



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kai Lauronen

HIRSIHUVILAN SUUNNITTELU JA MITOITUS

Tekniikka ja liikenne
2012

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Kai Lauronen
Opinnäytetyön nimi	Hirsihuvilan suunnittelu ja mitoitus
Vuosi	2012
Kieli	Suomi
Sivumäärä	39 sivua
Ohjaaja	Heikki Paananen, Heikki Liimatainen

Tässä työssä suunniteltiin ja mitoitettiin talvilämmin kaksikerroksinen hirsihuvila Joensuun Tuupovaaraan. Suunnittelussa käytettiin tietotekniikkaa niin paljon kuin mahdollista.

Rakennus perustettiin soramoreenille ja siinä on kellarikerros, tupakeittiö ja ullakkokerros. Kellari muurattiin Leca-lämpöharkoista, ylemmät kerrokset ovat lamellihirttä (270 mm), jotka täyttävät hirsihuvilan energiamääräykset vuoden 2012 loppuun.

Rakenteiden mitoitus perustuu Eurokoodiin, joka on tullut voimaan rinnan kansallisten ohjeiden kanssa. Arkkitehtoninen osuus toteutettiin Archicad 14:llä, mitoitus Robot Structural Design 2011:llä sekä työpiirustusten toteutus betonirakenteiden osalta Tekla Structures 16:lla.

Tämän työn keskeisimpiä havaintoja ovat tietotekniikan verraton apu suunnittelussa sekä vaatimus suunnittelijan yhteistyökyvylle nykyaikaisessa rakentamisessa.

VAASA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Construction engineering

ABSTRACT

Author	Kai Lauronen
Title	Log House, Design and Engineering
Year	2012
Language	Finnish
Pages	39
Name of Supervisor	Heikki Paananen, Heikki Liimatainen

This thesis consists of designing and building a log house from scratch. The building will be located in Tuupovaara Finland. The aim was to implement IT resources as far as possible.

The building herself has a basement floor and in addition, a kitchen floor and an attic. The logs are lamel fabricated. The basement exterior wall has been layed with Leca light weight aggregate masonry.

Eurocodes are the theoretical foundation of engineering in this project. They have been eligeble in Finland since 2010. Design-work was done with the aid of Tekla Structures, Archicad and Robot Structural analysis.

The two most important observations during this project were as follows. Information technology can be the most valuable tool in construction design. Secondly, this trade is all about co-operation and skills are required to accomplish seamless flow of work.

Keywords Robot, Tekla, Loghome, Engineering

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	YLEISTÄ.....	4
	1.1 Vesikattorakenteet.....	4
	1.2 Välipohjarakenteet.....	4
	1.3 Vaipparakenteet.....	5
	1.4 Perustukset ja maaperä.....	5
2	VIRANOMAISPIIRUSTUKSET.....	6
3	ARKKITEHTUURI.....	7
	3.1 Käyttötarkoitus.....	7
	3.2 Ulkonäkö.....	7
	3.3 Tilankäyttö.....	8
4	KÄYTETYT RAKENTEET JA MITOITTAMINEN.....	9
	4.1 Yleistä kuormista.....	9
	4.2 Yleistä kattoratkaisusta.....	9
	4.3 Yleistä välipohjista.....	9
	4.4 Ikkunanylitys.....	10
	4.5 Perustukset ja maan kantavuus.....	10
	4.6 Lämmönkulkeutuminen ja λ -arvot.....	10
	4.7 Laskennassa käytettyjä suureita ja vakioita.....	11
	4.8 Kuormat.....	12
5	KATTORAKENTEIDEN MITOITUS.....	18
	5.1 Laskentaperusteet.....	18
	5.2 Kattovasän mitoitus.....	18
	5.2.1 Kuormitetuimman kattovasän leikkaus- ja taivutuskestävyys lyhennetyt EC5:n mukaisesti.....	19
	5.2.2 Kuormitetuimman kattovasän mitoitusleikkaukselle.....	20
	5.2.3 Kuormitetuimman kattovasän mitoitus taivutukselle.....	21
	5.2.4 Kuormitetuimman kattovasän taipuma.....	23
	5.2.5 Kattovasän tukipaineen mitoitus EC5:n mukaisesti.....	24
	5.3 Kurkihirren mitoitus lyhennetyt EC5:n mukaisesti.....	25
	5.3.1 Kurkihirrelletuleva viivakuorma.....	25

5.3.2	Kurkihirren leikkaus- ja taivutuskestävyys EC5:n mukaisesti.....	25
5.3.3	Kurkihirren mitoitus leikkaukselle.....	26
5.3.4	Kurkihirren mitoitus taivutukselle.....	27
5.3.5	Kurkihirren tukipainetarkastelu lyhennetyin EC5:n mukaisesti.....	28
5.4	Kattorakenteidenmitoituksentuloksia.....	29
6	LATTIALAATANMITOITUSTAIVUTUKSELLE.....	31
6.1	Ikkunanylitys lounaisella seinällä.....	33
7	LÄMMÖNLÄPÄISY JA U-ARVOT.....	35
8	PÄÄTELMÄT.....	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET.....	39

1 YLEISTÄ

Tässä työssä suunniteltiin vuoden 2012 energiamääräysten mukainen talvilämmin huvila lamellihirrestä. Rakennus sijaitsee Joensuun Tuupovaarassa, Hurttavaaran kylässä. Lamellihirsi edustaa puusta tehtyä teknistä tuotetta ja on moderni ja kestävä massiivinen materiaali. Energiaratkaisu suunniteltiin ajan hengen mukaiseksi, vaikkakaan halvinta ratkaisua ei valittu toteutettavaksi.

Rakennuksen lämmöntuotto perustuu maalämpöön, joka otetaan läheisestä järvestä. Rakennuksessa on vesikiertoinen lattialämmitys.

Toimeksianto tälle työlle löytyi perheen piiristä. Yhteistyökumppaneina toimivat Maria Parkkinen (rakentaja), sekä lehtorit Heikki Paananen sekä Heikki Liimatainen. Konsulttina toimi rakennusmestari Liisa Piiparinen Lievestuoreelta sekä insinööri Pasi Korpela Vetelistä. Urakoitsijoina tässä hankkeessa toimivat paikkakunnan (Tuupovaara) rakennusmiehet ja -liikkeet.

Tietotekniikka havaittiin verrattomaksi työkaluksi hankkeen kaikissa suunnittelu- vaiheissa. Tietotekniikan käytön todettiin vaativan harjaantumista ja taustatietoja, mutta nopeuttavan pienenkin rakennushankkeen toteutusta aina rakennusvaiheeseen saakka ja siitä vielä eteenpäin.

1.1 Vesikattorakenteet

Kattorakenteeksi valittiin palkkirakenteellinen ratkaisu, koska näin voitiin rakentaa lamellihirsinen huvila ylintä kerrosta myöden. Katteeksi valittiin profiilipelti, joka on suhteellisen kestävä ja jonka pitäisi tällä kattokaltevuudella päästää lumet putoamaan.

Profiilipeltiä valittaessa otettiin huomioon lähinnä kattokaltevuus RT-85-10141 kortin mukaisesti. Todetaan (RT 85-10862), että profiilipelti sopii tälle kattokaltevuudelle (25°) siten, ettei esimerkiksi kattokaltevuus aiheuta katemateriaaliin muodonmuutoksia.

1.2 Välipohjarakenteet

Alapohjaksi valittiin maanvarainen laatta. Välipohjiksi keittiökerrokseen mitoitet-

tiin paikallavalettava betonilaatta Robot Structural Analysis:llä. Ullakkokerroksen välipohja toteutettiin liimapuupalkeilla ja mitoitettiin niinkään Robot Structures Analysis:llä.

1.3 Vaipparakenteet

Rakennuksesta tiedettiin jo suunnitteluvaiheessa, että se vain vaivoin tulee noudattamaan energiamääräyksiä. Kellarikerroksen ulkoseinä muurattiin lämpöeristettyä Leca-harkosta. Keittiö- ja ullakkokerrosten ulkoseinät ovat lamellihirttä. Tähän päädyttiin siksi, että niiden tiedetään sopivan energiamääräysten osalta ulkoseinärakenteiksi, sekä ulkonäkösyistä.

1.4 Perustukset ja maaperä

Rakennus sijoittuu sora-moreenille rinteeseen. Pohjatutkimuksia ei tehty, vaan luotettiin asiantuntijan (rakennusmestari Hannu Kiiveri Laukaasta) konsultointiin. Rakennus on matalaperustainen maanvaraisella laatalalla.

Kuivatuksesta huolehdittiin rakennustavan mukaisella salaojituksella. Vesi- ja viemäritekniikkaa asennettiin lähtökohtaisesti vain valmiuksilla. Rakennuksesta poistuu ainoastaan harmaita vesiä.

2 VIRANOMAISPIIRUSTUKSET

Viranomaisen kanssa oli sovittu, että lupamenettelyssä vaadittavat piirustukset toimitetaan rakennuksen loppukatselmuksen yhteydessä. Rakennus mallinnettiin Archicad 14:llä. Rakennus on tätä kirjoitettaessa perustettu ja kellarikerros on muurattu.

Joensuun kaupunki vaatii rakennuslupa-asiakirjoja, jotka tullaan toimittamaan loppukatselmuksen yhteydessä. Seuraavat asiakirjat tullaan näyttämään:

1) Pääpiirustukset kahtena sarjana, sekä arkistoseläkkein varustettuna ja yhteen sidottuina, 2) pääsuunnittelijan tarkastuslista, 3) rakennustekniset selvitykset kahtena sarjana, 4) energiaselvitykset kahtena sarjana, 5) selvitys rakennuspaikan hallintaoikeudesta, 6) virallinen tonttikartan jäljennös sekä 7) kiinteistörekisteriote.

Tässä työssä esitetään lupa-asiakirjoista seuraavat: 1) Asemapiirros (1:500) liitteessä 1, 2) julkisivupiirustukset (1:100) liitteessä 2, 3) pohjapiirroksset (1:100) liitteessä 3, sekä 4) leikkauspiirroksset (1:100) liitteessä 4.

