



Karelia-ammattikorkeakoulu
Rakennusinsinööri (AMK)

Pyöreä pystyhirsirakennus

Roni Marjomaa

Opinnäytetyö, kesäkuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
kesäkuu 2022
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Roni Marjomaa

Nimeke
Pyöreä pystyhirsirakennus

Tiivistelmä

Työn perusta rakentuu vahvasti hirsirakentamisen ympärille, jonka lisäksi teoriaosuutta syvennetään kahdella työn kannalta tärkeimmällä osalla, jotka käsittelevät puunkosteusteknisiä ominaisuuksia sekä rakennuksen vaipan ilmatiiveyttä.

Työn keskiöksi muodostuu pyöreä pystyhirsirakennus, jonka seinärakenteen tiiveydessä hyödynnetään puunkosteusteknisiä ominaisuuksia sekä hirren muotoa. Seinärakenteen toimintaperiaate käydään läpi yksityiskohtaisesti ja lopuksi työ huipentuu tuulikuorma vertailuun, jossa verrataan pohjaltaan pyöreän ja neliön muotoisen rakennuksen kokonaistuulikuorman suuruutta keskenään.

Pääaiheen lisäksi työssä käsitellään pienempiä osakokonaisuuksia, jotka syventävät rakennustekniikan tietoutta. Eri aiheita käsitellään seikkaperäisesti ja eri ilmiöiden ominaisuuksiin syvennytään esimerkkien avulla. Esimerkit purkavat aiheen kokonaisuuden pieniksi osiksi, joka auttaa lukijaa ymmärtämään ilmiöiden toimintamallia paremmin.

Kieli
suomi

Sivuja 39
Liitteet 6
Liitesivumäärä 10

Asiasanat
innovaatiot, hirsirakentaminen, kutistuminen, tiiviys



THESIS
June 2022
Degree Programme in Construction Engineering
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Roni Marjomaa

Title
Circular Vertical Log Building

Abstract

The foundation of this thesis is strongly built around log construction. In addition to this the theory section also contains two most important topics for this thesis, namely moisture behavior of wood and the airtightness of the building envelope.

At the centre of this thesis is a circular vertical log building, where the wall structure tightness is obtained with the use of moisture behavior of wood and the shape of the log. The working principle of this wall structure is explained in detail and finally the thesis culminates in a wind load comparison between circular and square building.

In addition to the main topic, there are parts which deepen the knowledge of civil engineering. The different phenomena are explained through practical examples, which divide the topic into smaller parts which are easier to understand without previous knowledge of civil engineering.

Language
Finnish

Pages 39
Appendices 6
Pages of Appendices 10

Keywords
innovations, log construction, shrinkage, tightness

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Hirsirakentaminen	6
2.1	Hirsi	6
2.2	Hirsirakennus	6
2.3	Hirsirakennuksen ominaisuudet	8
2.4	Historia	9
3	Puun kosteustekniset ominaisuudet	10
4	Rakennuksen vaipan ilmatiiveys	11
5	Pyöreä pystyhirsirakennus	15
5.1	Suunnitelma	15
5.2	Seinärakenteen toimintaperiaate	16
5.3	Profiili	18
5.4	Profiilin valmistaminen	20
5.5	Rakenteen tiivistyminen	22
6	Rakennesuunnittelu	23
6.1	Suunnitteluprosessin kuvaus	23
6.2	Kuormien siirtyminen rakenteissa	24
7	Tuulikuorman määrittäminen ja vertailu	28
7.1	Maastoluokka ja tuulen nopeuspaine	30
7.2	Rakennuksen voimakerroin	31
7.2.1	Ympyräsylinterin muotoisen rakennuksen voimakerroin	31
7.2.2	Neliön muotoisen rakennuksen voimakerroin	32
7.3	Päätevaikutuskertoimen määrittäminen	33
7.4	Tulosten tarkastelu	36
8	Pohdinta	37
	Lähteet	39

Liitteet

Liite 1	Maastoluokat ja tuulen nopeuspaine
Liite 2	Voimakerroin
Liite 3	Karheusmitta, eheyssuhde ja päätevaikutuskertoimen määrittäminen
Liite 4	Laskelmat
Liite 5	Muistivihon kulmat
Liite 6	Pyöreä pystyhirsirakennus

1 Johdanto

Rakennusten merkitys yhteiskunnassa on mieltä häkellyttävää, sillä ne tarjoavat saman aikaisesti ihmiselle elintärkeän suojan, mutta lisäksi mittaamattoman arvokkaan taiteellisen- ja kulttuurisen perinnön.

Suhtaudun rakennustekniikkaan intohimoisesti ja koenkin, että rakennustekniikassa vastaan tulevat ongelmat ovat kuin suuria erikokoisista paloista koostettuja palapelejä, joissa saat itse muotoilla palojen reunat niin, että ne sopivat toisiinsa ja muodostavat ehjän kokonaisuuden. Kaikki on siis hyvin pitkälti mielikuvituksestasi kiinni, mitä kaikkea saat vain keksimään. Nämä ajatukset ovat antaneet pohjan koko tälle työlle, sillä haluan selvittää, kuinka kierolla sahallo paloja voi työstää.

Työni ydin on pyöreän pystyhirsirakennuksen seinähirren suunnittelu, jonka lisäksi käsittelen työssä pienempiä osakokonaisuuksia itsenäisinä, mutta kuitenkin niin, että ne ovat tiukasti kiinni työn ydin ajatuksessa. Työ alkaa teoria katsauksella, jossa käsitellään täsmällisesti kaikki työssä käytettävä teoria. Teoriaosion jälkeen kirjat siirretään syrjään ja aloitetaan suunnittelutyö täysin puhtaalle paperille niin, että aikaisempi tieto ei aseta suunnittelulle rajoja. Työn lopuksi on vielä kappale itse rakennesuunnittelusta, jossa mielikuvituksen tuotosta sovitetaan teoriaan.

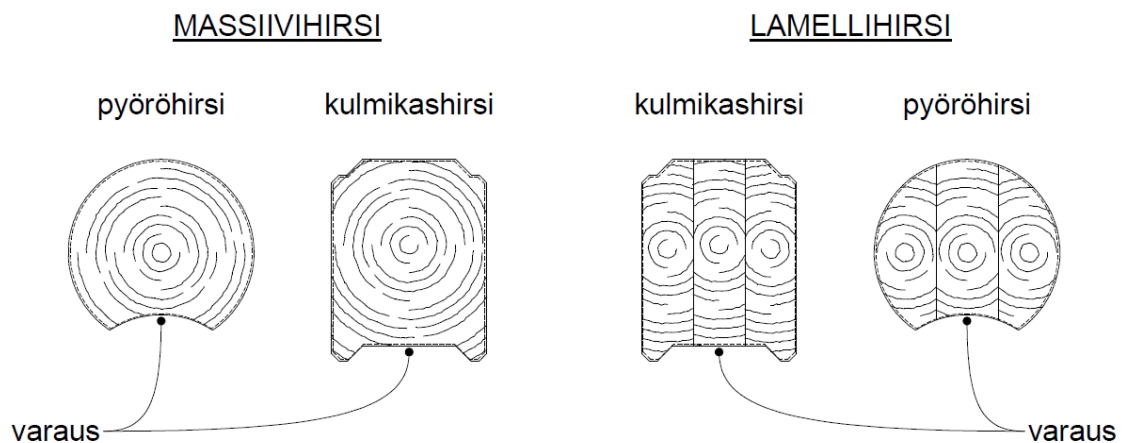
Työlläni haluan osoittaa, että alalla on vielä paljon täysin astumatonta kenttää, joka pystyy tarjoamaan tutkijalleen paljon löydettävää. On totta, että tehokkuuden nimissä on turha lähteä merta edemmäs kalaan, mutta jatkuvasti muuttuvissa olosuhteissa, on pidettävä katse koko ajan tulevaisuudessa ja kehityttävä muutosten mukana.

Olen kirjoittanut työn sillä mielellä, että se tarjoaisi mielenkiintoista luettavaa myös rakennusalan ulkopuoliselle lukijalle. Työssä olen pyrkinyt selittämään asioita selkeästi ja jättänyt pois oletuksia aikaisemmasta tietopohjasta parhaani mukaan.

2 Hirsirakentaminen

2.1 Hirsi

Hirsi on kokopuinen höylämällä, veistämällä tai sorvaamalla muotoiltu rakennustarvike, jonka nimellispaksuus on vähintään 68 millimetriä. Hirren tyypillisimmät poikkileikkausmuodot ovat, joko pyöreä tai kulmikas profiili (kuva 1). (RT 82-11168, 2014, 1.) Hirsiprofiilin alapintaan työstetään lisäksi ura, jota kutsutaan varaukseksi. Varaus mahdollistaa hirsien tiiviin yhteen sovittamisen (Siikanen 2016, 334).



Kuva 1. Tyypillisimmät hirsityypit (Kuva: Roni Marjomaa)

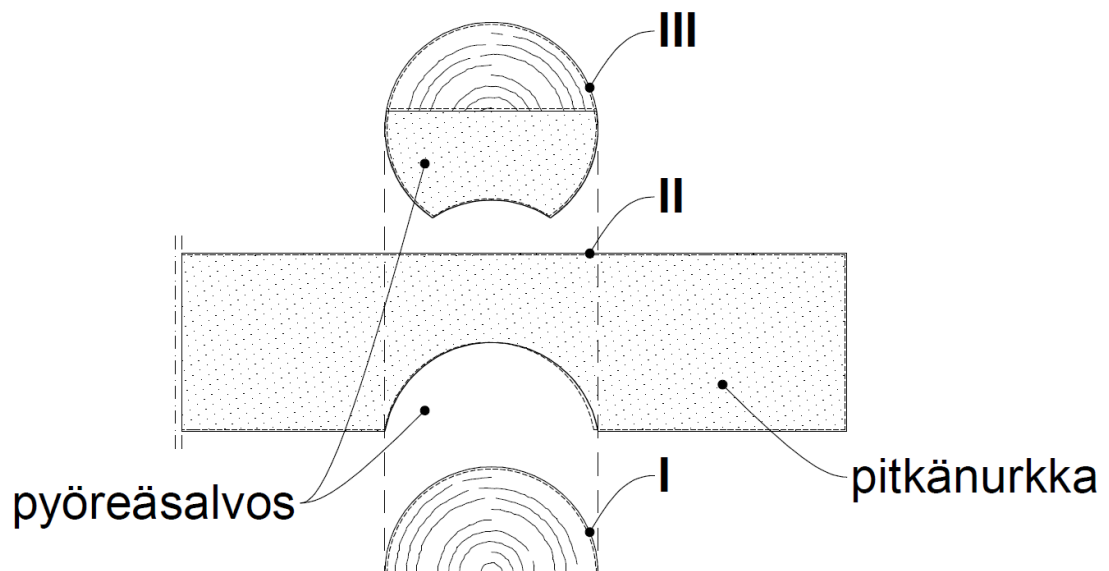
Hirsi on joko massiivipuuhirsi- tai lamellihiirsi. Massiivipuuhirsi valmistetaan yksipuolisena, kun taas lamellihiirsi koostuu useasta yhteen liimatusta lamellista. (Puu-info 2016, 4.) Hirret valmistetaan tyypillisesti männystä tai kuusesta, mutta mänty on näistä kahdesta suositumpi, sen pienemmän kiertymisen ansiosta (Siikanen 2016, 333–335).

2.2 Hirsirakennus

Tavanomaisessa hirsirakennuksessa hirret kootaan toistensa päälle vaakasuunnassa tapituksen, pulttauksen ja salvosten avulla yhtenäiseksi rakenteeksi.

Pystyhirsirakenteen käyttö on vähäistä, sillä rakenne ei tiivisty painovoimaisesti hirsien kuivuessa vaakarakenteen lailla, vaan hirsien väliin jää ilmaraot rakenteen kuivuessa. (RT 82-11168, 2014, 11.)

ÄMMÄNNURKKA

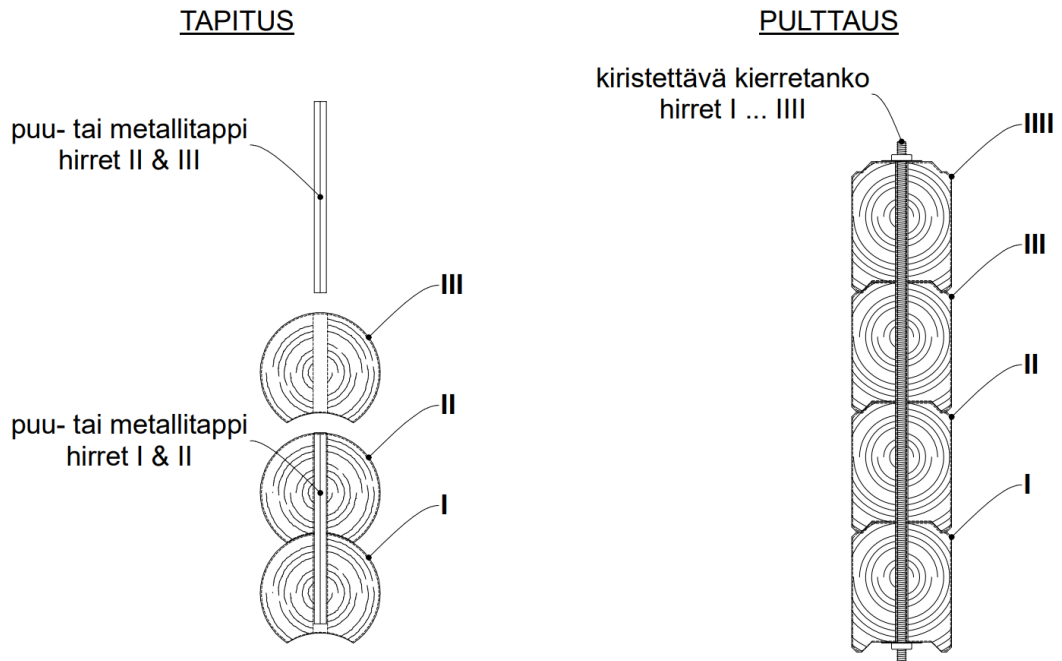


Kuva 2. Nurkkatyyppi, joka koostuu pyöreästä salvoksesta ja seinälinjan yli menevästä pitkästä nurkasta (Kuva: Roni Marjomaa)

Hirsien nurkkaliitosta kutsutaan salvokseksi ja eri liitostapoja löytyy lukuisia erilaisia käyttötarpeen mukaan (kuva 2) (RT 82-11168, 2014, 3). Salvoksella on suuri rakenteellinen- sekä ulkonäöllinen merkitys hirsirakennuksessa. Salvoksen tyyppi vaikuttaa rakennuksen jäykkyyteen, hirsiseinän ilmanpitävyyteen, sekä rakennuksesta välittyvään yleistunnelmaan. Esimerkiksi nykyaikaisella CITY-nurkalla saadaan hirsirakennukselle modernia ilmettä. (Puuinfo 2016, 7.)

Tapituksella hirret sidotaan toisiinsa lyömällä puu- tai metallitapit hirsien välille. Tyypillisesti jokainen hirsikerta sidotaan alempaan hirsikertaan tapeilla, jotka asennetaan siksakkiin niin, että peräkkäiset tapit eivät ole samassa linjassa. Hirsikehikon pystyttämisen lopuksi seinät vahvistetaan vielä läpikulittauksella,

jossa seinien päihin asennetaan hirsien läpi kulkevat kiristettävät kierretangot.
(kuva 3) (RT 14-10436, 1990, 2.)



