

Jussi Kauppinen

**TEOLLISUUSRAKENNUKSEN KUORIRAKENTEIDEN SUUNNIT-
TELU**

TEOLLISUUSRAKENNUKSEN KUORIRAKENTEIDEN SUUNNIT- TELU

Jussi Kauppinen
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, talonrakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Jussi Kauppinen
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Teollisuusrakennuksen kuorirakenteiden suunnittelu
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Designing Envelope of Industrial Building
Työn ohjaaja: Kai Kuula
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019
Sivumäärä: 42

Kuorirakenteilla tarkoitetaan rakennuksen osia, jotka erottavat sisätilan ulkotilasta. Kuoret, joita teollisuusrakennuksissa ovat yleensä seinät ja katto, suojaavat rakennusta ulkoisilta rasitteilta. Koska ne ovat lisäksi näkyvin osa jokaista rakennusta, niillä on myös olennainen vaikutus rakennuksen lopulliseen ulkonäköön.

Opinnäytetyön aiheena oli kuorirakenteiden suunnittelu teollisuusrakennukseen. Tavoitteena oli laatia teollisuuskohteen kuorisuunnittelun ohje, jossa esitellään yleisimmät kuorirakennetyypit sekä keskitytään laskentaosuudessa tuuli- ja lumikuormien määrittämiseen.

Opinnäytetyössä kerättiin eri lähteistä kuorirakenteisiin liittyvää tietoa sekä perehdyttiin standardien mukaisiin kuorisuunnittelun laskentaperiaatteisiin ja teoriaan. Lisäksi suunniteltiin kuorirakenteet WSP Finland Oy:n Oulun yksikön teollisuusrakennuskohteeseen.

Työssä saatiin laadittua yleinen kuorisuunnittelua koskeva ohje rakennesuunnittelijoille. Ohjeen avulla voidaan tehostaa WSP Finland Oy:n tulevien teollisuusosaston projektien kuorisuunnittelua.

Asiasanat: kuorirakenteet, kuoret, suunnitteluohje, teollisuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author: Jussi Kauppinen

Title of thesis: Designing Envelope of Industrial Building

Supervisors: Kai Kuula

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 42

Cover structures are components – usually the walls and roof – that separate the interior of a building from the outside environment and its stresses. Cover structures are also a very noticeable visual aspect of a building so they have a great impact on the final appearance.

The subject of this thesis was designing the envelope of an industrial building. The goal was to compile a guide which includes calculation principles for wind and snow load, and a presentation of the most common cover structure types.

For this thesis, material about cover structures was gathered from different sources and the principles of calculations were familiarized with. In addition, cover structures were designed for an industrial building by WSP Finland.

As a result a general guide about the design of building envelope for structural engineers was developed. This guide can make cover structure design for WSP Finland more efficient in future projects.

Keywords: envelope, cover structures, design, industrial

ALKULAUSE

Kiitos WSP Finlandille opinnäytetyön aiheesta ja työn mahdollistamisesta sekä WSP:n Juha Lehtoselle työn ohjauksesta. Haluan kiittää kaikkia työkavereita sekä perhettäni ja ystäviäni tuesta tämän työn kirjoittamisen aikana.

Oulussa 22.5.2019 Jussi Kauppinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 KUORIRAKENTEET YLEISESTI	8
2.1 Kuoret ja niiden tehtävä	8
2.2 Kuorirakennetyypit	9
2.2.1 Metallikasetti	9
2.2.2 Poimulevy	11
2.2.3 Sandwich-paneeli	13
3 LÄHTÖKOHDAT KUORISUUNNITTELUUN	15
4 KUORIRAKENTEIDEN KUORMITUKSET	17
4.1 Tuuli	17
4.2 Lumi	24
4.3 Muut kuormat	26
5 KUORIRAKENTEIDEN MÄÄRITYS	27
5.1 Kasettien määrittäminen	27
5.2 Kattopeltien määrittäminen	31
6 TUOTETTAVAT KUORIPUURUSTUKSET	38
6.1 Urakkavaiheen puurustukset	38
6.2 Toteutuspuurustukset	39
7 LOPPUSANAT	40
LÄHTEET	41

1 JOHDANTO

Kuorirakenteet ovat merkittävä osa rakennusta, sillä ne muodostavat olennaisen osan rakennuksen ulkonäköä. Niillä on myös tärkeä tehtävä suojata rakennusta ja sen sisällä oleskelevia ihmisiä ympäristön eri rasitteilta.

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena tutustua kuorirakenteisiin ja koota yleinen tietopaketti kuorirakenteista ja niiden suunnittelusta. Työssä esitellään yleisimmät teollisuuskoh-teissa käytetyt kuorirakennetyypit sekä esitetään kuorirakenteisiin liittyviä laskentaperiaat-teita. Laskentaosiossa keskitytään tuuli- ja lumikuorman laskemiseen.

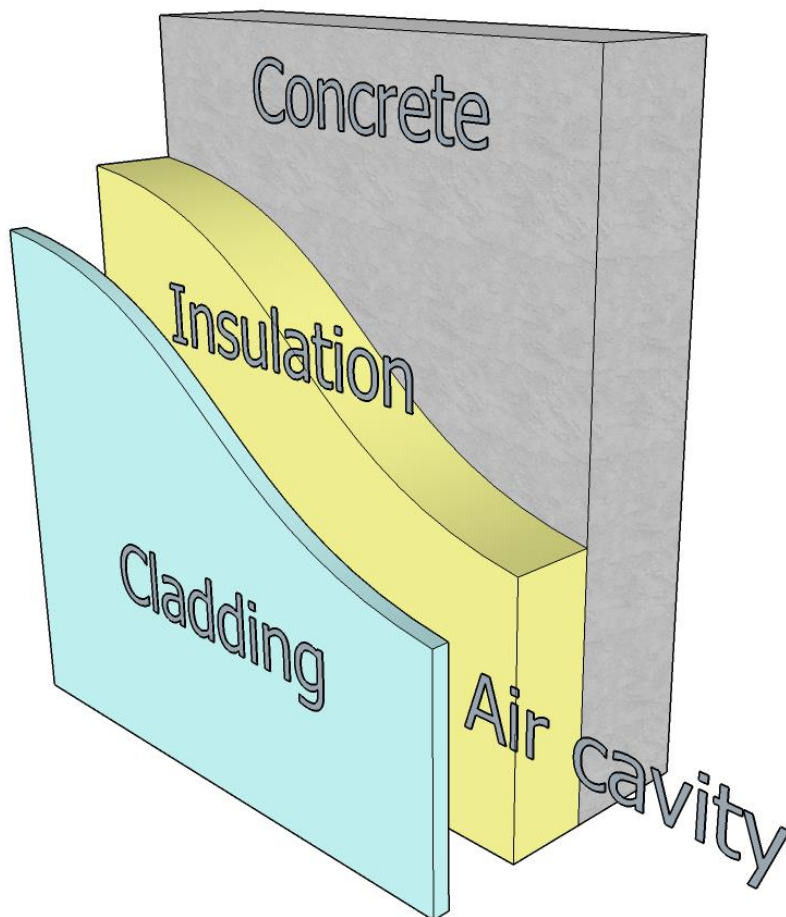
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia ohjeellisena tekstinä kuorirakenteita suunnitteleville WSP:n teollisuusosaston teräsrakennesuunnittelijoille. Ohjeistusta ja esimerkkejä voidaan kuitenkin hyödyntää myös soveltuviissa talonrakennuspuolen kohteissa, sillä laskentaperiaatteet ovat samat. Tässä työssä käsitellään lisäksi kuorirakenteita yleisellä tasolla. Teollisuuspuolella yleensä - ja myös tässä projektissa - kohteen kuorirakenteiden materiaali on terästä, joten tässä opinnäytetyössä käsitellään vain teräksisiä kuoriraken-teita.

Työn teettää WSP Finland Oy, joka suunnittelee kuorirakenteet erääseen teollisuuskoh-teeseen. Työssä esimerkkikohteena toimivan kattilaprojektin rakennuskohde on tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikana rakenteilla Itävaltaan. WSP Finland suunnittelee koh-teeseen teräsrakenteet ja myös jonkin verran betonirakenteita. Suunnittelulaaajuus pitää sisällään itse kattilarakennuksen lisäksi sekundääriporrastornin, sähkösuodinalueen sekä savukaasupuhallinhuoneen.

2 KUORIRAKENTEET YLEISESTI

2.1 Kuoret ja niiden tehtävä

Rakennuksen kuoriksi määritellään rakenteet, jotka erottavat sisä- ja ulkotilat toisistaan (1, s. 2). Näihin lukeutuvat rakennuksen seinät, katto, ikkunat ja ovet, lattiat, sisäkatto ja perustukset (2). Teollisuusrakennuskohteissa suunnittelulaajuuteen kuuluu yleensä käytännössä rakennuksen ulkoseinät ja katto. Kuorirakenteet sisältävät siis rakenteen kaikki eri rakenneosat, joiden tyypit riippuvat valitusta rakennetyypistä (3). Esimerkiksi ulkoseinässä tällaisia osia voivat olla muun muassa kantava seinärakenne, lämmön-/ääneneristys sekä mahdollinen tuuletusväli ja tarvittava koolaus verhousta varten (kuva 1) (4).



KUVA 1. Periaatekuva seinärakenteesta, jossa rakenteena kantava betoniseinä, eristys, tuuletusväli (ja koolaus) sekä ulkoverhous (4)

Kuorien tärkeimpänä tehtävänä on suojata rakennusta ilmaston rasitteilta. Näihin lukeutuvat tuuli ja sade sekä lämpötilarasitukset (kylmä ja lämmin). Kuoret myös merkitsevät rakennuksen ääriviivat muodostaen rakenteen sisään yksityisen tilan. Kuorirakenteen uloimpana osana julkisivu näyttäytyy rakennuksen julkisena kuvana ja liittää myös rakennuksen ympäristöönsä (kuva 2). (1, s. 2.)



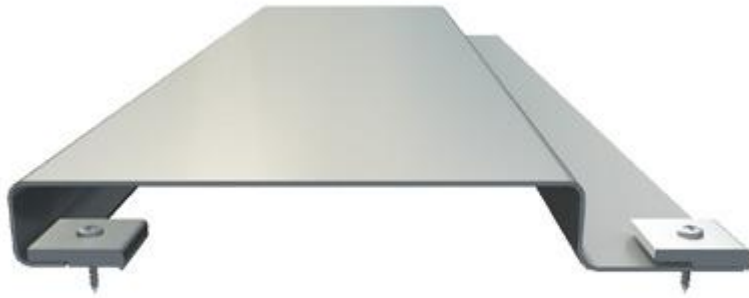
KUVA 2. Rakennusten julkisivu yhdistyy ympäristöönsä Hollannissa (1, s. 4)

2.2 Kuorirakennetyypit

WSP:n teollisuusosaston kattilaprojekteissa käytetään yleisesti samoja kuorirakennetyyppejä, yleensä teräksestä valmistettuja. Luvuissa 2.2.1-2.2.3 on esitelty näistä yleisimminkin käytössä olevat rakennetyypit.

2.2.1 Metallikasetti

Metallikasetti on metalliohutlevystä taivuttamalla, särmäämällä, venytysmuovaamalla, syvävetämällä tai pakottamalla valmistettu rakennuselementti (5, s. 1). Sitä käytetään seinä- ja kattorakenteissa (5, s. 1). Kasettien poikkileikkauksen muodot vaihtelevat valmistajasta ja kasettityypistä riippuen, mutta niiden kaikkien poikkileikkaus muistuttaa pääpiirteissään C-kirjaimen muotoa (6; 7; 8). (Kuva 3.)



KUVA 3. Esimerkki metallikasetista (9)

Kasetin sisään asennetaan lämpöeriste joko työmaalla tai valmiiksi tehtaalla (8). Kasetti asennetaan vaakasuuntaisesti kiinnittämällä se tukirakenteisiin (5, s. 3). Kasetin aukinai-selle puolelle asennetaan lämmöneristeen päälle rakennesuunnitelman mukainen ver-hous, joka toimii kasetin asennussuunnan mukaisesti joko sisä- tai ulkoverhouksena (5, s. 2).

Saumojen tyyppiä ja leveyttä muuttamalla voidaan vaikuttaa valmiin kasettiseinän ulko-näköön. Saumakohtat voidaan myös sijoittaa pilarien kohdalle, jolloin kasetit ovat pila-rivälin mittaisia. Tällöin pidemmillä jänneväleillä on syytä käyttää tarpeeksi syvää kasettia, jolla on tarpeeksi suuri ainevahvuus. (3, s. 3.)