3 ARKKITEHTUURI

Rakennus sijaitsee Joensuun Tuupovaarassa, Hurttavaaran kylässä, Ala-Hurttasen järven rannalla. Tontti sijaitsee maaseutukaavoitetulla, laajahkolla maa- ja metsätalousvaltaisella alueella. Lähistöllä on paljon hoidettuja soita, metsiä ja rantoja. Ala-Hurttasen järven rannalla on tällä hetkellä tämän rakennuksen lisäksi kesämökkitontteja yhteensä kaksi kappaletta.

Rannat ovat luonnontilassa olevaa, alun perin joutomaaksi ajateltua, rämettyynyttä kontteikkoa, josta kuitenkin löytyi sora- ja kiviainepohjaa tälle rakennukselle. Rakennus sijaitsee n. 20 metrin etäisyydellä rannasta, rinteessä, joka kohoaa taustalla maatalaksi vaaraksi. Kts. Liite 1.

3.1 Käyttötarkoitus

Asiakas toivoi tästä rakennuksesta ympäri vuoden asuttavaa, mahdollisimman omavaraisista taloa. Omavaraisuudella ymmärrettiin myös energiaomavaraisuutta, joten talon lämmittämisen oli onnistuttava tarvittaessa läheisten metsien puilla.

Kerrosneliöt olivat niinkään asiakkaan toiveiden mukaisesti määräytyviä. Tarkoitus oli rakentaa vähillä kerrosneliöillä mahdollisimman tilava rakennus. Tästä syystä tilat ovat avaria ja rikkomattomia kokonaisuuksia, niin avaria, kuin rakennuksen vaipparakenteet antavat myöden.

Rakennuksen pääkäyttötarkoitus on kesän vietto lasten kanssa, mutta myös muita käyttötarkoituksia on esitetty, muun muassa ”vetäytyminen” omaan rauhaan.

Rakennuksen sijainti luo erinomaiset puitteet suunnitellulle käyttötarkoitukselle, koska lähimmälle vilkkaasti liikennöidylle tielle on matkaa n. 8 kilometriä.

3.2 Ulkonäkö

Villa Onnelan julkisivumateriaalit ovat pitkälti teknisin syin määräytyviä. Kokohirsiseen rakennukseen oli kuitenkin vaikea toteuttaa asiakkaan toivomaa leivinuunia keittiökerrokseen.

Alhaalla kellarikerroksen lämpöharkko saa pintaansa kolmikerrosrappauksen, ka-

temateriaaliksi valittiin profiilipelti. Muu runko jää sisä- ja ulkopinnaltaan lamelli-hirsiseksi. Tämä 270 mm paksu tekninen tuote täyttää energiavaatimukset vuoden 2012 mukaisesti.

3.3 Tilankäyttö

Rakennuksen toiminnallisuus on pyritty pitämään perinteisenä ja yksinkertaisina. Kellarikerroksen sauna ja takka sekä keittiökerroksen leivinuuni edustavat näitä perustoimintoja. Keittiökerroksen keittiössä on myös modernimpia piirteitäkin, mutta niukasti.

Ullakkokerroksen tila on tarkoitettu asiakkaan toiveiden mukaisesti ”rauhottumispaikaksi”. Sieltä on näköala järvelle ja tila on sisäpinnoiltaan rauhoittavaa puuta. Ullakkokerrokseen voi majoittaa myös vieraita.

4 KÄYTETYT RAKENTEET JA MITOITTAMINEN

4.1 Yleistä kuormista

Kuormat laskettiin osa kerrallaan käsinlaskennalla. Lumikuormalle käytettiin karakteristista arvoa 2,70 kN/m² (Joensuu). Hyötykuormille käytettiin arvoa 2,00 kN/m² kerrosta kohden. Kuormien määrittäminen on esitetty luvussa 4.8 sivulla 12.

4.2 Yleistä kattoratkaisusta

Kattorakenteet tehtiin karkeasti ylimitoitetuksi ja ”varmalle puolelle”. Monumentaalilla kurkkihirsillä sekä kattorungossa käytetyllä liimapuulla tähdättiin myös rakenteiden vähäiseen elämiseen.

Kun kyse on puurakenteista ja eräästä maamme runsaslumisimmasta seudusta, kannattaa ottaa huomioon rakenteiden muodonmuutokset. Toisaalta massiivinen laatta välipohjaratkaisuna tuovat rakennukselle rasiusten lisäksi myös stabiliteettiä.

Palkkirakenteisen katon annettiin sallia seinään liittyvissä kohdissa liike. Näin vältetään toivottavasti seinien leviämistä aikaa myöden rakenteen elämisen seurauksena. Mitoitus esitetty luvussa 5 sivulla 18.

4.3 Yleistä välipohjista

Betonimateriaalin valinta keittiökerroksen välipohjaksi oli luonnollinen, kun otetaan huomioon 6 metrin aukollinen jänneväli sekä massiivinen toisessa kerroksessa aukon kulmassa sijaitseva leivinuuni.

Mitoitus tehtiin Robot Structures:lla. Raudituspiirustukset mallinnettiin Autocad:llä. Mitoitus on esitetty luvussa 6 sivulla 31.

Ullakon välipohja suunniteltiin puurakenteiseksi, koska hirsiseinään on haastavaa liittää betonista välipohjaa.

4.4 Ikkunanylitys

Rakennuksen lounaaseen olevan sivun ikkunan ylitys muodostui haasteeksi. Tällä sivulla leveydeltään ainoastaan 125 mm oleva palkki kantaa lähes koko rakennuksen yläpuolista kuormaa Suomen lumisimmalla alueella ja tukee yläpuolella olevaa massiivibetonilaattaa. Kahden identtisen palkin välissä on 50 mm eristettä kylmä-sillan välttämiseksi, mutta ulompi palkeista jää lähes ilman kuormaa. Mitoitus on esitetty luvussa 6 sivulla 34.

4.5 Perustukset ja maan kantavuus

Rakennus perustettiin ilman tehtyä pohjatutkimusta asiantuntijan lausunnon varassa. Perustukset oli valettu ennen kuin kuormia oli ryhdytty laskemaan. Niinpä maan kantavuuden varmistaminen sekä perustusten mitoittaminen jälkikäteen on tärkeää.

4.6 Lämmön kulkeutuminen ja u-arvot

Rakenteille laskettiin teoreettiset U-arvot, joita käytettiin rakennusten fyysisten suureiden ohella RT 08-10917 kortin mukaisessa tasauslaskelmassa. Näin todettiin rakennuksen noudattavan lämmönjohtavuuksiltaan vuoden 2010 tasoa, joka on poikkeusluvalla voimassa vuoden 2012 loppuun. U-arvojen laskenta on esitetty luvussa 7 sivulla 35.

4.7 Laskennassa käytettyjä suureita ja vakioita

Kattorakenteiden mitoituksessa käytetyt suureet ja yksiköt:

$$A = \text{pinta} - \text{ala} [\text{m}^2]$$

$$G_{\text{omapaino}}$$

$$= \text{rakenteen karakteristinen omasta painosta johtuva kuorma} \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$$

$$Q = \text{muuttuva kuorma} \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$$

$$N_{\text{yhdistelmä.d}} = \text{Vesikaton yhdistelmäkuorman suunnittelu-arvo} \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$$

$$k_{\text{mod}} = \text{liimapuun olosuhteet huomioon ottava lujuuskerroin}$$

$$X_k = \text{materiaalin ominaislujuusarvo} \left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\gamma_M = \text{materiaalin osavarmuuskerroin}$$

$$P_{\text{uloke}} = \text{kattovasan ulokeosan yhdistetyn kuorman arvo} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

$$P_{\text{aukko}} = \text{aukon yhdistetyn kuorman arvo} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$$

$$f_{\text{m,d}} = \text{liimapuun taivutuskestävyyden mitoitusarvo} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$f_{\text{v,d}} = \text{liimapuun leikkauskestävyyden mitoitusarvo} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$d_{\text{vasa}} = \text{kattovasojen laskennallinen jakoväli} [\text{m}]$$

$$\sigma_{\text{vasa}} = \text{kattovasan laskettu taivutusrasitus} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\tau_{\text{vasa}} = \text{kattovasan laskettu leikkausrasitus} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$L = \text{Rakenteen pituus} [\text{m}]$$

$$h = \text{rakenteen korkeus} [\text{mm}]$$

$$b = \text{rakenteen leveys} [\text{mm}]$$

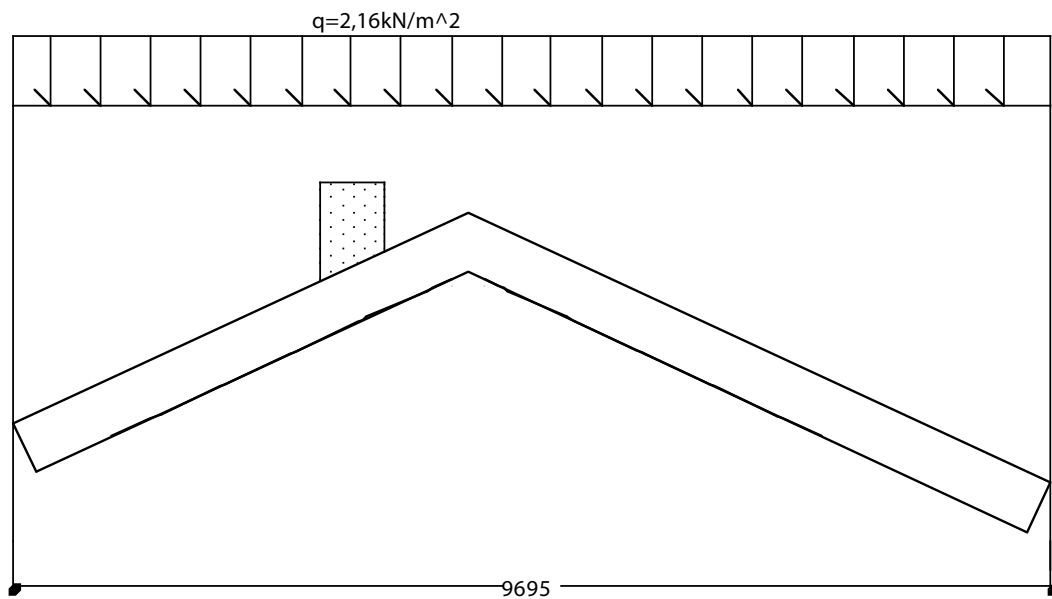
$$I = \text{rakenteen neliömomentti} [\text{mm}^4]$$

