain, palon leviämisen estämiseksi. Palokatkon voi toteuttaa kerrosten välissä esim. räystäällä ja parvekkeilla tai rakenteiden sisällä esim. paisuvilla palotiivisteillä. (Paisuvat palotiivisteet 2015; Ympäristöopas 39 2003: 87.)

Paloteknisiä vaatimuksia käsittelevä rakentamismääräyskokoelman E1-osan kohdassa 8.3.4 selostetaan tuulettuvaan rakenteeseen soveltuvien materiaalien vaatimuksia (2011: 23-24). Ulkoseinärakenteen palotekniset vaatimukset ohjaavat rakenteen tuuletusvälin ja eristeiden suunnittelua (Pajunen 2013: 68).

3.2.6 Kiinnikkeiden suunnittelu

Metallisia kiinnikkeitä käytettäessä on otettava huomioon kuormitusten lisäksi mahdollinen korroosioriski. Levyrakenteisissa julkisivuissa kiinnikkeitä on kohtuullisen paljon, mm. kantavassa rungossa, sadetakkirakenteessa ja julkisivulevyissä. (RT 80-11115 2013: 4-6; RT 82-10614 1996: 4, 8-9.) Teräsrakenteiden korroosionestoa käsittelevästä SFS-EN ISO 12944-2 -standardista löytyy ilmasto-olosuhteiden rasiuksia kuvaava taulukko 5, jossa mainitaan myös rannikko-olosuhteet (1998: 10, 12).

Taulukko 5. Ilmastorasitusluokat (SFS-EN ISO 12944-2: 12).

Rasitusluokka		Lauhkea ilmasto, ulko-olosuhteet (opastava)
C1	hyvin lievä	-
C2	lievä	Ilman epäpuhtauksien määrä alhainen (esim. maaseutualueet)
C3	kohtalainen	Ilmassa kohtalainen rikkidioksidikuormitus, alhainen suolapitoisuus (mm. rannikkoalueet)
C4	ankara	Ilmassa kohtalainen suolapitoisuus (mm. teollisuus- ja rannikkoalueet)
C5-I	erittäin ankara (teollisuus)	Ilmankosteus korkea, ilmatila syövyttävä (teollisuusalueet)
C5-M	erittäin ankara (meri)	Ilman suolapitoisuus korkea (rannikko- ja rannikon ulkopuoliset alueet)

3.2.8 Pitkäikäisyyden varmistaminen

Käytössä oleva Eurokoodimitoitus perustuu olettamukseen, että nykypäivänä suunnitellut rakenteet ja rakennukset kestävät koko suunnitellun käyttöikänsä ajan. Suomessa tämä on rakennuksille yleensä vähintään 50 vuotta (SFS-EN ISO 1990 + A1 + AC: 48). Rakennekohtaiset ominaisuudet kuten käyttöikä ovat usein tuotetoimittajien määrittämiä arvoja, jotka eivät välttämättä täytä rakennuksen käyttöikävaatimuksia (RT 18-10922 2008: 1-2). Ilmaston muutoksen vaikutuksesta ilmastomme lämpenee jatkuvasti, joten suunnittelija voi jo tässä vaiheessa varautua lämpimämpiin ja kosteampiin olosuhteisiin, vaikka määräykset eivät sitä vaatisi (Ala-Outinen et al. 2004: 3).

Rakennusmateriaalien ikääntyminen voi olla joko ulkonäöllistä, toiminnallista tai kumpaakin. Ikääntymiseen vaikuttavat eniten ulkoiset tekijät kuten kosteus, lämpötilanvaihtelut, ulkoilman epäpuhtaudet ja auringon säteily. (Lahdensivu 2010: 19; RIL 255-1-2014: 24.) Rakenteita voidaan suojata ulkoisilta rasituksilta tiettyyn pisteeseen, mutta mikään rakennusmateriaali ei kuitenkaan ole ikuinen. Vaikka rakennuksen suunniteltu käyttöikä kantaville rakenteille olisi 50 tai 100 vuotta, ei samaa voida odottaa ulkoseinän muilta osilta. (RT 18-10922: 1-2; SFS-EN ISO 1990 + A1 + AC: 48-50.) Taulukossa 7 on esitetty muutamien julkisivumateriaalien teknisiä käyttöikäjä.

Taulukko 7. Ulkoseinärakenteiden tekniset käyttöiät ja huoltovälit. (Keskimääräinen tekninen käyttöikä on rasisluokasta riippuva, 1 = vaikea, 2 = normaali, 3 = kevyt. R = rakennuksen käyttöikä) (RT 18-10922 2008: 6-7).

Julkisivutyyppe	Keskimääräinen tekninen käyttöikä (1...2... 3)*	Tarkastusväli	Huoltoväli ja toimenpide
Rappaus	30... 50 ...70	5	10...20, huoltomaalaus
Metallilevyverhous	30... 40 ...50	5	15...20
Pinnoittamaton betoni	30... 40 ...50	5	15, saumat uusittava
Kuitusementtilevy	40... 50 ...60	5	20, huoltomaalaus
Luonnonkivi	50... R	5	25, saumat uusittava
Elementtien / levyjen saumat	15... 20 ...25	5	

Rakenteen sisäisten osien on toimittava oikein julkisivun taustalla rakenteen käyttöiän ajan. Koko julkisivujärjestelmälle voidaan määrittää toiminnallinen käyttöikä, niin eristeille, rankarakenteille kuin kiinnikkeille. Jos ulkoseinärakenteen sisäisten osien

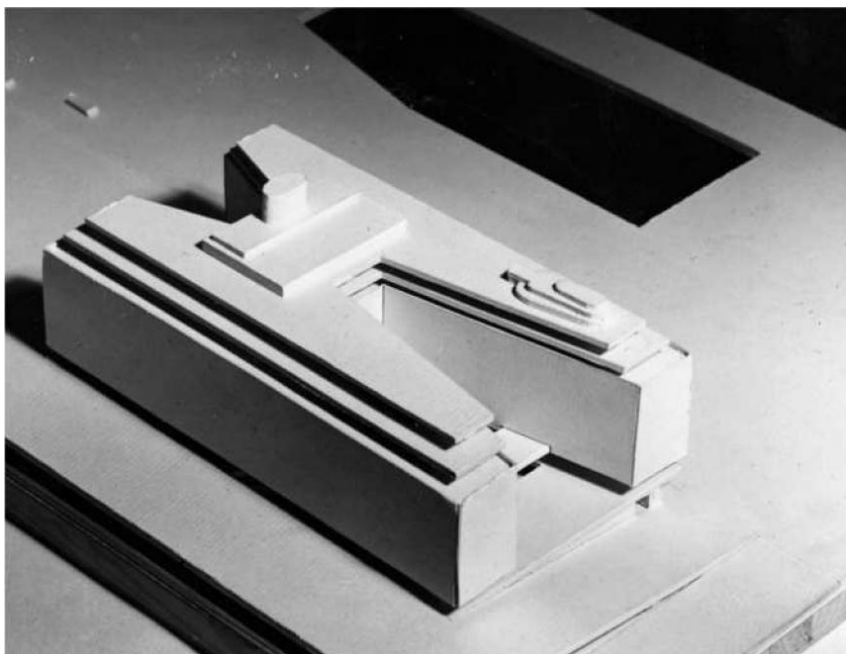
suunnitellaan kestävästi tietyn ajan, on ulkoverhoilulle turhaa määrittää pitempi käyttöikä. Ulkovaipan tulisi kestää yhtä kauan tai lyhemmän aikaa kuin sisärakenteet siten, että ulkovaippa tai koko järjestelmä voidaan kerralla uusida. (RIL 255-1-2014: 49, 44-45.)

Rakennusmateriaalien vanhentumista säteilyn vaikutuksesta on hankalaa estää etenkin tulevaisuudessa, etenkin jos UV-säteilyn määrä kasvaa (Ala-Outinen et al. 2004: 21-23). Kasvavaan säteilyn määrään voidaan varautua suojaamalla herkätkä materiaali suoralta säteilyltä, tai päällystää materiaalit säteilyä hyvin kestävällä tai heijastavalla ainekerroksella (Sipilä 2014: 42-43). Jotkin lämmöneristeet menettävät eristävyytensä ajan myötä, joten sopivan eristeen valinta on tärkeää (RIL 255-1-2014: 26-27). Metallien korroosioon, puuosien lahoamiseen ja eristeiden homehtumiseen voidaan vaikuttaa hyvällä detaljisuunnittelulla (Haukijärvi et al. 2009: 14; Kangas et al. 1998: 47, 60-61). Ennen kaikkea rakennuksen tulisi olla turvallinen ja terveellinen käyttää (RIL 216-2001: 20).

4 Rantarakentamisen esimerkkikohde Helsingin ydinkeskustassa

Vuonna 1948 järjestettiin suunnittelukilpailu, johon suomalaiset arkkitehdit saivat osallistua luonnoksillaan. Kilpailussa tuli suunnitella rakennus Helsingin ydinkeskustaan Eteläsataman lähetyville. Kilpailukriteereihin kuului mm. toimistojen, Helsingin kaupungin virastotoimistojen, näyttely- ja liiketoimistojen sekä ensiluokkaisen hotellin ja ravintolan sisällyttäminen rakennukseen. (Marila 2009: 9-10.)

Suunnittelukilpailun voittanut ehdotus oli arkkitehtien Viljo Revellin ja Keijo Petäjän suunnittelema H-kirjaimen muotoinen ”Ratas”. Rakennuksessa toimistotilat oli sijoitettu kerroksiin 3.-8. ja kerrokset 9. ja 10. oli säästetty hotellille ja ravintolalle. Ensimmäisessä kerroksessa sijaitsi hotellin aula sekä liiketoimistoja ja toinen kerros oli varattu toimistokerroksien aulaksi. Lopullisissa suunnitelmissa rakennukseen oli lisätty 11. kerros, mutta muuten alkuperäiset suunnitelmat pysyivät lähes muuttumattomina. Kohteen rakentaminen aloitettiin vuonna 1950 ja vuoden 1952 Helsingin olympialaisiin mennessä oli rakennuksen hotelli ja ravintola otettu käyttöön. Toimistokerrokset valmistuivat vuoden 1953 aikana. Valmis rakennus muistuttaa sivulta nähtynä muodoltaan valtamerilaivaa. (Marila 2009: 12-14, 33, 39.) Kuvassa 7 näkyy voittaneen ehdotuksen pienoismalli.