Kasetin hyvänä puolena julkisivussa on se, että kun kasetit on saatu asennettua paikoil-leen, on ulkoseinä saatu umpeen ja täten monet sisätyövaiheet voidaan aloittaa. Sisätyö-vaiheiden ohella voidaan jatkaa kasettien lämpöeristyksen ym. asentamista ulkopuolella (kuva 4). (10, s. 5, 11.)

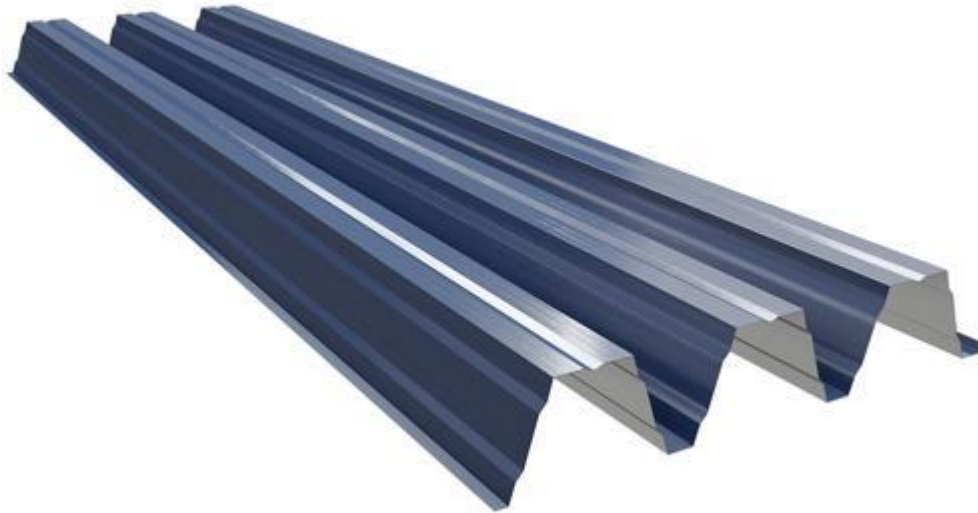


KUVA 4. Kasettiseinän villojen ja ulkoverhouksen asentamista (10, s. 11)

2.2.2 Poimulevy

Poimulevy on yhteen suuntaan poimutettua poikkileikkaukseltaan säännömukaista metallilevyä. Muotolevyä käytetään lähinnä rakennusten vesikattojen katelevynä. (11, s. 2.) Pelti on kansankielinen nimitys ohuesta metallilevystä toteutetulle metallirakenteelle (12, s. 2), mutta sitä käytetään usein puhekielessä yleisnimityksenä poimu- ja muotolevyille (11, s. 2). WSP:n teollisuusosaston projekteissa yleisin käytetty levyrakennetyyppi on poimulevy, joten luvussa 2.2.2 käsitellään nimenomaan sitä.

Poimulevyä käytetään sekä seinä- että kattorakenteissa (11, s. 3). Kattorakenteissa käytetään usein kantavaa poimulevyä. Tällöin poimulevy toimii yläpohjan kantavana rakenteena ja levyn päälle asennetaan muut rakennekerrokset, kuten lämmön- ja vedeneristys. Haluttaessa kantavaa poimulevyä voidaan käyttää myös vesikatteena. (13, s. 1, 5.)



KUVA 5. Esimerkki kantavasta poimulevystä, Ruukki T153-40L-840 (14)

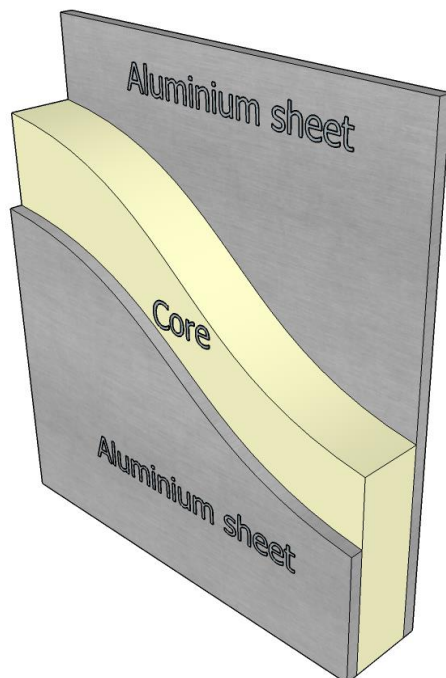
Hyvänä puolena poimulevyssä on sen keveys ja työstettävyys - tarvittaessa poimulevyä voidaan leikata työmaalla (13, s. 3). Huonona puolena mainittakoon korroosion mahdollisuus. Asennuksessa on oltava varovainen, jottei levy pääse kriittisesti taipumaan tai kolhiintumaan (kuva 6). (12, s. 5.)



KUVA 6. Pellityksen kolhiintumisen aiheuttamaa korroosiota (12, s. 5)

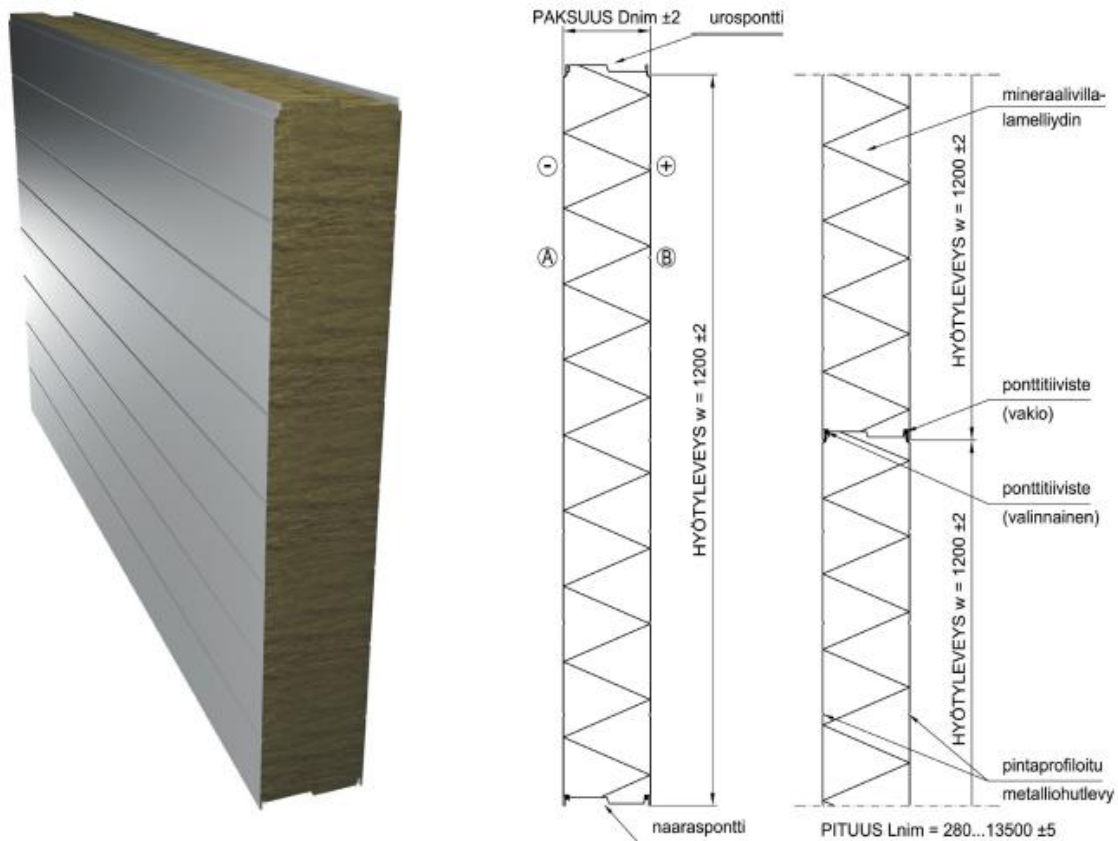
2.2.3 Sandwich-paneeli

Sandwich-paneeli koostuu kolmesta kerroksesta: pienen tiheyden omaavasta ytimestä sekä lämpöeristeenä toimivan ytimen ympärillä olevista kahdesta metalliohutlevystä (kuva 7). Paneelia käytetään kohteissa, joissa vaaditaan rakenteellista lujuutta, mutta samalla myös alhaista painoa. Sitä voidaan käyttää sekä seinä- että kattorakenteissa. (15.)



KUVA 7. Esimerkki sandwich-paneelin rakenteesta (alumiinilevy molemmin puolin ja keskellä villaydin) (15)

Sandwich-paneelin olennaisin hyvä puoli on sen rakenne. Paneeli on pintamateriaalein valmistettu elementti, joka voidaan asentaa sellaisenaan paikalleen lyhentäen asennukseen tarvittavaa aikaa. Elementit ovat myös kevyitä käsitellä, mikä helpottaa asennusprosessia. Paneeli voidaan asentaa joko pysty- että vaakasuuntaisesti. Asennusta helpottavat myös paneelin ylä- ja alapäässä olevat uros- ja naaraspontit (kuva 8). (15.)



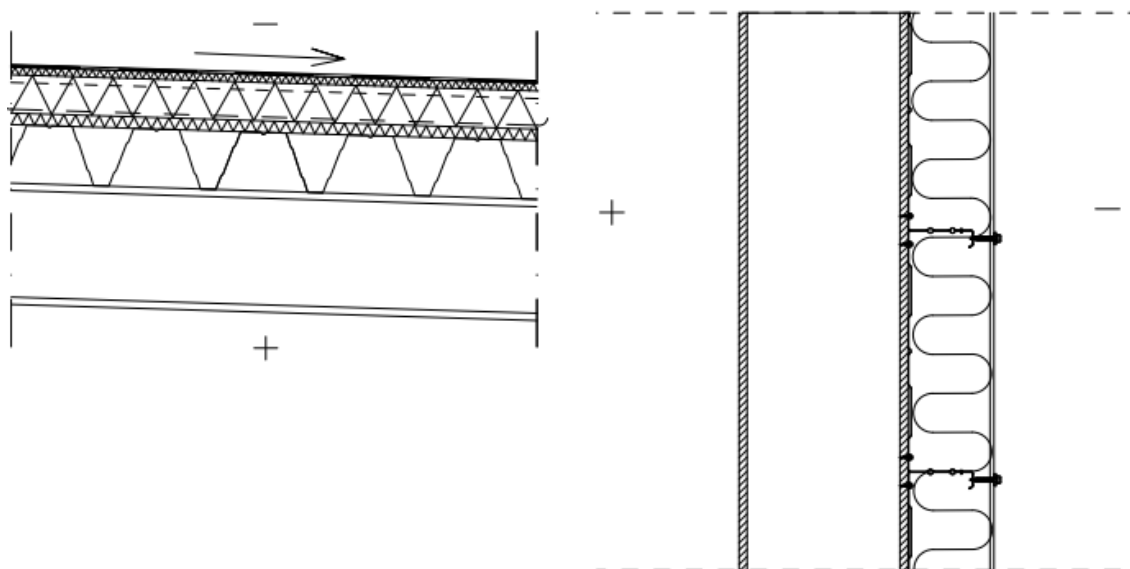
KUVA 8. Ruukin sandwich-paneelin detajjiikkaa (16, s. 2)

3 LÄHTÖKOHDAT KUORISUUNNITTELUUN

WSP Finland suunnittelee asiakkaalle kuorirakenteet erääseen teollisuuskohteeseen, joka rakennetaan Itävaltaan. Kattilarakennuksen yhteyteen suunnitellaan lisäksi sekundääriporrastorni, sähkösuodinalue sekä savukaasupuhallinhuone. WSP:n tehtävänä on suunnitella kuorirakenteet ja toimittaa näistä rakenne- ja asennuspiirustukset asiakkaalle. Opinnäytetyössä tehtävän laskennan perusteella valitaan sitten sopiva kasettityyppi ja -profiili seinille sekä kestävyydeltään riittävä poimulevy katolle.

Kuorirakenteeksi WSP:n kattilaprojektiin oli urakkavaiheessa valittu Münckerin valmistama ja toimittama kasetti (M160/600), jonka korkeus on 600 mm ja syvyys 160 mm. Kasetti asennetaan auki oleva puoli ulospäin rakennuksesta ja seinän tukirakenteista, minkä jälkeen kasetin sisään asennetaan lämpöeristeeksi 200 mm mineraalivillaa. Ulkopuolelle tulee julkisivuksi teräksinen poimulevy. (Kuva 9.)