$$f = \text{taipuma} [\text{mm}]$$

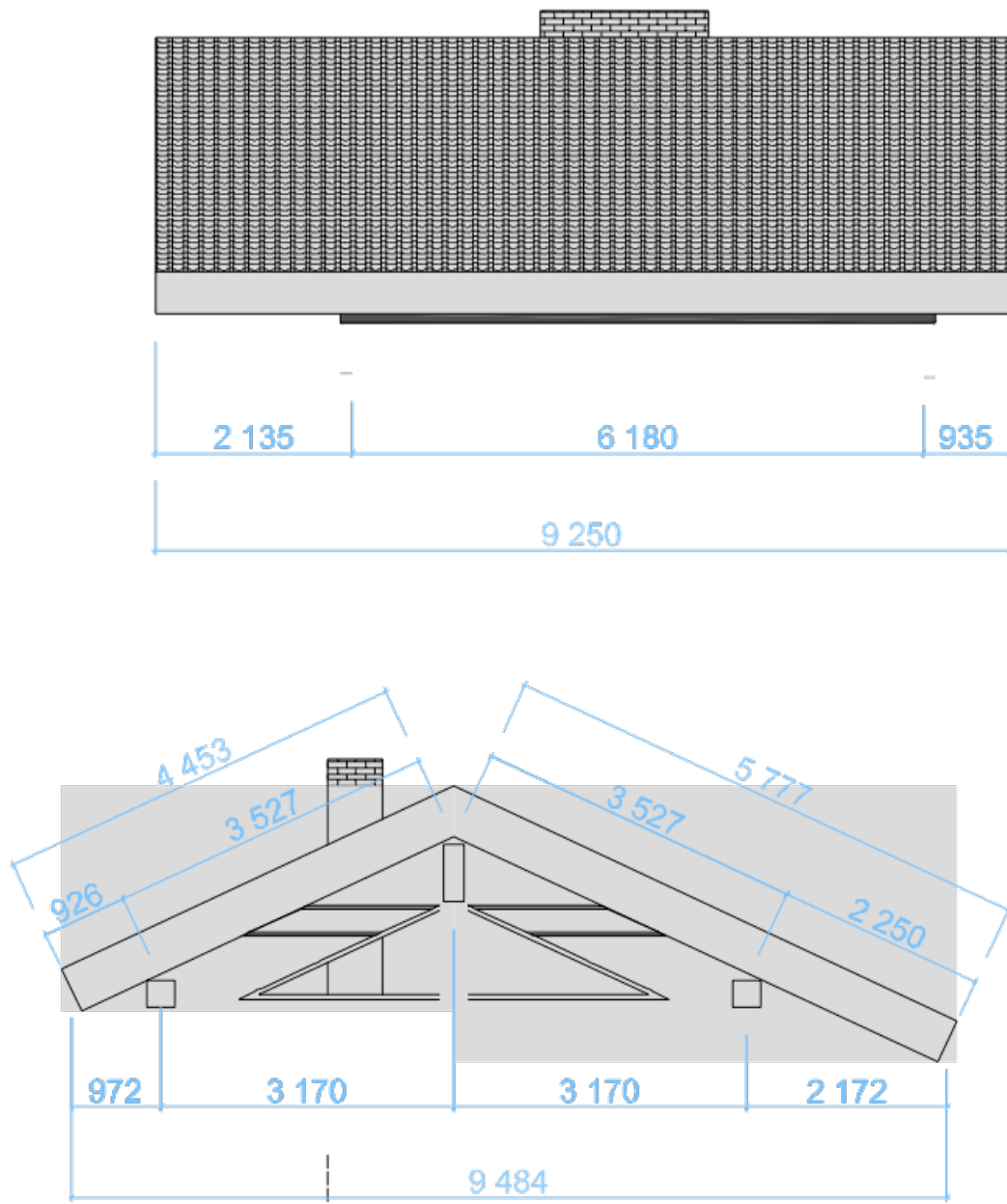
4.8 Kuormat

Kuormat laskettiin osa kerrallaan vesikatosta perustuksiin. Lumikuorman määrittäminen perustuu EC1 standardiin sekä karakteristiseen maassa olevaan lumikuormaan Ilomantsissa ($2,7 \text{ kN/m}^2$). /1/

Mitat ovat tuen keskeltä tuen keskelle sekä rakenteen keskilinjän kohdalta. Ne voivat siksi poiketa arkkitehtoonisista mitoista, jotka on esitetty lupa-asiakirjoissa. Omapainolaskelmat on esitetty jäljempänä.



Kuva 1. Kuormituskaavio



Kuva 2. Kattorakenteen mittoja

Seuraavassa käydään laskemaan katon lumikuormaa EC1:n mukaisesti. Laskenta suoritettiin Mathcad 15 –ohjelmalla ja laskennassa käytettiin tarkkoja arvoja. Pyöristykset voivat siksi poiketa esitetystä. /1/

$$\alpha = \text{katon kaltevuuskulma} [^\circ]$$

$$\mu_i = \text{muotokerroin} = 0,8$$

$$C_e = \text{tuulensuojaisuuskerroin} = 1$$

$$C_t = \text{lämpökerroin} = 1$$

$$s_k = \text{maassa olevan lumikuorman ominaisarvo} \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

$$\alpha = 25^\circ, s_k = 2,7 \frac{kN}{m^2}$$

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 0,8 \cdot 2,7 \frac{kN}{m^2} = \boxed{2,16 \frac{kN}{m^2}} \quad (1)$$

$$A_{lumi} = 9,25m \cdot 9,695m = 89,68m^2$$

$$Q_{lumi,k} = s \cdot A_{lumi} = 89,68m^2 \cdot 2,16 \frac{kN}{m^2} = 193,71kN$$

Seuraavaksi esitellään katon omapainon laskeminen. Laskut tehtiin osa kerrallaan laskemalla. Laskuissa on käytetty tarkkoja arvoja ja siksi likiarvot saattavat poiketa hieman esitetystä.

$$A_{katto} = 9,25m \cdot 10,23m = 94,63m^2$$

$$\text{kantavien kattorakenteiden paino(Robotista)} = 30,71kN$$

$$m_{palkit} = \frac{30,71kN}{A_{katto}} = \frac{30,71kN}{94,63m^2} = 0,33 \frac{kN}{m^2}$$

$$m_{ruoteet} = \frac{9,25m \cdot 0,032m \cdot 0,095m \cdot 35 \cdot 5 \frac{kN}{m^3}}{94,63m^2} = 0,052 \frac{kN}{m^2}$$

$$m_{koroke} = \frac{10,23m \cdot 0,022m \cdot 0,1m \cdot 5 \frac{kN}{m^3}}{94,63m^2} = 0,038 \frac{kN}{m^2}$$

$$m_{kuitulevy} = 0,025m \cdot 5 \frac{kN}{m^2} = 0,127 \frac{kN}{m^2}$$

$$m_{SPU} = 0,35 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,415m = 0,15 \frac{kN}{m^2}$$

$$m_{rakennuslevy} = 5 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,006m = 0,03 \frac{kN}{m^2}$$

$$m_{sisäkatto} = 5 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,025m = 0,125 \frac{kN}{m^2}$$

$$m_{muut} = m_{ruoteet} + m_{koroke} + m_{kuitulevy} + m_{SPU} + m_{rakennuslevy} + m_{sisäkatto}$$

$$m_{muut} = (0,052 + 0,038 + 0,127 + 0,15 + 0,03 + 0,125) \frac{kN}{m^2} = 0,52 \frac{kN}{m^2}$$

$$G_{omapaino,k} = m_{palkit} + m_{muut} = (0,33 + 0,52) \frac{kN}{m^2} = \boxed{0,84 \frac{kN}{m^2}}$$

Kun vesikatolta seinille siirtyvä ominaiskuorma tiedetään, voidaan loput kuormat kuljettaa karakteristisina perustuksille. Ullakkokerroksen lattia toteutettiin SEPA-liittorakenteena. Alla olevassa laskelmassa lasketaan ja kuljetetaan kuormat niiden karakteristisilla arvoilla.

Huomioitavaa on, että lattiarakenteiden kuormiin on lisätty määräysten mukainen hyötykuorma $2,0 \text{ kN/m}^2$ kerrosta kohden. Harmaalla merkityt välitulokset ovat summattu lopputuloksen saamiseksi. Laskelmassa on myös muita välituloksia.