Kuva 7. Viljo Revellin ja Keijo Petäjän ”Ratas” (Marila 2009: 10).

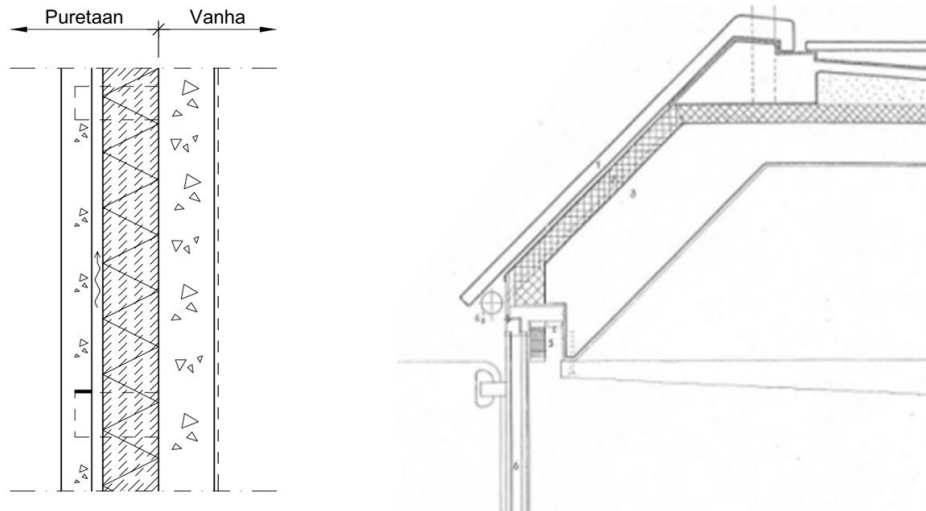
4.1 Esimerkin tavoite ja tarkoitus

Kohteen alkuperäiset betonikuorielementit ovat jo yli 60-vuotiaita ja niiden ikä näkyy mm. kellastumisena. Osa elementeistä on jouduttu uusimaan halkeilujen ja muiden vaurioiden takia. (Marila 2009: 68.) Rakennuksen omistajajärjestö on päättänyt uusia vanhat julkisivuelementit lähiaikoina säilyttäen rakennuksen alkuperäisen ulkonäön. Uudet julkisivut tulevat todennäköisesti olemaan alkuperäisen tapaisia betonista valmistettuja kuorielementtejä. Tässä esimerkissä kuitenkin oletetaan, että uudet julkisivut toteutettaisiin levyjulkisivuna ja sovelletaan tässä opinnäytetyössä kerättyä tietoa toimivan kokonaisuuden turvaamiseksi.

4.1.1 Kohteen erityspiirteet ja olemassa olevien rakenteiden selostus

Kohde sijaitsee Helsingin Kaartinkaupungin Eteläsatamassa, Kauppatorilta etelään. Erityistä kohteen sijainnissa on sen itäpuolisen julkisivun avoimuus mereltä tuuleville, etenkin idän- ja kaakonsuuntaisille tuulille. Itäinen julkisivu on raskaimmin rasiitettu, sillä kohteen muita sivuja suojaavat läheiset rakennukset. Rakennuksen monimuotoisuus kasvattaa julkisivujen pinta-alaa lähes kaksinkertaiseksi samankokoiseen, suorakulmion muotoiseen rakennukseen verrattuna. Rakennus on korkeudeltaan noin 35 metriä idänpuoleisesta katutasosta.

Kohteen julkisivu on vuosien mittaan pysynyt lähes muuttumattomana, julkisivut – ikkunoita lukuun ottamatta – ovat alkuperäisiä. Julkisivu muodostuu 55 mm paksuista valkobetonilaattaelementeistä ja elementtien ulkopinnan tasoon ulosvedetyistä ikkunoista. Nykyiset ikkunat ovat puukarmeilla varustettuja umpiolasisia ikkunoita ja karmit on verhottu ruskeilla alumiinilistoilla. Ikkunat ja elementit ovat nauhamaisia ja kiertävät koko rakennuksen. Ainoastaan etelä- ja pohjoispäädyt on toteutettu kokonaan laattaelementeistä. Kerrosten 9.-11. laattaelementit ovat 45° kulmassa kuvan 8B mukaan. (Marila 2009: 13, 24, 67.)



Kuva 8. A [Vasen] Vanhan julkisivun rakennetyyppi (kuorielementtijulkisivu). B [Oikea] Kerroksien 9.-11. laattaelementit (Marila 2009: 29).

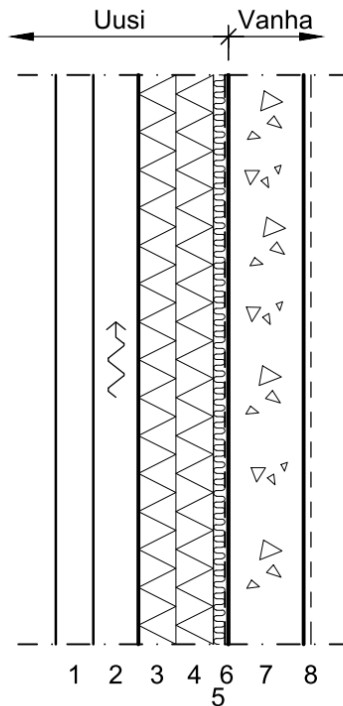
Pystysuorien julkisivuelementtien taustalla on lämmöneristeenä käytetty 100 mm paksuista puulastusementtilevyjä ja vinojen elementtien taustalla ekspandoitua korkkia. Julkisivuelementin ja lämmöneristekerroksen välissä on 20 mm tuuletusväli ja elementtien pystysaumot on tiivistetty. Julkisivuelementit on kannatettu betonikonsoleiden varaan ja ne on tuettu reunoilta ja päältä 25 mm rst-latoilla. Rakennusrunko on tehty paikalla valaen teräsbetonista käyttäen pilari-, palkki- ja laattarakenteita, kerroskorkeus toimistokerroksissa on 2930 mm. (Marila 2009: 50.) Vanhan julkisivun pystyleikkaus on esitetty kuvassa 8A.

4.1.2 Kohteen julkisivun uusimiseen liittyvät haasteet

Kohteen julkisivujen uusimisella ei haeta vain ulkonäöllistä päivitystä vaan myös toiminnallista parannusta rakenteen kokonaistoimintaan mm. eristävyden, kosteudenhallinnan ja tiiviiden suhteen. Nykyisessä rakenteessa on paikoittain havaittu ilmatiiviysongelmia, joten hankkeen yhteydessä on tehtävä tiivistyskorjauksia. Vanhat kuorielementit on kannatettu alkuperäisestä lämmöneristettä vasten valetuista teräsbetoniseinistä. Vanhojen eristeiden taustalla oleva betonipinta, johon uusi rakenne kiinnitetään, on todennäköisesti hyvin epätasainen. Tämä hankaloittaa mm. levyjulkisivun kantavien rankojen kiinnitystä runkoon ja uusien lämmöneristekerroksien tiivistä asentamista. Uudelle julkisivuratkaisulle halutaan alkuperäisen näköinen ulkonäkö.

4.1.3 Toteutuvan betonikuorielementtjulkisivun selostus

Kohteeseen suunniteltu kuorielementtjulkisivu saattaa vaihtua hankkeen edetessä, kyseisen rakenteen tiedot perustuvat opinnäytetyön aikana voimassa oleviin suunnitelmiin. Kuvassa 9 esitetty rakennetyyppi löytyy selitteiden kera liitteestä 1. Opinnäytetyön esimerkissä kuvattu levyjulkisivu on suunniteltu opinnäytetyön tutkimustietoa hyväksikäyttäen.

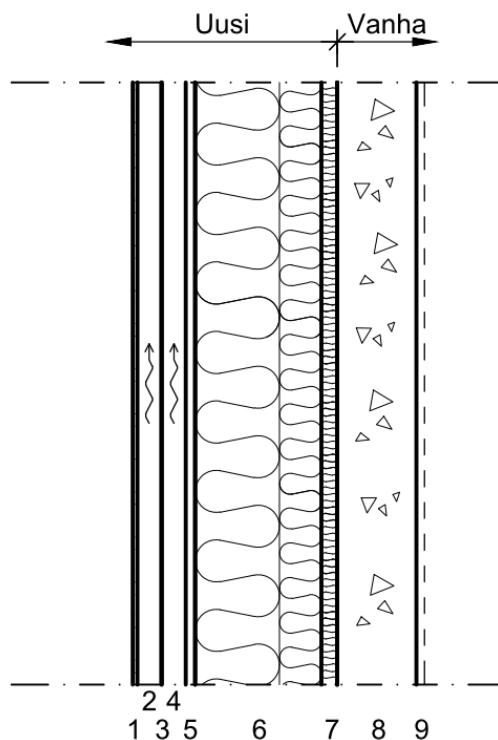


Kuva 9. Uuden julkisivun rakennetyyppi (kuorielementtjulkisivu)

Kohteen toteutettava julkisivujärjestelmä on alkuperäisen kaltainen, 55 mm paksuilla kuorielementeillä toteutettu valkobetonielementtjulkisivu. Toteutettavalle rakenteelle lämmöneristeenä on suunniteltu käytettävän 50 mm Paroc eXtra pro:ta sekä tuulensuojavillaa 50 mm Paroc Cortex pro:ta. Tuulensuojavillan takia erillistä tuulensuojakerrosta ei tarvita. Lämmöneristeiden tausta tasataan ohuella slammauksella ja pehmeällä mineraalivillalla. Rakenteeseen jätetään 60 mm tuuletusväli kuorielementin ja tuulensuojavillan väliin ja tuuletus toteutetaan tuuletusputkien avulla. Kuorielementit kannatetaan sisäkuoresta uusilla teräksisillä puukkokannakkeilla.

4.2 Levyjulkisivun soveltaminen kohteeseen

Esimerkissä tarkastellaan kohteen kerrostenvälisiä nauhajulkisivuja. Tarkastelussa tehdyissä laskelmissa on käytetty oletuksia todellisen tiedon puuttuessa. Mitoitukset ja laskut perustuvat kovimpien rasitusten alaisiin itäisen julkisivun 8. kerroksen julkisivujen tarkasteluun. Rakennuksen julkisivussa käytettävät materiaalit ja ratkaisut täyttävät P1-luokan rakennuksen vaatimukset. Kuvassa 10 on esitetty esimerkissä kuvattu levyjulkisivurakenne, jonka tarkempi kuvaus löytyy liitteestä 1.