Kuva 3. Hirsiseinän vahvistus tapituksella ja läpipulttauksella (Kuva: Roni Marjoma)

Lisäksi hirsirakennukselle ominaisia vakauden varmistavia rakenneosia ovat karapuut sekä följärit. Karapuut upotetaan hirsiseinään työstettyyn uraan ikkuna- ja oviaukkojen pielissä, jolloin seinän sivuttaissuuntainen siirtyminen estyy. Följärit sen sijaan ovat seinän korkuisia tukipuita, jotka asennetaan läpipulttauksella seinän molemmiin puolin antamaan seinälle lisätukea pitkillä jänneväleillä.
(RT 82-11168, 2014, 3.)

2.3 Hirsirakennuksen ominaisuudet

Hirsirakennuksella on lukuisia ominaispiirteitä, jotka ovat saaneet kiinnostuksen materiaalia kohtaan kasvamaan. Yksiaineisena uusiutuvana rakennusmateriaalina hirren ympäristövaikutukset ja terveellisyys ovat alan keskustelua johdattavia teemoja. (RT 82-11168, 2014, 11.)

Hirsirakennuksen palapelimäinen rakennustapa luo rakennukselle uniikin ominaisuuden, joka mahdollistaa rakennuksen purkamisen ja uudelleen kokoamisen useita kertoja hirren elinkaaren aikana. Hirsirakennus voidaan joko siirtää, tai hirsien käyttökohde kokonaan muuttaa, joka tarjoaa materiaalille merkittävää muuntojoustavuutta ja kierrätyspotentiaalia. (RT 82-11168, 2014, 11.)

Hirsiseinä on puuta ja näin ollen se on luontaisesti kosteusteknisesti turvallinen materiaali. Sisäilman kosteuden noustessa hirsiseinä kykenee sitomaan huoneilman kosteutta itseensä ja vastaavasti huoneilman kuivuessa se luovuttaa kosteutta takaisin huoneilmaan. Tutkimustulokset ovat osoittaneet, että hirsirakennuksen huoneilman suhteellinen kosteus pysyy 30 % - 60 % välillä. (Siikaniemi 2016, 353.) Huoneilman kosteudella on suuri vaikutus viihtyvyyteen ja terveyteen, sillä esimerkiksi sienten ja pölypunkkien kasvun estämiseksi sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi olla alle 60 % ja hengitystieinfektioiden ehkäisemiseksi vastaavasti yli 28 % (RT 82-11168, 2014, 14).

2.4 Historia

Hirsirakentamisella on Suomessa syvät perinteet. Hirsi on mahdollistanut maamme pysyvän asuttamisen maamme ankarissa sääolosuhteissa. Varhaisimmat todennettavat Suomessa rakennetut hirsirakennelmat ovat 5000-vuoden takaa, jotka ovat toimineet pyyntiyhteisöjen asumuksina. Nämä asumukset rakentuivat muutamasta massiivisesta yhteen salvotusta hirrestä, joiden päälle koottiin kotamainen kattorakenne turpeesta. (Vuolle-Apiala 2016, 6–8.)

Varhaisin säilynyt hirsikehikko on 1100-luvulta, joka tunnetaan pyhän Henrikin saarnahuoneena (RT 82-11168, 2014, 11). Saarnahuoneen vanhimmat hirret sen sijaan ovat vuosien 1472 ja 1626 väliltä, sillä aikojen saatossa rakennuksen korjaustöiden yhteydessä hirsistä on jouduttu vaihtamaan ja loppujen lopuksi rakennus ei sisällä enää yhtään alkuperäistä hirttä. Tästä huolimatta se on maamme vanhin tavattu hirsikehikko. Saarnahuoneen hirsikehikko koostuu 120 millimetriä leveistä ja 400 millimetriä korkeista sivulta veistetyistä hirsistä, joiden

nurkkasalvokset on salahampaalla varustettuja sulkanurkkia. (Vuolle-Apiala 2016, 11.)

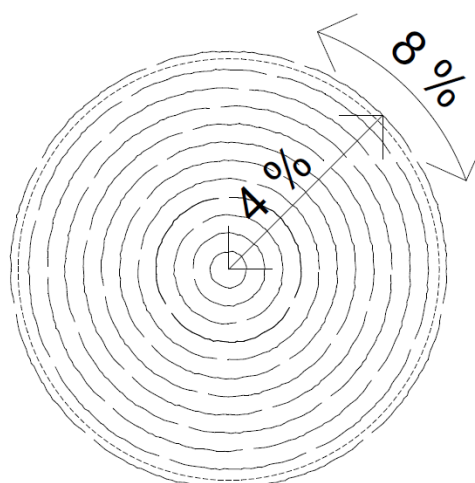
Pääasialliseksi rakennusmateriaaliksi hirsi nousi Suomessa 600-luvulla (Vuolle-Apiala 2016, 8). Hirren käyttö lähes kaikessa rakentamisessa jatkui aina vuoteen 1940 asti, kunnes sotien jälkeinen uudelleenrakennuksen aika vaati kehittyneempiä ja nopeampia rakennusmenetelmiä, jolloin rankarakenteiset puutalot syrjäyttivät hirsirakenteiset rakennukset kaikkialla muualla paitsi loma-asuntojen rakentamisessa (Siikanen 2016, 333).

Hirsirakentaminen alkoi taas yleistymään, kun vuosina 1970 ja 1980 löydettiin uusia ratkaisuja hirsirakennuksen tiiveyteen, lämmöneristävyyteen, kutistumiseen ja painumiseen liittyviin ongelmiin (Siikanen 2016, 333). Hirsirakentamisen viimeisin kehitysaskel on painumisen estämiseksi kehitetty lamellihirsi, jossa keskimäinen lamelli on pystysuunnassa ja reunimmaisat lamellit hirren pituussuunnassa. Puun verrattain pienen syysuuntaisen kutistuman ansiosta rakenne toimii ainakin teorian tasolla. On kuitenkin muistettava, että rakennusalalla luotettavia tuloksia saadaan vasta vuosikymmenten kokemuksen jälkeen. (Vuolle-Apiala 2016, 186.)

3 Puun kosteustekniset ominaisuudet

Puu pyrkii aina asettumaan tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa, jolloin hygroskooppisena materiaalina puu sitoo ja luovuttaa kosteutta ympäristönsä muutoksien mukaan (Piesala 2011, 17). Puu varastoi vettä soluonteloihin sekä soluseinämiin, joista puun kuivuessa vettä poistuu ensin soluonteloista ja vasta tämän jälkeen soluseinämistä ja kastuessa soluseinämät täyttyvät vedellä ensin. Tilanne, jossa soluontelot ovat luovuttaneet kaiken veden ja soluseinämät ovat vedestä kylläisiä kutsutaan puunsyidenkyllästyspisteeksi. Tämä piste saavutetaan, kun puussa on noin 30 painoprosenttia vettä jäljellä. (Siikanen 2016, 43.)

Kosteuden laskiessa puunsyidenkylästä alpuolelle, alkaa puussa kosteuseläminen, jolloin puu kutistuu kuivuessaan ja kastuessaan se taas turpoaa. Kosteus eläminen tapahtuu siis ainoastaan silloin, kun soluseinämät, joko luovuttavat tai sitovat kosteutta. Anistrooppisena materiaalina puu kutistuu ja turpoaa eri suuntiin eri tavoin. Kutistumisesta johtuva muodon muutos on erisuunnissa enimmillään seuraava: puun syiden suunnassa 0,2 % - 0,3 %, vuosirenkaan tangentin suunnassa 8 % ja vuosirenkaan säteen suunnassa 4 % (kuva 4). (Siikanen 2016, 43.) Puun pituussuuntaisen elämisen ollessa vähäistä, sillä ei ole vaikutusta rakenteelliseen suunnitteluun, kun taas poikittaisuuntaisen eläminen on otettava suunnittelussa huomioon.



syysuunnassa: 0.3 %

Kuva 4. Kutistumisesta ja turpoamisesta johtuvien muodonmuutosten enimmäis- suuruudet puun eri suunnissa (Kuva: Roni Marjomaa)

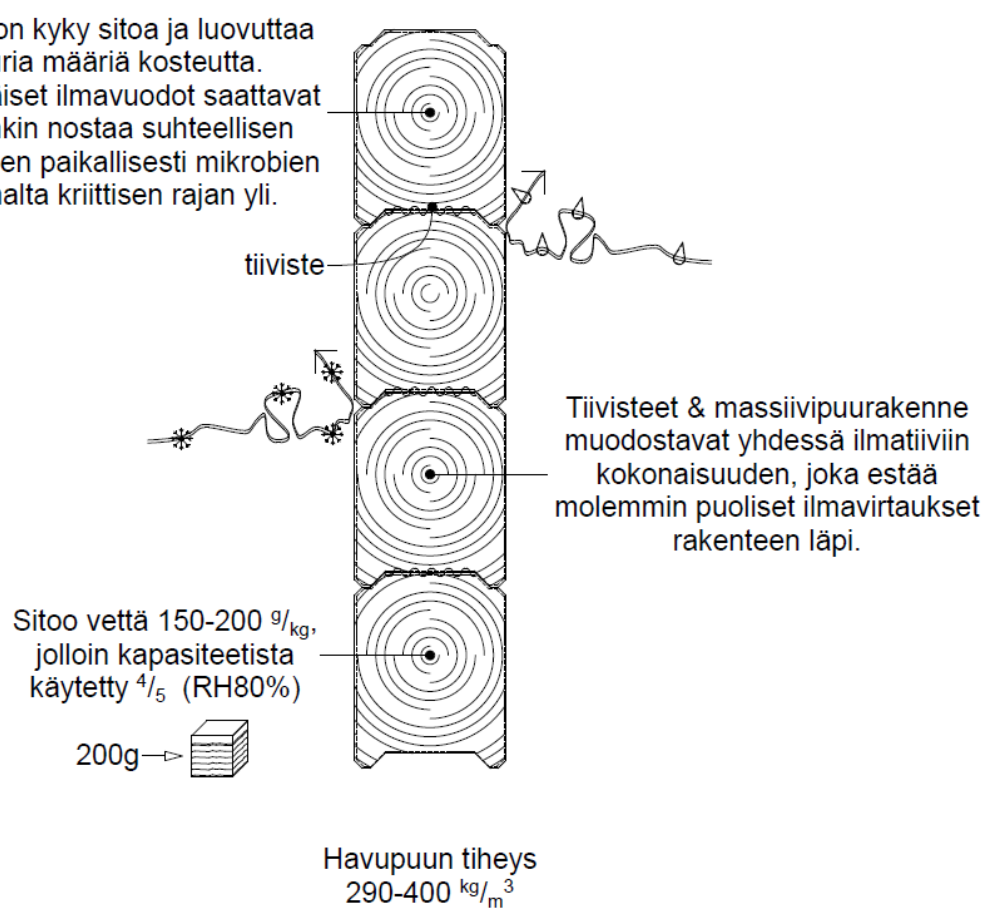
4 Rakennuksen vaipan ilmatiiveys

Rakennuksen vaippa muodostuu vesikatto- ja yläpohjarakenteesta, ulkoseinistä, ikkunoista, ovista ja alapohjarakenteesta. Näiden osien muodostaman vaipparakenteen tehtävä on rajata ulkoilma ja maa rakennuksen sisätiloista. (RIL 255-1-2014, 2014, 392.)

Rakennuksen vaipan ilmatiiveys on avain asemassa terveellisen ja viihtyisän sisäilmaston toteutuksessa. Rakennuksen ilmatiivisvaippa estää vaipan ulkopuolelta tulevia ilmavirtauksia, jotka voivat kuljettaa mukanaan terveydelle haitallisia radonkaasuja, mutta myös kylmää ilmaa, joka aiheuttaa epämiellyttävän vedon tunteen. Ilmatiiveyden merkitys korostuu entisestään rakennettaessa yhä vain energiatehokkaampia rakennuksia, jolloin halutaan minimoida lämmön siirtyminen ilmavirtausten mukana vaipparakenteen läpi. (RIL 255-1-2014, 2014, 46.) Ilmatiiveydellä on myös keskeinen rooli rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden kannalta, sillä ilmavirtaukset kuljettavat rakennuksen sisäpuolista kosteutta rakenteisiin mahdollisista ilmavuotokohdista (RIL 255-1-2014, 2014, 41).

MASSIIVIPUURAKENNE

Puulla on kyky sitoa ja luovuttaa suuria määriä kosteutta. Pistemäiset ilmavuodot saattavat kuitenkin nostaa suhteellisen kosteuden paikallisesti mikrobien kannalta kriittisen rajan yli.

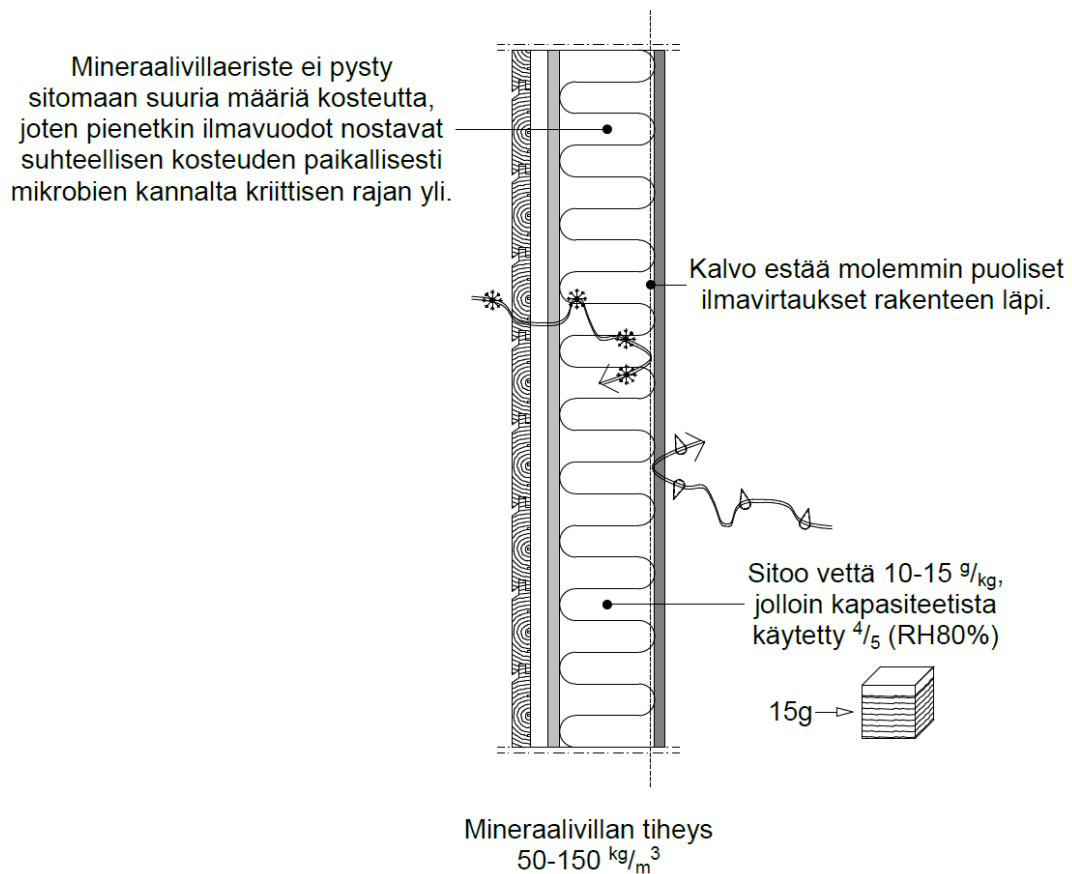


Kuva 5. Massiivipuurakenne ilmansulkuna (Kuva: Roni Marjomaa)

Ilmavuotojen yhteydessä kosteutta alkaa kertymään rakenteeseen pistemäisesti niin paljon, ettei kosteus pysty luonnollisesti enää rakenteesta poistumaan.