Yläpohjan rakenteeksi valittiin teräspalkkien päälle kantava profiilipelti, jonka päälle asennetaan lämmöneristys ja höyrynsulku. Päällimmäiseksi tulee kaksinkertainen bitumihuo-pakate. Kantavaksi profiilipelliksi valittiin alustavasti urakkavaiheen mitoituskuvaan Ruukin kantava poimulevy T153-40L-840. (Kuva 9.)



KUVA 9. Urakkavaiheen kuorirakennetyyppien periaatekuvat

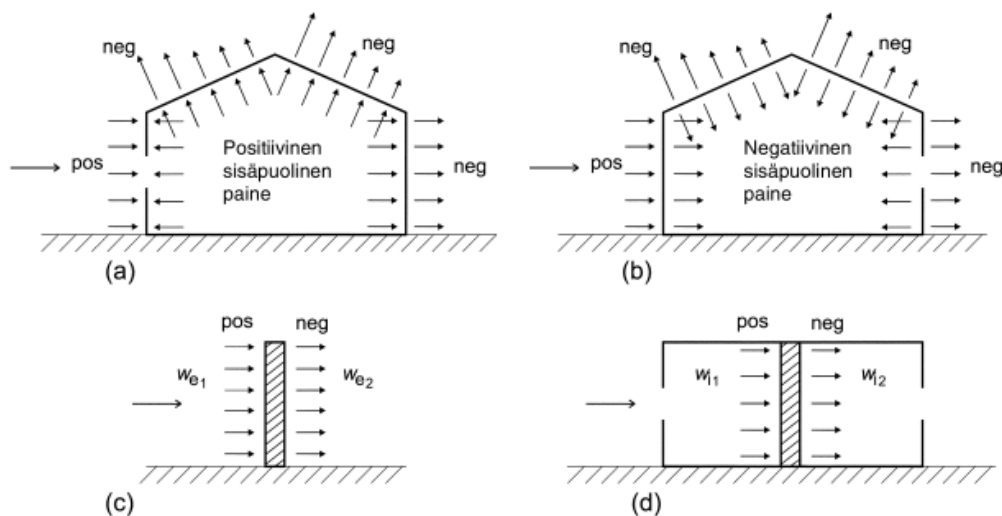
Asiakas antoi WSP:n rakennesuunnittelijoiden valita kahdesta kasettityypistä sopivin; edellä mainittu Münckerin kasetti tai ArcelorMittalın valmistama vastaavanlainen kasetti. Lopulta päädyttiin Münckerin kasettiin, koska siitä oli saatavilla paksummalla ainevahvuudella varustettu kasetti (17).

4 KUORIRAKENTEIDEN KUORMITUKSET

Rakennukseen kohdistuu erinäisiä kuormituksia, joita rakenteiden tulee kyetä ottamaan vastaan ja tarvittaessa siirtämään toisaalle. Kuormituksia syntyy luonnonolojen vaikutuksesta sekä ihmisen toiminnasta. (18.) Luvuissa 4.1-4.3 käsitellään erinäisiä kuormatyypppejä.

4.1 Tuuli

Rakennuksen ulkoseiniin ja kattoon kohdistuu tuulikuormaa. Tuulikuormaa käsitellään rakenteen umpinaiseen ulkopintaan kohdistuvana kohtisuorana paineena (engl. pressure) sekä rakenteesta poispäin suuntautuvana negatiivisena paineena (eli imuna, engl. suction), joka aiheutuu välillisenä ulkopintarakenteen huokoisuuden vuoksi. Ne voivat vaikuttaa myös suoraan rakenteen sisäpintaan avoimen rakenteen vuoksi. Rakenteiden tuulikuormat määritetään ottamalla huomioon sekä ulkopuoliset että sisäpuoliset tuulenpaineet. (Kuva 10.) (19, s. 28, 42.)



KUVA 10. Esimerkkejä pintoihin vaikuttavista tuulenpaineista (19, s. 42)

Tuulikuorma esitetään paineiden tai voimien joukkona, jonka vaikutukset ovat samat kuin tuulenpuuskiin suurimmat vaikutukset (19, s. 28). Rakenteen ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine w_e lasketaan kaavalla 1 (19, s. 40). Sisäpintaan vaikuttava tuulenpaine w_i lasketaan vastaavalla kaavalla, mutta sisäpinnan paineen nopeuspainekorkeuden arvolla ja sisäpuolisen paineen painekertoimella (19, s. 42).

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

KAAVA 1

w_e = ulkopintaan vaikuttava tuulenpaine (kN/m²)

$q_p(z_e)$ = puuskanopeuspaine (kN/m²)

z_e = ulkopuolisen paineen nopeuspainekorkeus (m)

c_{pe} = ulkopuolisen paineen painekerroin

Puuskanopeuspaine

Kaavassa 1 täytyy ensin määrittää puuskanopeuspaineen q_p arvo. Se saadaan laskettua kaavasta 2. (12, s. 38.)

$$q_p(z_e) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z)$$

KAAVA 2

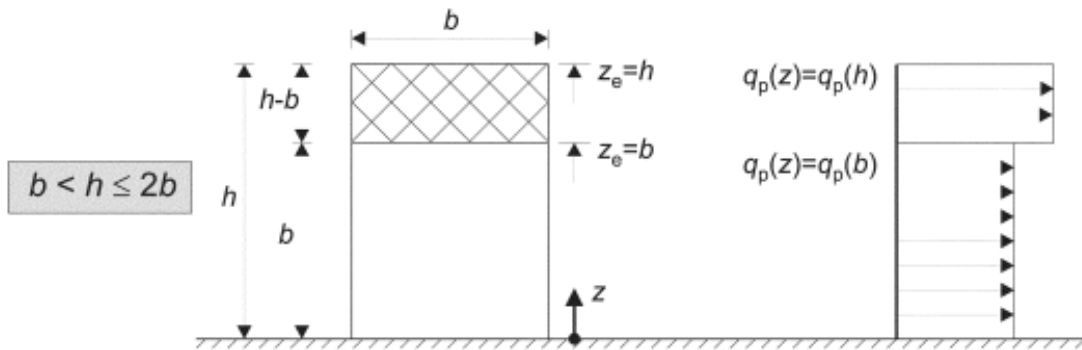
$q_p(z_e)$ = puuskanopeuspaine (kN/m²)

$I_v(z)$ = tuulenpuuskien intensiteetti

ρ = ilman tiheys, joka riippuu maantieteellisestä korkeusasemasta, lämpötilasta ja ilmanpaineesta, joka alueella on odotettavissa myrskyjen aikana (kg/m³)

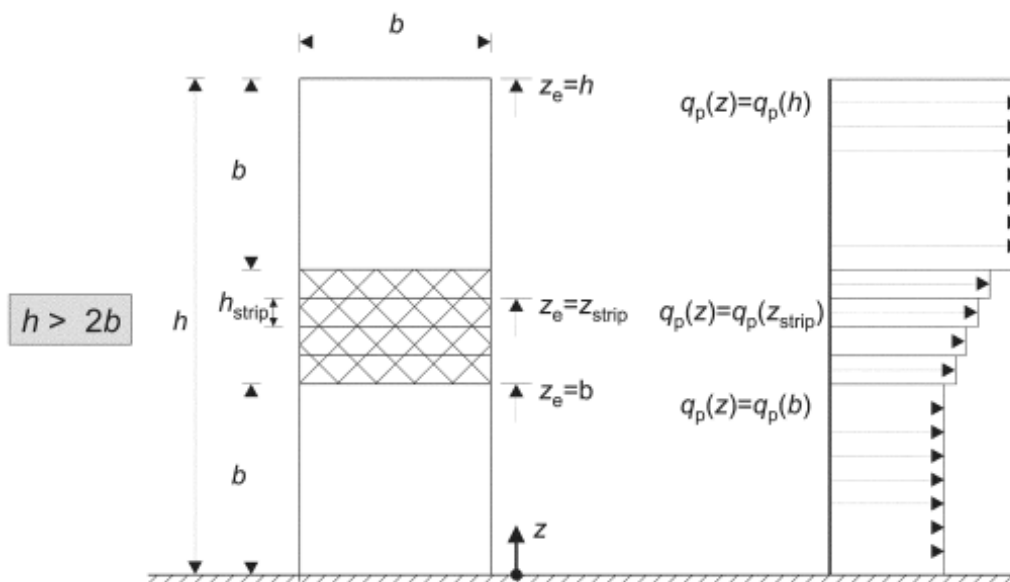
v_m = tuulen modifioitu perusarvo (m/s)

Puuskanopeuspaineelle oli tässä projektissa määritetty kaksi arvoa kahdella eri korkeudella. Jos pohjaltaan suorakaiteen muotoisen rakennuksen korkeus on korkeampi kuin sen (tuulikuormalle altistuvan sivun) leveys mutta matalampi kuin tämän sivun kaksinkertainen leveys, jaetaan rakennuksen sivu (seinä) standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kahteen vyöhykkeeseen. Näistä alempi vyöhyke on sivun leveyden korkuinen ja ylempi vyöhyke yhtä korkea kuin jäljelle jäänyt osuus. Molemmilla vyöhykkeillä on oma arvonsa puuskanopeuspaineelle kyseisen vyöhykkeen korkeimman kohdan mukaan puuskanno-
peuspaineen pysyessä kullakin vyöhykkeellä vakiona. (Kuva 11.) (19, s. 56.)



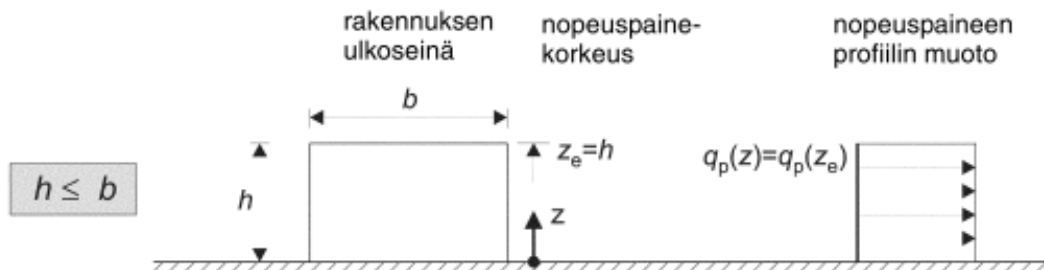
KUVA 11. Puuskanopeuspaineella kaksi vyöhykettä (19, s. 58)

Jos rakennuksen korkeus olisi suurempi kuin sivun kaksinkertainen leveys, jaettaisiin rakennuksen sivu alareunasta sivun leveyden korkeudelle ulottuvaan vyöhykkeeseen ja yhtä korkeaan vyöhykkeeseen alkaen rakennuksen yläpään (räystään) korkeudelta alaspäin. Molemmilla vyöhykkeillä on omat puuskanopeuspaineen arvonsa vyöhykkeen korkeimman kohdan mukaan, mutta vyöhykkeen sisällä liikuttaessa pysyy puuskanopeuspaine vakiona korkeudesta riippumatta. Näiden vyöhykkeiden väliin jäävä alue jaetaan sopivaan määrään matalampia vaakakaistoja, joista jokaisella kaistalla on oma puuskanopeuden arvonsa kaistan korkeimman kohdan mukaan. (Kuva 12.) (19, s. 56.)



KUVA 12. Puuskanopeuspaineella kaksi korkeampaa vyöhykettä ja välissä useita matalampia vyöhykkeitä (19, s. 58)

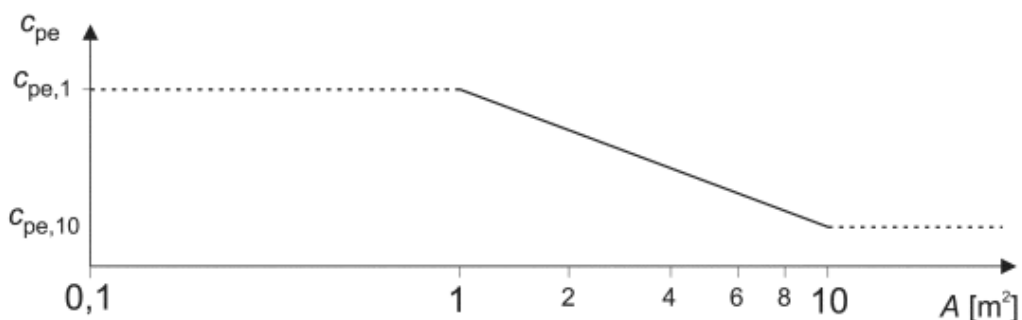
Jos taas rakennuksen korkeus olisi pienempi tai yhtä suuri kuin rakennuksen sivun leveys, ei laskennassa käytettäisi useampaa vyöhykettä. Tällöin puuskanopeuspaineelle käytetään yhtä ja samaa arvoa koko rakennuksen korkeudella. (Kuva 13).