Kuva 10. Esimerkkiä varten luotu julkisivun rakennetyyppi (levyjulkisivu)

Kantava rankarakenne

Levyjulkisivut toteutetaan usein tietyn järjestelmän mukaan. Tuotetoimittajilla on yleensä omat järjestelmänsä mm. runkorakenteiden kiinnitykseen ja levyjen kannatukseen. Tässä esimerkissä määräävä kriteeri rungon valitsemiselle on epätasaisen kiinnityspinnan huomioiminen. Betonipinnan voisi tasoittaa esim. laastilla, mutta säädettävän teräsranan asentaminen vaatii vähemmän työvaiheita. Betoniseinän pinnan tasoitus käsitellään lämmöneristys -kohdassa.

Tässä esimerkissä käytetään Hiltin Eurofox -järjestelmää, jossa on mahdollista käyttää erityyppisiä L- ja T-alumiiniprofiileja runkona. Kantavaan betonirunkoon ankkureilla kiinnitettävissä kulmaosissa on 40 mm säätövara ja lämpökatkot rungon liittymäkohdassa. Kulmaosiin kiinnitettävät alumiinirangat ovat pystysuuntaisia ja niihin kiinnitetään sadetakkirakenne. Niin ikään pystysuuntaisia ovat sadetakkirakenteen ulkopuolelle kiinnitettävät rangat, joihin julkisivulevyjen vaakasuuntaiset kannatuskiskot asennetaan. Rankojen, sadetakkirakenteen ja kulmaosien kiinnitykset toteutetaan teräksisillä itseporautuvilla ruuveilla. Kiinnikkeiden on kestettävä rannikkoilmaston oletetun C3 -luokan korroosiorasituksia. Rakenteen rankaväli on 575 mm. Kuvassa 11 näkyy runkoon kiinnitettävä kulmaosa sekä T- ja L-profiilit. Lisätietoa rankajärjestelmästä löytyy Hiltin verkkosivuilta (Eurofox 2016).



Kuva 11. Hilti Eurofox järjestelmä, kulmaosa ja L- sekä T- alumiiniprofiili (Eurofox 2016).

Lämmöneristys

Lämmöneristekerroksen taustalla olevan betonipinnan epätasaisuudet (10...40 mm) tasoitetaan pehmeällä A1-palonkestoluokan mineraalivillaeristeellä. Varsinaisena lämmöneristeinä käytetään ulkoilmastoa hyvin kestävää palamatonta Paroc eXtra pro kivivillaa kahdessa kerroksessa, 100 mm + 50 mm. Eristeet asennetaan tiiviisti alumiinirankojen väliin ja eristekerrosten väliset saumat limitetään. Lämmöneristeet kiinnitetään taustaan muovisten eristekiinnikkeiden avulla, kiinnikkeitä käytetään neljä kappaletta neliometriä kohden. Valittu eriste on pitkäikäinen ja sen ominaisuudet eivät juuri heikkene ajan kuluessa. Lisätietoa tuotteesta löytyy Paroc:n verkkosivuilta (Paroc eXtra pro 2016).

Tuulensuojaus

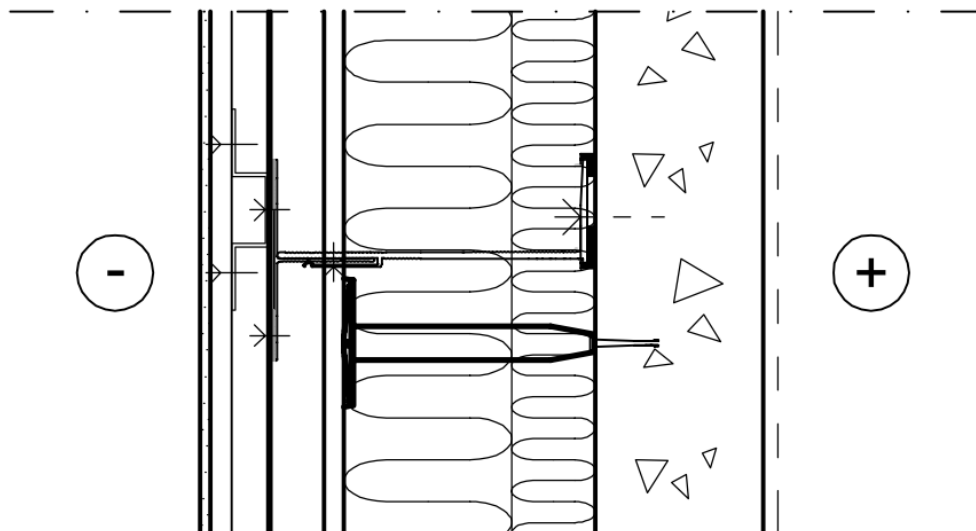
Koska valitun lämmöneristeen (Paroc eXtra pro) ilmanläpäisevyyskerroin (K_a) on korkea ($100 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$), käytetään rakenteessa erillistä tuulensuojalevyä haitallisten ilmavirtausten hallitsemiseksi. Rakenteessa käytetään 12 mm:n paksuista kuitusementtilevyä, jonka ilmanläpäisykerroin on $0,7 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$. Tuulensuojalevyt kiinnitetään eristeen pintaan tiiviisti ja ankkuroidaan kantavaan rakenteeseen ruuveilla. Levyjen saumojen tiivistys toteutetaan huolellisesti jotta ilma- ja kosteusvuodot eristekerrokseen estyisivät. Levyn vesihöyrynläpäisevyys on matala, joten rakenteeseen pyrkivän kosteuden siirtyminen hidastuu tuulensuojan kohdatessaan. Tämä tarkoittaa kuitenkin myös sitä, että rakenteen kosteudenluovutus tuulensuojan läpi on hidasta. Levy on palamaton ja kestää verrattain hyvin kosteutta ja vettä.

Sisempi tuuletusväli

Tuulensuojalevyn ja sadetakkirakenteen välinen tuuletusväli toteutetaan normaalin tuuletusvälin tapaan. Tuuletusväli on avonainen ylä- ja alapäästään ja sen syvyys on 30 mm. Sisempi ja ulompi tuuletusväli eivät ole yhteydessä toisiinsa, vaan niitä jakavan sadetakkirakenteen oletetaan olevan täysin tiivis. Tulipalon mahdollista leviämistä tuuletusvälien kautta ei rajoiteta, sillä tuuletusvälit ovat suhteellisen lyhyitä ikkunoihin verrattuna, jotka tässä tapauksessa todennäköisesti pysäyttävät palon leviämisen julkisivun pinnalla. Lyhyen pituutensa ansiosta tuuletusvälin oletetaan tuulettuvan ensisijaisesti tuulen vaikutuksesta eikä ylä- ja alapään välisistä paine-eroista.

Sadetakkirakenne

Sadetakkirakenne toteutetaan pinnoitetulla metalliverhouksella, pinnoitus on toteutettu kestämään C3 -luokan ilmastollisia rasituksia. Metallilevyt kiinnitetään kantavaan alumiinirunkoon (T-profiiliin) porautuvilla ruuveilla, liitosten tiiviys varmistetaan EPDM-kaistoilla. Levyjen vaakasuuntaiset lämpöliikkeet otetaan huomioon käyttämällä levyjen toisessa päässä esiporattuja ovaalinmuotoisia reikiä ruuvien kohdalla, pystysuuntaiset liikkeet huomioidaan toteuttamalla vaakaliitokset yksinkertaisilla hakasaumoilla. Kuvassa 12 on esitetty esimerkkirakenteen vaakaleikkaus josta ilmenee sadetakkirakenteen keskeinen sijainti.



Kuva 12. Levyrakenteisen julkisivun vaakaleikkaus. Kantavan rungon, sadetakkirakenteen ja levyjulkisivun kiinnitykset.

Ulompi tuuletusväli

Rakenteen ulompi tuuletusväli eroaa sisemmästä tuuletusvälistä siinä määrin, että sen syvyys vaihtelee julkisivulevyjen kannattimien takia. Välin syvyudeksi on määritetty 30 mm, mutta paikoitellen se on kapeampi. Tuuletusvälin ylä- ja alapääty ovat avoimia ja julkisivulevyjen pystysaumojen oletetaan vuotavan pieniä määriä ilmaa. Ilmavuotojen ja vaihtelevan syvyyden takia tuuletusvälin ilmavirta saattaa olla turbulენტista ja sen määrittäminen on hankalaa. Koska sadetakkirakenteen oletetaan olevan tiivis niin kosteuden kuin ilman suhteen, on sisemmän tuuletusvälin riittävän tuulettumisen varmistaminen tärkeämpää kuin ulomman. Sisemmän tuuletusvälin tapaan ulomman tuuletusvälin toiminnan oletetaan perustuvan ensisijaisesti tuulen vaikutukseen.

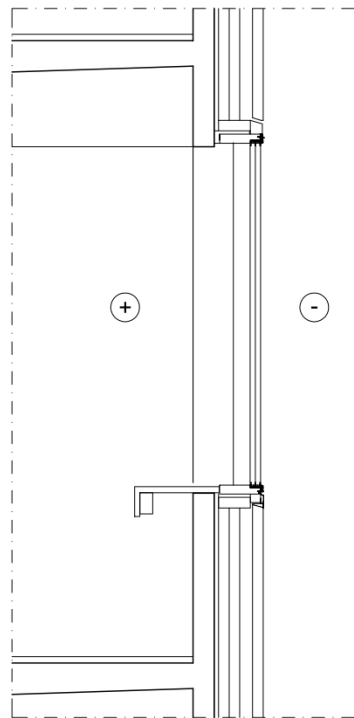
Levyrakenne

Rakenteessa käytettävät julkisivulevyt ovat 13 mm paksuja fibreC-kuitubetonilevyjä, joille luvataan vähintään 50 vuoden käyttöikä (fibreC 2016). Levyt ovat ulkonäöltään alkuperäisten kuorielementtien tapaisia, kooltaan n. 1150 mm leveitä ja 1100 mm korkeita. Levyt kannatetaan piilokannakkeilla vaakasuuntaisista teräskiskoista, jotka kiinnitetään alumiinirunkoon. Levyjen väliset pystysaumot ovat vähintään 8 mm leveitä ja ne saumataan reunoilta elastisella saumamassalla. Levyjen kiinnikkeille ja kiskolle

asetetaan rasitusluokkavaatimus C3 korroosiota vastaan. Levyjä ja kiinnikkeitä mitoittavat tuulikuormat on laskettu liitteessä 2. Laskelmista saadut tuulikuormat ovat valitulla kiinnikevälillä tuotetoimittajan ilmoittamia maksimituulikuormia pienemmät, joten levy soveltuu hyvin kohteeseen. fibreC-kuitubetonilevyn tekniset tiedot löytyvät tuote-esitteestä verkosta (2016).