Katon suureet

Kattokaltevuus	25.00	°
Syvyys	9.25	m
Lape1	5.78	m
Lape2	4.45	m
Rungon piiri	25.04	m
Liimapuun tiheys	5.00	kN/m ³
Teräsbetonin tiheys	25.00	kN/m ³
Kevytsoraharkon tiheys	8.50	kN/m ²

Kuormien ominaisarvot(mathcad/robot laskennasta)

Vesikatolta ullakon seinille tuleva pystykuorma	283.88	kN
Rakennuksen piiri	25.04	m
ullakon seinille tuleva kuormitus	11.34	kN/m

**Ullakon seinien
omapaino**

Paksuus	0.27	m
Korkeus	2.60	m
Tiheys	5.00	kN/m ³
	87.89	kN
Ullakon seinistä ao. välipohjalle tuleva kuorma	3.51	kN/m

Ullakon lattialaatasta tuleva kuorma

Ullakon lattian omapaino (liittorakenne)	6.90	kN/m
Paksuus	0.50	m
Pinta-ala	35.00	m ²
	0.06	m
k400 jaolla 500x150 mm palkkeja	32.81	kN
	52.50	kN

Ullakon lattialaatan omapaino	85.31	kN
--------------------------------------	-------	----

Keittiökerroksen seinien pystykuorma	21.75	kN/m
---	-------	------

Keittiön seinien paino (=ullakon seinien paino)	87.89	kN
--	-------	----

		3.51	kN/m
Keittiön lattialaatan reunoille tuleva pystykuorma		25.26	kN/m
Keittiön lattialaatan omapaino(sis. uuni)	Leivinuuni	25.00	kN
	Paksuus	0.16	m
	Pinta-ala	35.00	m ²
	Tiheys	25.00	kN/m ³
		165.00	kN
		6.59	kN/m
Allaoleva kuorma on ikkunanylityspalkin vyyakuorma			
Kellarin seinille tuleva pystykuorma		31.85	kN/m
Kellarin seinien paino	Paksuus	0.30	m
	Korkeus	3.00	m
	Tiheys	8.50	kg/m ³
Kellarin seinistä tuleva kuorma		7.65	kN/m
Perustuksille tuleva pystykuorma		39.50	kN/m

5 KATTORAKENTEIDEN MITOITUS

5.1 Laskentaperusteet

Seuraava kattorakenteiden mitoitus perustuu EC5:een, sen suomenkieliseen lyhennettyyn puurakenteiden suunnitteluohjeeseen. /2/

Kuva 1 sivulla 12 sekä kuva 2 sivulla 13 esittävät kaaviomaisesti katon profiilia sekä siihen liittyviä mittoja. Näitä mittoja käytettiin kuormien määrittämiseen sekä myös kattorakenteiden lujuuslaskuihin.

Tulokset varmistettiin käsinlaskennalla. Näin saatiinkin hyvin FEM laskennan kanssa rinnan suuntaa antavia tuloksia.

FEM –mallinnuksessa puolestaan käytettiin niin todellisuutta vastaavaa mallia kuin mahdollista. Tämän lisäksi käytettiin käsin laskettuja kuormitustapauksia, jotta voitiin estää ohjelmaa ottamasta huomioon tarpeettomia asioita laskennassa.

Huomattavaa on, että käytetyn ohjelman (Robot Structures Analysis 2012) esitystapa poikkeaa merkkisääntöjen osalta kansallisesta siten, että momentti- ja leikkausarvot 0-akselin alapuolella ovat negatiivisia. Samoin elementin lokaalikoordinaattisto saattaa poiketa globaalikoordinaatistosta.

Kattorakenteita ei tarvitse mitoittaa kiepahdukselle, koska rakennuksessa ei ole ainoatakaan puista sivuttaistukematonta palkki eikä pilarirakennetta.

5.2 Kattovasan mitoitus

Viivakuorma kattovasan aukon kohdalle ja ulokkeelle, laskettiin käyttäen karakteristisia arvoja seuraavasti. Käytettyjen symbolien selvennykset on esitetty luvussa 4.7 sivulla 11. Kattovasan viivakuorma ulokkeella sekä aukon kohdalla laskettiin EC1:n mukaisesti. /1/

$$\begin{aligned}
 N_{\text{yhdistelmä},d} &= 1,15G_{\text{omapaino},k} + 1,5s = 1,15 \cdot 0,84 \frac{kN}{m^2} + 1,5 \cdot 2,16 \frac{kN}{m^2} \\
 &= 4,036 \frac{kN}{m^2}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{vasa,aukko}} = 4,036 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,8m = 3,23 \frac{kN}{m}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{vasa,uloke}} &= (G_{\text{omapaino},k} + 0,2 \cdot s) \cdot 0,8m = \left(0,84 \frac{kN}{m^2} + 0,2 \cdot 2,16 \frac{kN}{m^2}\right) \cdot 0,8m \\
 &= 1,00 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Näitä tuloksia käytettiin FEM laskennan lähtöarvoina määrittettäessä leikkaus- ja taivutusrasituksia. Vastaava laskenta kurkikirrelle on esitetty sivulla 19.

Kuva 3 sivulla 20 sekä kuva 4 sivulla 21 esittävät kattovasan leikkausvoima- sekä momenttikuviot. Mitoittava viivakuorma on laskettu edellä. Kattovasan ulkoseinän kohdalla olevan tuen on syytä olla vapaasti tuettu, koska näin voidaan välttyä hirsiseinän siirtymiseltä ulospäin rakenteiden painumisen seurauksena.

Statiikkaohjelmasta saatuja momentin sekä leikkausvoiman huippuarvoja käytettiin sekä käsintarkastuksessa, että luonnollisesti myös FEM –laskennassa.

5.3.1 Kuormitetuimman kattovasan leikkaus- ja taivutuskestävyys lyhennetyin EC5:n mukaisesti

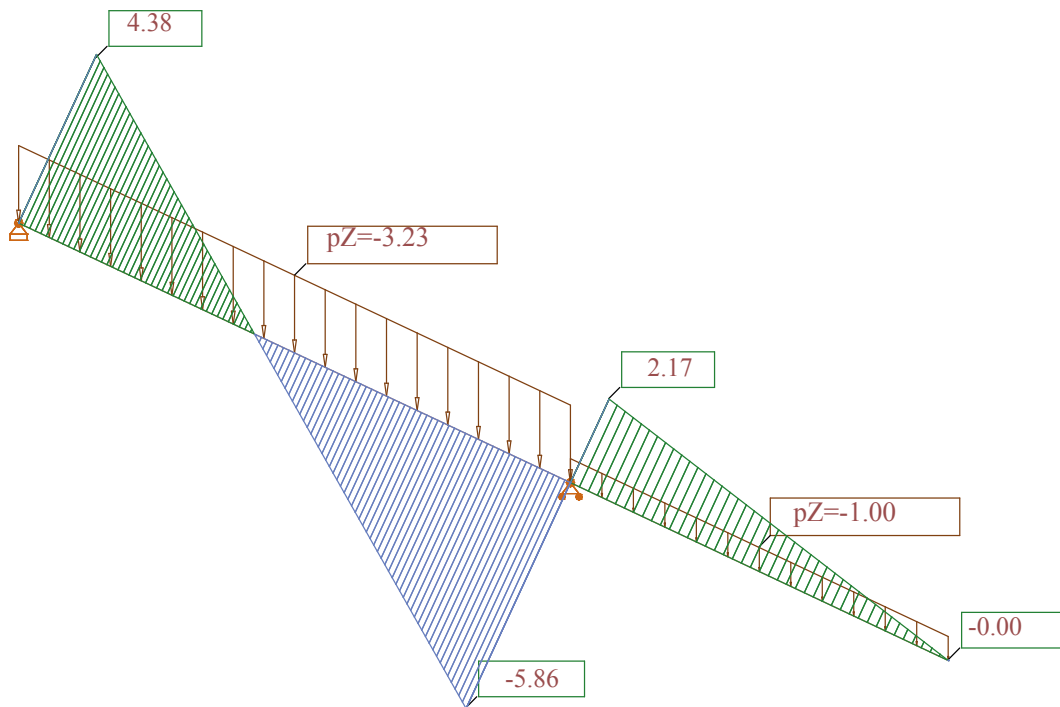
$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2)$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{3,2 \text{ N}}{1,2 \text{ mm}^2} = 2,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{32 \text{ N}}{1,2 \text{ mm}^2} = 21,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

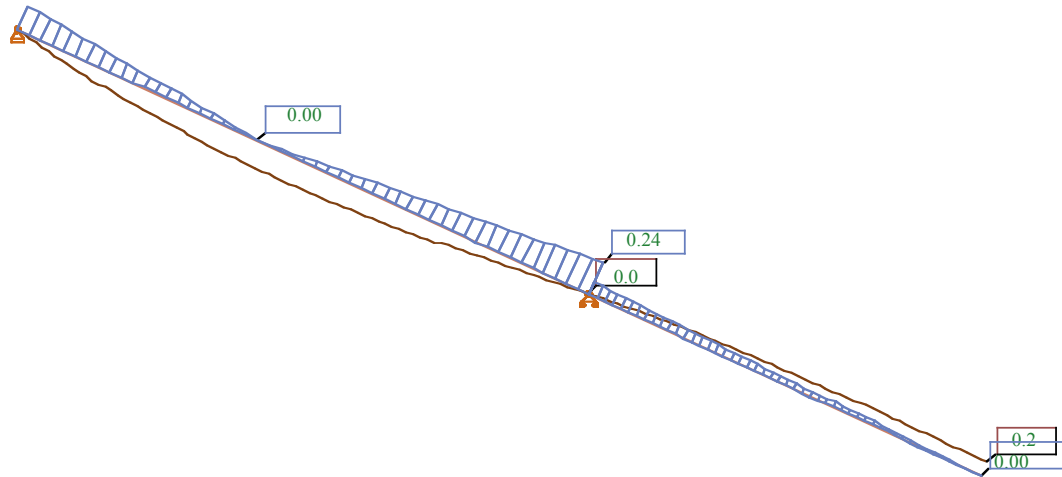
5.3.2 Kuormitetuimman kattovasan mitoitus leikkaukselle

Seuraavassa laskentaan FEM-laskennan tarkistusta varten kattovasan leikkausra-situksia. Voimasuuret ovat kuitenkin peräisin FEM –laskennasta. Tarkoituksena oli selvittää, antaako FEM –ohjelma samankaltaisia tuloksia, kuin käsin olisi saatu.



Kuva 3. Kattovasan Q-pinta [kN]

Kuva 3 sivulla 20 kertoo, että leikkausvoiman ääriarvo määräytyy talon si-vulle, pitkän räystään puoleiselle seinälle ja siinä sijaitsevalle tuelle, vielä tarkem-min, sen vasan kohdalle, jossa vasojen välinen etäisyys on 800mm.