Tilanteessa lisääntyvä kosteus alkaa nostamaan vähitellen materiaalin suhteellisen kosteuden arvoa, joka taas mahdollistaa kasvupaikan mikrobeille. Tilanteen vakavuus on materiaali kohtainen, sillä eri materiaalit pystyvät sitomaan eri määriä kosteutta itseensä, ennen kuin kosteuspitoisuus nousee kriittisen rajan yli mikrobien kannalta. (Ympäristöministeriö 2016, 116.)

KERROKSELLINEN RAKENNE



Kuva 6. Kalvo ilmansulkuna (Kuva: Roni Marjomaa)

Luontaisesti mikrobeja esiintyy elinvoimaisina kaikkialla, joten niiden ehkäisemisessä tärkein kysymys on, miten niiden kasvaminen voidaan ehkäistä. Kasvaakseen mikrobit tarvitsevat lämpöä, ravinteita ja vettä. Näistä lämpöä ja ravinteita rakennuksemme tarjoavat mikrobeille yllin kyllin, sillä jo pelkästään pöly sisältää tarpeeksi ravinteita mikrobien kasvulle ja lämpötilaa emme voi pysyvästi pudottaa alle nollan. Ainoaksi keinoksi jää rakenteiden kuivana pitäminen, sillä mikrobit eivät kasva kuivissa rakenteissa. (Ympäristöministeriö 2016, 127.)

Tarkastellaan tilannetta vielä lopuksi arkielämän esimerkin kautta, joka auttaa asian tiivistämisessä. Lähtiessäsi syksyllä sienimetsään, puuet ehdottomasti kumisaappaat jalkaasi, jotta varpaasi pysyisivät kuivana märässä metsässä. Astelet suurelle suoalueelle ja muutaman askeleen jälkeen tunnet, kuinka maa antaa periksi ja kylmävesi nipistää varpaitasi. Tilanne on epämiellyttävä kaikin puolin, mutta toimit määrätietoisesti. Asetut viereiselle kivelle istumaan, vaihdat sukan ja huokaiset helpotuksesta, sillä olet välttynyt vilustumiselta. Rakennusten kohdalla yleisperiaate säilyy jokaista yksityiskohtaa myöten täysin samana. Ainoa poikkeus on tilanne, jossa rakennus pääsisi vilustumaan, sillä siinä vaiheessa ei enää herukkamehusta ole juurikaan apua, ja ensi syksyn sieniretken voitkin pitää omassa pihapiirissä.

Suurin osa rakennuksen sisäpuolisesta kosteudesta muodostuu pesuhuoneessa. Suihku ja kylpy ovat ilmeisiä kosteuden lähteitä, mutta näiden rinnalla kosteutta syntyy myös kasveista, pyykin kuivaamisesta, ruuan laitosta ja sinusta itsestäsi. (Ympäristöministeriö 2016, 108.) Kosteus ei ole vaarallista, mikäli rakenteiden ja tilojen suunnittelussa otetaan huomioon eri tilojen kosteusrasitukset. Esimerkiksi pesuhuoneiden varustukseen kuuluu kosteuden poistoa tehostavia komponentteja kuten viemäri, ilmastointi ja lattialämmitys. (RIL 255-1-2014, 2014, 41.)

Vaipan ilmatiiveys saadaan aikaan ilmasululla, joka on kalvo-, levy-, kivi- tai massiivipuurakenne (kuvat 5 & 6). Kerroksellisessa rakenteessa ilmansulku sijoitetaan yleensä rakenteen lämpimälle puolelle sisäpinnan lähelle, sillä kerroksellisessa rakenteessa höyrynsulkua hyödynnetään usein myös ilmansulkuna ja höyrynsulun toiminnan edellytys on sijoittaa se sisäpinnan lähelle, lämpimälle puolelle. Massiivirakenteisissa ulkoseinissä, joissa erillistä lämmöneristyskerrosta ei ole, toimii koko rakenne ilmansulkuna. Edellyttäen, että kaikki sauma- ja liitoskohdat tiivistetään huolellisesti. (RIL 255-1-2014, 2014, 41) Liitoksissa on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota liitosten pitkäaikaiskestävyyteen niin, että liitosten ilmanpitävyys ei heikkene rakennuksen ikääntymisestä johtuvien muodonmuutoksien seurauksesta (RIL 255-1-2014, 2014, 46).

5 Pyöreä pystyhirsirakennus

5.1 Suunnitelma

Visioni on suunnitella rakennus, jonka teknisessä toiminnassa ja rakenneratkaisuissa tullaan kokeilemaan uusia toimintatapoja. Onko ratkaisuille tilausta? Ei välttämättä suoraan paperilta käytäntöön nostettuna, mutta työllä haluan kuitenkin näyttää lukijalle, kuinka rakennustekniikassa kaikki on mahdollista, kun valvottavia suureita ei ole aika eikä raha.

Rakennuksen muodon valintaan liittyy teknisesti rakennusta hyödyttäviä seikkoja, mutta pohjimmiltaan ajatus ympyrän muotoisesta rakennuksesta on saanut alkunsa mielenkiinnosta itse muotoa kohtaan. Ympyrä on harmoninen ja miellyttävä muoto käytännön tasolla, mutta työpöydälle siirrettäessä emme kykene laskemaan edes sen pinta-alaa. Muodon teknisesti hyödyttäviä ominaisuuksia käydään läpi tekstissä myöhemmin.

Rakennuksen kantavanrunгон materiaaliksi valikoitui puu, sillä puun kyky jatkaa elämää vielä kuolemansakin jälkeen on hämmästyttänyt minua aina suuresti. Sen lisäksi, että ominaisuus on ainoastaan kiehtova, haluan saada ominaisuuden näkymään kantavana teemana rakennuksen teknisen toimivuuden kannalta.

Viimeinen suunnittelun ydin teema on rakennuksen palikkamaisuus. Haluan, että rakennus ei ole koskaan paikkaansa sidottu ja asioille on annettu mahdollisuus muuttua. Ajatus lopullisuudesta ja viimeisestä vastauksesta eivät anna rakennuksen henkisyys toivottua vapautta ja haluankin, että rakennuksen koaminen on verrattavissa keittiötuolin kasaamiseen.

Näiden rajausten lisäksi suuri haluni on päästä tulevaisuudessa rakennus vielä rakentamaan, joten suunnittelun erivaiheissa on pakko tarkastella rakentamisen realiteetteja ja pitää suunnittelu aisoissa. Suuria uhrauksia ei tule, sillä monesta ongelmasta selviää jo pelkästään rakenneosien koon alaspäin skaalaamisella.

Tämän vuoksi ideoideni ja suunnitelmieni lopullinen ilmentymä tulee olemaan pieni saunamökin kaltainen rakennus. Rakennuksesta löytyy kuvia liitteestä 6.

5.2 Seinärakenteen toimintaperiaate

Tiiveys on toimivan seinärakenteen tärkeimpiä ominaisuuksia ja tiiveyden tulee säilyä rakenteessa sen koko suunnitellun käyttöajan ajan. Tiiveyden varmistaminen pystyhirsiseinärakenteessa on suunnittelun yksi suurimmista haasteista, sillä kokonaisena materiaalina hirsi kutistuu kuivumistaan ja tämän johdosta hirsien välille avautuvat ilmaratot kuivumisen edetessä (kuva 7).

PYSTYHIRSISEINÄ

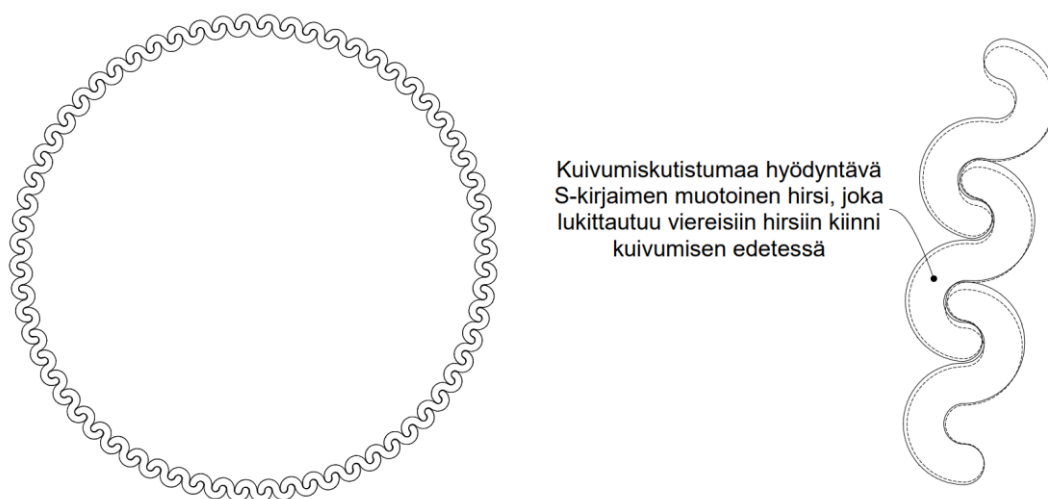


Kuva 7. Vuotava pystyhirsirakenne (Kuva: Roni Marjomaa)

Puun kuivumiskutistumista ei tule käsittää ongelmana, vaikka se näennäisesti aiheuttaa suurimman haasteen suunnittelulle. Kutistuminen tulee sen sijaan nähdä ominaisuutena, sillä tällä ominaisuudella on oikein hyödynnettynä mahdollisuus kumota kaikki tiiveyteen liittyvät haasteet ja lisäksi mahdollisesti jopa parantaa rakenteen tiiveyttä. Ominaisuuden voima on helppo havainnollistaa seuraavalla esimerkillä. Kuvitellaan, että meillä on puinen kettinki, jonka jokainen osa on valmistettu kokonaan puusta. Nyt kuvitellaan ketjun toinen pää

tiukasti kiinnitetyksi esimerkiksi kattoon ja ketjun vapaaseen päähän kevyt punnus. Kun aika kuluu, alkaa ketju ikään kuin itse nostamaan punnusta ylöspäin sillä kettingin jokainen pala kutistuu kuivumisen edetessä. Havainto on mielenkiintoinen, sillä puun kuivumiskutistumisen yleisesti tunnetut seuraukset ovat usein päinvastaisia. Seuraukset liittyvät rakojen muodostumiseen ja ylipäänsä tiukan ja tiiviin liitoksen menetykseen.

Itsestään tiivistyvän seinärakenteen toiminnan edellytyksenä voidaan pitää suunnittelemani mallissa kahta päätekijää. Rakennuksen pohjan tulee olla ympyrän muotoinen, jolloin kuivumisen seurauksena yksittäiset hirret muodostavat yhdessä ketjun, joka pyrkii supistumaan ympyrän keskipistettä kohti jokaisesta suunnasta tasaisesti, ja näin ollen tiivistämään rakenteen. Toinen tekijä liittyy jo aikaisemmin mainittuun ketjureaktioon. Hirsien poikkileikkausprofiili tulee muotoilla niin, että hirret pystyvät lukittautumaan toisiinsa, jotta kuivumisen seurauksena syntyvä ketjureaktio on mahdollinen (kuva 8).



Kuva 8. Itsestään tiivistyvän rakenteen toimintaperiaate (Kuva: Roni Marjomaa)

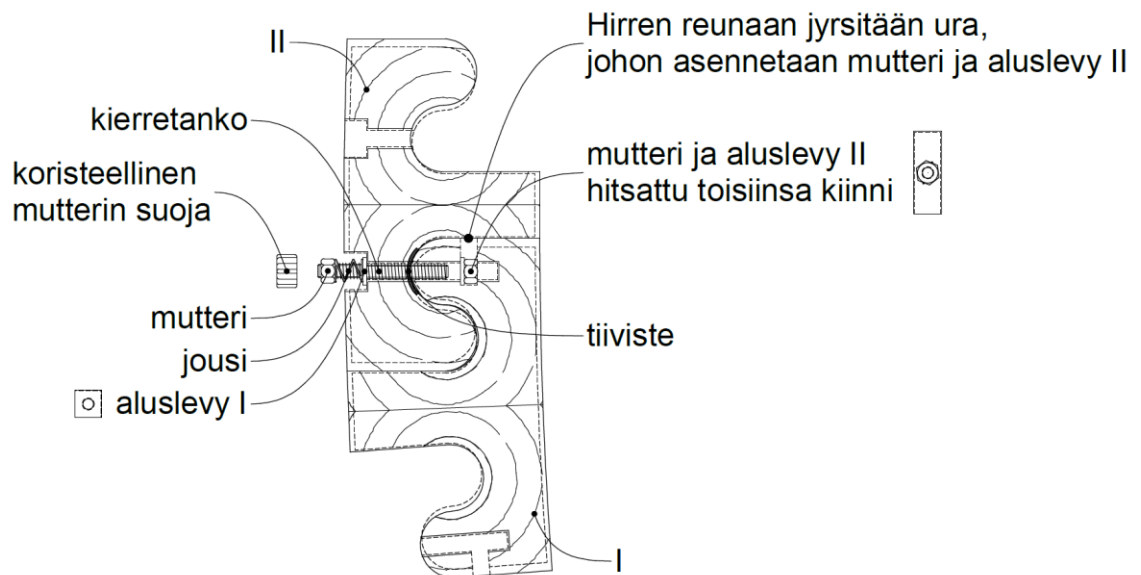
S-kirjaimen muotoinen poikkileikkausprofiili mahdollistaa hirsien lukittautumisen toisiinsa toivotulla tavalla. Voit havainnollistaa liitoksen toimintaa koukistamalla molempien käsien sormet ja asettamalla sormien muodostaman koukun vastakkaisen käden sormien muodostamaan koukuun, jonka jälkeen vedä käsiäsi eri suuntiin ja tunnet liitoksen voiman. Kokonaisuudessaan rakenne toimii ”together

as one” periaatteella, jossa liitoksen yksittäisistä osista tulee voimallisia ainoastaan silloin, kun ne toimivat kaikki yhdessä, kokonaisena ketjuna.

S-kirjaimen muoto havainnollistaa erinomaisesti rakenteen toimintaperiaatetta, mutta sen esteettiset ja käytännölliset ominaisuudet eivät kuitenkaan vielä vastaa lopputuotteen vaatimuksia.

5.3 Profiili

Pitkän suunnittelutyön jälkeen päädyin kruununmuotoiseen poikkileikkausprofiiliin, joka saavutti kaikki sille asettamani tavoitteet (kuva 9). Rakenne koostuu tarkemmin ottaen kahdesta erilaisesta profiilista, jotka vuorottelevat rakennuksen kehällä toinen muodostaessa sisä- ja toinen ulkokehän. Rakennuksen sisä- ja ulkopinnasta muodostuvat näin kauniit kaaret, jotka jäljentävät eheää ympyrän muotoa.



Kuva 9. Pyöreän pystyhirsirakennuksen seinähirsi (Kuva: Roni Marjomaa)

Muotoilu mahdollistaa hirsien lokahtamisen paikoilleen kuin itsestään ja luo hirsistä näin yhtenäisen ketjun. Ketju viimeistellään vielä yksinkertaisella pulttiliitoksella, jossa hirret solmitaan pulteilla toisiinsa. Nyt käsissämme on puun

kuivumiskutistumaa tiiveyden parantamisessa hyödyntävä seinärakenne. Rakenteen kokoamisohje on esitetty kuvassa kymmenen (kuva 10).

1

Hirren nro. 1 jyrskyihin uriin asennetaan kierretankojen vastakappaleet, jotka koostuvat yhteen hitsatusta mutterista ja aluslevystä. Aluskappaleet asennetaan 500millimetrin välein.

2

Hirren nro. 1 poikkileikkauksen kumpujen päihin asennetaan tiiviste.