Ympäröivät rakenteet

Kohteen kerrosikkunat on vedetty ulos julkisivun pintaan, joten ne eivät sijaitse samassa linjassa eristekerroksen kanssa. Tämä tuottaa haasteita mm. tiiviyden ja toimivan eristävyden varmistamisessa sekä räystäsdetaljien toteuttamisessa. Veden valuminen etenkin sisempään tuuletusväliin on estettävä erilaisilla vedenohjausjärjestelmillä sekä myrsky- ja reikäpelleillä. Kuvassa 13 on esitetty ulosvedetyt ikkunat.



Kuva 13. Ikkunan sijainti julkisivuun pintaan nähden, havainnekuva.

4.3 Levyjulkisivu- ja kuorielementtijärjestelmän vertailu

Tässä osiossa vertaillaan esimerkissä kuvattua levyjulkisivuvaihtoehtoa toteutettavaan kuorielementtijulkisivuvaihtoehtoon niin toimivuuden kuin toteutettavuuden kannalta. Vertailut ja arviot perustuvat opinnäytetyön tekijän mielipiteisiin sekä kohteeseen tehtyyn korjausvaihtoehtovertiluun.

fibreC-kuitubetonilevyille on luvattu yli 50 vuoden käyttöikä, joka vastaa betonikuorielementtien suunniteltua käyttöikää. Suhteellisen kevyet, kiskojen varaan kannatettavat julkisivulevyt ovat helposti asennettavia ja huollettavia verrattuna kuorielementteihin, jotka painavat enemmän ja jotka kiinnitetään mekaanisesti runkoon. Helposta asennuksesta huolimatta levyjulkisivujen toteutus vaatii enemmän työvaiheita, mm. sadetakkirakenteen ja säädettävien alumiinirunkojen asennukset.

Rakenteena levyjulkisivu ja kuorielementtijulkisivu eroavat toisistaan eniten ainekerroksien paksuuksien ja liittymien toteutuksien takia. Ohuempi ulkokuori mahdollistaa levyjulkisivulle paksumman eristekerroksen samalla rakennepaksuudella. Toisaalta paksumpi ulkokuori mahdollistaa saumanauhan käytön saumausaineen taustalla, joten kuorielementin ulkokuoren tiiviys on helpompi toteuttaa. Kosteuden tunkeutuminen levyrakenteiseen julkisivuun on todennäköisempää kuin kuorielementtirakenteeseen, levyrakenteen monien liittymien takia. Toisaalta levyrakenteisen julkisivun taustan tuulettuminen saattaa olla tehokkaampaa kuorielementti-järjestelmään verrattuna. Levyjulkisivun detaljien suunnittelu vaatii siis enemmän tarkkuutta, ja veden ulos johtaminen rakenteesta on mietittävä tarkasti.

Vaikka levyrakenteinen julkisivu saattaa olla huolella suunniteltuna ja toteutettuna varmempi ratkaisu, valittiin kohteeseen kuorielementtivaihtoehto. Kohde oli valmistuessaan betonirakentamisen lippulaiva, joten toimivaksi havaittu, perinteinen kuorielementtiratkaisu sopi parhaiten vanhan ulkonäön säilyttämiseksi. Suunnittelunäkökulmasta etenkin ulosvedettyjen ikkunoiden liittymien detaljit ovat huomattavasti monimutkaisempia levyjulkisivuissa. Lisäksi levyjulkisivun pitkäaikaisen käyttökokemuksen puute aiheutti epäilystä rakenteen varmuudesta.

5 Tutkimustulokset

Erilaisia tuulettuvia levyjulkisivuja on käytetty Suomessa jo 50 vuoden ajan. Tässä opinnäytetyössä tutkista kahdella tuuletusvälillä ja erillisellä sadetakkirakenteella varustetusta levyjulkisivurakenteesta on tähän mennessä vain vähän käyttökokemuksia sen uutuuden ja harvinaisuuden takia. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kyseistä levyjulkisivurakennetta ja sen soveltamista korjausrakentamisen kannalta rantarakentamiskohteisiin, joissa julkisivuun kohdistuvat rasitukset ovat muuta maata rankemmat.

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksinä käytettiin ”miten levyrakenteisen julkisivun kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa rantarakentamisessa” ja ”miten levyrakenteisen julkisivun pitkäaikaista toimintaa voidaan parantaa rantarakentamisessa”. Tutkimuskysymyksille haettiin ratkaisua tutkimalla voimassa olevia suunnitteluohjeita levyjulkisivun suunnittelun kannalta ja niiden soveltuvuutta rantarakentamiseen. Jo alkuvaiheessa kävi ilmi, että nykyiset ohjeet eivät ota rannikko-olosuhteita riittävän hyvin huomioon.

Meren läheisyyden takia ilman kosteuspitoisuus on usein korkeampi rannikolla, lisäksi sateet ovat yleisempiä muuhun maahan verrattuna ja ne tulevat usein mereltä; etelästä tai lännestä. Rannikon kovat tuulet saavat myös aikaan voimakkaita viistosateita, jolloin julkisivuihin kohdistuva kosteuskuorma kasvaa etenkin rakennusten reunoilla, jossa myös tuulikuormat ovat voimakkaimmat. Korkeissa rakennuksissa tuulikuormat voivat olla hyvinkin suuria jolloin levyihin ja levyjulkisivujen kiinnikkeisiin kohdistuu kovia veto- ja leikkausvoimia.

Tuulien viilentävän vaikutuksen ansiosta rannikon lämpötilat voivat laskea nopeasti. Lämpötilan vaihtelut nollan molemmin puolin ovat yleisempiä. Itämeren rannikkoilmaston suolapitoisuuden ja kaupunkien ilman epäpuhtauksien takia levyjen kiinnikkeisiin ja muihin metallisiin kohdistuu korroosiorasituksia. Tämän lisäksi suojaamattomat rakenteet ovat alttiita auringon UV-säteilylle. Rakenteiden ja materiaalien vaurioituminen on yleisesti rannikolla muuta maata nopeampaa.

Opinnäytetyössä tutkittu levyjulkisivurakenne on monien saumojensa johdosta muihin yksinkertaisempiin julkisivuratkaisuihin verrattuna alttiimpi kosteuden aiheuttamille vaurioille, mikäli rakennusvaiheessa tapahtuu työvirheitä tai detaljisuunnittelu on

puutteellista. Kosteutta huonosti kestävät tai testaamattomat uudet materiaalit lisäävät tutkitun rakenteen vaurioherkkyyttä entisestään. Tästä syystä levyjulkisivuissa tavattavat ongelmat liittyvät usein kosteuteen. Epätiivit rakenteet ja / tai kosteus aiheuttavat rakenteiden lämmöneristävyyden heikkenemistä ja homevaurioita eristekerroksiin tai eri materiaalien välisiin pintoihin.

5.1 Levyrakenteisen julkisivun kosteusteknisen toiminnan parantaminen

Rantarakentamiskohteen kosteusteknisesti toimivan ulkoseinän varmistamisen perustalla on todellisten, kohdetta ympäröivien olosuhteiden tiedostaminen. Itämeren rannikon olosuhteet vaihtelevat mm. sijainnin, korkeuden, ilmansuunnan ja ympäristön mukaan, joten rannikkoilmaston vaikutusetäisyyttä ja rasiusten voimakkuutta ei voida yleistää koko rannikkovyöhykkeelle. Tuntemalla yleisimmät tuulensuunnat ja -voimakkuudet sekä sademäärät voidaan määrittää eniten rasitetut julkisivut kosteusteknistä ja rakenteellista mitoitusta varten.

Itämeren matalan suolapitoisuuden takia rannikon korroosiorasitukset eivät välttämättä ole muuta maata paljon rankempia, mutta ne tulisi kuitenkin huomioida kohdekohtaisesti yhdessä muiden ilmastollisten korroosiota edistävien rasiusten kanssa, kuten liikenteestä ja teollisuudesta aiheutuvat ilman epäpuhtaudet. Jotta lopputuloksessa ylletäisiin vaaditulle tasolle, on korjauskohteen ilmastolliset erityispiirteet otettava huomioon jo projektin alkuvaiheessa.

Tiedostamalla kohteessa vallitsevien olosuhteiden lisäksi käytettyjen materiaalien ominaisuudet voidaan suunnitella kosteusteknisesti toimiva rakenne, joka on kosteustasapainoltaan negatiivinen; eli se luovuttaa enemmän kosteutta kuin kerää sitä. Levyjulkisivussa tuuletusvälin käyttö on edellytys rakenteen kosteustekniselle toiminnalle sillä sen kautta tiivistynyt vesi saadaan johdettua ulos ja ilmapirran konvektio kuivattaa rakennetta. Tuuletusvälin tulisi olla yhteydessä ulkoilmaan niin ylä- kuin alapäästään, jotta kostea ilma pääsee ulos ja kuiva sisään ja jotta tiivistyneen veden ei tarvitsisi kulkea pitkiä matkoja rakenteen sisällä. Tuuletusväli voidaan myös katkaista kerroksittain tulipalon leviämisen estämiseksi.

Rannikolle suunniteltaessa etenkin tuulensuoja- ja lämmöneristekerroksissa tulisi suosia kosteutta hyvin kestäviä materiaaleja ja kosteusvaurioille alttiita materiaaleja

tulisi kokonaan välttää. Varsinkin lämmöneristeitä tulisi suojata rakennusaikana sateelta ja muulta kosteudelta. Toimiviksi havaitut materiaalit ja ratkaisut lisäävät rakenteen varmuutta vaativissa olosuhteissa. Rankarakenteiden kannattimet tulisi eristää huolella kylmäsiltojen ja kosteuden tiivistymisen välttämiseksi. Kiinnikkeiden ja rankarakenteiden on kestettävä tutkittuja ilmastollisia rasituksia ja tuulesta aiheutuvia kuormia mahdollisen hyvin. Valittujen kiinnikkeiden tulisi olla aiheuttamatta levyrakenteita kannatteleville rangoille sähkökemiallista korroosiota.