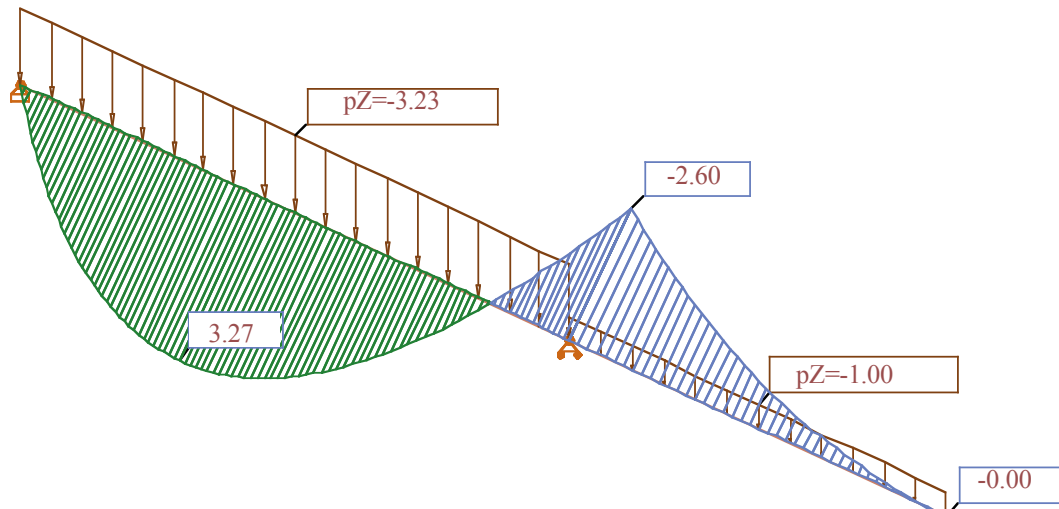
Kuva 4. Kattovasan leikkausjännityspinta [kN/m²]

Kuva 4 sivulla 21 esittää kattovasan leikkausjännityksen jakautumista ja siinä on ääriarvokohta samassa paikassa kuin leikkausvoiman ääriarvokin. Huomionarvoista on, että alla käsinlaskennalla saatu leikkausjännityksen huippuarvo on lähes tismalleen sama kuin FEM –tulos.

$$\tau_{vasa} = \frac{3 \cdot V_{vasa}}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{3 \cdot 5,86 \text{ kN}}{2 \cdot 0,090 \text{ m} \cdot 0,415 \text{ m}} = 0,24 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad (3)$$

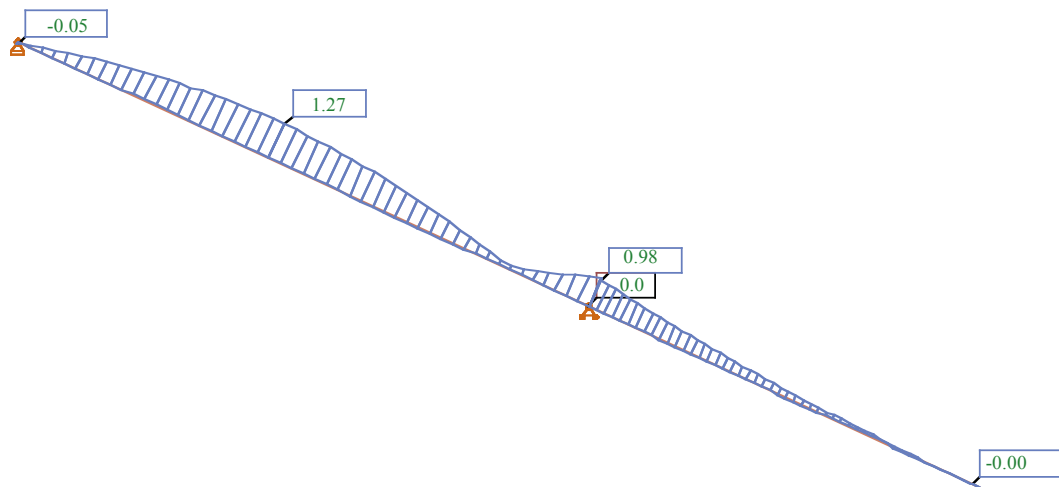
5.3.3 Kuormitetuimman kattovasan mitoitus taivutukselle

Seuraavassa lasketaan kattovasan taivutusrasitusta käsinlaskennalla. Tuloksia verrataan statiikkaohjelman tuloksiin ja tässä käytetty momentin ääriarvo on peräisin FEM –laskennasta.



Kuva 4. Kattovasan M-pinta [kNm]

Kuva 4 sivulla 22 esittää kattovasan momenttipintaa. Alussa oletettiin, että momentin ääriarvo sijoittuisi tuelle, mutta toisin kävi. Ääriarvo on FEM laskennan mukaan aukon puolenvälin paikkeilla ja sen arvo on 3,27 kNm.



Kuva 5. Kattovasan taivutusjännityspinta [kN/m²]

Kuva 5 sivulla 22 esittää kattovasan taivutusjännityksen jakautumista. Ääriarvotulos 1,27MN/m² on lähes tismalleen sama kuin käsinlaskennalla saatu ja se sijoittuu samaan paikkaan kuin momentin ääriarvo.

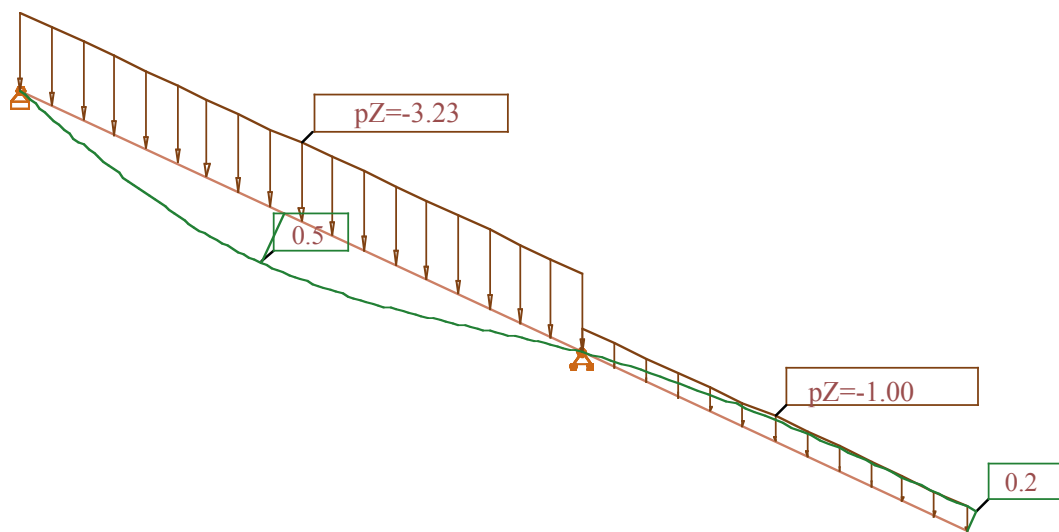
$$\sigma_{vasa} = \frac{M}{W} = \frac{3,27 \text{ kNm}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{6 \cdot 3,27 \text{ kNm}}{0,09 \text{ m} \cdot (0,415 \text{ m})^2} = 1,27 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4)$$

5.3.4 Kuomitetuimman kattovasen taipuma

Kuva 6 sivulla 23 esittää FEM-laskennalla määritettyä taipuman huippuarvoa. Huomionarvoista tässä on, että räystäät näyttävät roikkuvan pienilläkin taipuman arvoilla. Tämän vuoksi päädyttiin melko karkeasti ylimitoittamaan kattovasat.

Käsinlaskenta suoritettiin, jotta voidaan arvioida FEM –tulosten kertaluokka. Tämä käsinlaskentatapa on varmalla puolella oleva yksinkertaistus kyseisestä rakenteesta ja sen kuormituksesta.

Taipuman maksimi on statiikkaohjelman mukaan palkin keskiosalla, aukon kohdalla. Taipuman arvoksi saatiin 0,51 mm. Käsinlaskennan ja FEM:n hienoinen ero johtuu siitä, että käsinlaskentakaava ei ota huomioon kuormavähennystä ulokkeella. Tämän huomioonottaminen johtaisi suurempaan taipumaan aukon keskellä, koska kuorma ulokkeella vähenee.



Kuva 6. Kattovasen taipumaviiva[mm]

Kuva 6 sivulla 23 esittää kattovasen taipuman FEM –tulosta. Huomionarvoista on, että tulos poikkeaa hieman käsinlasketusta. Normi kuitenkin määrää vähentämään ulokkeella olevaa kuormaa, joten niin tehtiin siitä huolimatta, ettei lumen tarkkaa paikkaa voidakaan tietää.

$$b_{vasa} = 0,090m, \quad h_{vasa} = 0,415m, \quad E_{mean} = 13700 \frac{N}{mm^2},$$

$$L_{vasa} = 3,777m, \quad a_{uloke} = 2,250m,$$

$$P_{vasa,aukko} = 3,23 \frac{kN}{m}$$

$$I_{y,vasa} = \frac{b_{vasa} \cdot h_{vasa}^3}{12} = \frac{0,090m \cdot (0,415m)^3}{12} = 5,36 \cdot 10^8 mm^4 \quad (5)$$

$$f = P_{vasa,aukko} \cdot \frac{a_{uloke}}{24 \cdot E_{mean} \cdot I_{y,vasa}} [a_{uloke}^2 (4 \cdot L_{vasa} - 3 \cdot a_{uloke}) - L_{vasa}^3]$$

$$= 3,23 \cdot \frac{2,250m}{24 \cdot 1,37 \cdot 10^7 \cdot 5,36 \cdot 10^{-12}} [2,250^2 (4 \cdot 3,777 - 3 \cdot 2,250) - 3,777^3]$$

$$= -0,48mm$$

$$\text{Mitoitusehto käyttörajatilassa taipumalle: } \frac{L_{vasa}}{400} \leq |9,44mm|$$

5.3.5 Kattovasan tukipaineen mitoitus EC5:n mukaisesti

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}, \quad f_{c,90,d} = k_{mod} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{3,00}{1,2} \frac{N}{mm^2} = 2,00 \frac{N}{mm^2} \quad (6)$$

$$A_{vasa,tuki} = 0,270m \cdot 0,090m = 0,024m^2, \quad V_{vasa} = 8,03kN$$

$$\text{Rasitus syitä vastaan kohtisuoraan: } \sigma_{c,90,d} = \frac{V_{vasa}}{A_{vasa,tuki}} = \frac{8,030kN}{0,024m^2} = 0,22 \frac{N}{mm^2} \quad (7)$$

$$\ell_{c,90,ef} = 0 + 270mm + 30mm = 300mm, \quad k_{c,90} = 1,5$$

$$k_{c,\perp} = \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} \cdot k_{c,90} = \frac{300mm}{270mm} \cdot 1,5 = 1,67 \quad (8)$$

$$k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} = 1,67 \cdot 2,00 \frac{N}{mm^2} = 3,33 \frac{N}{mm^2} \quad (9)$$

Näin ollen kestävyys on $3,33N/mm^2$ ja rasitus $0,22N/mm^2$, joten voitaneen todeta, että tukipinta kestää puristuksen. Tämä tukipinta on siis rakennuksen pitkän räystään puoleisen kulman pidemmän kattovasan ja alla olevan hirren (270mm) tukipinta.