3

Kierretangot pyöritetään kiinni kohdassa 1 asennettuihin vastakappaleisiin.

4

Hirsi nro. 2 pujotetaan hirren nro. 1 kierretankoihin ja painetaan kiinni hirttä nro. 1 vasten.

5

Kierretankoon pujotetaan aluslevy, jousi ja päälle kierretään mutteri.

6

Liitos viimeistellään kiristämällä mutteria niin pitkään kunnes hirsien sauma on tasainen. Muttereita kiristetään pikkuhiljaa jokaisesta hirren liitoskohdasta tasaisesti, jotta tahattomilta pinnityksiltä vältyttäisiin.

7

Mutterin päälle asennetaan koristeellinen mutterinsuoja.

Kuva 10. Rakennuksen kokoamisohje (Kuva: Roni Marjomaa)

Tässä vaiheessa on hyvä ottaa muutama askel taakse ja siirtyä suunnittelupöydältä kokonaan pois ja tarkastella rakentamisen realiteetteja. Nopeasti voi huomata, että kappaleen valmistaminen voi hyvinkin olla mahdollista ainoastaan käsityönä ja tällöinkin suuri määrä materiaalia joutuu työstöjätteeksi. Ongelman suuruutta voidaan kuitenkin säännöstellä profiilin kokoa muuttamalla ja lisäksi

profiili on mahdollista valmistaa useammasta osasta niin, että rakenteen toimintaperiaate ei tästä kärsi.

Kustannusten kokonaisvaltaisessa tarkastelussa on kuitenkin muistettava, että rakennuksen muodolla ja seinähirren profiililla on etuja tavanomaiseen rakennukseen nähden. Rakennuksen parempi tiiveys on vielä teorian tasolla, mutta pienempi tuulikuorma ja seinien pinta-ala ovat todellisia etuja. Nämä seikat tulisi siis myös ottaa kustannusten arvioinnissa huomioon, sillä vaikka hirren työstäminen olisikin kalliimpaa, voivat nämä seikat kääntää tilanteen täysin päin vastaiseksi myöhemmissä rakentamisen vaiheissa.

5.4 Profiilin valmistaminen

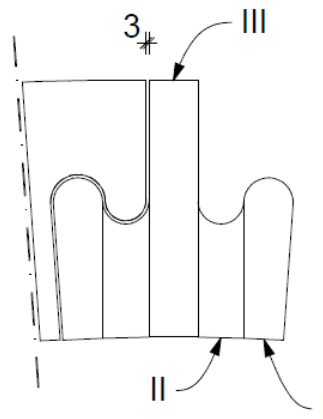
Yksi haastavimmista hirsiprofiilin suunnittelun osa-alueista on ollut hirsiprofiilin valmistettavuuden suunnittelu. Lähtökohtaisesti ajatukseni oli pitää profiili niin yksinkertaisena, että hirren valmistaminen onnistuisi kesämökkityömaalla ainoastaan sahan ja kirveen avulla. Asetin profiilille kuitenkin paljon ominaisuuksia, jolloin profiilin muoto saavutti nopeasti pisteen, jossa oli tehtävä valinta ominaisuuksien ja valmistettavuuden välillä, jommastakummasta oli annettava hieman periksi. Ominaisuuksista en ollut valmis luopumaan, joten profiilin valmistaminen on tehtävä lamellitekniikalla, jossa profiili liimataan kokoon useammasta lamellista. Liimaaminen vie valmistamisen pois kesämökki työmaalta, sillä rakenteellisten liimausten tekeminen on luvanvaraista toimintaa, joka ei talkootyömaalle sovellu.

Liimatun sahatavaran valmistamiseen on laadittu standardi SFS-EN 14080, joka ohjaa tuotteen valmistusta. Käydään seuraavaksi standardia läpi ja nostetaan sieltä esiin työn kannalta olennaisimmat kohdat, jotka vaikuttavat itse profiilin suunnitteluun. Ensimmäinen ja ehdottomasti tärkein kohta asettaa vaatimuksen profiilin poikkileikkauksen mitoille, sekä lamellien määrälle ja paksuudelle. Poikkileikkauksen mitat saavat olla enintään 280 mm ja poikkileikkaus tulee koostaa kahdesta viiteen lamellista, joiden paksuus tulee olla yli 45 mm ja korkeintaan 85 mm. Tämän ohjeistuksen pohjalta suunnitelmani on ottaa heti käyttöön

sallitut maksimitat, eikä alkaa tässä vaiheessa vielä liiksi optimoimaan dimensioita, sillä tässä vaiheessa ei ole vielä tiedossa millaisia lujuusominaisuuksia tai esimerkiksi lämpöteknisiä ominaisuuksia rakenteelta vaaditaan. Toimintamalli testaa profiilia tehokkaasti ja nopeasti, sillä mikä ei näillä dimensioilla ole mahdollista, ei ole mahdollista ollenkaan (kuva 11).

Liimattu sahatavara

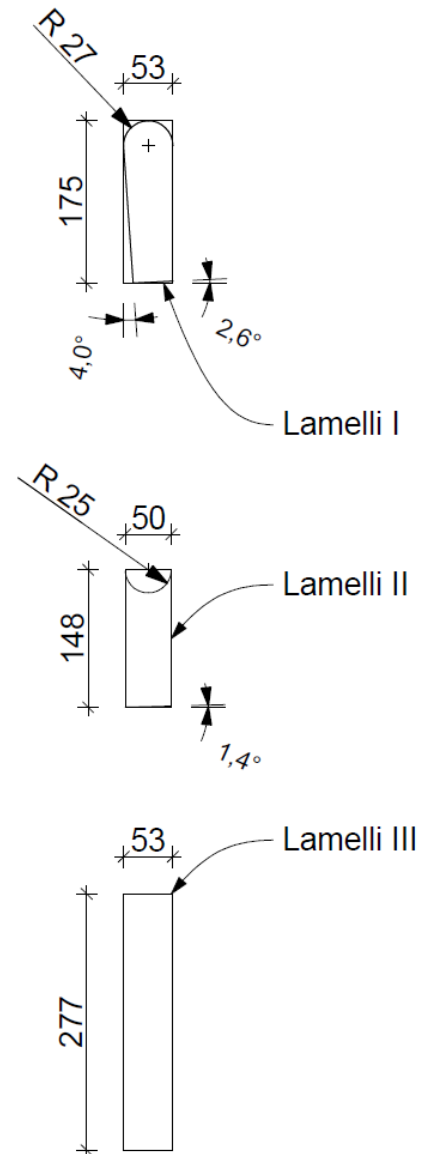
Puulaji: Pinus sylvestris (PNSY)
Lujuusluokka: C24



Saumassa otettu huomioon
suurin sallittu mittapoikkeama ($\pm 1.5\text{mm}$)

Liimauksessa käytetään
kosteutta kestävää yksikomponentti
polyuretaaniliimaa (PUR)

Sahatavaran kosteuspitoisuus
liimaushetkellä 15%



Kuva 11. Profiilin valmistuskaavio (Kuva: Roni Marjomaa)

Toinen olennainen kohta liittyy liimatun puutavaran suurimpiin sallittuihin mittapoikkeamiin, joka määrittää tuotteen paksuuden ja leveyden suurimmiksi sallituksi mittapoikkeamaksi $\pm 1.5\text{ mm}$. Tämä poikkeama tulee ottaa huomioon

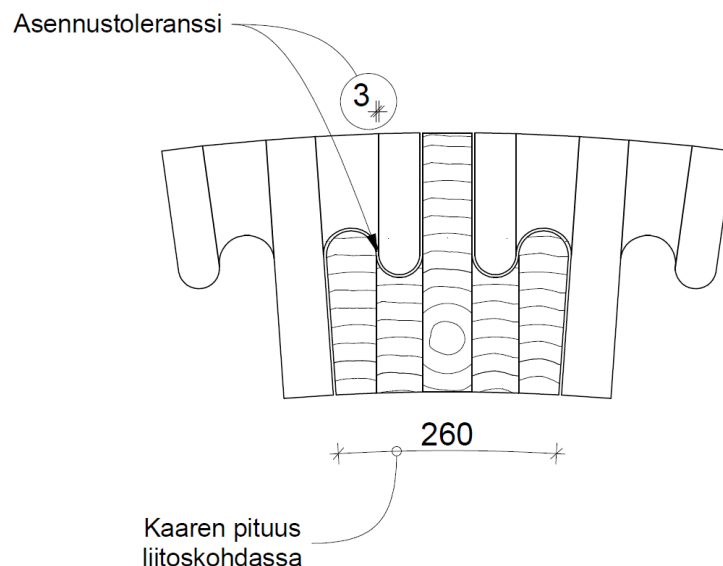
kaikissa kohdissa, joissa on vaarana, että tämän suuruinen mittapoikkeama tekee tuotteiden yhteen asentamisesta mahdotonta.

Viimeinen kohta rajaa liimattavan puutavaran kosteuspitoisuuden välille 6–15 %. Tämä tieto tulee käyttöön vasta seuraavassa kappaleessa, jossa määritetään hirsien kutistumisesta aiheutuva hirsien välillä rakennetta tiivistä voima.

5.5 Rakenteen tiivistyminen

Profili on nyt saanut dimensiot ja on aika laittaa se vielä viimeiseen testiin.

Tässä kappaleessa tutkimme teorian tasolla, onko kuivuman aiheuttama kutistuma tarpeeksi suurta, jotta se riittää tiivistämään rakenteen asennustoleransseista huolimatta, yhtenäiseksi tiiviiksi rakenteeksi. Hirsien asennusaikainen kosteuspitoisuus on 15 % ja asennuksen jälkeen oletamme, että kosteuspitoisuus putoaa 9,5 %:iin sisällä vallitsevien olosuhteiden seurauksesta.



Kuva 12. Rakenteen asennusaikainen tilanne (Kuva: Roni Marjomaa)

Kuten olemme oppineet, puu kutistuu eri suuntiin eri tavoin, joten tämä ominaisuus on syytä ottaa lamellien ladonnassa huomioon (kuva 12), jotta kutistuman suuruus voidaan maksimoida ja näin varmistua rakenteen toiminnasta. Puu kutistuu eniten vuosirenkaan tangentin suunnassa, jolloin maksimi kutistuma on 8 %. Tämä maksimikutistuma saavutetaan, kun puu kuivuu 30 %:in

kosteuspitoisuudesta nollaan. Tämä 8 %:in maksimi kutistuma voidaan jakaa 30:llä, jotta saadaan selville, kuinka monta prosenttia puu kutistuu, kun puun kosteus putoaa yhden prosentin. Tämän laskutoimituksen tuloksena saamme, että jokaista 1 % kosteuspitoisuuden muutosta seuraa 0,267 %:in kutistuma. Profiilin kutistuman kannalta tämä tarkoittaa 1,47 %:in kokonaiskutismaa, sillä profiili kuivuu kosteuspitoisuudesta 15 % pitoisuuteen 9,5 %.

Yhden hirren on kutistuttava yli 3 mm, eli 1,5 mm molemmilta puolilta, jotta rakenteen kaikki hirret yhdistyvät toisiinsa tiivisti. Kaaren pituus liitoskohdassa on 260 mm ja tästä pituudesta 1,47 %:in kutistuma vastaa 3,82 mm, joten voimme tehdä johtopäätöksen, että kiinni on ja pysyy.

6 Rakennesuunnittelu

6.1 Suunnitteluprosessin kuvaus

Rakennesuunnittelu on useiden eri osa-alueiden suunnittelua ja yhteensovittamista, jonka lopputuloksena on teknisesti toimiva rakennus. Esimerkiksi sadeveden johtaminen katolta kaivoon on yhtä lailla rakennesuunnittelua, kuin puupilarin kantavuuden määrittäminen. Kaikki alueet eivät kuitenkaan ole täysin eksaktia tiedettä, sillä sadeveden saa katolta alas lukuisilla eri keinoilla, mutta puupilarin kantavuus ei ole mielipiteestä kiinni. Yksikään puu metsässä ei ole tietenkään samanlainen, joten kahta täysin samaa kuormaa kantavaa puupilaria ei myöskään ole olemassa. Tämä johtaa siihen, että tutkimukset ja ennen kaikkea kokemus ovat suuria eteenpäin johdattavia voimia rakennustekniikan saralla. Lisäksi ilmasto-olojen muuttuessa rakennukset voivat kohdata paljon suurempia kuormituksia, kuin niille on alun perin suunniteltu.

Jokaisen osa-alueen suunnittelu on syytä aloittaa tunnistamalla ja kartoittamalla ongelma, jota yritämme ratkaista ja lisäksi selvittää minkälaisia luontaisia ominaisuuksia ongelmaan liittyy. Esimerkiksi sadeveden reitin suunnittelussa voidaan käyttää painovoimaa apuna ja näin ollen hyödyntää kaltevia tasuja veden

siirtoreiteillä. Vastaavasti rakenneosien kantavuusmitoituksissa tulee ymmärtää, mitä eri kuormitustilanteissa rakenneosille tapahtuu. Tilanne, jossa puupilaria kuormitetaan päältäpäin, pitää sisällään useamman eri kantavuuden menetystavan. Pilari voi painua kasaan tai todennäköisemmin se taipuu johonkin suuntaan ja lopulta katkeaa. Tai mikäli kuormitus on verrattain suurta, on mahdollista, että pilari painuu ylä- tai alapuolella olevaan rakenteeseen.

6.2 Kuormien siirtyminen rakenteissa

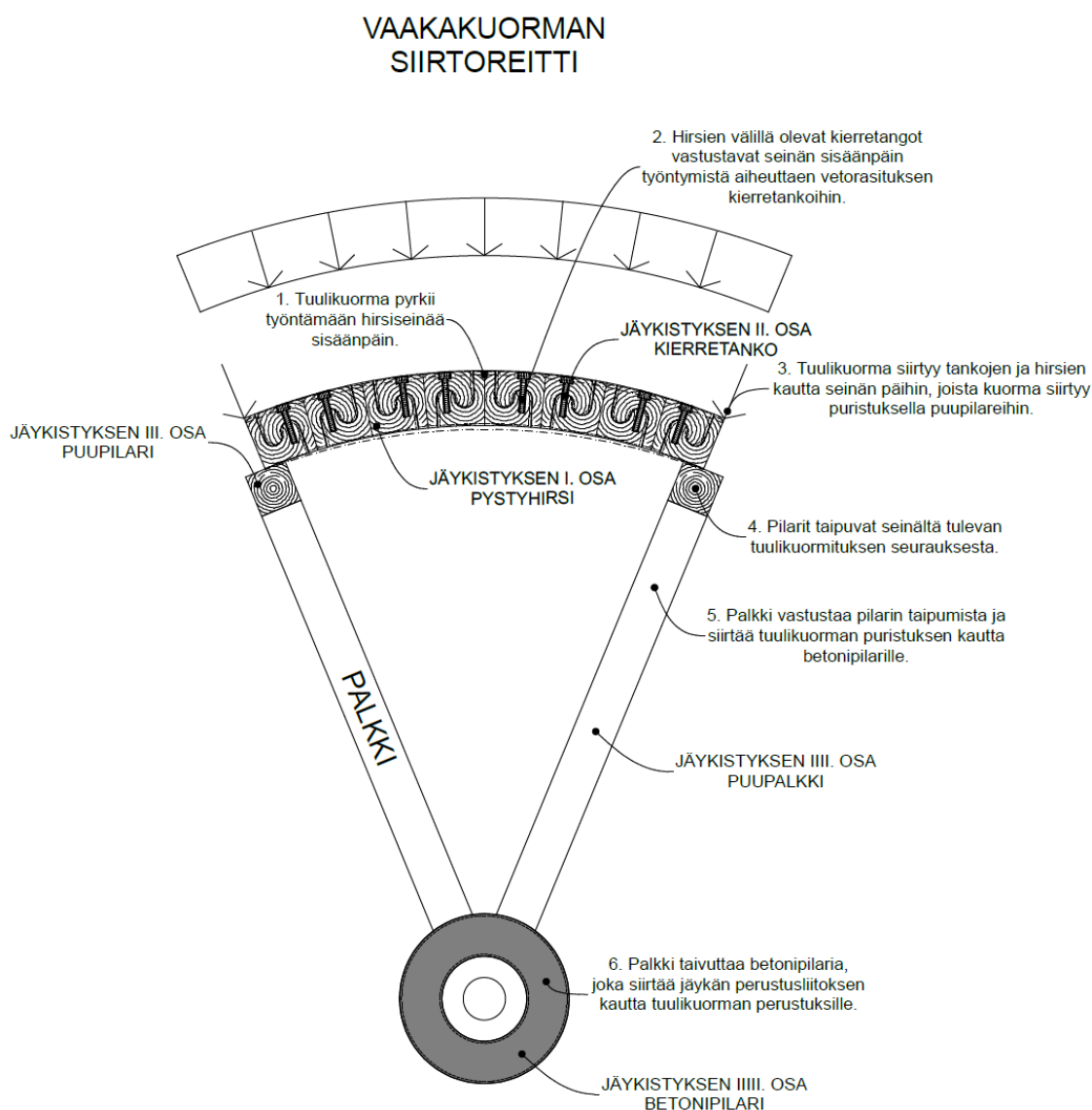
Ennen rakenteiden varsinaisia kantavuusmitoituksia on ensiarvoisen tärkeää ymmärtää minkälaiset kuormitukset rakenteisiin kohdistuvat, mistä suunnasta ne tulevat ja kuinka kauan ne rakenteisiin vaikuttavat.