Varmistamalla eri liitosten ja saumojen tiiviys voidaan konvektion negatiivisia vaikutuksia ja veden liikkeitä tuulenpaineen vaikutuksesta rakenteessa minimoida. Sadetakkirakenteen tiivistämiseen tulee kiinnittää erityishuomiota, jotta veden ja kosteuden siirtyminen sisempään tuuletusväliin voidaan välttää. Käyttämällä vesihöyryä hyvin vastustavia materiaaleja voidaan kosteuden liikkeitä rakenteessa hidastaa. On kuitenkin varmistettava, että rakenteeseen sisään virtaavalle vesihöyrylle annetaan riittävästi aikaa poistua. Julkisivulevyjen tulee olla helposti asennettavia ja irrotettavia, jotta rakenteen tarkoituksenmukainen toiminta voidaan tarvittaessa tarkistaa. Työn ja laadun asianmukaisella valvonnalla vaikutetaan lopputulokseen.

5.2 Levyrakenteisen julkisivun pitkäaikaisen toiminnan parantaminen

Kuten aiemmin on todettu, suuri osa maamme korjausrakentamisen tarpeesta olevasta rakennuskannasta sijaitsee Itämeren rannikolla. Ilmaston muutoksen vaikutuksesta Suomen keskilämpötila nousee, jonka seurauksesta tuulet voimistuvat ja sateet yleistyvät tulevien vuosikymmenten aikana. Tästä syystä myös rakenteiden toimivuuden vaatimukset kasvavat. Nopeamman vaurioitumisen ansiosta rakenteiden käyttöiät ja huoltovälit tulevat lyhenemään. Tulevia ilmasto-olosuhteita voidaan huomioida jo tämän päivän suunnittelussa, vaikka ohjeet eivät sitä vaadi.

Vakavien vaurioiden aiheutumista voidaan ehkäistä myös rakenteiden ajoitetulla huollolla. Julkisivuverhouksille tulee asettaa käyttöiät ja huoltovälit ja selostaa mahdolliset huoltotoimenpiteet. Levyjen tulee myös olla helposti huollettavia ja vaihdettavia. Levyn käyttöikä ja huoltoväli riippuu käytetystä materiaalista, kannatustavasta ja levyyn kohdistuvista rasituksista. Uusien materiaalien käyttöään ja huoltovälin määrittäminen voi olla haasteellista kokemuksen ja tiedon puutteen takia. Ulkoseinän eri osien ikääntyminen voi olla joko toiminnallista ja / tai ulkonäöllistä.

Tuulettuvan ulkoseinän pitkäikäisyyteen vaikuttavat tekijät riippuvat eniten käytettyjen materiaalien ominaisuuksista, ulkoisten rasitusten voimakkuudesta ja rakenteen kosteusteknisestä toiminnasta.

Rakenteiden ikääntymiseen vaikuttavia tekijöitä pitäisi minimoida suojaamalla rakenteet asianmukaisesti, käyttämällä pitkäikäisiä materiaaleja ja toimiviksi havaittuja ratkaisuja. Ulkoseinässä käytettävien materiaalien yhteistoiminta on varmistettava mm. estämällä kosteuden siirtyminen herkästi vaurioituihin ainekerroksiin kapillaarisesti tai diffuusion vaikutuksesta. Tärkeää on myös galvaanisten parien välttäminen rakenteen metalliosien liitoksissa.

Lämmöstä ja kosteudesta aiheutuvat liikkeet on huomioitava sauma- ja liitoskohdissa ylimääräisten jännitteiden, materiaalien rikkoutumisen ja tiiviiden saumojen aukeamisen välttämiseksi. Kuten edellisessä o mainittiin, tulisivat vallitsevat rasitukset selvittää kohdekohtaisesti parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Suunnitellulle rakenteelle on suositeltavaa tehdä tilastotietoihin perustuvia simulaatioita, joiden avulla rakenteen pitkäaikaista toimintaa voidaan ennustaa sekä varmistaa, että tuuletusväli toimii oikein ja että rakenteeseen ei kerääny ylimääräistä kosteutta.

5.3 Johtopäätökset

Kahdella tuuletusväiillä ja erillisellä sadetakkirakenteella varustettu levyrakenteinen julkisivu on kosteusteknisesti varma rakenne, mikäli se suunnitellaan ja toteutetaan huolella eikä häiriöitä ilmene. Tutkittu rakenne toimii samalla periaatteella kuin normaali levyjulkisivurakenne mutta kosteuden pysäyttäviä kerroksia on enemmän. Erillinen sadetakkirakenne suojaa sisempää tuuletusväliä ylimääräiseltä kosteuskuormalta, jotta rakenteen kuivuminen voidaan maksimoida. Rakenne soveltuu hyvin rannikolle, missä kosteuskuormat ovat suuremmat voimakkaiden viistosateiden ja tuulen paineistaman veden ansiosta.

Levyjulkisivun mukautuvan rankajärjestelmän ansiosta rakennetta voidaan soveltaa lähes minkälaiseen taustarakenteeseen tahansa. Monien eri levyvaihtoehtojen ja -kokojen johdosta korjattavan rakennuksen ulkonäköön voidaan vaikuttaa suuresti. Julkisivulevyjen ohuuden ansiosta tietyllä rakennepaksuudella voidaan saavuttaa muita julkisivurakennerratkaisuja paksummat eristekerrokset, jotka ovat hyödyksi etenkin

rannikolla jossa lämpötilat voivat laskea hyvinkin alas kovien tuulien vaikutuksesta. Levyjulkisivu on helposti asennettava moduulimaisen kiinnitysjärjestelmänsä ansiosta, mikä myös takaa suhteellisen vaivattoman huollon. Levyrakenteisen julkisivun suurimmat haasteet liittyvät kosteutta eristävien ainekerrosten tiiviyspuutteisiin ja siitä johtuvaan rakenteen kostumiseen, jolloin tuuletusvälin kuivattava vaikutus saattaa olla riittämätöntä.

Perinteisten ja toimiviksi havaittujen ratkaisujen käyttö on yleensä varmempaa kuin uusien innovaatioiden soveltaminen. Tässä opinnäytetyössä tutkitussa rakenteessa, jonka toiminta perustuu monen eri osan yhteistoimintaan, on syytä soveltaa ja päivittää tuttuja ja varmoja ratkaisuja sopimaan kyseessä olevaan levyjulkisivurakenteeseen. Koska tutkitusta rakenteesta ei ole pitkäaikaisia kokemuksia, voidaan sen toimivuus todeta ainoastaan simulointien ja toteutuneiden kohteiden perusteelta. Tutkitun rakenteen toimintaperiaatteessa on lisävarmuutta ylimääräisen tuuletusvälinsä takia perinteiseen levyjulkisivuun verrattuna. Monien eri rakennekerroksien ja liitosten takia rakenne on kuitenkin herkkä kosteudesta aiheutuville ongelmille.

Tulevaisuudessa julkisivuihin kohdistuvien rasitusten odotetaan kasvavan, jolloin tämän päivän ratkaisut eivät välttämättä ole riittäviä. Helpoiten tulevaisuuden ilmaston vaikutuksia voidaan tarkastella simuloimalla tutkittavaa rakennetta kovemmillä rasituksilla. Vaikka rakenteen todettaisiin toimivan esim. 50 vuoden päästä, on myös mietittävä, miten rakenne saadaan kestäämään tarpeeksi hyväkuntoisena koko sen käyttöajan. Levyjulkisivun taustarakenteiden käyttöikä on potentiaalisesti julkisivulevyjen käyttöikää pitempi, johtuen julkisivulevyjen suojaavasta vaikutuksesta.

Jos levyjulkisivun taustarakenteiden kosteustekninen ja rakenteellinen pitkäikäisyys voidaan varmistaa sekä julkisivulevyt vaihdetaan tai huolletaan tietyin väliajoin, voi rakenteen käyttöikä olla hyvin pitkä. Jotta rakenne toimisi pitkän aikaa oikealla tavalla, on sen kaikkien osien toimittava yhdessä hyvin.

6 Kehitysehdotukset

Opinnäytetyön aiheenrajauksen ulkopuolelle jätettiin tutkitun rakenteen detaliikkaan perehtyminen. Hyvin mietittyjen ja suunniteltujen detaljien toteuttaminen on avainasemassa toimivan rakenteen varmistamisessa. Rakenteen toteutusta varten tulisi luoda ainakin kahden erillisen tuuletusvälin päätydetaljit, sadetakkirakenteen liittymädetaljit sekä rankarakenteiden kiinnitysdetaljit.

Tutkitun rakenteen haasteisiin kuuluu riittävän tuulettumisen varmistaminen kummassakin tuuletusvälissä, joten rakenteen laskennallinen tai kokeellinen tuuletusvälien toiminnan todentaminen eri olosuhteissa olisi tarpeen. Tuuletusvälien toimintaa voisi myös tutkia korkeissa rakennuksissa, joissa tuuletusvälit ovat pitkiä.

Koska levyrakenteisia julkisivuja on monenlaisia, olisi niiden eri ominaisuuksien vertailu kannattavaa, etenkin tuulikuormien kestävyyksien kannalta. Korkeissa rakennuksissa tuulikuormat saattavat kasvaa hyvinkin suuriksi, joten kaikki levyjulkisivujärjestelmät eivät välttämättä sovellu käytettäviksi tiettyyn kohteeseen.

Erillisen sadetakkirakenteen liittymien tutkiminen kosteudenläpäisyn kannalta olisi tarpeellista, sillä tässä opinnäytetyössä sadetakkirakenteen oletettiin pysäyttävän 100 % levyrakenteen läpäisemästä kosteudesta. Lisäksi tutkimalla rakenteen eri osien yhteistä pitkäaikaiskäyttäytymistä olisi mahdollista luoda valmiita, yleisellä tasolla olevia rakenneratkaisuja.