5.4 Kurkhirren mitoitus lyhennetyn EC5:n mukaisesti

Seuraavassa lasketaan kurkhirren kuormitusta sekä poikkileikkaussuureita. Käytetyt mitat ovat tuen keskeltä tuen keskelle. Näin käytetyt mitat poikkeavat hieman arkkitehtonisista mitoista, jotka ovat luettavissa lupa-asiakirjoista.

5.4.1 Kurkhirrelle tuleva viivakuorma

Seuraavassa lasketaan EC1:n mukaisten lumen ja omanpainon aiheuttamaa kuormitusta kurkhirrelle. Laskenta suoritettiin Mathcad 15:lla ja tarkoilla arvoilla. Siksi likiarvot saattavat hieman poiketa esitetystä. Mitoituksessa käytetyt mitat on esitetty luvussa 4.8 sivulla 13. /1/

$$P_{kurki,aukko,d} = N_{yhdistelmä,d} \cdot 3,170m = 4,04 \frac{kN}{m^2} \cdot 3,170m = 12,80 \frac{kN}{m}$$

$$P_{kurki,uloke,d} = (G_{omapaino,k} + 0,2 \cdot s) \cdot 3,170m$$

$$= (0,84 + 0,2 \cdot 2,16) \frac{kN}{m^2} \cdot 3,170m = 4,03 \frac{kN}{m}$$

5.4.2 Kurkhirren leikkaus- ja taivutuskestävyys EC5:n mukaisesti

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \tag{10}$$

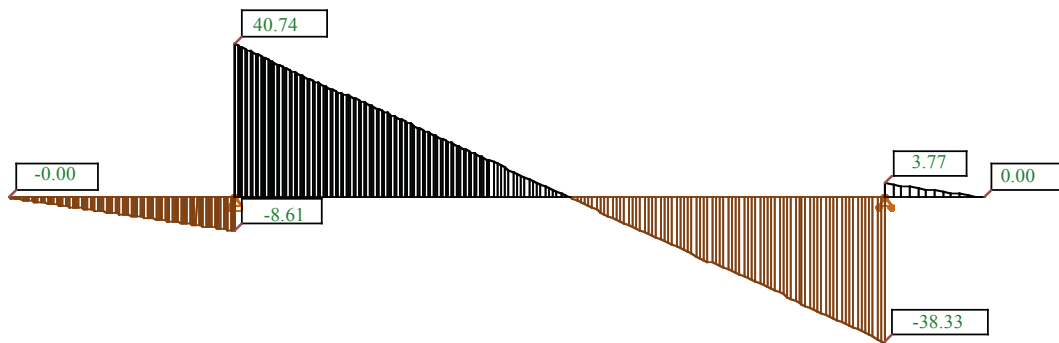
$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{3,2 MN}{1,2 m^2} = 2,13 \frac{MN}{m^2}$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{32 MN}{1,2 m^2} = 21,33 \frac{MN}{m^2}$$

esitetään kurkhirren leikkaus- ja taivutusvoimapiirit. Tässä mallinnuksessa z-, x- ja y-siirtymän estävä tuki sijoitettiin pidemmän ulokkeen kohdalle. Molempien tukien annettiin sallia kiertymä.

5.4.3 Kurkihirren mitoitus leikkaukselle

Seuraavassa lasketaan kurkihirren leikkausrasitusta. Kyseinen ääriarvo on laskettu FEM –laskennalla alla olevan mallin mukaan. Tarkoitus on tarkastella FEM tuloksia käsinlaskennan avulla.



Kuva 7. Kurkihirren Q-Pinta[kN]

Kuva 7 sivulla 26 esittää kurkihirren leikkausvoimapintaa ääriarvoineen. Leikkausvoiman ääriarvo sijoittuu odotetusti pitkän räystään puoleiselle tuelle ja sen arvo on 40,74kN.



Kuva 8. Kurkihirren leikkausjännityspinta[kN/m²]

Kuva 8 sivulla 26 esittää kurkihirren leikkausjännityksen jakautumista rakenteen pituudelle. Leikkausjännityksen ääriarvo on samalla kohtaa kuin leikkausvoiman ääriarvokin. Huomion arvoista on se teoreettinen tosiasia, että leikkausjännitys aukon keskiosan tuntumassa on lähellä nollaa.

$$b_{kurki} = 0,215m, \quad h_{kurki} = 0,630m, \quad V_{kurki} = 40,74 kN$$

$$\tau_{kurki} = \frac{3 \cdot V_{kurki}}{2 \cdot b_{kurki} \cdot h_{kurki}} = \frac{3 \cdot 40,74}{2 \cdot 0,215 \cdot 0,630} = 0,45 \frac{MN}{m^2}$$

(11)

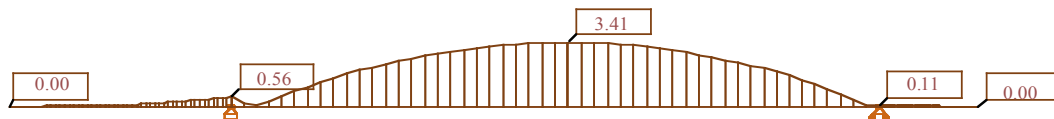
5.4.4 Kurkihirren mitoitus taivutukselle

Seuraavassa lasketaan kurkihirren taivutusrasitusta. Momentin ääriarvo on suoraan FEM laskennasta. Huomattavaa on, että seuraavat käsin tehdyt laskelmat ovat varsin lähellä saatuja FEM tuloksia.



Kuva 9. Kurkihirren M-pinta[kNm]

Kuva 9 sivulla 27 esittää kurkihirren taivutusvoimapintaa ääriarvoineen. Momentin ääriarvo sijaitsee odotetusti aukon keskiosan paikkeilla ja sen arvo on 55,66kNm. Huomionarvoista on, että pitkästä räystästä huolimatta tukimomentit ovat varsin vähäisiä. Tämä johtunee suhteellisen pitkästä jännevälisestä (6180mm).



Kuva 10. Kurkihirren taivutusjännitys [kN/m²]

Kuva 10 sivulla 27 esittää kurkihirren taivutusjännityksen jakautumista rakenteen pituuden mitalla. Leikkausjännityksen ääriarvo sijoittuu samaan kohtaan momentin ääriarvon kanssa ja sen arvo on 3,4 MN/m². Alla esitetyn käsinlaskennan tulos on merkittävästi FEM –tulosta suurempi.

$$\begin{aligned}
 b_{kurki} &= 0,215m, & h_{kurki} &= 0,630m \\
 \sigma_{kurki} &= \frac{M_{kurki}}{W_{kurki}}, & W_{kurki} &= \frac{b_{kurki} \cdot h_{kurki}^2}{6} \\
 \sigma_{kurki} &= \frac{M_{kurki}}{\frac{b_{kurki} \cdot h_{kurki}^2}{6}} = \frac{55,66kNm}{\frac{0,215m \cdot (0,630m)^2}{6}} = 3,91 \left[\frac{MN}{m^2} \right] \quad (12)
 \end{aligned}$$



Kuva 11. Kurkihirren taipumaviiva [cm]

Kuva 11 sivulla 27 esittää kurkihirren taipumaviivaa, jossa ääriarvoksi saatiin 0,35cm. Etukäteen arveltiin, että taipumahuippu saattaa sijaita ulokkeen päässä, mutta toisin kävi. Taipumahuippu sijaitsee palkin puolenvälin paikkeilla aukon keskellä.