Tätä rakennesuunnittelun haaraa voidaan pitää taisteluna luonnonvoimia vastaan, jossa meillä on vastassa kolme päävihollista. Ensimmäinen vastuksemme on lumi, joka yrittää kaikin voimin painaa rakennuksemme kasaan. Toinen vastus on tuuli, joka yrittää puhkua ja puhaltaa talomme kumoon. Viimeinen vastus ei suoranaisesti kuormita rakenteita vaan syö niiltä kantokyvyn varoittamatta. Viimeinen vastus on tuli. Tulta vastaan pärjäävät vain rakennusmateriaaleista kovimmat ja suunnittelijoista taidokkaimmat.

Olen tehnyt rakennukseen kohdistuvista vaaka- ja pystykuormista selkeät kaaviot, jotka sisältävät numeroituina kuorman siirtoreitin osat, sekä pienen sanallisen selityksen siitä, kuinka kyseinen osa kuorman siirtoreitillä toimii. Kaaviot auttavat hahmottamaan rakennuksen toimintaa kokonaisuutena ja varmistamaan, ettei rakenteisiin jää mitoittamatonta heikkoa lenkkiä.

Ensimmäinen kaavio kuvastaa tuulikuorman siirtymistä rakennuksessa (kuva 13). Reitin ensimmäinen piste on kohta, johon tuuli ensimmäisenä osuu ja tämän jälkeen reitille lisätään niin monta välipistettä, että kuorma saadaan siirrettyä maaperään asti. Yksinkertaisella esimerkillä tilannetta on helppo havainnollistaa (kuva 14).

Asetetaan ensin kovakantinen kirja työpöytämme päälle pystyyn. Nyt, tuo sormeasi hitaasti kohti kirjan kantta ja työnnä kirja kumoon. Aseta kirja uudelleen pystyyn, mutta tällä kertaa aseta kynä kirjan takakantta vasten niin, että kynän toinen pää tukeutuu pöydän kantta vasten. Kynän ja kirjan tulisi muodostaa suorakulmainen tasakylkinen kolmio. Tue kynää toisella kädelläsi ja tuo taas toisen käden sormeasi hitaasti kohti kirjan kantta ja yritä työntää kirja kumoon. Kirja ei kaadu enää, olet jäykistänyt rakenteen.

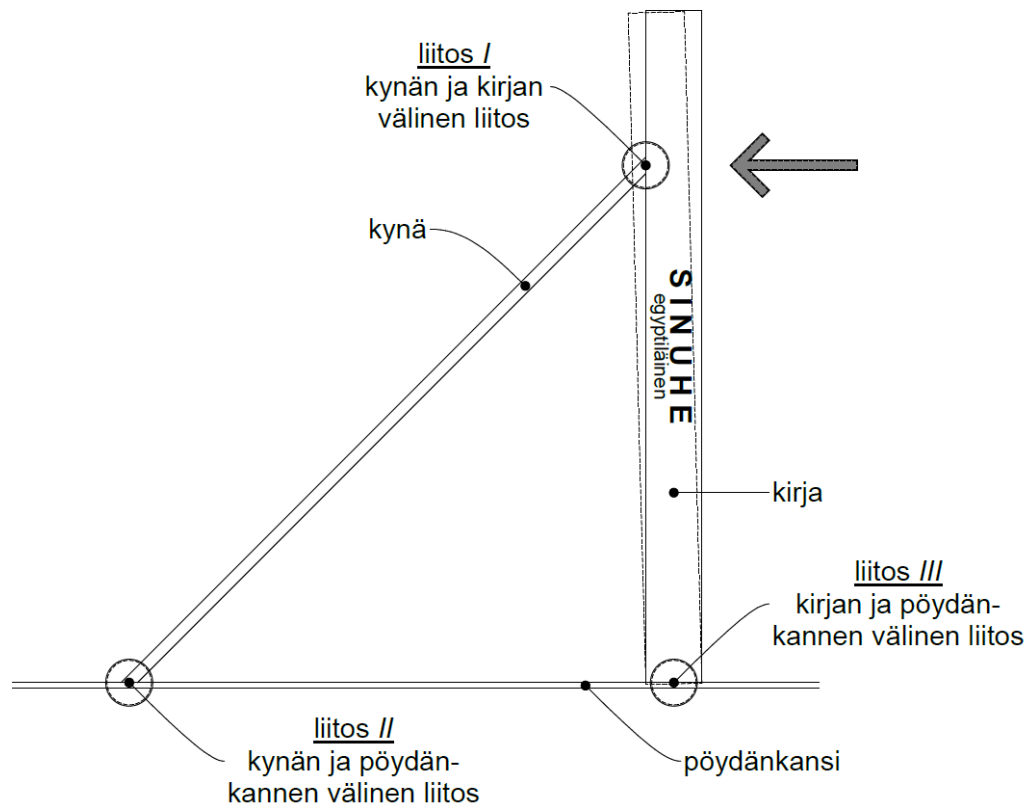


Kuva 13. Vaakakuorman siirtoreitti (Kuva: Roni Marjomaa)

Rakenteen osat olivat esimerkissämme kirja, kynä ja pöydän kansi. Näiden osien täyden mittakaavan verrokkit voisivat olla esimerkiksi: seinä, vinotuki ja perustukset. Tärkeintä on kuitenkin huomata, että prosessin periaate on täysin

sama, vaikka komponentit vaihtuvatkin. Ainoana erona mitoituksessa tulisi kiinnittää huomiota vielä eri osien liitosten kestävyys. Esimerkissä pidit kynää paikallaan niin, ettei kynän ylä- tai alapää päässyt liikkumaan, joten nämä liitokset kaipaavat mitoitetut liitososat.

Syventääksemme vielä prosessin ymmärtämistä, esitetään muutamia kysymyksiä itsellemme prosessista. Mitä jos kynän paikalle vaihdetaan ohut puutikku, on todennäköistä, että tikku katkeaa. Tai vaihdetaan pöytätaaso ohueksi pahviksi. Kirja ja kynä kestävät voiman, mutta rakenne alkaa painautumaan heikon pahvin sisään. Voimme tehdä tästä johtopäätöksen ja sanoa, että kuorman siirto-reitti on ymmärrettävä kokonaisuudessaan ja sen jokaisen osan on kyettävä siirtämään kuormaa eteenpäin aina maaperään asti. Unohtamatta, että itse maaperän täytyy myös kestää kuormitus.

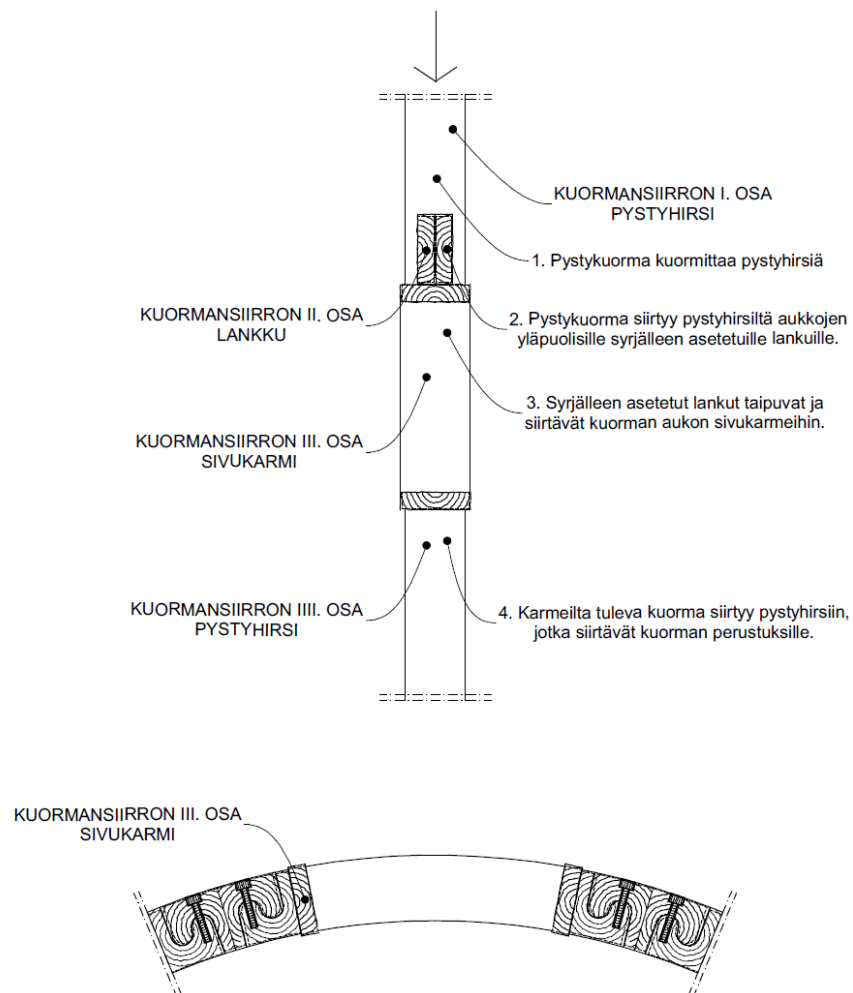


Kuva 14. Jäykistysesimerkin hahmotuskuva (Kuva: Roni Marjomaa)

Toinen kaavio kuvastaa pystysuuntaisten kuormien siirtymistä rakennuksessa (kuva 15). Näitä kuormia ovat esimerkiksi lumikuorma ja rakenneosien painosta

aiheutuva rakennekuorma. Pystykuormien siirtämisessä epäkeskisyys on kanta-
vuuden näkökulmasta pahinta myrkkä. Kuorman epäkeskeisestä sijainnista ai-
heutuu rakenneosaan puristavan voiman lisäksi taivuttava voima, joka selittää
tilanteen epäedullisuutta.

PYSTYKUORMAN SIIRTOREITTI



Kuva 15. Pystykuorman siirtoreitti (Kuva: Roni Marjomaa)

Tilannetta on helppo havainnollistaa seuraavalla esimerkillä. Jos asetamme
hammastikun keskisormen ja peukalon väliin ja alamme puristaa tikkua kasaan.
Tikku ei painu kasaan, vaan se nurjahtaa johonkin suuntaan ja tämän myötä
katkeaa. Epäkeskinen kuormitus lisää huomattavasti nurjahtamisherkkyyttä, jo-
ten kuormat on pyrittävä siirtämään mahdollisimman keskeisesti eri rakenne
osien välillä.

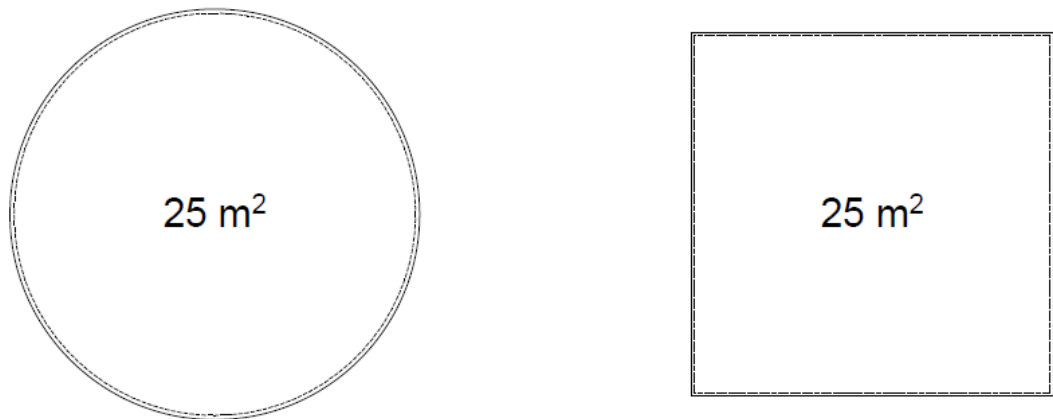
7 Tuulikuorman määrittely ja vertailu

Rakennuksen tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa ensisijaisesti rakennuksen sijainti -koko ja -muoto. On ymmärrettävää, että meren rannalla sijaitsevaan rakennukseen kohdistuu huomattavasti kovempi tuulikuormitus, kuin vastaavasti kaupungin keskustassa suurien kerrostalojen suojissa sijaitseviin rakennuksiin. Kysymys on siis esteiden määrästä ja -suuruudesta, jotka tuulen tielle asettuvat ja näin pienentävät kuorman suuruutta. Sijainnin yhteydessä rakennuksen tuulikuormaan vaikuttaa lisäksi maaston kaltevuus, sillä mäen päälle sijoitetun rakennuksen tuulikuorman suuruus on tasaiselle sijoitettua suurempi.

Rakennuksen koon vaikutuksesta saa hyvän mielikuvan miettimällä erikokoisten purjevereiden seilaustehokkuutta. Suuri purjeiset veneet kykenevät siirtämään suuria ja raskaita veneitä tai vaihtoehtoisesti pieniä veneitä todella nopeasti. Emme tietenkään halua rakennusten lähtevän seilaamaan, joten rakennukset tulee ankkuroida niille sijoilleen. Viimeinen keskeinen tekijä on rakennuksen muoto. Suorakaiteen muotoiset rakennukset ovat tästä näkökulmasta katsottuna huonoin mahdollinen rakennustapa. Ei ole yhdentekevää, että metsiemme puut ovat pyöreitä, sillä neliön muotoisena niiden ankkurointi, tässä tapauksessa juuret tulisivat sijaita paljon syvemmillä ja laajemmin levittäytyneenä.

Tässä osiossa vertailemme tuulikuorman suuruutta neliön- ja pyöreän rakennuksen välillä (kuva 16). Rakennusten koot valitaan niin, että pohjan pinta-ala on 25 neliömetriä ja korkeus 5 metriä. Kyseisellä pinta-alalla ympyrän halkaisijaksi tulee likimain 5,642 metriä (b_{ys}) ja neliön sivun mitaksi 5 metriä (b_n). Ympyrän muotoisessa rakennuksessa pinta-ala ei kuitenkaan ole niin tehokkaassa käytössä kuin vastaavasti neliön muotoisessa rakennuksessa, joten oikeudenmukaista määrittelyä on hankalaa tehdä. Tällä pinta-ala määrittelyllä ympyrän muotoiseen rakennukseen kuluu noin 12 prosenttia vähemmän rakennusmateriaalia seinärakenteen osalta, joten voisi olettaa, että pienempi määrä seinärakennetta johtaa myös pienempiin kuormituksiin ja vertailu on alusta asti epäoikeudenmukainen.