Koko rakenteen syvällisellä rakennusfysikaalisella tarkastelulla voitaisiin tarkemmin tutkia rakenteen käyttäytymistä eri olosuhteissa. Tutkittua rakennetta voitaisiin tarkastella rakennusfysikaalisesta näkökulmasta ja verrata muihin yleisiin julkisivuratkaisuihin, mikä tässä opinnäytetyössä jätettiin rajauksen ulkopuolelle.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön suurimmat haasteet olivat soveltuvien tietolähteiden (rantarakentaminen) ja toteutuneiden kohteiden (tutkittu rakennetyyppi) niukkuus, sekä rakenteen monimutkaisuus (sadetakkirakenne, kaksi tuuletusväliä) ja toteutettavuus (kiinnikkeet, sadetakkirakenne, rankarakenteet). Opinnäytetyön laajuutta jouduttiin rajaamaan työn edetessä ja tavoitteeksi muotoutui lopulta levyrakenteen vikasietoisuuden parantaminen rantarakentamisessa. Ratkaisuja vikasietoisuuden parantamiseen haettiin ensisijaisesti käytännönläheisistä rakenneteknisistä ratkaisuista, rakennusfysikaalisesti teoreettinen ja laskennallinen tarkastelu jäi työssä vähäiseksi. Tutkimuskysymykset liittyvät läheisesti toisiinsa, sillä rakenteen kosteusteknisellä toimivuudella on suuri vaikutus rakenteen pitkäikäisyyteen.

Tutkitun rakenteen kosteusteknisten ongelmakohtien tunnistaminen ja ratkaiseminen onnistui hyvin. Tämän perusteella rakenteen pitkäikäistä toimintaa voitiin tarkastella. Opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää tukena levyjulkisivuja ja rakennevaihtoehtoja vertailtaessa etenkin korjauskohteissa. Lisäarvoa tutkimukselle tuo rantarakentamisen näkökulma, joka on huomioitu tuomalla esiin rannikon erityispiirteitä.

Levyrakenteisen julkisivun kosteudenhallinta ja kuivumiskyvyn varmistaminen on keskipisteessä rakenteen kokonaistoimivuuden ja pitkäikäisyyden kannalta. Rakenteen kuivumisen varmistaminen voi olla haasteellista, jos rakenteeseen kerääntyy kosteutta vuotojen tai vesihöyryn tiivistymisen vaikutuksesta. Erillisellä sadetakkirakenteella ja kahdella tuuletusvälillä on haettu varmuutta sisempien rakenteiden kostumista vastaan. Kosteutta eristävien rakenteiden saumojen on kuitenkin oltava tiiviitä, jotta kosteus ei pääsisi tunkeutumaan rakenteeseen.

Levyrakenteisen julkisivun kosteusteknistä toimintaa ja pitkäikäisyyttä voidaan parantaa olosuhteisiin perehtymällä, riskirakenteiden tunnistamisella ja eliminoinnilla, korkealaatuisella detaljisuunnittelulla, käyttämällä kosteutta hyvin kestäviä materiaaleja, rakenteen laadukkaalla toteutuksella, todentamalla rakenteen kuivuminen tuuletuksen vaikutuksesta sekä asianmukaisella huollolla ja seurannalla.

Lähteet

Ala-Outinen T., Harmaajärvi I., Kivikoski H., Kouhia I., Makkonen L., Saarelainen S., Tuhola M., Törnqvist T. 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön, VTT Tiedotteita 2227. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 95 s.

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka, 2. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy. 150 s.

BY 201. 2004. BY 201, Betonitekniikan oppikirja 2004. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y. 570 s.

CE-merkintä. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/ce-merkinta>>. Luettu 5.3.2016

CE-merkki - valmistajan ilmoitus tuotteen vaatimustenmukaisuudesta. 2014. Verkkodokumentti. Tukes. <<http://www.tukes.fi/fi/toimialat/kuluttajaturvallisuus/ce-merkki/>>. Luettu 20.3.2016

Eurofox. 2016. Hilti Eurofox -alumiinirankajärjestelmä. Verkkodokumentti. Hilti Oy <<https://www.hilti.fi/Engineering/J%C3%A4rjestelm%C3%A4t-ja-ratkaisut/eurofox>>. Luettu 20.3.2016

Eurokoodi Help Desk. 2016. Verkkodokumentti. Eurokoodi Help Desk. <<http://www.eurocodes.fi/>>. Luettu 7.2.2016

fibrec. 2016. fibreC Technical Manual. Verkkodokumentti. Rieder. <http://www.rieder.cc/downloads_file.php?file=fibreC_Planungshandbuch_2015_EN_web_ES.pdf>. Luettu 20.3.2016.

Finnisol. 2016. Muu aineisto, Liite 3. Verkkodokumentti. Suomen lämmöneristevalmistajien yhdistys. <<http://www.finnisol.fi/Download/21752/liite3.pdf>>. Luettu 25.2.2016

Flannigan, B., Morey, P.R. 1997. Rakennuksen kosteus- ja homevaurioiden torjunta (Control of Moisture Problems Affecting Biological Indoor Quality). Helsinki: Sisäilmayhdistys ry. 76 s.

Furman, E., Pihlajamäki, M., Välipakka, P., Myrberg, K. 2014. Itämeri – Ympäristö ja ekologia. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus SYKE. 69 s.

Granö, O., Laurila, L., Roto, M. 1995. Rakennetut merenrannat. Suomen merenrannikon sulkeutuneisuus, Tutkimusraportti 5/1995. Helsinki: Ympäristöministeriö, Alueidenkäytön osasto. 34 s.

Haukijärvi, M., Heikkanen, M., Lahdensivu, J., Mattila, J. 2009. JUKO – Julkisivujen korjausopas 2009. Helsinki: Julkisivuyhdistys r.y. 101 s.

Ilmasto-opas. 2016. Ennustettu ilmastonmuutos Suomessa. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-artikkeli/74b167fc-384b-44ae-84aa-c585ec218b41/ennustettu-ilmastonmuutos-suomessa.html>>. Luettu 18.2.2016

Ilmatieteen laitos. 2016a. Ilmastollinen vertailukausi. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastollinen-vertailukausi>>. Luettu 18.1.2016

Ilmatieteen laitos. 2016b. Merituuli ja maatuuli. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<http://www.ilmatieteenlaitos.fi/merituuli-ja-maatuuli>>. Luettu 15.1.2016

Ilmatieteen laitos. 2016c. Tuulitilastot. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<http://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuulitilastot>>. Luettu 15.1.2016

Jokialho, A. 2013. Metallien korroosio. Luentoaineisto. Rakennusainekemia. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 20 s.

Kakkuri, J., Hjelt, S-E. 2000. Ympäristö ja geofysiikka. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. 182 s.

Kangas, I., Hietala, J., Hyppöläinen, T., Pentti, M., Rajala, L., Rämö, J., Rautiainen, L., Pesonen, J. 1998. Uudet betonijulkisivurakenteet, Julkisivu 2000. Helsinki: Rakennustuoteteollisuus RTT ry. 134 s. + liitteet 19 s.

Karttunen, H., Koistinen, J., Saltikoff, E., Manner, O. 2008. Ilmakehä, sää ja ilmasto, Ursan julkaisu 107. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, 488 s.

Kokko, E., Ojanen, T. Salonvaara, M., Hukka, A., Viitanen, H. 1991. Puurakenteiden kosteustekninen toiminta, VTT Tiedotteita 1991. Espoo: VTT Rakennustekniikka. 160 s.

Kooltherm. 2016. Kooltherm K15 Julkisivueriste, tuote-esite. Verkkodokumentti. Kingspan Insulation Oy. <<http://spu.studio.crasman.fi/pub/Website+material/PDF+and+other+files/Own+instructions%2C+manuals%2C+brochures%2C+material/Tuotekortti%3A+Kingspan+Kooltherm+K15+Julkisivueriste>>. Luettu 5.4.2016

Laaksonen, E. 2016. Kosteuden estäminen on tärkeää rakentamisessa. Rakennuslehti 2, 15.1.2016. s. 2.

Lahdensivu, J. 2007. JUKO – Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, korjaustapakuvaukset. Levyjulkisivut, Levyjulkisivun purkaminen ja uudelleenrakentaminen – Suunnitteluohjeet. Julkisivuyhdistys r.y. 32 s.

Lahdensivu, J. 2010. Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa, Suomen ympäristö 17/2010. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 64 s.

Leivo, V., Pirinen, J., Reiman, M., Uitti, J., Ruotsalainen, R., Rautiala, S., Suojanen, P. 1998. Opas kosteusongelmiin, Julkaisu 95. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. 160 s.

Marila, R. 2009. Teollisuuskeskus, Rakennushistorian selvitys. Helsinki: Arkkitehtitoimisto Sarc Oy. 107 s.

Meilahden sairaalan potilastorni. 2011. US10 rakennetyyppi. Vahanen Oy

Miettinen, E., Ripatti, H., Saarni, R. 1996. Teräs asuntojen korjaus- rakentamisessa. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys r.y., Rakennustieto Oy. 133 s.

Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H. M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M., Laaksonen, A. 2015. Trends in average temperature in Finland, 1847-2013. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 9 s.

Nousiainen, A. 2009. Merenrantarakentamisen kosteustekniset haasteet ja ongelmat. Esitysaineisto. Julkisivuyhdistyksen seminaari 14.5.2009. 16 s.

Paisuvat palotiivisteet. 2015. Verkkodokumentti. Raitatuote.
<<http://www.raitatuote.fi/tuote/paisuvat-palonauhat/>>. Luettu 6.3.2016

Pajakkala, P. 2013. Korjausrakentamisen tulevaisuudennäkymät. Esitysaineisto. Korjausrakentamisen seminaari 17.9.2013. 26 s.

Pajakkala, P. 2015, Korjaaminen nyt ja tulevaisuudessa. Esitysaineisto. Ara päivä 20.1.2015. 35 s.

Pajunen, V. 2013. Rantarakentamisen julkisivurakenteiden suunnitteluohje. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 89 s. + liitteet 10 s.

Pakarinen, S., Kiviniemi, T., Pipatti, T. 2015. Rakennusteollisuuden suhdanteet , kevät 2015. Esitysaineisto. 46 s.