KUVA 13. Puuskanopeuspaineella vain yksi vyöhyke koko sivulla (19, s. 58)

Painekertoimet

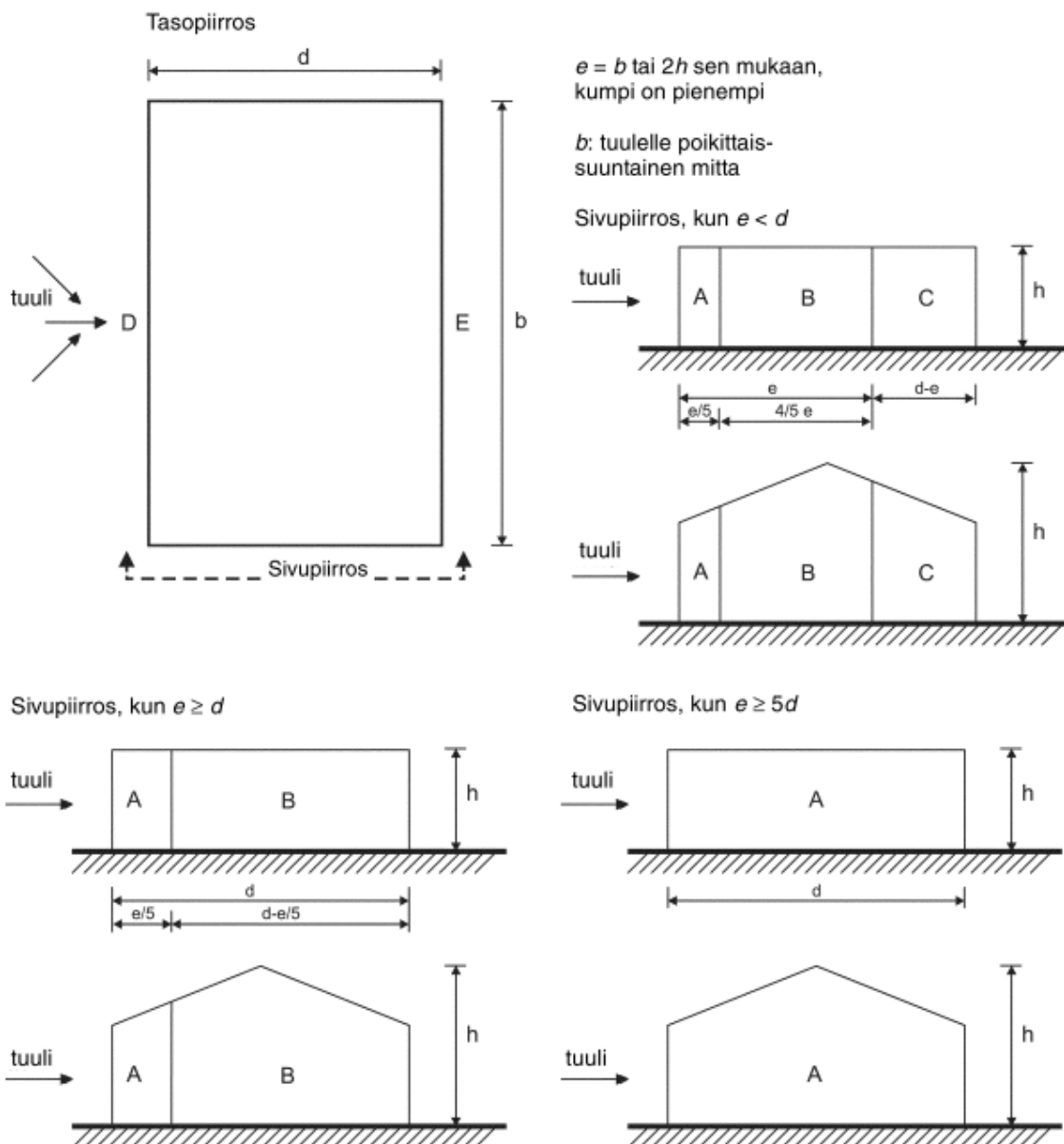
Ennen kuin kaavaa 1 (sivulla 18) voidaan käyttää, täytyy myös määrittää tuulen ulko- ja sisäpuolisen paineen painekertoimet c_{pe} ja c_{pi} . Ulkopuolisen paineen kertoimet riippuvat kuormitetun alan koosta, joka on sen rakenteen pinta-ala, joka tuottaa laskettavassa poikileikkauksessa vaikuttavan tuulikuorman. Standardissa on taulukoituna ulkopuolisen paineen kertoimet $c_{pe,1}$ ja $c_{pe,10}$ kuormitetun alan arvoille 1 m^2 ja 10 m^2 , joista ensimmäistä käytetään maksimissaan yhden neliömetrin pinta-alan omaavalle rakenneosalle (esimerkiksi yksittäiselle verhoukslevylle) ja jälkimmäistä isomman tai yhtä suuren kuin 10 neliömetrin kokoiselle rakennekokonaisuudelle. Väliin jäävät arvot tulee standardin mukaan interpoloida logaritmisesti. (Kuva 14.) (19, s. 54.)



Kuvaaja perustuu seuraavaan logaritmiseseen interpolaatioon:
 välillä $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$ $c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$

KUVA 14. Ulkopuolisen paineen kertoimen määrittäminen rakenteille, joiden kuormitettu ala on välillä 1 m^2 ja 10 m^2 (19, s. 54)

Edellä mainitut taulukoidut ulkopuolisen paineen kertoimet määritetään siten, että rakennuksen seinät jaetaan pystysuuntaisiin vyöhykkeisiin, joissa jokaisella on omat ulkopuolisen paineen kertoimen arvot. Tämä toteutetaan standardin SFS-EN 1991-1-4 kuvan mukaan (kuva 15). Tällä huomioidaan tarkasteltavaan sivuun nähden viereiseltä sivulta tuleva tuuli, joka aiheuttaa tarkastelusivulle imua. Imun voimakkuus on sitä suurempi, mitä lähempänä tuulen puolen sivua ollaan. Puhutaankin tarkasteltavan sivun nurkka-alueesta, jolla negatiivisen paineen kerroin (imu) on suurimmillaan. (19, s. 60.)



KUVA 15. Rakennuksen seinät jaetaan kuvan mukaisesti vyöhykkeisiin, joilla jokaisella on omat ulkopuolisen paineen kertoimen arvonsa (19, s. 60)

On kuitenkin huomattava, että tuuli voi puhaltaa edellä olevaan kuvaan nähden myös vastakkaiselta sivulta, joten tällöin myös vyöhykkeet kääntyvät toisinpäin. Rakennuksen sivun tulee olla tarpeeksi pitkä, jotta myös C-vyöhyke otetaan huomioon. Kuvassa 15 on esitetty, miten tämä riippuu muuttujan e ja rakennuksen sivun d pituuden suhteesta. (12, s. 60.)

Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot $c_{pe,1}$ ja $c_{pe,10}$ arvot on esitetty taulukossa 1. On otettava huomioon, että standardin kansallisissa liitteissä voidaan esittää omat arvot kyseeseen tulevalle valtiolle (19, s. 60).

TAULUKKO 1. Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot (19, s. 60)

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	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Kattoon kohdistuvan tuulikuorman ulkoinen painekerroin määritetään samantyyllisesti kuin seinillekin eli myös katto jaetaan omiin vyöhykkeisiinsä. Standardista SFS-EN 1991-1-4 löydetään kattavat ohjeet tätä varten.

Ulkopuolisten painekertoimien lisäksi on määritettävä vielä sisäpuoliset painekertoimet. Tämä tapahtuu tarkastelemalla vaipan aukkojen kokoa ja jakaumaa. Ensin määritetään, onko rakennuksessa määräävää sivua (seinää tai kattoa). Rakennuksen sivua pidetään määräävänä, kun kyseisellä sivulla olevien aukkojen pinta-ala on vähintään kaksinkertainen tarkasteltavan rakennuksen muiden sivujen aukkojen alaan verrattuna. (19, s. 86.)

Jos rakennuksessa on määräävä sivu, käytetään sisäpuolisena paineena määräävän sivun aukkojen kohdalla vallitsevaan paineeseen verrannollisia, alla olevien kaavojen 3 ja 4 mukaisia arvoja (19, s. 86).

Sisäpuolen painekerroin lasketaan kaavalla 3, kun määräävän sivun aukkojen pinta-ala on vähintään kaksinkertainen muiden sivujen aukkojen alaan verrattuna (19, s. 86).

$$c_{pi} = 0,75 * c_{pe}$$

KAAVA 3

c_{pi} = sisäpuolisen paineen painekerroin

c_{pe} = ulkopuolisen paineen painekerroin

Sisäpuolen painekerroin lasketaan kaavalla 4, kun määrävän sivun aukkojen pinta-ala on vähintään kolminkertainen muiden sivujen aukkojen ala verrattuna (19, s. 86).

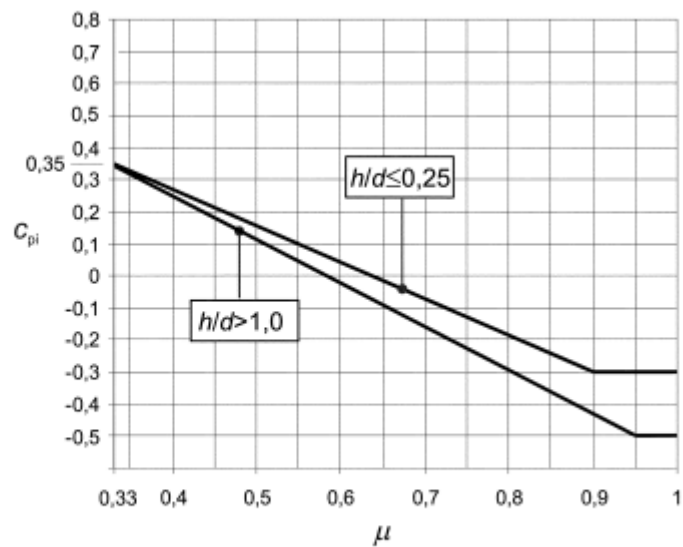
$$c_{pi} = 0,90 * c_{pe}$$

KAAVA 4

c_{pi} = sisäpuolisen paineen painekerroin

c_{pe} = ulkopuolisen paineen painekerroin

Jos rakennuksessa ei ole määrävää sivua, sisäpuolisen paineen kerroin määritetään standardin mukaan kuvasta 16 (19, s. 86).



HUOM. Rajojen $h/d = 0,25$ ja $h/d = 1,0$ välisillä arvoilla voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota.

KUVA 16. Sisäpuolisen paineen kertoimen määrittäminen, jos rakennuksessa ei ole määrävää sivua (12, s. 86)

Kuvan 16 muuttuja μ on aukkosuhde ja se määritetään kuvan kaavan 5 mukaisesti (19, s. 86).

$$\mu = \frac{\sum \text{niiden aukkojen pinta-ala, joiden kohdalla } c_{pe} = 0,0}{\sum \text{kaikkien aukkojen pinta-ala}}$$

KAAVA 5

μ = aukkosuhde

c_{pe} = ulkopuolisen paineen paine kerroin

Kun ulkoinen ja sisäinen paine kerroin on saatu määritettyä, on niiden yhteisvaikutus otettava huomioon eli ne vähennetään toisistaan. Tällöin saadaan nettopaine $c_{p,net}$. Toisaalta voidaan myös laskea vain erikseen sisä- ja ulkopintaan vaikuttavat tuulenpainet ja vähentää ne toisistaan. (19, s. 102.)

4.2 Lumi

Kuorirakenteiden suunnittelussa on huomioitava katon lumikuorma (kohdemaasta riippuen). Myös lumen mahdollinen kinostuminen esteisiin on otettava huomioon.

Tasainen lumikuorma

Katon lumikuorma määritetään standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan normaalisti vallitsevissa tilanteissa kaavalla 6 (20, s. 28).