Neliön muotoisen rakennuksen piiri on 20 metriä ja ympyrän muotoisen rakennuksen noin 17,725 metriä, kun rakennuksen pohjan pinta-ala on 25 neliömetriä. Ympyrän piiriä tulisi siis kasvattaa 2,275 metriä, jotta seinärakenteiden metrimäärä täsmäisi rakennusten välillä. Tämä muutos johtaa kuitenkin siihen, että ympyrän pinta-ala kasvaa noin 28 prosenttia ja on nyt likimain 32 neliömetriä. Tämä muutos ei taas tee oikeutta ympyrälle, joten suoritetaan ensimmäinen laskelma käyttämällä molempien rakennusten kohdalla 25 neliömetrin pohjan pinta-alaa ja otetaan nämä lisäseikat huomioon tulosten analysoinnissa.



Kuva 16. Pyöreä- ja neliörakennus (Kuva: Roni Marjomaa)

Varsinainen tuulikuorma määritetään käyttämällä voimakerroin menetelmää, jossa rakennukselle määritetään voimakerroin, joka ottaa huomioon rakennuksen ominaisuudet ja antaa kertoimen tuulikuorman suuruudelle. Tuulikuorma määritellään voimakerroinmenetelmällä käyttämällä kaavaa 1. (SFS-EN 1991-1-4, 2011, 44.)

$$F_w = c_{f.0} \times \psi_\lambda \times q_p(h) \times A_{ref} \quad (1)$$

missä $c_{f.0}$ on rakennuksen voimakerroin
 ψ_λ on päätevaikutuskerroin
 $q_p(h)$ on rakennuksen korkeutta h vastaava tuulen nopeuspaine
 A_{ref} on rakennuksen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

Yhtälön ratkaisu F_w kuvastaa kokonaistuulikuormaa, joka yrittää kaataa rakennusta kumoon. Kokonaistuulikuorma ilmoitetaan yksikössä Newton, jonka tunnus on N .

Tehtävä on nyt selvillä ja seuraavaksi kaavan eri termeille on löydettävä arvot, jotka vastaavat rakennuksen ominaisuuksia. Seuraavissa kappaleissa käsitellään yhtä termiä kerrallaan ja selvitetään miten jokainen yksittäinen komponentti kokonaisuuteen vaikuttaa ja mitkä ilmiöt arvojen suuruuksia säätelee. Liitteessä 4 on esitetty kaikki laskutoimitukset vielä ratkaisuihin, josta voi seurata vielä numeerisesti prosessin kulkua.

7.1 Maastoluokka ja tuulen nopeuspaine

Tuulikuormituksen määrittäminen alkaa maastoluokan valinnalla ja tuulen nopeuspaineen määrittämisellä. Tässä vaiheessa tulee selvittää, minkälaisessa ympäristössä rakennus sijaitsee, sekä määrittää rakennuksen korkeus.

Rakennuksen ympäristön vaikutus otetaan huomioon maastoluokalla. Maastoluokka valitaan viidestä eri luokasta, sen mukaan mikä luokka jäljentelee parhaiten rakennuspaikan olosuhteita. Kuvilla varustetut määrittäykset eri maastoluokille on esitetty liitteessä 1. Maastoluokat kuvaavat sitä, kuinka rosoinen rakennusta ympäröivä maasto on. Rosoisuus kuvastaa kaikkia mahdollisia tuulen tielle asettuvia esteitä, kuten kasvillisuutta tai rakennuksia. Mitä rosoisempi ympäröivä maasto on, sitä enemmän tuuli joutuu tiellään taistelemaan, ennen kuin saavuttaa itse rakennuksen. Rosoisuus siis suojaa rakennuksia tuulelta aivan samoin kuin muurit ovat suojanneet linnoja hyökkäyksiltä.

Rakennuksen rakennuspaikkaa ei ole määritetty, joten ympäristön vaikutus on tuntematon. Tämän vuoksi valitaan maastoluokka 0, jossa esiintyy vaativimmat olosuhteet, tuulen päästessä puhaltamaan esteettömästi suoraan mereltä. Maastoluokan valinnan jälkeen määritetään tuulen nopeuspaine. Tuulen nopeuspaine on suoraan kytköksissä valittuun maastoluokkaan ja rakennuksen korkeuteen. Maastoluokassa 0, tuulen nopeuspaine määritellään kaavalla 2.

Nopeuspaineen yksikkö on $\frac{kN}{m^2}$. Tuulennopeuspaineen määrittämissä maastoluokissa on esitetty liitteessä 1.

$$q_p(h) = 0,00893 \times \left[\ln \left(\frac{\max(1, h)}{0,003} \right) \right]^2 + 0,0625 \times \ln \left(\frac{\max(1, h)}{0,003} \right) \quad (2)$$

missä h on rakennuksen korkeus (5m)

7.2 Rakennuksen voimakerroin

7.2.1 Ympyräsyylinterin muotoisen rakennuksen voimakerroin

Voimakerroin määritetään ympyräsyylinterin muotoiselle rakennukselle käyttämällä kaavaa 4. Liitteessä 2 on esitetty kokonaisvaltainen voimakertoimen määrittäminen diagrammi. Kaavan käyttöä varten tulee kuitenkin ensin määrittää Reynoldsin luku ja pinnan karheusmitta. Pinnan karheusmitta määräytyy rakennusmateriaalin mukaan ja eri arvoja on taulukoitu liitteessä 3. Pinnan karheus lisää rakennuksen tuulen vastusta, sillä tuuli ei pääse vapaasti liukumaan rakenteen pintaa pitkin vaan tarttuu ikään kuin kiinni materiaalin karheudesta.

$$Re = \frac{b_{ys} \times \sqrt{\frac{2 \times q_p(h)}{\rho}}}{\nu} \quad (3)$$

missä b_{ys} on ympyräsyylinterin halkaisija (5,642m)

$q_p(h)$ on rakennuksen korkeutta h vastaava tuulen nopeuspaine

ρ on ilman tiheys $\left(1,25 \frac{kg}{m^3}\right)$

ν on ilman kinemaattinen viskositeetti $\left(15 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right)$

$$c_{f.ys} = 1,2 + \frac{0,18 \times \log\left(10 \times \frac{k}{b_{ys}}\right)}{1 + 0,4 \times \log\left(\frac{Re}{10^6}\right)} \quad (4)$$

missä Re on Reynoldsin luku
 k on pinnan karheusmitta
 b_{ys} on ympyräsyylinterin halkaisija (5,642m)

Karheusmitan vaikutuksen hahmottamista varten tein laskelman muistivihkoni kulmaan, jossa vertailin saman rakennuksen lasista ja muurattua versiota. Laskelmasta kävi selville, että lasisen ja muuratun rakenteen välillä on noin 80 prosentin ero voimakertoimen suuruudessa. Suuremman voimakertoimen sai muuratturakenne, sillä sen karheusmitta on 2000 kertaa suurempi kuin lasin. Tulos on merkittävä, sillä 80 prosentin ero voimakertoimessa tarkoittaa suoraan myös 80 prosentin eroa kokonaistuulikuormassa. Muistivihon kulma on esitetty liitteessä 5.

7.2.2 Neliön muotoisen rakennuksen voimakerroin

Neliön muotoisen rakennuksen voimakertoimen määrittämistä varten tulee määrittää ensin rakennuksen seinien sivusuhte. Sivusuhte määritetään jakamalla tuulensuuntaisen sivun pituus, tuulta vastaan kohtisuoraan olevan sivun pituudella. Suorakulmion muotoisen rakennuksen kohdalla tämä johtaa siihen, että tuulen puhaltaessa eri sivuille, vaihtuu myös voimakertoimen suuruus sivun mukaan. Neliön muotoisella rakennuksella molempien suuntien tuulet saavat saman voimakertoimen, sillä neliön jokainen sivu on saman mittainen. Neliön muotoisen rakennuksen voimakerroin määritellään kaavalla 5, kun sivusuhteelle pätee ehto: $0.7 < sivusuhte \leq 1$. Kaava on johdettu liitteessä 2 esitetystä kokonaisvaltaisesta voimakertoimen määrittämisdiagrammista.

$$c_{f.0.n} = \frac{-10 \times \frac{x}{y} + 31}{10} \quad (5)$$

missä x on tuulen suuntaisen sivun pituus
 y on tuulta vastaan kohtisuoran sivun pituus

7.3 Päätevaikutuskerroin

Päätevaikutuskerroin ottaa huomioon rakennuksen yli tapahtuvan tuulen virtauksen, joka pienentää rakennuksen tuulen vastusta ja näin ollen myös rakennuksen kokonaistuulikuormaa (SFS-EN 1991-1-4, 2011, 136). Päätevaikutuskertoimen suuruuteen vaikuttaa kaksi eri tekijää, rakennuksen eheyssuhde ja tehollinen hoikkuus. Eheyssuhde määritetään kaavalla 6 ja se kuvastaa niimensä mukaisesti, kuinka eheä rakennus on. Määritelmä on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (6)$$

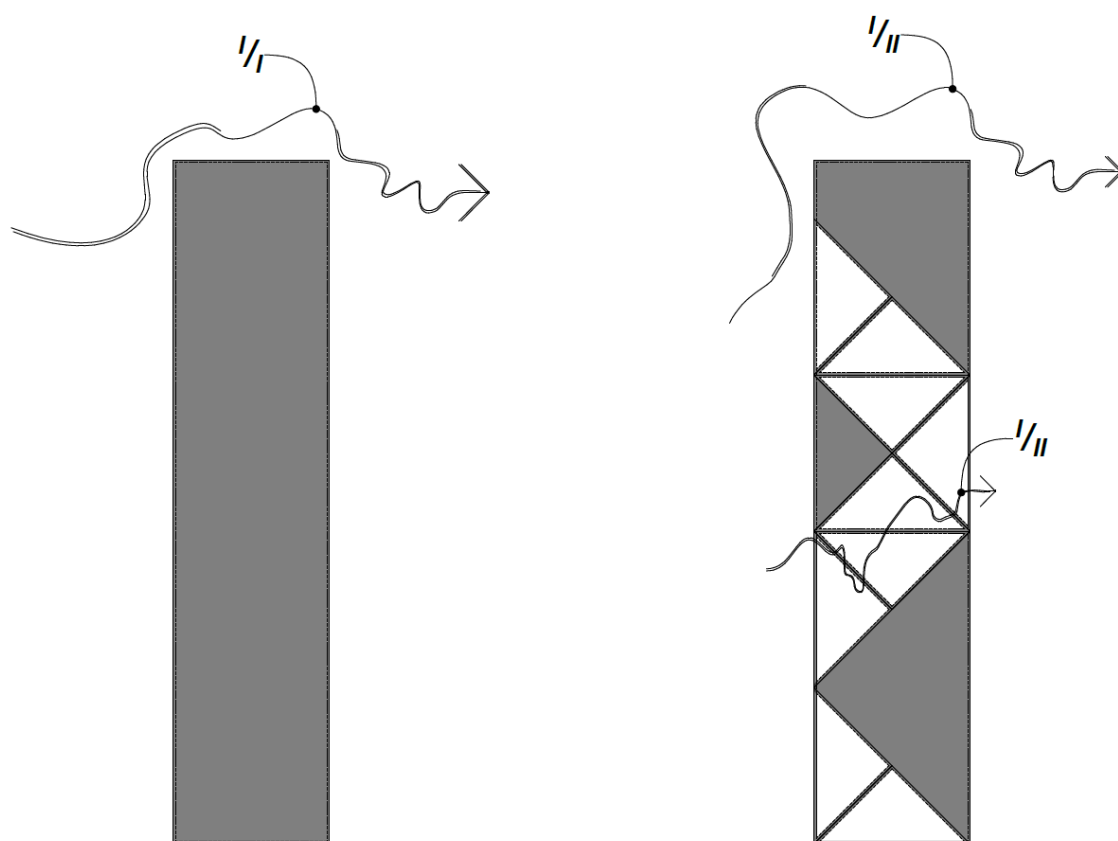
missä A on sauvojen projektioalojen summa
 A_c on koko rakenteen rajaaman alueen pinta-ala

Eheä rakennus on umpinainen, jossa ei esiinny rakennuksen läpi meneviä aukkoja, joista tuuli pääsisi puhaltamaan läpi. Vastaavasti, jos rakennus muodostuu osittain tai kokonaan sauvamaisista ristikkorakenteista, pääsee tuuli puhaltamaan rakennuksen läpi, jolloin rakennuksen yli virtaavan tuulen osuus pienenee (kuva 17). Mitä pienempi rakennuksen yli virtaavan tuulen osuus on, sitä suuremmaksi päätevaikutuskerroin kasvaa, joka taas nostaa kokonaistuulikuorman suuruutta.

Ilmiöstä herää esiin yksi kysymys ylitse muiden. Kuinka tämä yksittäinen kerroin tulee vaikuttamaan rakenteen kokonaistuulikuormaan? Vaikka rikkonainen rakenne saa suurempia päätevaikutuskertoimen arvoja, on eheyssuhteella toinenkin vaikutus. Sillä mitä pienempi eheyssuhde, sitä vähemmän rakennuksessa

on pinta-alaa, johon tuuli pääsee puhaltamaan ja tätä kautta kokonaistuulikuorma vastaavasti pienenee.

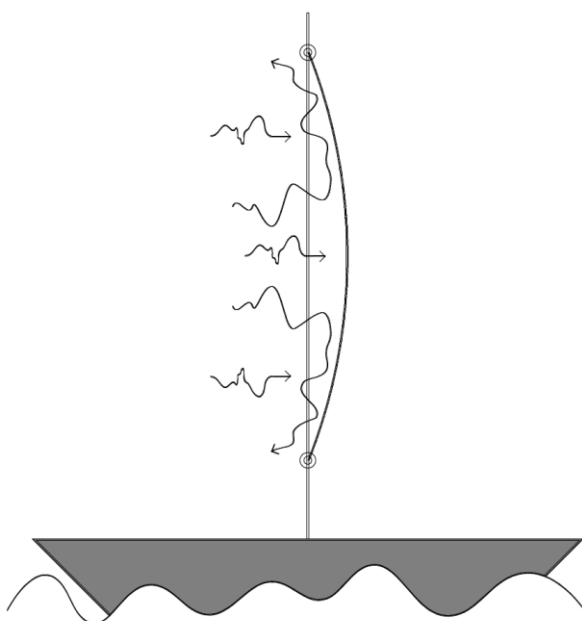
Kokonaiskuvan hahmottamisen vuoksi, tarkkaillaan tilannetta vielä purjeveneiden näkökulmasta. Purjeveneet tavoittelevat rakennuksista poiketen mahdollisimman suurta tuulikuormaa, jotta vene seilaisi mahdollisimman nopeasti. Mikäli rikkonainen rakenne johtaa suurempaan tuulikuormaan, tulisiko tällöin veneen purjeeseen tehdä reikiä, jotta seilausnopeus kasvaisi?



Kuva 17 Rakennuksen rikkonaisuus vähentää rakennuksen yli tapahtuvaa ilmavirtausta (Kuva: Roni Marjomaa)

Tein tilanteesta laskelman muistivihkoni kulmaan, jossa vertailin kahden eri rakennuksen kokonaistuulikuorman suuruutta. Rakennusten ominaisuudet ovat muuten täysin samat, paitsi eheysuhteiden osalta. Rakennusten eheysuhteet ovat 0,9 ja 1. Muistivihon kulma on esitetty liitteessä 5.