Seuraavassa lasketaan kurkihirren taipumaa käsin. Menetelmä on likimääräinen ja antaa arvon, mitä enempää taipuma ei voi olla.

$$\begin{aligned}
 b_{kurki} &= 0,215m, & h_{kurki} &= 0,630m, & I_{y,kurki} &= \frac{b_{kurki} \cdot h_{kurki}^3}{12} \\
 P_{kurki,aukko,d} &= 12,80 \frac{kN}{m}, & L_{kurki} &= 9,250m, & E_{mean} &= 13700 \frac{N}{mm^2} \\
 I_{y,kurki} &= \frac{0,215m \cdot (0,630m)^3}{12} = 4,48 \cdot 10^{-3}m^4 \\
 f_{kurki} &= \frac{5 \cdot P_{kurki,aukko,d} \cdot L_{kurki}^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_{y,kurki}} \\
 f_{kurki} &= \frac{5 \cdot 12,80 \frac{kN}{m} \cdot (9,25m)^4}{384 \cdot 1,37 \cdot 10^7 \frac{kN}{m^2} \cdot 4,48 \cdot 10^{-3}m^4} = 19,87mm \\
 \text{Mitoitusehto käyttörajatilassa} & \frac{L_{kurki}}{400} \leq 23mm
 \end{aligned} \tag{13}$$

5.4.5 Kurkihirren tukipainetarkastelu lyhennetyn EC5:n mukaisesti

$$\begin{aligned}
 X_d &= k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}, & f_{c,90,d} &= k_{mod} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{3,00}{1,2} \frac{N}{mm^2} = 2,00 \frac{N}{mm^2} \\
 A_{kurki,tuki} &= 0,270m \cdot 0,215m = 0,058m^2, & V_{kurki} &= 49,35kN \\
 \text{Rasitus syitä vastaan kohtisuoraan: } \sigma_{c,90,d} &= \frac{V_{kurki}}{A_{kurki,tuki}} = \frac{49,35kN}{0,058m^2} = 0,85 \frac{N}{mm^2} \\
 \ell_{c,90,ef} &= 30 + 270mm + 30mm = 330mm, & k_{c,90} &= 1,5 \\
 k_{c,\perp} &= \frac{\ell_{c,90,ef}}{\ell} \cdot k_{c,90} = \frac{330mm}{270mm} \cdot 1,5 = 1,83 \\
 k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} &= 1,83 \cdot 2,00 \frac{N}{mm^2} = 3,66 \frac{N}{mm^2}
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\tag{15}$$

Voitaneet todeta, että kestävyys 3,66 N/mm² on selkeästi suurempi kuin rasitus 0,70N/mm² joten rakenne kestää tukipainetarkastelun ja siten myös tukipaineen.

5.5 Kattorakenteiden mitoituksen tuloksia

Edellisten laskelmien perusteella kurkihirsi taipuu lumisimpana talvena 20 mm ulokkeen päästä ja ylös päin. Eurokoodi sallii taipuman $L/400 = 23,25\text{mm}$, mikä olisi melkoisen epäesteettistä.

Rasitusten kannalta hyödyllistä kuormaa on tässäkin laskussa vähennetty ulokkeen päässä, mikä vaikuttaa lopputulokseen tasaista kuormaa suurempana siirtymänä.

Taulukko 1. Kattorakenteiden koottuja mitoitus tuloksia

Suure	Kurkihirsi	Kattovasa
$\tau_{max} / \frac{N}{mm^2}$	0,45	0,24
$f_{v,d} / \frac{N}{mm^2}$	2,13	2,13
$\sigma_{max} / \frac{N}{mm^2}$	3,91	1,27
$f_{m,d} / \frac{N}{mm^2}$	21,33	21,33
Taipuma(FEM)/mm	3	0,5
Ääriarvo(L/400)/mm	23	9,44

Taulukko 1 sivulla 29 esittää tuloksia koottuina. Siitä nähdään jälleen kerran, että kattovasan mitoituksessa ei olla lähelläkään murtorajatilan raja-arvoja. Käytörajatilassakaan taipumat eivät kattovasojen tai kurkihirren mitoituksessa tulleet ratkaiseviksi.

Edellä olevien laskelmien perusteella päädyttiin käyttämään kattovasaa (90x415) mm liimapuusta GL32c. Kattovasat ovat suurimmilta osin piilossa, joten tässä voitaneen käyttää laatuluokkaa 4 ja hioa näkyvät osat tarvittaessa paikan päällä.

Kattovasat oli tarpeen mitoittaa korkeiksi, jotta suunniteltu ja vaatimusten mukainen SPU-eristys oli mielekäs toteuttaa. Näin ollen on todettava, etteivät kattovasojen poikkileikkauksen mittoja määränneet kuormat vaan puhtaasti käytäntö.

Kurkihirren mitoiksi määräytyi leikkausvoimatarkastelun rajoittamana (215x630) mm. Kurkihirttä voi pitää lähes monumentaalisena pieneen rakennukseen suhteutettuna. Asiakas toivoi avaraa tilaa yläkerroksiin, joten jänneväli säilyi rakennuksen vaipan eli 6180 mm:n mittaisena.

6 LATTIALAATAN MITOITUS TAIVUTUKSELLE

Tässä mitoitetaan keittiökerroksen lattiaa, teräsbetonivälipohjaa EC0:n mukaisilla kuormilla EC2:n mukaan. Hyötykuormana käytettiin 2,0 kN/m² sekä pistekuormana 20 kN, mikä johtuu kerrokseen sijoitetusta leivinuunista. Lähtökohtana oli 160 mm paksu laatta betonista C25/30. Laatan x-suunnan mediaanin vieressä, hormiaukon läpi, päädyttiin käyttämään kantavaa väliseinää. /3/

Laatan statiikka laskettiin Robot Structures Analysis 12:llä. Taulukko 6.15 sivulla 31 sisältää taivutuksen ääriarvot. Momentin jakautuminen laattassa x- ja y-suunnassa löytyvät kuvasta 12 sivulla 32 ja kuvasta 13 sivulla 33.

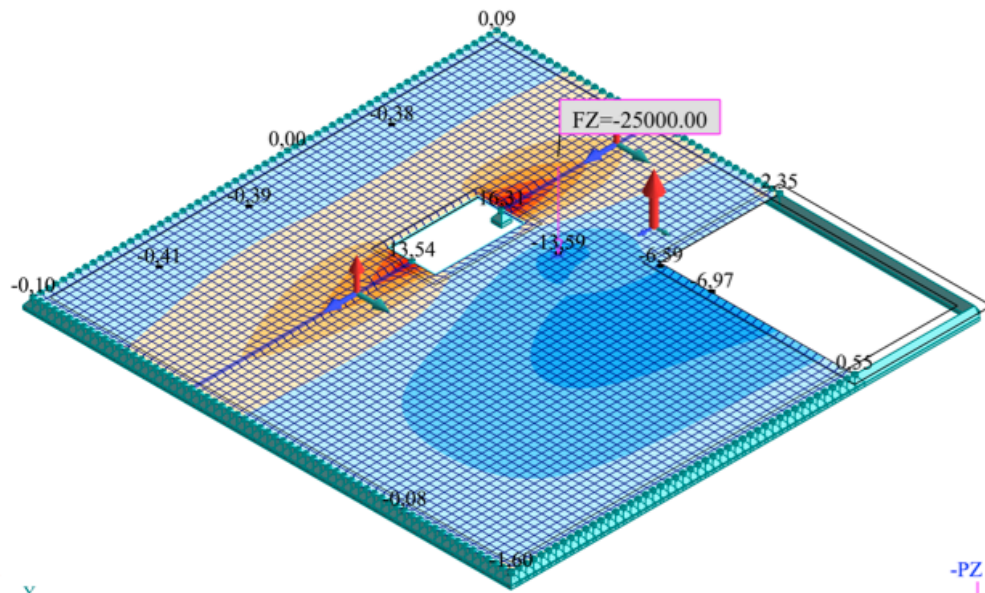
Taulukko 2. Välipohjan taivutuksen statiikka

	<i>MXX (kNm/m)</i>	<i>MYY (kNm/m)</i>	<i>MXY(kNm/m)</i>
MAX	4,14	16,31	3,86
Panel	4	4	4
Node	2	13	69
Case	1	1	1
MIN	-13,81	-13,59	-4,66
Panel	4	4	4
Node	16	16	3415
Case	1	1	1

Taulukko 2 sivulla 31 esittää välipohjan toteutetun raudoituksen sellaisena kuin RSA sen laskee. Käytännössä välipohjan raudoitukseksi toteutettiin läpikotaisin 10k240. Lisäksi toteutettiin reiän kulmiin vahvistusraudoitus sekä laatan ja reiän reunoihin pielirauditus.

Taulukko 3. Välipohjan raudoitus

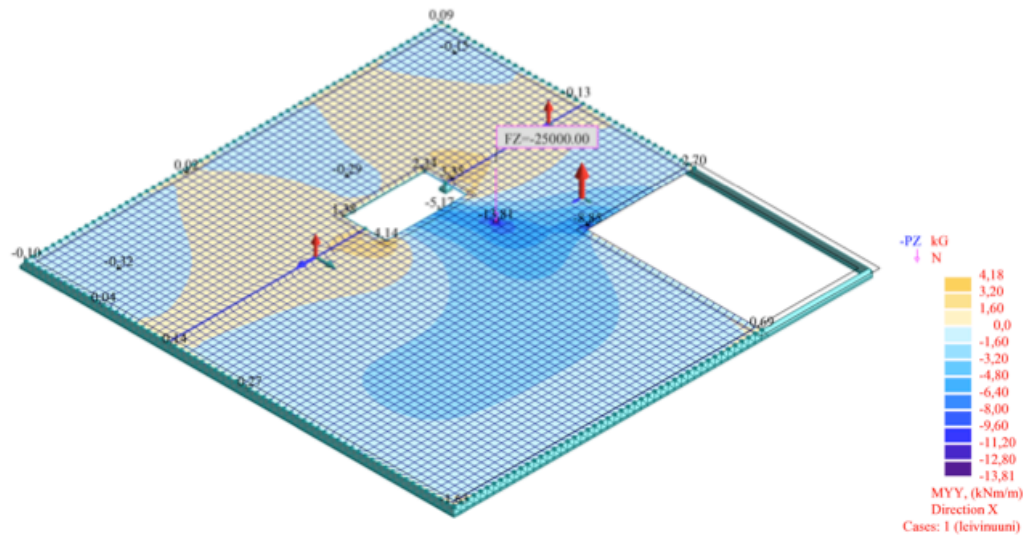
	$[-]Ax(cm2/m)$	$[-]Ay (cm2/m)$	$[+]Ax(cm2/m)$	$[+]Ay(cm2/m)$
MAX	3,14	3,14	3,14	3,14
Panel	4	4	4	4
Node	16	16	1	1
MIN	0	0	0	0
Panel	4	4	4	4
Node	1	1	16	16



Kuva 12. Välipohjan momenttijakauma x-akselin suhteen

Kuva 12 sivulla 32 esittää momenttijakaumaa x-akselin suhteen. Kunkin elementin x-akseli on merkitty sinisellä nuolella. Kuvassa näkyy selkeästi punaisella värillä korostettuna laatasta kantavan väliseinän kohdalla ilmenevä tukimomentti. Vektorasitus tulee siis yläpintaan tuen kohdalla. Raudoitus on laskettu tämän momentin ääriarvon mukaan.