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

KAAVA 6

s = lumikuorma katolla (kN/m²)

μ_i = lumikuorman muotokerroin

C_e = tuulensuojaisuuskerroin

C_t = lämpökerroin

s_k = maanpinnan lumikuorman ominaisarvo (kN/m²)

Kaavan 6 muuttujat määritetään standardin SFS-EN 1991-1-3 ohjeiden mukaan. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvon määrittämistä varten standardin liitteestä C löytyy ilmastokartat eri Euroopan maille. Lämpökerroin C_t ottaa huomioon kattojen lumikuorman pienennyksen lämpöhäviön aiheuttaman sulamisen johdosta, jos lämmönläpäisevyys on suuri. Tähän löytyy lisäohje standardista ISO 4355. Muussa tapauksessa C_t :n arvo on

1,0. Tuulensuojaisuuskerroin C_e määritetään taulukon 2 perusteella. (20, s. 28.)

TAULUKKO 2. Tuulensuojaisuuskertoimen määrittäminen (20, s. 28)

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen ^a	0,8
Normaali ^b	1,0
Suojainen ^c	1,2

^a *Tuulinen maasto*: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.
^b *Normaali maasto*: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.
^c *Suojainen maasto*: alue, jolla tarkasteltava rakennuskohte on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

Lumikuorman muotokerroin μ_i riippuu rakennuskohteen kattotyypistä. Pulpettikatoille, harjakatoille, sahakatoille ja kaarikatoille löytyvät kaikille omat ohjeensa kertoimen määrittämiseksi. (20, s. 30.)

Kinostuma

Lumi voi kasaantua kinostumiksi katolla olevia esteitä vasten tuulisissa olosuhteissa. Lunta kerääntyy esteisiin, koska ne aiheuttavat katolle aerodynaamisia katvealueita. (20, s. 42.)

Lähes vaakasuorien kattojen lumikuormien muotokertoimille käytetään arvoja $\mu_1 = 0,8$ ja μ_2 :lle kaavan 7 mukaista arvoa (20, s. 42).

$$0,8 \leq \mu_2 = \gamma^* h/s_k \leq 2,0$$

KAAVA 7

μ_2 = lumikuorman muotokerroin

γ = lumen tilavuuspaino (kN/m^3)

h = esteen korkeus (m)

s_k = maanpinnan lumikuorman ominaisarvo (kN/m^2)

Kinostumispituus saadaan kaavasta 8 (20, s. 42).

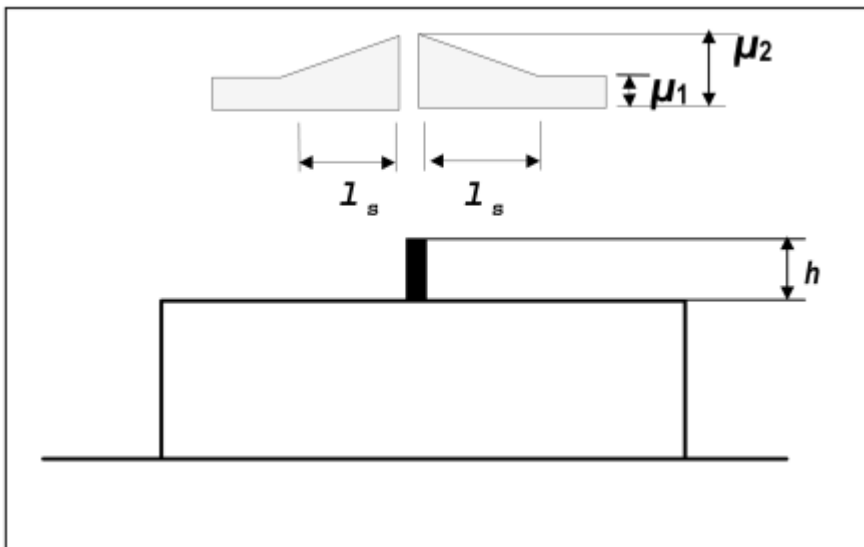
$$5 \text{ m} \leq l_s = 2 \cdot h \leq 15 \text{ m}$$

KAAVA 8

l_s = kinostumispituus (m)

h = esteen korkeus (m)

Kuvassa 17 esitetään periaate lumen kinostumiselle estettä vasten. Kuvassa esitetään myös edellä määritellyt muuttujat. (20, s. 42.)



KUVA 17. Lumen kinostuminen esteisiin (20, s. 42)

4.3 Muut kuormat

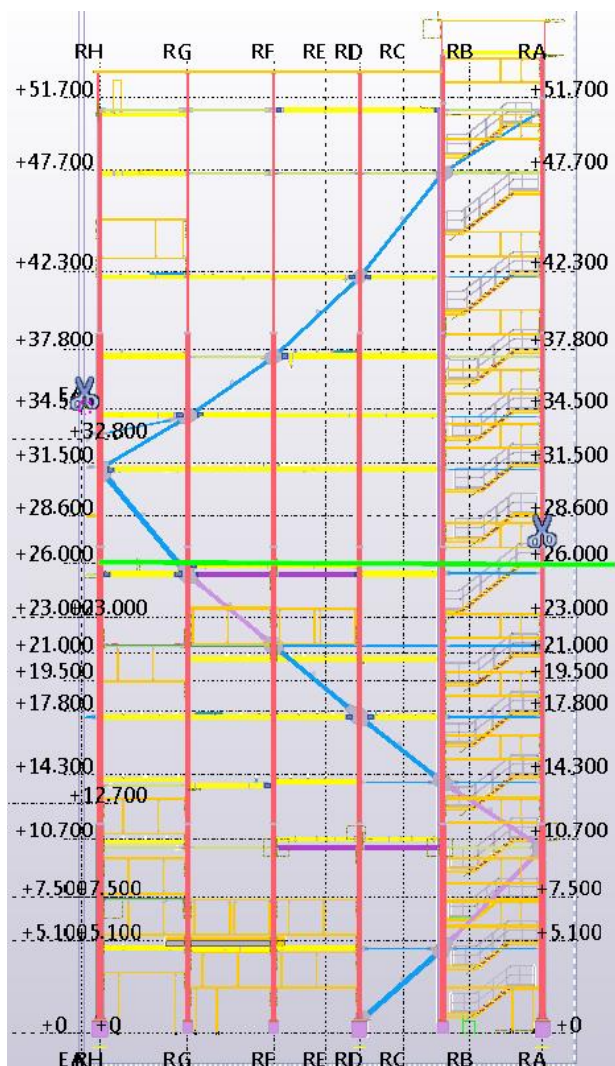
Muita mahdollisia kuorirakenteisiin kohdistuvia kuormia ovat laitekuormat, seisminen kuorma (maanjäristys) ja lämpökuorma (lämpölaajeneminen). Tässä työssä ei käsitellä näitä kuormatyyppejä, koska näitä ei tarvinnut huomioida WSP:n kattilaprojektissa.

5 KUORIRAKENTEIDEN MÄÄRITYS

Luvuissa 5.1-5.2 käydään läpi laskentarutiini seinien ja katon kuorirakenteille. Luvuissa suoritetaan esimerkkilaskenta seinän tuulikuormalle sekä katon tuuli- ja lumikuormalle. Saatujen tulosten perusteella määritetään käytettävä profiili seinän kasetille ja katon kantavalle poimulevyille.

5.1 Kasettien määrittäminen

Kasetin profiili valitaan tuulikuorman mukaan standardin SFS-EN 1991-1-4 ohjeiden mukaisesti. Määritetään tässä esimerkissä WSP:n projektista kattilarakennuksen toisen pitemmän ulkoseinälinjan (linja R5) reunimmainen kasettikenttä tuulikuormalle (kuva 18). Kasettien tukena toimivat pilarit.



KUVA 18. Kattilan linja R5 (kuvakaappaus Tekla Structures -ohjelmasta)

Standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti rakennuksen sivu jaettiin kahteen osaan, joilla molemmilla on omat arvonsa puuskanopeuspaineelle q_p (19, s. 56). Raja on merkitty kuvaan 18 vihreällä viivalla (korko +26,0 m). Puuskanopeuspaineen arvot on laskettu projektin laskijan toimesta (design criteriaan) projektin aiemmassa vaiheessa (kuva 19).

$v_{b,0}$	28.3 m/s	Fundamental value of basic wind velocity
$q_{b,0}$	0.50 kN/m ²	Fundamental value of basic wind pressure
	II	Terrain Category
c_{dir}	1.0	Directionality factor
c_{season}	1.0	Seasonal factor
ρ	1.25 kg/m ³	Air density

z	$q_p(z)$
26 m	1.32 kN/m ²
53 m	1.56 kN/m ²

External wall pressure coefficients $c_{pe,10}$:

- Windward +0.80,
- Sideward -1.22 and -0.82
- Leeward -0.37

Internal pressure coefficients c_{pi} :

- No openings +0.2/-0.3

KUVA 19. Kuvakaappaus design criteriasta, jossa laskettu tuulikuorman liittyviä arvoja (WSP Finland)

Kuvasta 19 selviävät myös tuulen ulkoisen ja sisäisen paineen kertoimien arvot. Laskennassa on otettu huomioon kohdemaan (Itävallan) kansallinen liite Önorm B 1991-1-4, jotta painekertoimien arvot poikkeavat hieman standardin SFS-EN 1991-1-4 suositusarvoista.

Projektissa laskettiin tuulenpaine yhtä kasettia kohden. Kasetin pinta-ala (eli tuulen kuormittama ala) vaihtelee kasetin jännevälän mukaan. Münckerin kasetin korkeus on 600

mm, joten kuormitettu ala on jänneväli * 0,6 m. Linjojen RH ja RG välinen etäisyys (jänneväli) on 4 850 mm.

Kasetin pinta-ala eli tuulen kuormittama ala A saadaan kaavasta 9.

$$A = \text{jänneväli} * \text{kasetin korkeus} \quad \text{KAAVA 9}$$
$$= 4,85 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 2,9 \text{ m}^2$$

Koska kuormitettu ala on suurempi kuin 1 m² ja pienempi kuin 10 m², pitää ulkoisen paineen kerroin interpoloida logaritmisesti kaava 10 mukaisesti. Merkitään tätä arvoa $c_{pe,x}$.

$$c_{pe,x} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) * \log_{10} A \quad \text{KAAVA 10}$$
$$= -1,525 * ((-1,525) - (-1,22)) * \log_{10} 2,9 \text{ m}^2 = -1,384$$

$c_{pe,1}$ = ulkopuolisen paineen painekerroin 1 m² alalle

$c_{pe,10}$ = ulkopuolisen paineen painekerroin 10 m² alalle

Näin saatiin arvo negatiivisen paineen (imun) kuormittamalle kasetille, mutta lisäksi tarvitaan positiivisen paineen kertoimen interpoloitu arvo. Se saadaan laskettua samalla kaavalla (kaava 10), mutta käytetään vain positiivisen paineen arvoja.

$$= 1,0 * (1,0 - 0,8) * \log_{10} 2,9 \text{ m}^2 = 0,9075$$

Vielä tarvitsee ottaa huomioon sisäinen paine. Vähennetään se interpoloiduista painekerroimista. Sitten kerrotaan saatu nettopaine puuskanopeuspaineella, jolloin saadaan tuulenpaineen arvo kaavalla 11.

$$w_e = q_p(z_e) * (c_{pe} - c_{pi}) \quad \text{KAAVA 11}$$
$$= 1,56 \text{ kN/m}^2 * (-1,384 - 0,20) = -2,47 \text{ kN/m}^2$$

w_e = ulkopintaan vaikuttava tuulenpaine (kN/m²)

$q_p(z_e)$ = puuskanopeuspaine (kN/m²)

z_e = ulkopuolisen paineen nopeuspaine korkeus (m)

c_{pe} = ulkopuolisen paineen painekerroin

c_{pi} = sisäpuolisen paineen painekerroin

Lasketaan kaavalla 11 myös positiivinen tuulenpaine.

$$= 1,56 \text{ kN/m}^2 * (0,9075 - (-0,30)) = 1,88 \text{ kN/m}^2$$

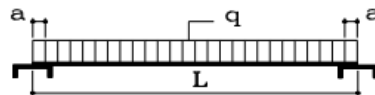
Imulle käytetään samaa puuskanopeuspaineen q_p :n arvoa koko rakennuksen korkeudella. Positiivinen painekerroin pitää kuitenkin laskea myös 26 m koron alapuolella sijaitsevalle vyöhykkeelle.

$$= 1,32 \text{ kN/m}^2 * (0,9075 - (-0,30)) = 1,59 \text{ kN/m}^2$$

Nyt saatuja tuulenpaineen arvoja (imulle ja paineelle) verrataan kasettivalmistajan toimittamiin kestävyystaulukoihin (taulukko 3 ja 4).