Rakennus, jonka eheysuhde on 0,9 sai laskelmani mukaan 20 prosenttia suuremman kokonaistuulikuorman arvon, kuin vastaavasti rakennus, jonka eheysuhde oli 1. Vastoin omia ennako-oletuksiani tämä todellakin tarkoittaa sitä, että esimerkin mukaisen rikkonaisen rakenteen kokonaistuulikuorma on eheää rakennetta suurempi. On kuitenkin syytä huomioida, että tilanne ei ole sama kaikilla eheysuhdeilla ja dimensioilla. Pitäisikö tämän tiedon pohjalta purjeveeneen purjeeseen tehdä reikiä? Tilanne ei ole yksinkertainen, sillä tavanomainen purje toimii ikään kuin pussina, johon purje kerää tuulta (kuva 18). Tämä pussimaisuus poistaa purjeesta päätevaikutuksen jo lähtötilanteessa, joten rikkonaisuus ei kasvata tässä tilanteessa kokonaistuulikuorman suuruutta.



Kuva 18. Purjevene (Kuva: Roni Marjomaa)

Siirretään todellisuus hetkeksi syrjään ja tarkastellaan tilannetta puhtaasti teorian kannalta. Vaihdetaan veneemme tavanomainen purje valtavan suureksi ja paksuksi teräslevyksi, joka ei pääse painumaan tuulikuorman seurauksesta pussille. Tässä tilanteessa puhtaasti teoriaan vedoten voidaan sanoa, että tekeillä teräslevypurjeeseen reikiä, saavutetaan suurempi seilausnopeus. Tuloksella ei sinällään ole mitään merkitystä, sillä teräslevypurjetta ei ole mitään järkeä todellisuudessa käyttää. Lisäksi esimerkin johtamisessa on mennyt varmasti useamman kerran puurot ja vellit sekaisin, sillä keskenään on vertailtu rakennustekniikkaa ja purjeveiteitä. Tästäkin huolimatta tulos on mielenkiintoinen.

Tehollinen hoikkuus määritetään ympyräsylinterin muotoiselle rakennukselle kaavalla 7 ja neliön muotoiselle rakennukselle kaavalla 8.

$$\lambda_{ys} = \min\left(\frac{h}{b_{ys}}, 70\right) \quad (7)$$

missä h on rakennuksen korkeus (5m)
 b_{ys} on ympyräsylinterin halkaisija (5,642m)

$$\lambda_n = \min\left(\frac{2 \times h}{b_n}, 70\right) \quad (8)$$

missä h on rakennuksen korkeus (5m)
 b_n on neliön sivun pituus (5m)

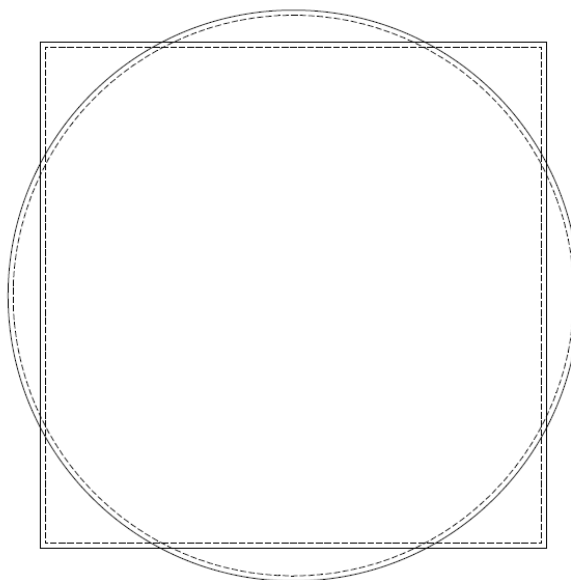
Kaavojen rakenteesta voi huomata, että korkea ja kapea rakennus saa suurempia suhteellisen hoikkuuden arvoja, kun vastaavasti matala ja leveä rakennus. Suuremmat suhteellisen hoikkuuden arvot johtavat suurempiin päätevaikutuskertoimiin ja tätä kautta suurempaan kokonaistuulikuormaan.

7.4 Tulosten tarkastelu

Ennako-oletukseni laskelman lopputuloksesta oli, että ympyrän muotoisen rakennuksen kokonaistuulikuorma tulee olemaan neliötä pienempi ja tämä oletus osui aivan oikeaan. En kuitenkaan osannut olettaa, että neliön muotoisen rakennuksen tuulikuorma olisi 137 prosenttia suurempi. Tämä tarkoittaa suoraan sitä, että neliön muotoisessa rakennuksessa kaikkien rakennusta jäykistävien komponenttien kapasiteetti täytyy olla 2,37 kertaa suurempi, kuin vastaavasti ympyrän muotoisessa rakennuksessa. Palataan seuraavaksi työssä hieman taaksepäin ja katsotaan mitä tämä ero käytännössä tarkoittaa.

Aikaisemmin työssä esitettiin esimerkki, jossa kirjaa työnnettiin sormella kuumoon ja kaatumisen estämiseksi kirja tuettiin kynän avulla. Kuvitellaan, että

jokaisen komponentin kapasiteetti tässä systeemissä on sata prosenttia, eli pelkästään jo kirjan suuntaan hengittäminen saisi kynän katkeamaan ja kirjan lyyhistymään. Nyt jos voima kasvaa 2,37 kertaa suuremmaksi, tarvitsemme paksumman kirjan, suuremman kynän ja lopuksi vielä vahvemman pöydänkannen. Katsoessa kuvaa 19, on vaikea uskoa, että näiden muotojen välinen kuormituksen suuruus on melkein kaksi ja puoliertainen.



Kuva 19. Pyöreä- ja neliörakennus asetettu päällekkäin (Kuva: Roni Marjomaa)

Suorakulmaisella muodolla on vielä käytännöllisyyden kannalta etulyöntiasema, sillä esimerkiksi pesukone asettuu helpommin suorakulmaisen huoneen nurkkaan, kuin vastaavasti ympyrän kehälle. Mielenkiintoista on kuitenkin se, että mitä täytyy tapahtua, että tämän eron katsotaan olevan niin merkittävä, ettei sitä voi jättää enää suunnittelussa huomioimatta.

8 Pohdinta

Ensimmäisen kerran istuessani alas miettimään opinnäytetyöni aihetta, oli mielessäni yksi ydin ajatus. Halusin tutkia aihetta, jolla olisi itselleni merkitystä. Ajatukset pyörivät heti alusta asti hirsirakentamisen ympärillä, mutta kipinää ei vielä

ollut. Huomasin nopeasti, että tein valintaprosessia liian monta jarrua päällä, jotka neljän vuoden opinnot olivat minulle asettaneet. Tästä hetkestä tuli työn täysi käännekohta. Tiedostettuani olemassa olevat esteet, pystyin päästämään näistä irti. Ajatukset taloudellisesta ja tehokkaasta toiminnasta lensi suoraan romukoppaan, ja tämän jälkeen muistioni alkoivat täyttymään erilaisista ideoista. Nopeasti olin tilanteessa, jossa aikaisemmin älyttömimmät ideat olivat mitä parhaimpia ja jatkoin vain puiden lyömistä uuniin. Lopuksi kirjoitin muistiooni, ”pyöreä pystyhirsirakennus”, jonka alaotsikoksi laitoin ”rakennuksen tiiveydessä kuivumiskutistumista hyödyntävä hirsiprofiili”. Opinnäytetyöni aihe oli valittu.

Yritin aluksi asettaa työn jonkinlaiseen kehykseen, mutta huomasin, etten voi asettaa työlle tarkkaa rajausta, sillä aihe oli itselleni täysin tuntematon ja en voinut tässä vaiheessa vielä päättää mikä oli mielenkiintoista ja mikä ei. Lisäksi jokainen päivä on jo itsessään erilainen ja joka päivä eri arvojen ja teemojen merkittävyys vaihtuu mielessäni riippuen täysin siitä, minkälaisiin tilanteisiin päivän aikana ajaudun. Mielenkiintoa herättävät aiheet tänään, eivät välttämättä sitä tee enää kuukauden tai vuoden päästä, sillä ihmisen mieli on liian herkkä ympäristön vaikutuksille. Tämän pohjalta olen seurannut mielenkiintoani ja kirjoittanut jokaisen alueen harkiten niin, että kirjoittamalleni tekstille syntyy siinä hetkessä jokin merkitys. Onhan jo pelkästään sanoja kunnioitettava vähintään sen verran, ettei niitä tule viskoa täysin sattumanvaraisessa järjestyksessä ympäriinsä.

Tutkittuani eri näkökulmia työhön, ajauduin keskittämään tutkimukseni pääosin hirsiprofiilin muokkaamiseen niin, että se mahdollistaa kuivumisen edetessä rakenteen tiivistymisen, jonka rinnalla tärkeään rooliin nousi myös pyöreän rakennuksen tuulikuorman suuruus, joka lujitti mielikuvitukseni tuotokset varteen otettaviksi vaihtoehtoiksi rakennustekniikan kehityksessä. Tämän ympärillä pyrin koko ajan pitämään suitsista kiinni niin, että työ ei pyörähdä liian insinöörimäiseksi ja vaikeaselkoiseksi. Omin sanoin asioiden esittäminen ja käytännön läheisten esimerkkien kautta aiheiden ilmaisu on tyyli, jolle koen olevan kysyntää rakennustekniikan opiskelussa, sillä rakennustekniikka on loppujen lopuksi todella yksinkertaisten asioiden summa. Aiheesta tulee todella monimutkaista, sillä hetkellä, kun asioita aletaan vain lyömään toistensa päälle, perehtymättä tarpeeksi siihen mitä oikeasti on tapahtumassa.

Lähteet

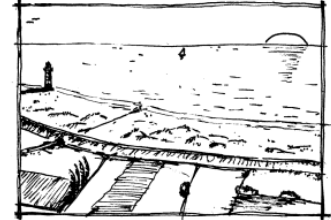
- RT 82-11168. 2014. Hirsitalon suunnitteluperusteet. Rakennustieto.
- Siikanen, U. 2016. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto.
- Puuinfo. 2016. P2-paloluokan hirsirakennus.
- RT 14-10436. 1990. Hirsitalon laatuvaatimukset. Rakennustieto.
- Vuolle-Apiala, R. 2016. Hirsitalo ennen ja nyt. Helsinki: Moreeni.
- Piesala, P. 2011. Puun monet mahdollisuudet. Helsinki: Suomen Metsäyhdistys.
- RIL 255-1-2014. 2014. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.
- Ympäristöministeriö. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75517>. 09.04.2022.
- SFS-EN 14080. 2013. Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1991-1-4. 2011. Tuulikuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- RIL 201-1-2017. 2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Maastoluokat ja tuulennopeuspaine

Ensimmäisen, kaksisivuisen liitteen ensimmäinen sivu

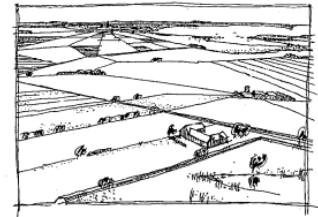
Maastoluokka 0

Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue



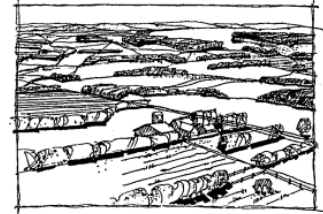
Maastoluokka I

Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä



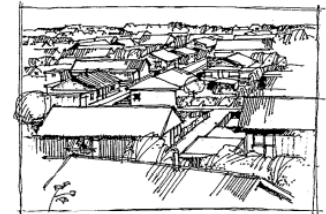
Maastoluokka II

Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan



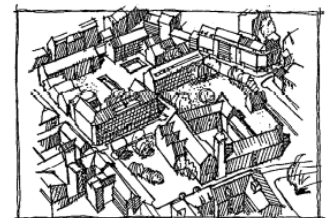
Maastoluokka III

Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)



Maastoluokka IV

Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m



Kuva 20. Maastoluokat kuvallisella määrittelyllä (Kuva: SFS-EN 1991-1-4, 2011, 158)

Ensimmäisen, kaksisivuisen liitteen toinen sivu

Tuulennopeuspaine maastoluokassa 0

$$q_p(h) = 0,00893 \times \left[\ln \left(\frac{\max(1, h)}{0,003} \right) \right]^2 + 0,0625 \times \ln \left(\frac{\max(1, h)}{0,003} \right)$$

Tuulennopeuspaine maastoluokassa 1

$$q_p(h) = 0,00794 \times \left[\ln \left(\frac{\max(1, h)}{0,01} \right) \right]^2 + 0,0556 \times \ln \left(\frac{\max(1, h)}{0,01} \right)$$

Tuulennopeuspaine maastoluokassa 2

$$q_p(h) = 0,00995 \times \left[\ln \left(\frac{\max(2, h)}{0,05} \right) \right]^2 + 0,0697 \times \ln \left(\frac{\max(2, h)}{0,05} \right)$$

Tuulennopeuspaine maastoluokassa 3

$$q_p(h) = 0,01279 \times \left[\ln \left(\frac{\max(5, h)}{0,3} \right) \right]^2 + 0,0895 \times \ln \left(\frac{\max(5, h)}{0,3} \right)$$

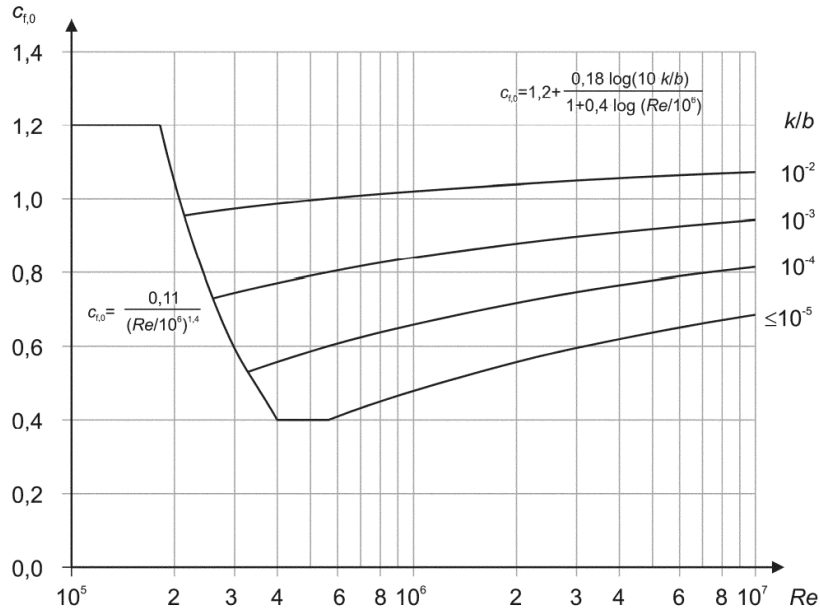
Tuulennopeuspaine maastoluokassa 4

$$q_p(h) = 0,01513 \times \left[\ln \left(\frac{\max(10, h)}{1,0} \right) \right]^2 + 0,1059 \times \ln \left(\frac{\max(10, h)}{1,0} \right)$$

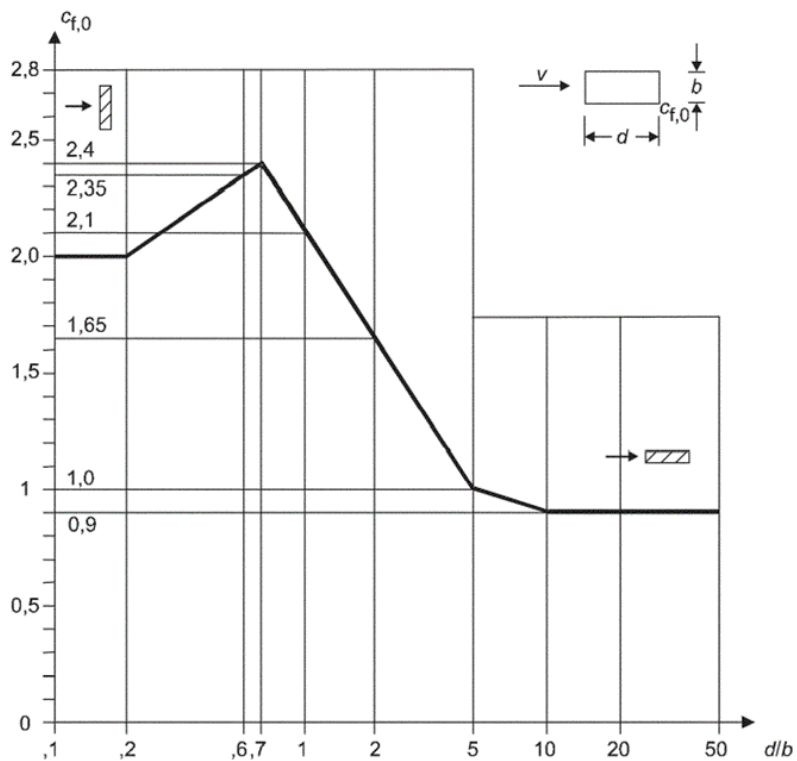
Tuulennopeuspaineen määrittyskaavat eri maastoluokissa (RIL 201-1-2017, 2017, 188.)