Paroc eXtra pro. 2016. Paroc eXtra pro -lämmöneriste. Verkkodokumentti. Paroc Oy
<http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/tuotteet/pages/yleiseristeet/paroc-extra-pro?sc_lang=fi-FI, 20.3.2016>. Luettu 13.5.2016

Pentti, M., Lahdensivu, J., Köliö, A., Pakkala, T., Koskinen, J. 2013. Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y. 143 s. + liitteet 20 s.

Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J-P., Karlsson, P., Ruuhela, R. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta, Raportteja 2012:1. Helsinki: Ilmatieteen laitos. 96 s.

Rakennusfysiikan käsikirja. 2015. Rakennusten kylmäsillat. Baden-Baden: Teknologian tutkimuskeskus VTT. 41 s.

Rakentaminen 2015-2016. 2015. Rakentaminen 2015-2016, Raportti. Tilastokeskus. 18 s.

RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto RIL r.y. 219 s.

RIL 216-2001. 2001. Rakenteiden elinkaaritekniikka. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y. 281 s. + liitteet 20 s.

RIL 255-1-2014. 2014. Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 384 s. + liitteet 115 s.

RT 055.30. 1976. Ilmasto, säteily. Helsinki: Rakennustietosäätiö r.y. 7 s.

RT 18-10922. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitotaksot. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. 32 s.

RT 36-10689. 1999. Mineraalivillaeristeet, Lämmöneristystarvikkeet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. 6 s.

RT 36-11113. 2013. EPS-eristeet, Lämmöneristystarvikkeet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. 4 s.

RT 80-11115. 2013. Täydentävät ohut- ja muotolevyrakenteet, yleisiä ohjeita. Helsinki: Rakennustietosäätiö r.y. 12 s.

RT 80-11202. 2016. Rakennuksen suojaPELLITYKSET. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. 23 s.

RT 82-10614. 1996. Julkisivun uudelleenverhous, Korjausrakentaminen. Helsinki: Rakennustietosäätiö r.y. 12 s.

RT 82-10766. 2002. Betoniset julkisivurakenteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. 17 s.

Saari, S. 2015. Kosteus- ja lämpösimulointi WUFI Pro 4.2.0- ja WUFI 2D 3.3.0 -ohjelmilla. Insinööriyö. Oulun ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 68 s. + liitteet 2 s.

Saukkonen, L. 2008. Suomalainen sää, Ilmastonmuutos ja sääilmiöt. Helsinki: Minerva Kustannus Oy. 173 s.

SFS-EN ISO 12944-2. 1998. Maalit ja lakat, Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä, Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. 19 s.

SFS-EN ISO 1990 + A1 + AC. 2006. Eurokoodi, Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. 86 s. + liitteet 98 s.

SFS-EN ISO 1991-1-4 + AC + A1. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat, Osa 1-4: Yleiset kuormat, Tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. 157 s. + liitteet 93 s.

SFS-EN ISO 9223:2012. 2012. Corrosion of Metals and Alloys, Corrosivity of Atmospheres, Classification, Determination and Estimation. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. 5 s. + liitteet 10 s.

Sipilä, R. 2014. Pinnoitettujen teräsohutelvyjen käyttöikäsuunnittelu. Teräsrakenne 1/2014. s. 42-43

Sisäilmayhdistys. 2008a. Mikrobikasvun edellytykset, Homekasvun merkitys eri rakenneosissa. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset>>. Luettu 18.3.2016

Sisäilmayhdistys. 2008b. Ulkoseinät. Verkkodokumentti. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Ulkoseinat>>. Luettu 19.3.2016

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2. 1998. Kosteus, Määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 11 s.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma C4. 2007. Rakennusten lämmöneristys, Määräykset 2010. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 10 s.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma E1. 2011. Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet 2011. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 37 s. + liitteet 7 s.

Suvanto, K. 2013a. Lämmön siirtyminen ja U-arvo. Luentoaineisto. Rakennusfysiikan opintojakso. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 8 s.

Suvanto, K. 2013b. Ilmavirtaukset. Luentoaineisto. Rakennusfysiikan opintojakso. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 17 s.

Teollisuuskaupungit. 2016. Verkkodokumentti. Rakennusperintö.
<http://www.rakennusperinto.fi/kulttuuriymparisto/artikkelit/fi_FI/Teollisuuskaupungit/>.
Luettu 12.2.2016

Van Straaten, R. 2003. Measurement of Ventilation and Drying of Vinyl Siding and Brick Clad Wall Assemblies. Master's Thesis. University of Waterloo, Civil Engineering. 148 s. + liitteet 34 s.

Varis, M., Niemi, J., Valjus, J. 2009. Rantarakentamisen ohjeisto. Helsinki: Helsingin Kaupunki. 26 s.

Vinha J., Laukkarinen A., Mäkitalo M., Nurmi S., Huttunen P., Pakkanen T., Kero P., Manelius E., Lahdensivu J., Köliö A., Lähdesmäki K., Piironen J., Kuhno V., Pirinen M., Aaltonen A., Suonketo J., Jokisalo J., Teriö O., Koskenvesa A., Palolahti T. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. 354 s. + liitteet 47 s.

Vinha, J. 2012. Kosteus rakentamisessa. Esitysaineisto. Rakentamisen teemapäivä 14.3.2012. 53 s.

WUFI Bio. 2016. Verkkodokumentti. Fraunhofer IBP.
<<https://wufi.de/en/2014/08/11/wufi-bio/>>. Luettu 12.3.2016

WUFI Pro. 2016. Verkkodokumentti. Fraunhofer IBP.<<https://wufi.de/en/software/wufi-pro/>>. Luettu 12.3.2016

Ympäristöopas 39. 2003. Rakennusten paloturvallisuus & Paloturvallisuus korjausrakentamisessa. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 145 s. + liitteet 21 s.

Rakennuskohde ESIMERKKIRAKENNE	Sisältö UUSI ULKOSEINÄ LEVYRAKENTEISET NAUHAJULKISIVUT	
VAHANEN	Työn no	US1
	Päiväys 4.4.2016	

Mittakaava 1:10	Muutos	Sivu no 1
-----------------	--------	-----------

↑	1	13 mm	Julkisivulevyverhous, fibreC -kuitubetonilevy
↑	2	30 mm	Tuuletusväli, metallirangat levyverhousjärjestelmän mukaan
↑	3	1 mm	Sadesuoja, metalliverhous, pinnoitettu(musta)
↑	4	30 mm	Tuuletusväli, metallirangat, k 600 mm
↑	5	12 mm	Tuulensuojalevy, kuitusementtilevy, palo-osastoiva
↑	6	100 + 50 mm	Lämmöneriste, mineraalivilla Paroc eXtra Pro, saumat limittäin, eristeen kiinnitys Ø 50 mm mekaaniset kiinnitystulpat min. 4 kpl / m2, + pystysuuntaiset metallirangat k 600 mm + kulmaosat joissa lämpökatkot, ankkurointi taustarakenteeseen
↑	7	10...40 mm	Taustan oikaisukerros, pehmeä mineraalivilla Paroc eXtra
↑	8	100 mm	Sisäkuori, paikallavalettu teräsbetoni, valettu vanhaa eristettä vasten
↑	9		Pintakäsittely

Rankajärjestelmänä käytetään Hilti Eurofox-järjestelmää

Rakennuskohde ESIMERKKIRAKENNE	Sisältö UUSI ULKOSEINÄ KUORIELEMENTTINAUHAJULKISIVUT	
VAHANEN	Työn no	US1
	Päiväys 4.4.2016	

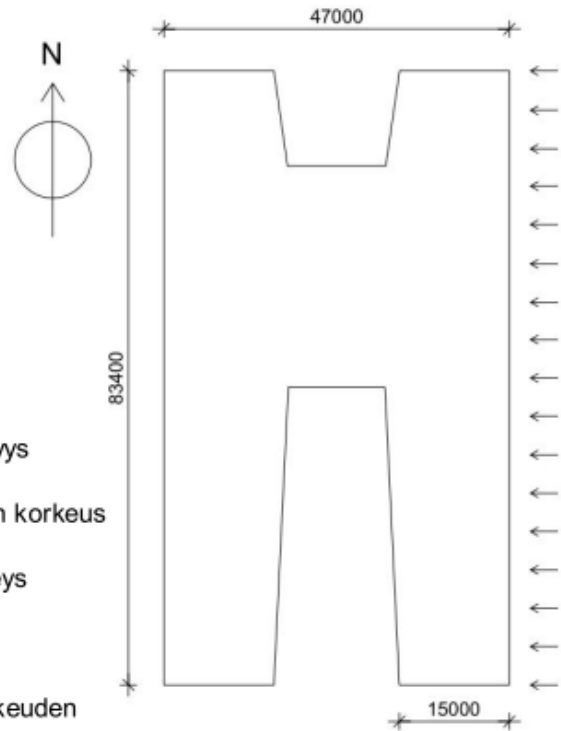
Mittakaava 1:10	Muutos	Sivu no 2
-----------------	--------	-----------

↑	1	55 mm	Valkobetonielementti, ulkopinta hiottu, keskeinen rauditusverkko 5#100 RST. Säädettävä puukkokiinnitys taustakuoreen, kannattimet viettävät rakenteesta ulospäin, kannattimia 4 kpl / elementti
↑	2	60 mm	Tuuletusväli
↑	3	50 mm	Tuulensuojavilla, mineraalivilla Paroc Cortex Pro, saumat limittäin, eristeen kiinnitys Ø 50 mm mekaaniset kiinnitystulpat min. 4 kpl / m2
↑	4	50 mm	Lämmöneriste, mineraalivilla Paroc eXtra Pro, saumat limittäin, eristeen kiinnitys Ø 50 mm mekaaniset kiinnitystulpat min. 4 kpl / m2.
↑	5	10...20 mm	Taustan oikaisukerros, pehmeä mineraalivilla Paroc eXtra
↑	6	5...10 mm	Taustan oikaisukerros, slammaus
↑	7	100 mm	Sisäkuori, paikallavalettu teräsbetoni, valettu vanhaa eristettä vasten
↑	8		Pintakäsittely

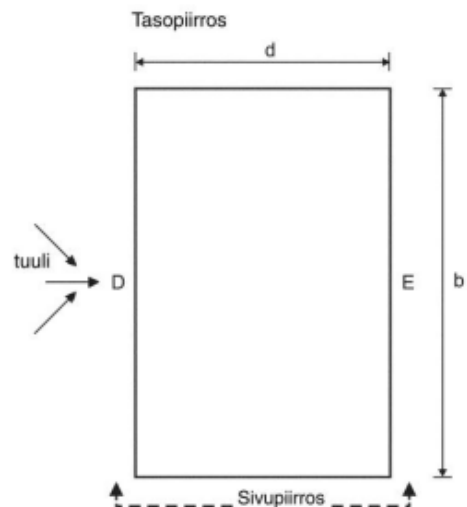
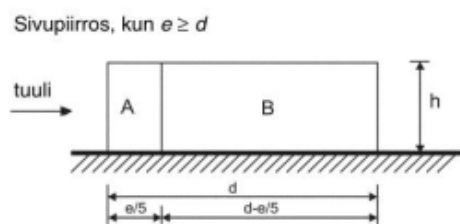
8. kerroksen julkisivulevyihin kohdistuvan tuulikuorman tarkastelut

Teollisuuskeskus on H-kirjaimen muotoinen rakennus, jonka itäinen julkisivu on avoin merelle. Tästä syystä tarkasteluissa länsituulen oletetaan vaikuttavan voimakkaimmin rakennuksen julkisivuihin. Rakennuksen muodosta johtuen tuulensuuntaisen sivun oletetaan olevan vain 15 metriä 47 metrin sijaan.