TAULUKKO 3. Münckerin 160/600-kasetin kestävyystaulukko paineelle (17)

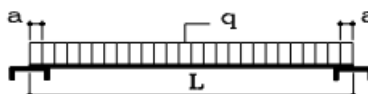
Einfeldträger



Blehdicke t (mm)	Eigenlast g (kN/m ²)	Zulässige Flächenlast q (kN/m ²) bei einer Stützweite L (m)										
		3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	
0,75	0,102	1	1,89	1,77	1,66	1,50	1,33	1,20	1,08	0,98	0,89	0,82
		2	1,89	1,77	1,66	1,50	1,33	1,20	1,08	0,98	0,89	0,82
		3	1,89	1,77	1,66	1,50	1,33	1,20	1,08	0,98	0,89	0,82
		4	1,89	1,77	1,47	1,22	1,03	0,88	0,75	0,65	0,56	0,49
0,88	0,120	1	2,88	2,61	2,29	2,03	1,81	1,62	1,47	1,33	1,21	1,11
		2	2,88	2,61	2,29	2,03	1,81	1,62	1,47	1,33	1,21	1,11
		3	2,88	2,61	2,29	2,03	1,81	1,62	1,47	1,33	1,21	1,06
		4	2,81	2,29	1,88	1,57	1,32	1,13	0,97	0,83	0,73	0,63
1,00	0,136	1	3,72	3,24	2,85	2,52	2,25	2,02	1,82	1,65	1,51	1,38
		2	3,72	3,24	2,85	2,52	2,25	2,02	1,82	1,65	1,51	1,38
		3	3,72	3,24	2,85	2,52	2,25	2,02	1,82	1,65	1,45	1,27
		4	3,39	2,75	2,27	1,89	1,59	1,35	1,16	1,00	0,87	0,76
1,13	0,156	1	4,20	3,65	3,21	2,85	2,54	2,28	2,06	1,86	1,70	1,55
		2	4,20	3,65	3,21	2,85	2,54	2,28	2,06	1,86	1,70	1,55
		3	4,20	3,65	3,21	2,85	2,54	2,28	2,06	1,86	1,64	1,44
		4	3,83	3,11	2,57	2,14	1,80	1,53	1,31	1,13	0,99	0,86
1,25	0,170	1	4,61	4,02	3,53	3,13	2,79	2,51	2,26	2,05	1,87	1,71
		2	4,61	4,02	3,53	3,13	2,79	2,51	2,26	2,05	1,87	1,71
		3	4,61	4,02	3,53	3,13	2,79	2,51	2,26	2,05	1,82	1,59
		4	4,24	3,44	2,84	2,37	1,99	1,69	1,45	1,25	1,09	0,96
1,50	0,204	1	5,57	4,85	4,27	3,78	3,37	3,03	2,73	2,48	2,26	2,06
		2	5,57	4,85	4,27	3,78	3,37	3,03	2,73	2,48	2,26	2,06
		3	5,57	4,85	4,27	3,78	3,37	3,03	2,73	2,48	2,18	1,91
		4	5,08	4,13	3,40	2,84	2,39	2,03	1,74	1,50	1,31	1,15

TAULUKKO 4. Münckerin 160/600-kasetin kestävyystaulukko imulle (17)

Einfeldträger



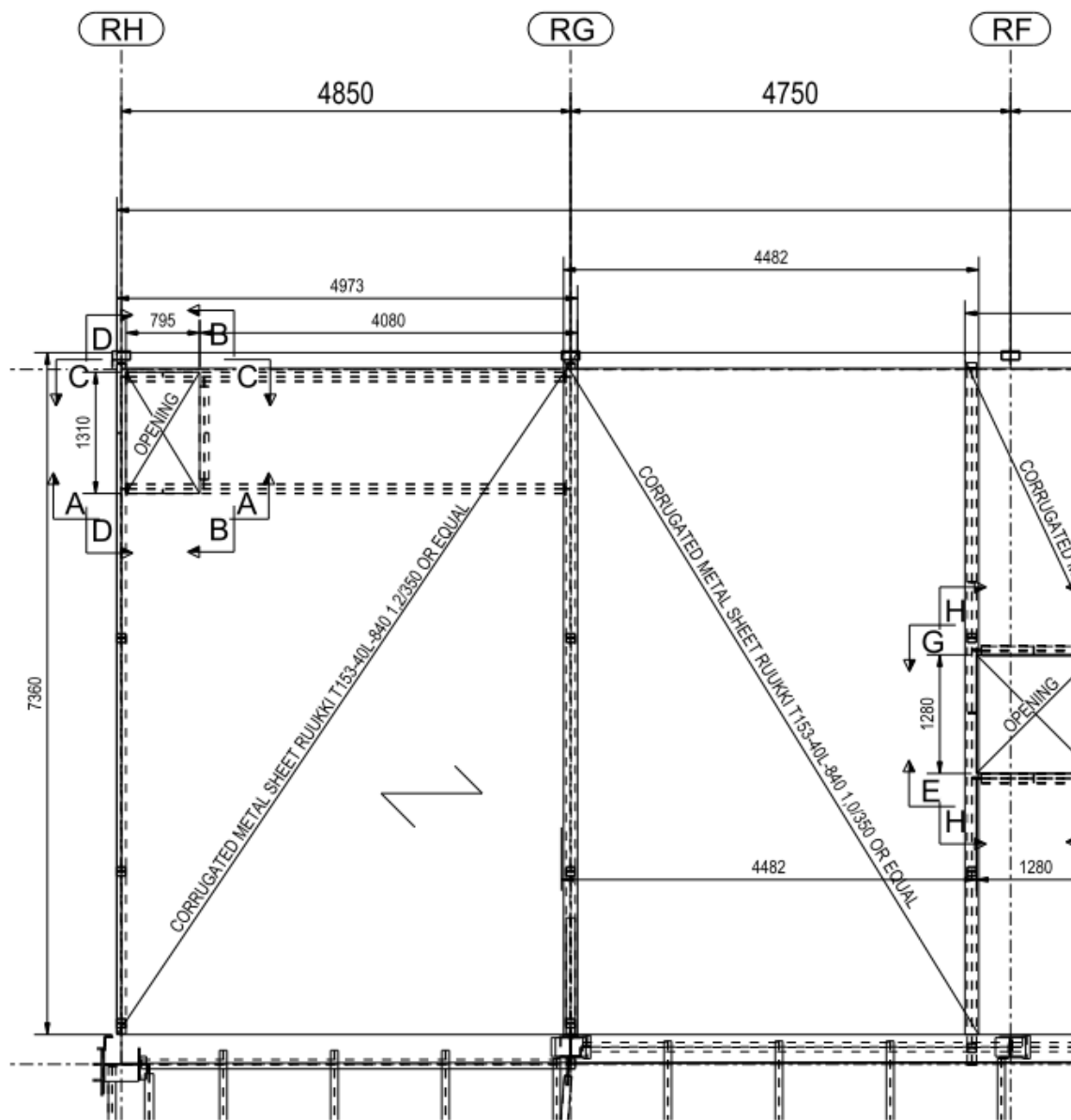
Bei ab

Blechdicke t (mm)	Eigenlast g (kN/m ²)	Zulässige Flächenlast q (kN/m ²) bei einer Stützweite L (m)										
		3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	
0,75	0,102	1	2,60	2,27	1,99	1,77	1,58	1,41	1,28	1,16	1,05	0,96
		2	2,60	2,27	1,99	1,77	1,58	1,41	1,28	1,16	1,05	0,96
		3	2,56	2,08	1,71	1,43	1,20	1,02	0,88	0,76	0,66	0,58
		4	1,54	1,25	1,03	0,86	0,72	0,61	0,53	0,45	0,40	0,35
0,88	0,120	1	3,39	2,95	2,59	2,30	2,05	1,84	1,66	1,51	1,37	1,26
		2	3,39	2,95	2,59	2,30	2,05	1,84	1,66	1,51	1,37	1,26
		3	3,23	2,62	2,16	1,80	1,52	1,29	1,11	0,96	0,83	0,73
		4	1,94	1,57	1,30	1,08	0,91	0,77	0,66	0,57	0,50	0,44
1,00	0,136	1	4,12	3,59	3,15	2,79	2,49	2,23	2,02	1,83	1,67	1,53
		2	4,12	3,59	3,15	2,79	2,49	2,23	2,02	1,83	1,67	1,53
		3	3,97	3,23	2,66	2,22	1,87	1,59	1,36	1,18	1,02	0,89
		4	2,38	1,94	1,59	1,33	1,12	0,95	0,82	0,71	0,61	0,54
1,13	0,156	1	4,66	4,06	3,57	3,16	2,82	2,53	2,28	2,07	1,89	1,73
		2	4,66	4,06	3,57	3,16	2,82	2,53	2,28	2,07	1,89	1,73
		3	4,56	3,70	3,05	2,55	2,14	1,82	1,56	1,35	1,17	1,03
		4	2,73	2,22	1,83	1,53	1,29	1,09	0,94	0,81	0,70	0,62
1,25	0,170	1	5,14	4,48	3,93	3,48	3,11	2,79	2,52	2,28	2,08	1,90
		2	5,14	4,48	3,93	3,48	3,11	2,79	2,52	2,28	2,08	1,90
		3	5,11	4,16	3,42	2,85	2,40	2,04	1,75	1,51	1,32	1,15
		4	3,07	2,49	2,05	1,71	1,44	1,23	1,05	0,91	0,79	0,69
1,50	0,204	1	6,23	5,42	4,77	4,22	3,77	3,38	3,05	2,77	2,52	2,31
		2	6,23	5,42	4,77	4,22	3,77	3,38	3,05	2,77	2,52	2,31
		3	6,23	5,13	4,23	3,53	2,97	2,53	2,17	1,87	1,63	1,42
		4	3,79	3,08	2,54	2,12	1,78	1,52	1,30	1,12	0,98	0,85

Taulukoiden 3 ja 4 kestävyysien mukaan valitaan jännevälin ja halutun taipumarajan (1-4) avulla kasetin paksuus taulukon vasemmalta puolelta.

5.2 Kattopeltien määrittäminen

Luvussa 5.2 käydään läpi laskentaesimerkki kattopellille käyttäen Ruukki Poimu -mitoitussohjelmaa. Tämä toimii siis samalla lyhyenä käyttöohjeena Poimu-ohjelmalle. Kantavana kattorakenteena toimii Ruukin kantava poimulevy. Mitoitetaan kattilarakennuksen katon kaksi ensimmäistä jänneväliä (kuva 20).