Voimakerroin

Toinen, yksisivuinen liite



Kuva 21. Voimakertoimen määrittäminen ympyräsylinterin muotoiselle rakennukselle (Kuva: SFS-EN 1991-1-4, 2011, 124)



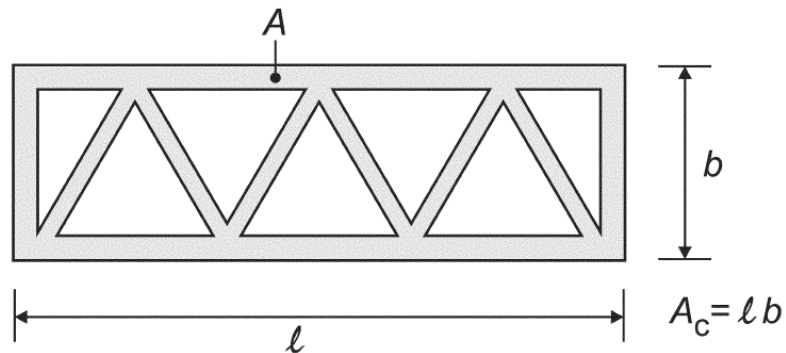
Kuva 22. Voimakertoimen määrittäminen suorakaiteen muotoiselle rakennukselle (Kuva: SFS-EN 1991-1-4, 2011, 114)

Karheusmitta, eheysuhde ja päätevaikutuskerroin

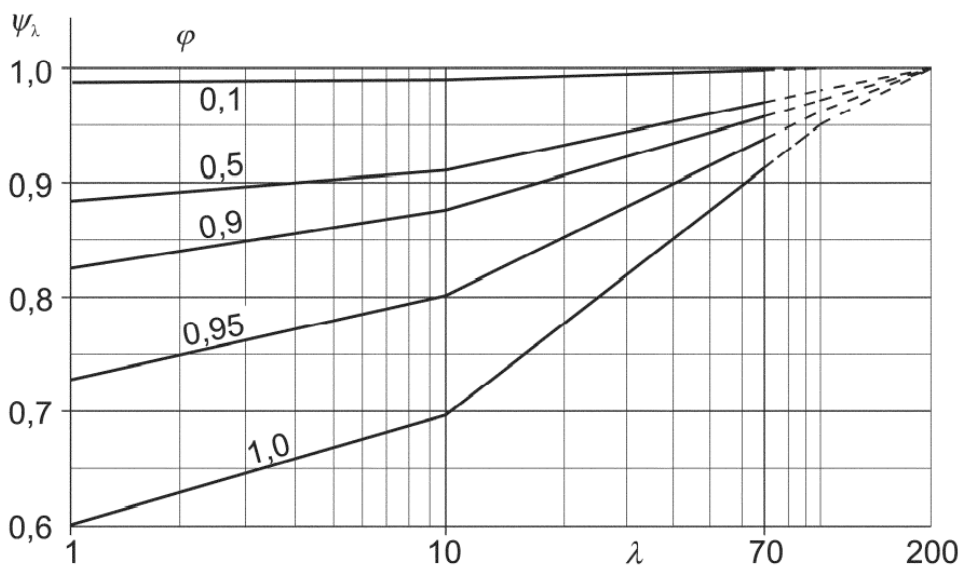
Kolmas, yksisivuinen liite

Pinnan tyyppi	Pinnan karheusmitta k mm	Pinnan tyyppi	Pinnan karheusmitta k mm
lasi	0,0015	sileä betoni	0,2
kiillotettu metalli	0,002	höylätty puutavara	0,5
tasainen maalipinta	0,006	karhea betoni	1,0
ruiskumaalattu pinta	0,02	sahatavara	2,0
kylmävalssattu teräs	0,05	ruoste	2,0
valurauta	0,2	muurattu rakenne	3,0
sinkitty teräs	0,2		

Kuva 23. Eri materiaalien pinnan karheusmittoja (Kuva: SFS-EN 1991-1-4, 2011, 124)



Kuva 24. Eheysuhteen määrittäminen (Kuva: SFS-EN 1991-1-4, 2011, 140)



Kuva 25. Päätevaikutuskertoimen määrittäminen (Kuva: SFS-EN 1991-1-4, 2011, 140)

Laskelmat

Neljännän, kaksisivuisen liitteen ensimmäinen sivu

Tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala ympyräsylinterin muotoiselle rakennukselle.

$$A_{ref.y} = b_{ys} \times h = 5,642m \times 5m = 28,21m^2$$

Tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala neliön muotoiselle rakennukselle.

$$A_{ref.n} = b_n \times h = 5m \times 5m = 25m^2$$

Tuulen nopeuspaine 5 metriä korkealle ja maastoluokassa 0 sijaitsevalle rakennukselle.

$$q_p(5) = 0,00893 \times \left[\ln \left(\frac{\max(1,5)}{0,003} \right) \right]^2 + 0,0625 \times \ln \left(\frac{\max(1,5)}{0,003} \right) = 0,955 \frac{kN}{m^2} \quad (2)$$

Pinnan karheusmitta höylätylle sahatavaralla.

$$k = 0,5mm$$

(ks. liite 3)

Reynoldsin luku ympyräsylinterin muotoiselle rakennukselle.

$$Re = \frac{5,642m \times \sqrt{\frac{2 \times 0,955 \frac{kN}{m^2}}{1,25 \frac{kg}{m^3}}}}{15 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 1,47 \times 10^7 \quad (3)$$

Ympyräsylinterin muotoisen rakennuksen voimakerroin

$$c_{f.0.y} = 1,2 + \frac{0,18 \times \log \left(10 \times \frac{0,5mm}{5,642m} \right)}{1 + 0,4 \times \log \left(\frac{1,47 \times 10^7}{10^6} \right)} = 0,825 \quad (4)$$

Neljannen, kaksisivuisen liitteen toinen sivu

Neliön muotoisen rakennuksen voimakerroin

$$c_{f.0.n} = \frac{-10 \times \frac{5m}{5m} + 31}{10} = 2,1 \quad (5)$$

Ympyräsynterinin muotoisen rakennuksen tehollinen hoikkuus

$$\lambda_{ys} = \min\left(\frac{5m}{5,642m}, 70\right) = 0,886 \quad (7)$$

Neliön muotoisen rakennuksen tehollinen hoikkuus

$$\lambda_n = \min\left(\frac{2 \times 5m}{5m}, 70\right) = 2 \quad (8)$$

Päätevaikutuskerroin ympyräsynterinin muotoiselle rakennukselle, jonka tehollinen hoikkuus on 0,886 ja eheysuhde 1.

$$\psi_{\lambda_{ys}} = 0,60 \quad (\text{ks. liite 3})$$

Päätevaikutuskerroin neliön muotoiselle rakennukselle, jonka tehollinen hoikkuus on 2 ja eheysuhde 1.

$$\psi_{\lambda_n} = 0,63 \quad (\text{ks. liite 3})$$

Kokonaistuulikuorma ympyräsynterinin muotoiselle rakennukselle

$$F_{w.ys} = 0,825 \times 0,60 \times 0,955 \frac{kN}{m^2} \times 28,21m^2 = 13,336kN \quad (1)$$

Kokonaistuulikuorma neliön muotoiselle rakennukselle

$$F_{w.n} = 2,1 \times 0,63 \times 0,955 \frac{kN}{m^2} \times 25m^2 = 31,587kN \quad (1)$$

Muistivihon kulmat

Viidennen, kaksisivuisen liitteen ensimmäinen sivu

$q_p := 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ TUULENNOPEUSPAINE
 $b := 5.642 \text{ m}$ HALKAISIJA
 $h := 5 \text{ m}$ KORKEUS
 MUUTTUMATTOMAT OMINAISUUDET

$$Re := \frac{b \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}}{15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1.505 \cdot 10^7$$

LASI $k_{\text{lasi}} := 0.0015 \text{ mm}$
 $c_{f, \text{lasi}} := 1.2 + \frac{0.18 \log\left(10 \cdot \frac{k_{\text{lasi}}}{b}\right)}{1 + 0.4 \log\left(\frac{Re}{10^6}\right)} = 0.518$

MURATTU RAKENNE $k_{\text{murattu}} := 3 \text{ mm}$
 $c_{f, \text{murattu}} := 1.2 + \frac{0.18 \log\left(10 \cdot \frac{k_{\text{murattu}}}{b}\right)}{1 + 0.4 \log\left(\frac{Re}{10^6}\right)} = 0.922$

A
8

Kuva 26. Karheusmitan vaikutus voimakertoimen suuruuteen (Kuva: Roni Marjomaa)

Viidennen, kaksisivuisen liitteen toinen sivu

MUUTTUMATTOMAT
OMINAISUUDET

$$q_p = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{TULENNOPEUSPAINE}$$

$$b = 5 \text{ m} \quad \text{LEVEYS}$$

$$h = 5 \text{ m} \quad \text{KORKEUS}$$

$$\lambda = \min\left(\frac{2 \cdot h}{b}\right) = 2$$

TAULUKOSTA
 $C_{f, db1} = 2.1$

PROJEKTIOALASSA
HUOMIOITU EHEYS

$$A_{ref, 1} = b \cdot h = 25 \text{ m}^2 \quad A_{ref, 2} = b \cdot h \cdot 0.9 = 22.5 \text{ m}^2$$

EHEYS 1

TAULUKOSTA
 $\psi_{\lambda 2, \phi 1} = 0.63$

$$F_{s, k, 1} = C_{f, db1} \cdot q_p \cdot \psi_{\lambda 2, \phi 1} \cdot A_{ref, 1} = \underline{\underline{33.075 \text{ kN}}}$$

EHEYS 0.9

TAULUKOSTA
 $\psi_{\lambda 2, \phi 0.9} = 0.84$

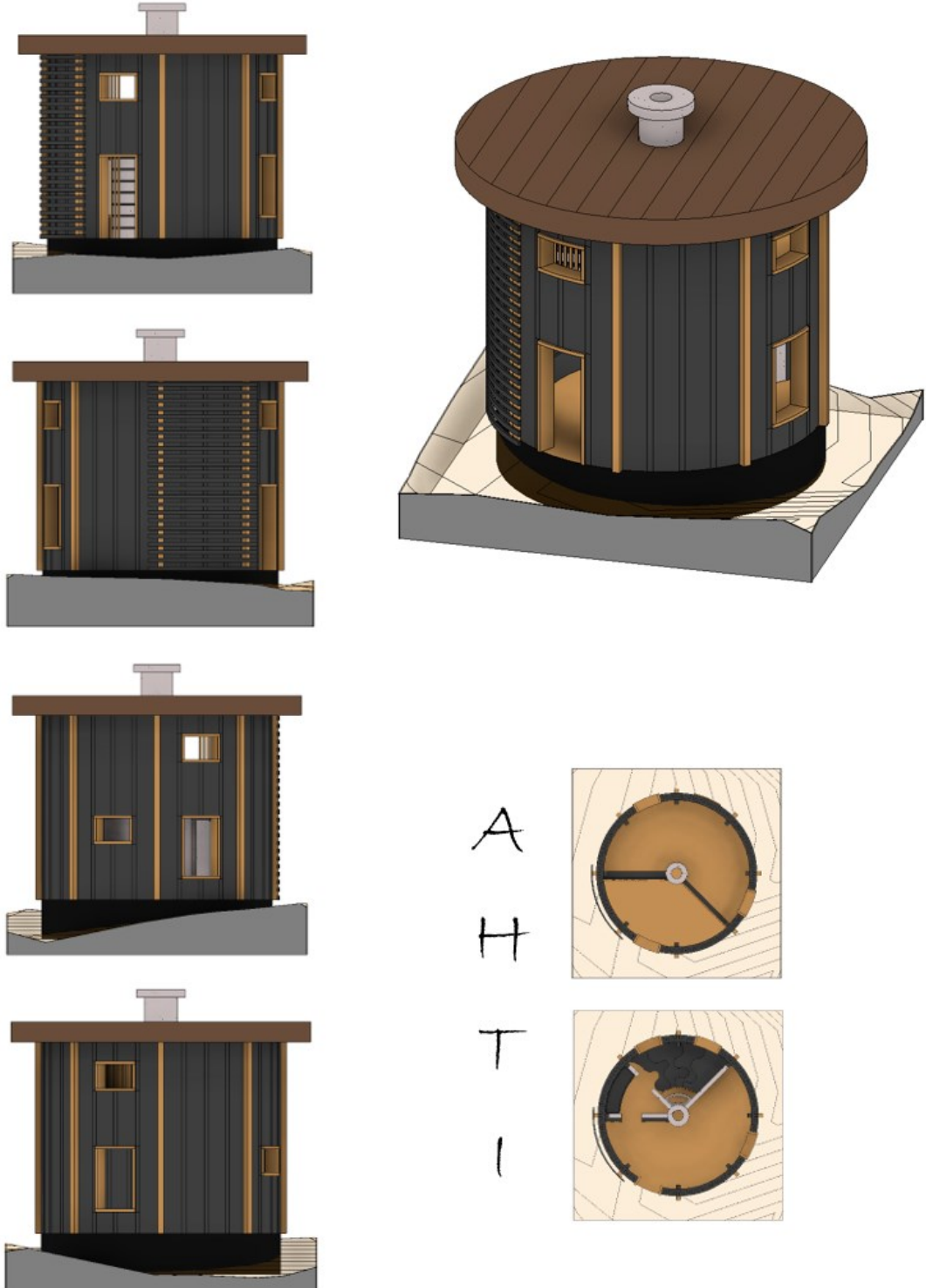
$$F_{s, k, 2} = C_{f, db1} \cdot q_p \cdot \psi_{\lambda 2, \phi 0.9} \cdot A_{ref, 2} = \underline{\underline{39.69 \text{ kN}}}$$

~~DRONKA~~
~~KAMVI~~
~~1/1~~

Kuva 27. Eheyssuhteen vaikutus kokonaistuulikuormaan (Kuva: Roni Marjomaa)

Pyöreä pystyhirsirakennus

Kuudennen, kaksisivuisen liitteen ensimmäinen sivu



Kuudennen, kaksisivuisen liitteen toinen sivu