$d := 15\text{m}$	Rakennuksen syvyys
$h := 24\text{m}$	Tarksteltavan levyn korkeus
$b := 83.4\text{m}$	Rakennuksen leveys
$e := 2 \cdot h = 48\text{m}$, $e > d$	
$\frac{h}{d} = 1.6$	Rakennuksen korkeuden ja syvyyden suhde



Painekertoimien vyöhykkeet esitetään kuvassa 7.5 (SFS-EN 1991-1-4).



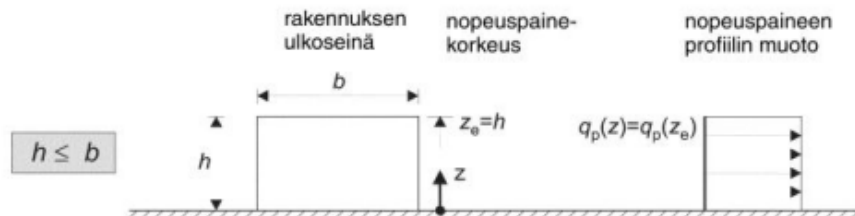
Kuva 7.5 Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio

Taulukosta 7.1 (SFS-EN1991-1-4) saadan tuulen painekertomet rakennuksen eri vyöhykkeillä sijaitseville noin 1 m² kokoisille levyille sarakkeista C_{pe1}. Rakennuksen vyöhykkeelle A saadaan arvoksi C_{pe1A} = -1.4 ja vyöhykkeelle D arvoksi C_{pe1B} = +0.8.

Taulukko 7.1 Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot pohjaltaan suorakaiteen muotoisten rakennusten pystyseiniille

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
≤ 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Yhtälö $h < b$ toteutuu, joten nopeuspaineen korkeutena z_e voidaan käyttää rakennuksen tarkasteltua korkeutta h .



Tuulennopeuden modifioimaton perusarvo $v_{b,0}$ saadaan SFS-EN 1991-1-4 kansallisen liitteen kohdasta 4.2, jossa se on määritettyä 21 m/s.

Tuulen puuskanopeuspaine q_p korkeudella h saadaan kaavasta:

$$q_p := (1 + 7 \cdot I_v) 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2$$

Laskelmissa käytetty tuulennopeuden perusarvo on sama kuin tuulennopeuden modifioitus perusarvo (21m/s). Tuulennopeuden perusarvon v_m , rakennuksen korkeuden h , maaston rosoisuuden z_0 ja rakennukseen vaikuttavien painekertoimien c_{pe} perusteella voidaan määrittää 8. kerroksen levyihin vaikuttavat tuulenpainet. Alla on esitetty laskentajärjestys:

$v_{b0} := 21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	Tuulennopeuden modifioimaton perusarvo, ominaisarvo kansallisen liitteen mukaan
$c_{dir} := 1$	Tuulensuuntakerroin, oletusarvo
$c_{season} := 1$	Vuodenaikakerroin, oletusarvo
$v_b := v_{b0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	Tuulennopeuden perusarvo
$z_0 := 0.003\text{m}$	Maaston rosoitusmitta
$z_{0II} := 0.05\text{m}$	Rossoisuusmitta maastoluokka II:n mukaan
$k_1 := 1$	Pyörteisyyskerroin
$k_r := 0.29 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0II}} \right)^{0.07} = 0.238$	Maastokerroin
$c_r := k_r \cdot \ln \left(\frac{h}{z_0} \right) = 2.14$	Maaston rosoisuuskerroin
$c_0 := 1$	Pinnanmuotokerroin, perusarvo 1.
$v_m := c_r \cdot c_0 \cdot v_b = 44.948 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	Tuulennopeuden modifioitu perusarvo
$\sigma_v := k_1 \cdot v_b \cdot k_1 = 5.001 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	Tuulen turbulenssin keskihajonta
$l_v := \frac{\sigma_v}{v_m} = 0.111$	Tuulenpuuskien intensiteetti

$$\rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ilman tiheys, oletusarvo

$$q_p := (1 + 7 \cdot I_v) 0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2 = 2.246 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Tuulen puuskanopeuspaine korkeudella 24m

Määritetty tuulen puuskanopeuspaine kerrotaan seuraavaksi painekertoimilla jotta saadaan julkisivulevyihin vaikuttavat todelliset tuulenpaineet

$$c_{pe1A} := -1.4$$

Painekerroin vyöhykkeellä A

$$c_{pe1B} := 0.8$$

Painekerroin vyöhykkeellä D

$$c_{pe1A_{net}} := \frac{1}{3} \cdot c_{pe1A} = -0.467$$

Levyrakenteen painekertoimen korjaus, imu

$$c_{pe1B_{net}} := \frac{2}{3} \cdot c_{pe1B} = 0.533$$

Levyrakenteen painekertoimen korjaus, paine

$$W_{eA} := q_p \cdot c_{pe1A_{net}} = -1.048 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Levyn ulkopintaan vaikuttava tuulen imu vyöhykkeellä A

$$W_{eB} := q_p \cdot c_{pe1B_{net}} = 1.198 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Levyn ulkopintaan vaikuttava tuulenpaine vyöhykkeellä D

Kahdeksannen kerroksen idänpuleisiin levyihin vyöhykkeellä D kohdistuu siis noin 1,2 kN/m² paine kun taas pohjoisen ja eteläisen sivun reunoihin vyöhykkeelle A vaikuttaa noin 1,05 kN/m² tuulen imu. Levytoimittajan raja-arvo maksimituulikuormalle on 1,24 kN/m², joka tässä tapauksessa alittuu.

Levykiskon kiinnikkeiden mitoitus

Julkisivulevyt kiinnitetään piilokiinnikkeillä vaakasuuntaisiin, kantavaan alumiinirunkoon ruuvattuihin teräskiskoihin. Tässä tarkastelussa tutkitaan miten suuria voimia tuulikuormat aiheuttavat teräskiskojen ja alumiinirungon välisille porautuville ruuveille.

$$k_{\text{kor}} := 550\text{mm}$$

Kiskon kiinnikeväli korkeussuunnassa

$$k_{\text{lev}} := 575\text{mm}$$

Kiskon kiinnikeväli leveysuunnassa

$$f_{\text{korkeus}} := \frac{1000\text{mm}}{k_{\text{lev}}} = 1.739$$

Kiinnikkeiden määrä korkeussuunnassa per metri

$$f_{\text{leveys}} := \frac{1000\text{mm}}{k_{\text{kor}}} = 1.818$$

Kiinnikkeiden määrä leveysuunnassa per metri

$$f_{\text{yht}} := f_{\text{korkeus}} \cdot f_{\text{leveys}} = 3.162$$

Kiinnikkeiden määrä per neliometri

$$W_{eA} = -1.048 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Vyöhykkeen A tuulen imu

$$W_{eB} = 1.198 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Vyöhykkeen B tuulenpaine

Kiinnikkeeseen kohdistuvat tuulikuormat:

$$V_{fA} := \frac{W_{eA} \cdot 1\text{m}^2}{f_{\text{yht}}} = -331.505 \text{ N}$$

Tuulen imun aiheuttaman vaakasuuntainen voima

$$V_{fB} := \frac{W_{eB} \cdot 1\text{m}^2}{f_{\text{yht}}} = 378.862 \text{ N}$$

Tuulenpaineen aiheuttama vaakasuuntainen voima

Levyjulkisivun paino:

$$g_{\text{levy}} := 26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot g \cdot 1\text{m}^2 = 254.973 \text{ N}$$

$$V_{\text{levy}} := \frac{g_{\text{levy}}}{f_{\text{yht}}} = 80.635 \text{ N}$$

Levyn painon aiheuttama vaakasuuntainen voima yhdelle kiinnikkeelle

Teräskiskon jokaisen kiinnikkeen on kestävä vähintään noin 1 kN vetoa. Kiinnikkeisiin vaikuttava leikkausvoima on ainoastaan 80 N, joten se ei vaikuta kiinnikkeen valintaan.

Alumiinirangan ja kulmaosien välisten kiinnikkeiden mitoitus

Alumiiniranka ja runkoon kiinnitettävät kulmaosat kiinnitetään toisiinsa porautuvilla ruuveilla. Ruuvit ovat kohtisuoraan tuulensuuntaan nähden, joten niiden mitoittava voima on tuulen aiheuttama leikkausvoima. Tarkastelussa laskuun lisätään myös levyjulkisivun omapaino. Kulmaosien kiinnitysväleinä käytetään levyjakoon sopivia mittoja 575 mm leveysuunnassa ja 550 mm korkeussuunnassa.

$$V_{fA} = -331.505 \text{ N}$$

Mitoittava tuulikuorman aiheuttama leikkausvoima

$$V_{\text{levy}} = 80.635 \text{ N}$$

Levyn painon aiheuttama vaakasuuntainen voima yhdelle kiinnikkeelle

Yhden kiinnikkeen maksimileikkausvoima:

$$V_{\text{max}} := \sqrt{\left(|V_{fA}|\right)^2 + \left(V_{\text{levy}}^2\right)} = 341.171 \text{ N}$$