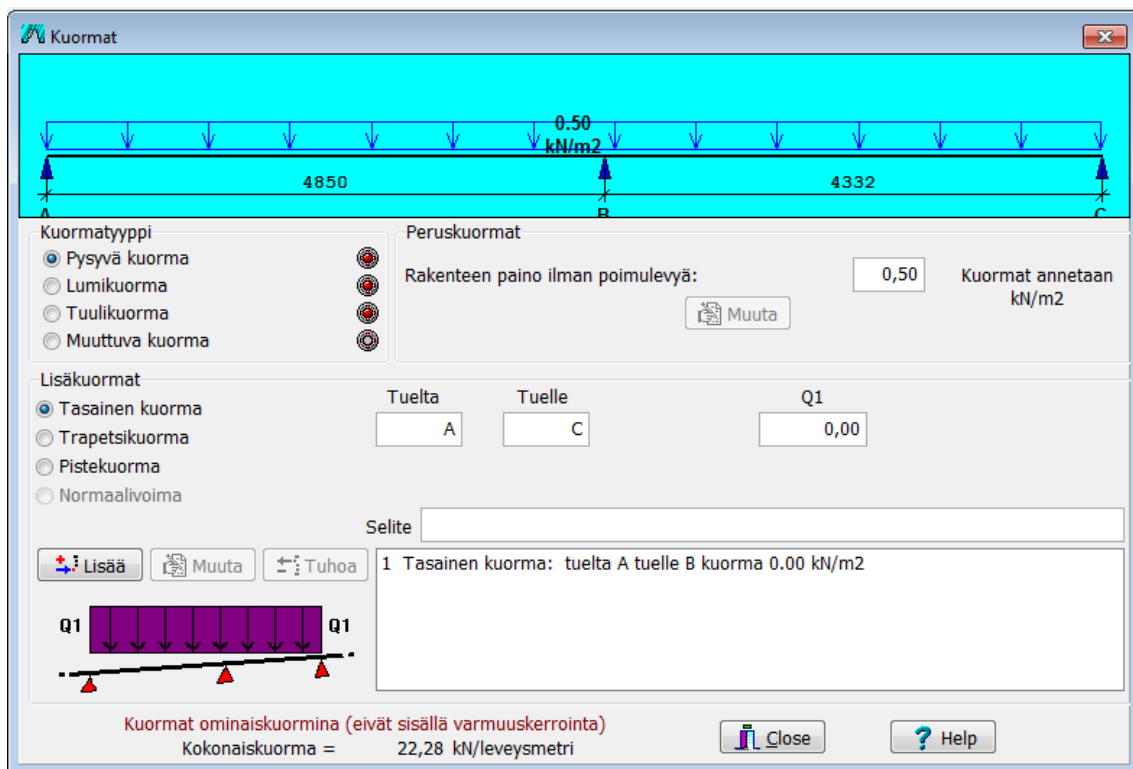


KUVA 20. Mitoitettavat kattopellit (WSP Finland)

Aluksi määritellään lähtötiedot. Parametrit-valikosta päästään määrittelemään laskennassa käytettävä normi, tässä tapauksessa käytetään Euronormia EC3. Samaisesta valikosta päästään myös määrittelemään rakenteen perustiedot: mitoitusilanne, taipumarajat ym. Valikkoon voi myös määrittellä projektin nimen ja projektinumeron.

Seuraavaksi syötetään jännevälien pituudet ylhäältä Mitoitus-valikon takaa Jätteet-valinnalle. Esimerkin jännevälit ovat 4 850 mm ja 4 332 mm (kuvassa 20 näkyvät vain peltien todelliset pituudet limitettynä).

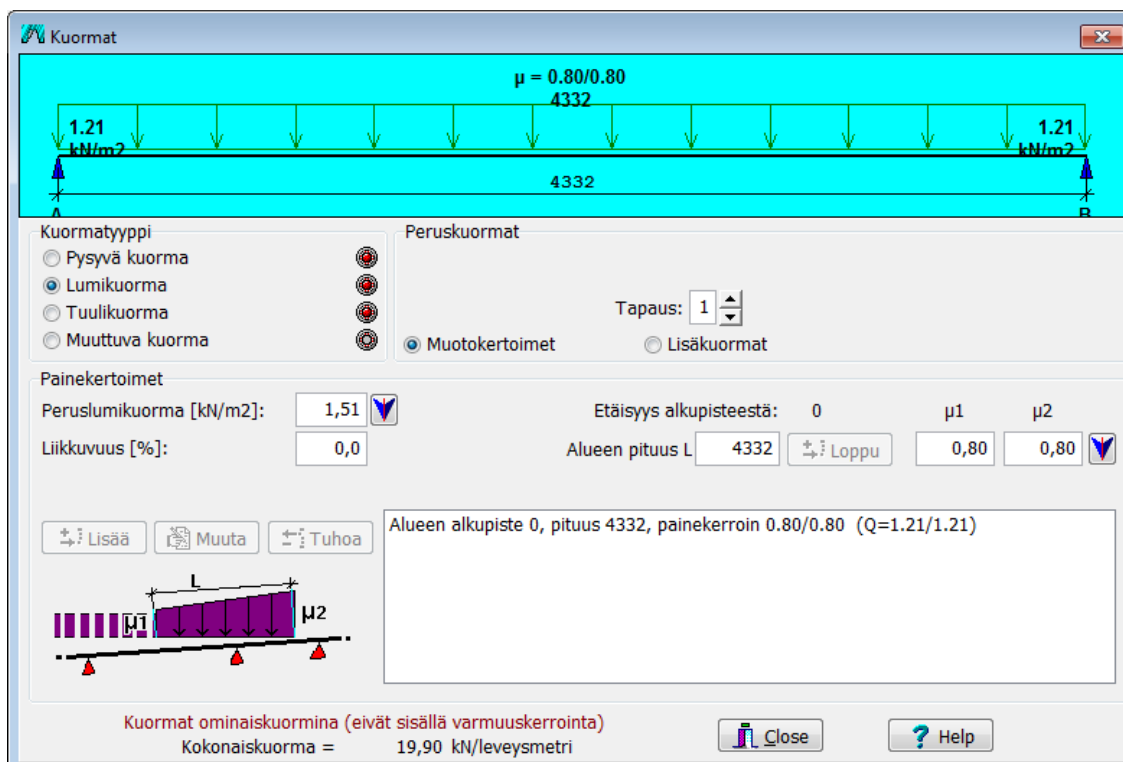
Sitten lisätään kuormat. Valitaan Mitoitus-valikon kautta Kuormat, jolloin avautuu kuvassa 21 näkyvä ikkuna.



KUVA 21. Näkymä kuormien arvojen syöttämiseen (Ruukki Poimu)

Pysyvälle kuormalle lisätään haluttu arvo sekä tieto, miltä tuelta mille tuelle se ylettyy (tässä tapauksessa tuelta A tuelle C). Syötetään yllälaitaan kattorakenteen paino ilman poimulevyä. Pysyvä kuorma luodaan Lisää-painikkeella. Jos kuormia pitää muuttaa jälkeinpäin, tulee haluttu kuorma ensin klikata aktiiviseksi listalta, sen jälkeen tehdä halutut muutokset ja painaa Muuta.

Seuraavaksi lisätään lumikuorma vaihtamalla välilehteä Kuormatyyppi-kohdan alta (kuva 22).



KUVA 22. Lumikuorman lisääminen (Ruukki Poimu)

Lisätään lumikuorma samalla periaatteella, mutta tähän pitää lisätä kuormitetun alueen pituus. Mitoitettava katto on 3 asteen kaltevuuden pulpettikatto. Tällöin lumikuorman muotokertoimen μ_1 :n arvoksi tulee standardin mukaan 0,80. Kohdekaupungin maanpinnan lumikuorman ominaisarvo on 1,51 kN/m². Lumikuorma katolla saataisiin kaavan 6 (sivulla 24) avulla seuraavasti:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

$$= 0,80 * 1 * 1 * 1,51 \text{ kN/m}^2 = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

Ruukki Poimu ottaa kuitenkin lumikuorman muotokertoimet huomioon, joten syötetään peruslumikuormaksi maanpinnan lumikuorman ominaisarvo s_k .

Seuraavaksi lisätään kinostuma esteeseen. Kuten kuvasta 20 näkyy, oikealla olevan reunimmaisesta tuen kohdalla on pellissä aukko. Tässä kohtaa on 1,5 metriä korkea este, johon lumi pääsee tuulen vaikutuksesta kerääntymään. Muotokertoimen μ_2 arvo laskeaan kaavan 7 (sivulla 25) mukaan:

$$0,8 \leq \mu_2 = \gamma * h / s_k \leq 2,0$$

$$= 2,0 \text{ kN/m}^3 * 1,5 \text{ m} / 1,51 \text{ kN/m}^2 = 1,99$$

Kinostuman pituus l_s saadaan aiemmin esitetyn kaavan 8 (sivulla 26) mukaan:

$$5 \text{ m} \leq l_s = 2 \cdot h \leq 15 \text{ m}$$

$$= 2 \cdot 1,5 \text{ m} = 3 \text{ m} \Rightarrow l_s = 5 \text{ m}$$

Kinostuma lisätään Lisäkuormat-välilehden alta. Ohjelma ei huomioi kinostumalle muoto-
kertoimia, joten lisätään kuorman arvot ne huomioiden. Kinostuma lisätään siis trapetsi-
kuormana, joten lasketaan sen arvot ensin kaavan 6 (sivulla 24) avulla.

$$S = \mu_2 \cdot S_k$$

$$= 1,99 \cdot 1,51 \text{ kN/m}^2 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Koska ohjelmassa on jo lisättyä peruslumikuorma katolla, ei lisätä sitä enää uudestaan
vaan lisätään pelkkä kinostuman osuus. Vähennetään kinostumasta peruslumikuorman
osuus, aiemmin laskettu $s = 1,21 \text{ kN/m}^2$.

$$s = 3,0 \text{ kN/m}^2 - 1,21 \text{ kN/m}^2 = 1,79 \text{ kN/m}^2$$

Nyt voidaan lisätä kinostuman arvot Poimuun. Kinostuman alkupiste tulee lisätä etäisyy-
tenä tuelta A ($4\ 850 + 4\ 332 - 5\ 000$). (Kuva 23.)

Kuormat

Kuormatyyppi

- Pysyvä kuorma
- Lumikuorma
- Tuulikuorma
- Muuttuva kuorma

Peruskuormat

Tapaus: 1

Muotokertoimet Lisäkuormat

Lisäkuormat

- Tasainen kuorma
- Trapetsikuorma
- Pistekuorma
- Normaaliveikko

Tuelta	Etäisyys L1	Pituus L2	Q1	Q2	Muutt. %
A	4182	5000	0,00	1,79	0,0

Selite: Lisälumikuorma (trapetsi) kinostumasta katon reunan ylösnostosta

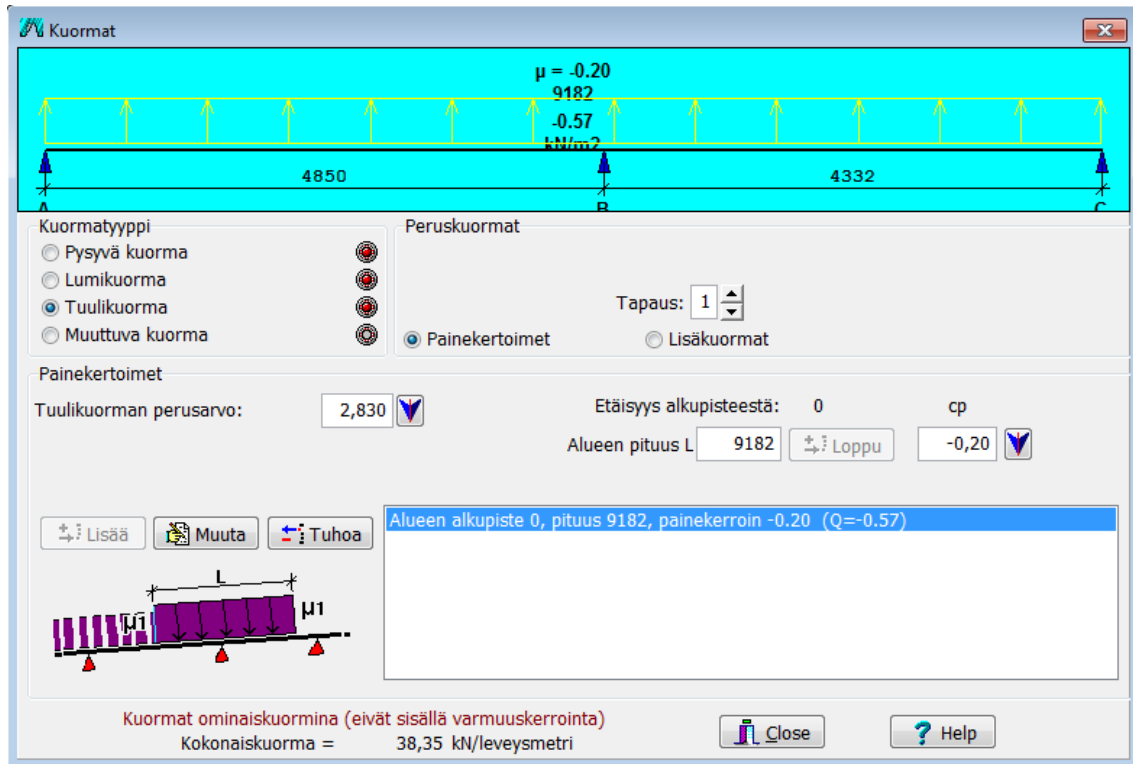
1 Trapetsikuorma: tuelta A, etäisyys 4182, pituus 5000, kuorma 0.00 .. 1.79 kN/m²

Kuormat ominaiskuormina (eivät sisällä varmuuskerrointa)
Kokonaiskuorma = 28,74 kN/leveysmetri

Close Help

KUVA 23. Kinostuman lisääminen (Ruukki Poimu)

Tuulikuorma tulee vielä lisätä. Imu ja paine erotellaan omiksi tapauksikseen. Periaate kuormien syöttämiseksi on sama kuin aikaisemmin. Vielä lisätään tuulikuorman perusarvo sekä painekertoimet. (Kuva 24.)



KUVA 24. Tuulikuorman lisääminen (Ruukki Poimu)

Seuraavaksi voidaan määrittellä kattopeltien tuet menemällä valikoissa ensin Mitoitus ja sitten Tuet ja jatkokset -valintaan. Tähän ikkunaan määritetään tukipintojen leveydet sekä muita haluttuja arvoja. Tärkeintä on kuitenkin valita peltien limitystyyppi keskituella. Valitaan ”Epäjatkua, levyjatkos”. Näkymään myös syötetään limityspituus. Ruukin asennusohjeen mukaan nivelellisessä levyjatkoksessa tuella limityspituuden tulee olla vähintään 150 mm (13, s. 7).

Jos rakenne ei kestäisi, voitaisiin kokeilla momenttijäykkää levyjatkosta ja limittää molempia tai vain jompaakumpaa peltiä. Tällöin valitaan ohjelmassa jokin Päittäislimitettyvaihtoehdoista. Ruukin asennusohjeen mukaan limityspituus on yleensä ulokkeen puoleisen levyn jännevälin kymmenesosa (13, s. 7-8).

Seuraavaksi annetaan ohjelman mitoittamien määritellyt kattopellit. Ylävalikosta mennään Mitoitus-valintaan ja sitten painetaan Mitoita. Haluttu materiaali tulee valita, tässä tapauksessa rakenneteräs Zn275-sinkityksellä. Tämän jälkeen valitaan haluttu Ruukin tuote.

Tässä projektissa käytettiin poimulevyä T153-40L-840. Tämän jälkeen painetaan Mitoita, jolloin ohjelma kertoo tulokset. Laskentaesimerkissä mitoitus olisi alle rajojen (kuva 25).

The screenshot shows the 'Poimulevyt' software interface. The 'Materiaali' tab is active, showing 'Materiaaliominaisuudet' with 'Rakenneteräs' selected and 'Zn275' chosen for galvanization. The 'Tuotteet' list includes T45, T70, T130, T130M, and T153. A graph below the list shows a sawtooth pattern. The main table displays calculation results for two rows, both with 'OK' status and 'Tukivoima' as the criterion. Summary statistics at the bottom indicate a total weight of 14.24 kg/m2 and a structure class of RC2.

	Paksuus/Lujuus	Limitys	Pituus	Kenttä	Tuki	Taipuma	Levyva...	Mitoittava kriteeri
1	1.00/350	0	5025	OK 81.9	OK 97.8	OK 78.5	-	Tukivoima
2	1.00/350	0	4507	OK 79.8	OK 97.8	OK 62.5	-	Tukivoima

Poimulevyjen kokonaispaino = 14,24 kg/m2
Rakenteen luotettavuusluokka = RC2

Mitoituksessa käytetään laskettuja arvoja

KUVA 25. Poimulevyjen mitoitus (Ruukki Poimu)

6 TUOTETTAVAT KUORIPPIRUSTUKSET

Luvuissa 6.1-6.2 tuodaan esille seikkoja, joita olisi hyvä huomioida WSP Finlandin tulevissa projekteissa kuorirakenteisiin liittyviä piirustuksia laadittaessa. Esitetyt asiat ovat tulleet ilmi tätä opinnäytetyötä ja sen pohjana ollutta kattilarakennusprojektia työstettäessä. Mukana on myös yleisohjeita piirustusten laatimiseen.

6.1 Urakkavaiheen piirustukset

Jokaisen teollisuusprojektin alussa luodaan urakkavaiheen kuoripiirustukset. Jo tarjousvaiheessa tulisi pyrkiä siihen, että suunnittelulaajuuteen sisältyy vain äärimittapiirustukset, periaatedetaljit, rakennetyypit, työselitys ja yksikköhintaluettelo. Jälkimmäistä ei tarvita, jos kyseessä on kokonaishintaurakka, jolloin urakoitsija laskee rakenteiden määrät.

Äärimittapiirustuksiin kuuluvat mittapiirustukset kaikista ulko- ja väliseinistä, mistä selviävät seinätyypit sekä neliömäärät. Vesikatosta tulee tehdä myös mittapiirustus, josta selviävät kattotyypit sekä voidaan laskea pinta-alat. Piirustuksessa esitetään kattokaivot, kattopollarit, katon kallistukset (ja mahdolliset vastakallistukset) ja kulkusillat.

Mittapiirustuksiin näytetään kaikki aukot (ovet, ikkunat, ilmanvaihtoaukot ym.) ja niiden koko ja sijainti on mitoitettava. Moduuliviivojen tulee näkyä mitoitettuina. Kaikissa aukoissa tulee huomioida tarvittava asennusvara. Esimerkiksi ovi vaatii 20 mm oven kokoa leveämmän ja korkeamman aukon.

Kuorirakenteita kantavat rakenteet (pilarit, palkit, orret) esitetään piirustuksissa katkovivoin. Jos urakoitsijan vastuulla on rakenteiden mitoitus, tulee mittapiirustuksissa näyttää kuorirakenteisiin kohdistuvat lumi-, tuuli- sekä mahdolliset laitekuormat.

Mittapiirustuksissa on ilmoitettava, jos esimerkiksi pellit on mitoitettu moniaukkoisina. Myös materiaalitiedot, peltien värisävyt sekä profiilipeltien jatkos- ja limityspituudet esitetään. Piirustuksiin merkitään, mistä kohtaa erinäiset detaljit on otettu.

Periaatedetaljeissa tulisi antaa mahdollisimman vähän sitovia mittoja. Detaljit tulee käydä läpi, jolloin varmistutaan, että kaikista tarvittavista kohdista on otettu detalji. Teollisuuskohteissa detalji tulisi ottaa ainakin sokkelin ja seinän liitoskohdasta, räystäästä, katon

harjasta, nurkista, erinäisistä tarvittavista aukoista (ainakin ikkuna- ja ovidetalji), kattojen ylösnostoista sekä mahdollisista liittymistä viereisiin rakenteisiin.

Kuorirakenteiden kiinnitykset määritellään joko mittapiirustuksiin, detaljipiirustuksiin tai työselitykseen. Kiinnitysten mitoitus voi kuulua myös urakoitsijan vastuulle.

Ovi- ja ikkunakaaviot toteuttaa yleensä arkkitehti. Jos projektissa ei ole arkkitehtiä, silloin ovi- ja ikkunakaaviot voivat sisältyä rakennesuunnittelijan suunnittelulaajuuteen. Ikkuna- ja oviselosteiden luomiseen on ohjeita RT-kortissa RT 15-11026.

6.2 Toteutuspiirustukset

Urakkavaiheen piirustukset täydennetään toteutuspiirustuksiksi myöhemmässä vaiheessa projektia, kun erinäiset kriteerit ym. on tarkentuneet. Toteutuspiirustuksissa pyritään pitämään urakan aikainen nippu yhteistyössä urakoitsijan kanssa. Suunnitelmien tarkkuusvaatimus tulee selvittää.

Urakkavaiheen mittapiirustukset päivitetään toteutussuunnitteluvaiheessa orsi-, pelti-, kasetti- ja paneelikaavioiksi. Kaavioissa esitetään seinä- ja kattopeltien katkaisupituudet, tunnukset, määrät, materiaalit ym. tarvittava joko taulukkomuodossa tai sitten suoraan piirustukseen.

Ainakin Suomen projekteissa myös seinä- ja katto-orret kuuluvat yleensä suunnittelulaajuuteen ja niistä tehdään normaalit asennuspiirustukset ja konepajakuvat. Kuorirakenteiden vaatimat lisäkiinnitysteräksset on suunniteltava teräsrakenteisiin.

Rakennetyypit, työselitys ja mahdolliset ikkuna- ja ovikaaviot täydennetään vastaamaan toteutussuunnittelua. Yksikköhintaluettelo päivitetään laskemalla toteutuneet materiaalmäärät toteutuspiirustuksista.

7 LOPPUSANAT

Tämän työn tarkoituksena oli kirjoittaa yleinen ohje kuorirakennesuunnitteluun pohjautuen WSP Finlandin Oulun teollisuusosaston kattilaprojektiin. Ensin laskettiin kuorirakenteisiin kohdistuvat kuormitukset. Tämän jälkeen voitiin verrata rakenneseisiin kohdistuvia kuormituksia toimittajan kestävyystaulukoihin ja valita näiden perusteella sopivat profiilit kuorirakenteille. Lopputuotteena saatiin kuoripiirustukset asiakkaalle.

Suunnittelussa onnistuttiin tyydyttävästi. Haasteita suunnitteluun toivat asiakkaan puutteelliset lähtötiedot ja tiedon kulun hitaus. Myös kesken projektin ilmenneet muutokset rakenteissa lisäsivät suunnittelun ongelmallisuutta. Jatkossa tulisi pyrkiä jo projektin alkuvaiheessa saamaan asiakkaalta kaikki tarvittavat lähtötiedot, jottei suunnittelu kärsisi.

Opinnäytetyössä saatiin laadittua ohje, jossa käsitellään tärkeimpiä kuorisuunnittelun osa-alueita. Ohjetta voidaan toivottavasti hyödyntää tulevissa projekteissa ja täten helpottaa sekä tehostaa kuorisuunnittelua vastaisuudessa.

LÄHTEET

1. Rakennusten kuorirakenteet ruostumattomasta teräksestä. 2005. Euro Inox. Suom. Laila Luoto-Welin. Saatavissa: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Envelopes_FI.pdf. Hakupäivä 5.6.2019.
2. Building Envelope. 2019. ScienceDirect. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/building-envelope>. Hakupäivä 5.6.2019.
3. How Building Envelope Materials Improve Home Efficiency. Seal, Insulate & Ventilate. 2019. Saatavissa: <https://www.sealinsulateandventilate.com/how-building-envelope-materials-improve-home-efficiency/>. Hakupäivä 5.6.2019.
4. Cladding (construction). 2019. Wikipedia. Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cladding_\(construction\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cladding_(construction)). Hakupäivä 5.6.2019.
5. RT 82-10429. 1990. Metallikasetit julkisivuissa. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2082-10429> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 25.3.2019.
6. Cassette Panel System. 2018. ArchClad. Saatavissa: <http://www.arch-clad.com.au/cassettepanelsystem/externalcladdingsystem>. Hakupäivä 28.3.2019.
7. Arval Hairock S. ArcelorMittal. Saatavissa: https://ds.arcelormittal.com/repository/AMC%20Eastern%20Europe/DOCUMENTATION/HAIROCK%20S_EN_.pdf. Hakupäivä 5.6.2019.
8. RT 85-10767. 2002. Metalliset muoto- ja poimulevykatteet. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2085-10767> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 27.3.2019.
9. RT 80-11115. 2013. Täydentävät ohut- ja muotolevyrakenteet, yleisiä ohjeita. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2080-11115> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 28.3.2019.

10. Kantavat poimulevyt, asennusohje. 2019. Ruukki Construction Oy. Saatavissa: https://cdn.ruukki.com/docs/default-source/b2b-documents/load-bearing-sheets/load-bearing-sheets/ruukki_kantavat_poimulevyt_asennusohje.pdf?sfvrsn=57408184_12. Hakupäivä 28.3.2019.
11. Kantava poimulevy T153-40L-840. 2019. Ruukki Construction Oy. Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/kantavat-ja-muut-profiilit/kantavat-poimulevyt/load-bearing-sheets-details/load-bearing-sheet-t153-40l-840>. Hakupäivä 6.6.2019.
12. Sandwich panel. 2019. Wikipedia. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Sandwich_panel. Hakupäivä 6.6.2019.
13. Ruukki Sandwich panel SPA, tuoteseloste. 2016. Ruukki Construction Oyj. Saatavissa: https://cdn.ruukki.com/docs/default-source/b2b-documents/sandwich-panels/fi_sandwich_panel_spa_product_description_06_2016.pdf?sfvrsn=3b86b484_4. Hakupäivä 6.6.2019.
14. SFS-EN 1991-1-4. 2005. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4: tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
15. SFS-EN 1991-1-3. 2004. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
16. Stahlkassettenprofil M 160/600. Müncker Metallprofile. 2018. <https://www.muenker.com/produkte/stahlkassettenprofile/m-160600/>. Hakupäivä 7.5.2019.