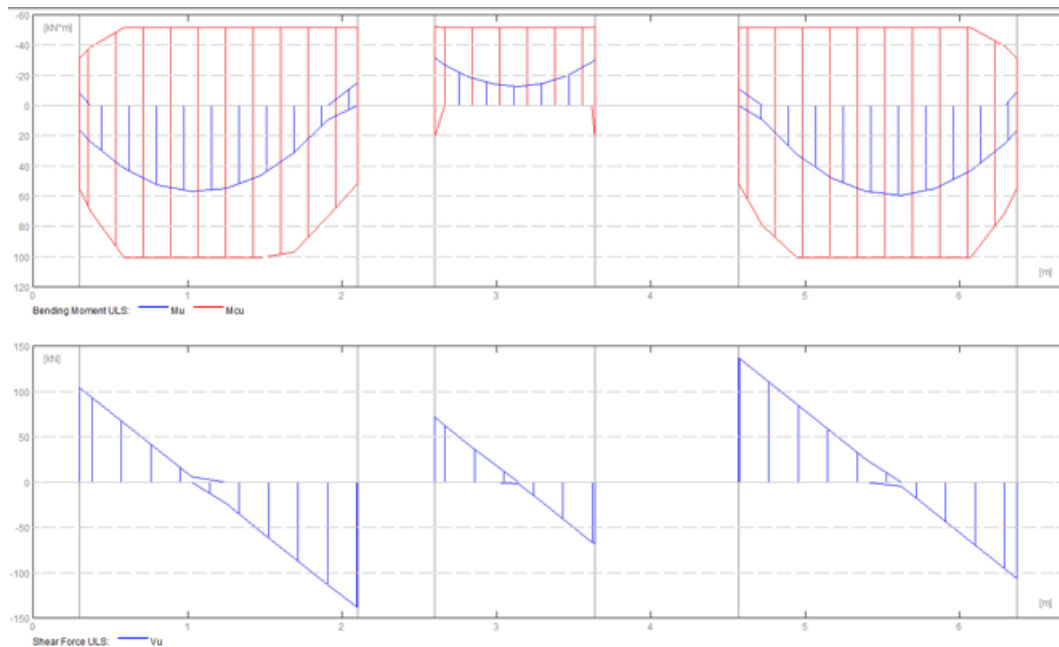
Kentässä tämän suunnan momentin ääriarvot on korostettu sinisellä. Tällöin alapintaan kohdistuu vektorasitusta, jossa se tulisi ottaa huomioon raudoituksella. Taituuden ääriarvo kentässä on pistekuorman kohdalla eli kerroksessa sijaitsevan leivinuunin alla. Kenttämomentin ääriarvo on lähes, mutta ei aivan, yhtäsuuri kuin tukimomentti.



Kuva 13. Välipohjan momenttijakauma y-akselin suhteen

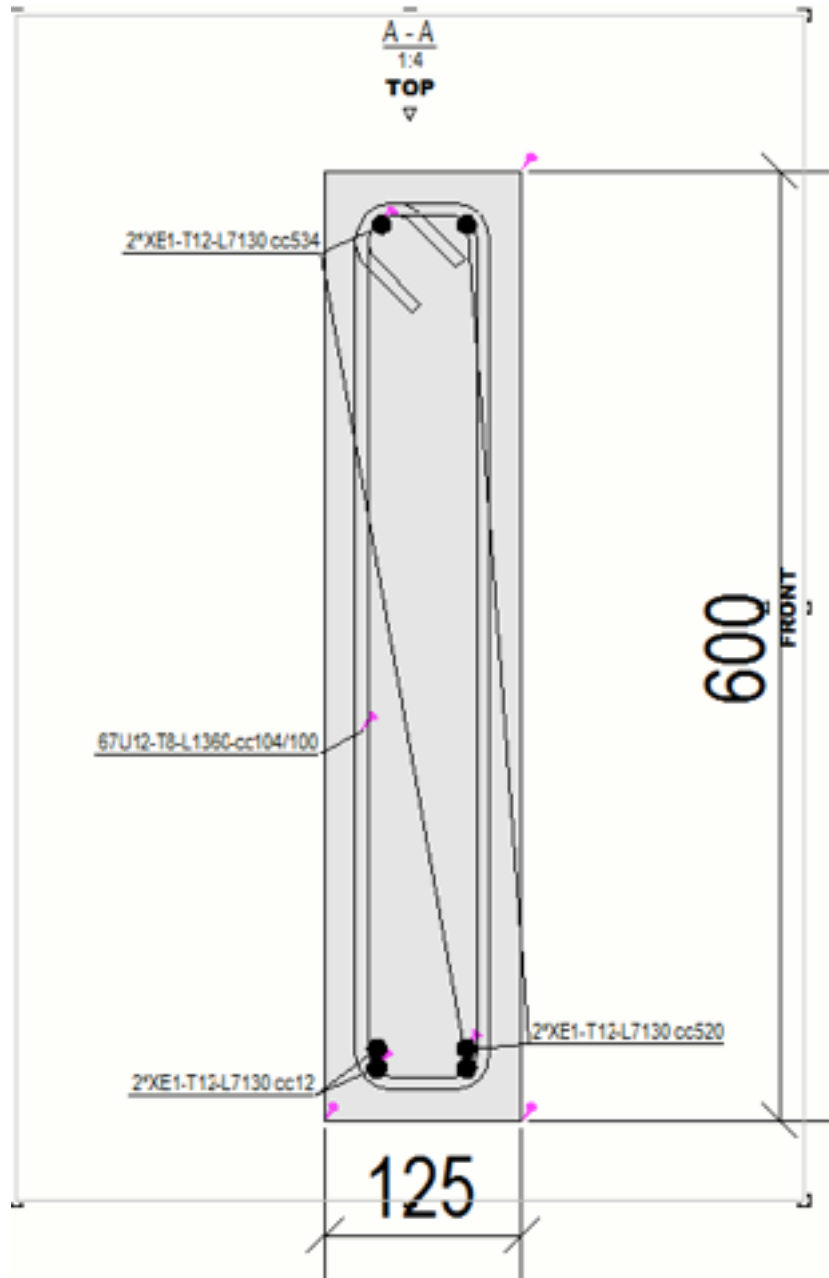
Kuva 13 sivulla 33 esittää taivuttavaa momenttia y-akselin suhteen. Kunkin komponentin y-akseli on kuvassa esitetty vihreällä nuolella. Kuten olettaa saattoi, tukimomentti tässä suunnassa on erittäin vähäinen.

6.1 Ikkunanylitys lounaisella seinällä



Kuva 14. Ikkunan ylittävän palkin Q- ja M -pinnat

Kuva 14 sivulla 33 esittää Robotilla laskettuja Q- ja M –pintoja. Toteutuksen puolesta tilannetta hankaloitti palkin kaksiosaisuus. Ulko- ja sisäkuoret tuli jotenkin yhdistää ja näin rakenteeseen muodostui kylmäsilta. Tässä kannatti käyttää ruostumatonta teräslaatua.



Kuva 15. Ikkunan ylittävän palkin raudituspiirustus

Kuva 15 sivulla 34 esittää Tekla Structures:lla mallinnettua ikkunan ylittävää palkkia ja sen raudituspiirustusta. Robotilla laskettu rauditus katsottiin rasite-
tuimman kohdan mukaan ja raudoitettiin siten koko palkki.

7 LÄMMÖNLÄPÄISY JA U-ARVOT

U-arvot laskettiin Doftec –ohjelmalla. Tässä laskennassa saatiin rakenteille seuraavat suureet. Doftec –laskelmat on esitetty liitteessä 5.

Taulukko 4 esittää määritetyt U-arvot rakennetyypeittäin. Huomionarvoista on, että maanvaraiseen lattiaan on rakennettava lisäeristystä suunniteltuun verrattuna, jotta päästään tämän rakenteen osalta U-arvoon joka on pienempi kuin 0,27. Lisäeristystä suunniteltuun nähden tarvitaan myös kellarin seinässä, sekä vesikatossa.

Taulukko 4. Rakenteiden lasketut U-arvot

Rakenne	U-Arvo
Maanvarainen lattia	0,68
Kellarin seinä	0,28
Hirsiseinä	0,45
Vesikatto	0,12

Liitteessä 5 on esitetty lämpö- ja kosteussuureet sellaisena kuin Doftec –ohjelman tietokanta ne tuntee ja ohjelma laskee. Seuraavaksi on esitetty lämpöhäviöiden tase-laskelma kyseiselle rakennukselle. Laskelmissa käytettiin ilmanvuotolukua 2.0 joten ilmanvuotoluvun määrittäminen on tehtävä rakentamismääräysten mukaisesti.

Rakennuskohde	Rakennuksen Pientalo
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	2-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 14,4 % kerrostasosalasta.
Pääsuunnittelija	Kai Lauronen
Tasauslaskelman tekijä	Kai Lauronen
Päiväys	22.3.2011
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	254 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	90 m ²
Kerroskorkeus	2,7 m
Huonekorkeus	2,7 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	254 m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	m ³

Laskentatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 176 m²
 Ikkunapinta-ala on 14 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 7 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 100 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot

RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	63	63	0,17	0,60	0,15	10,7	9,6
Hirsiseinä	94	94	0,40	0,60	0,45	37,5	42,3
Yläpohja	47	47	0,09	0,60	0,08	4,2	3,9
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)	0		0,16	0,60		0,0	-
Muu maanvastainen rakennusosa	17		0,16	0,60		2,7	-
Ikkunat	13,5	13,0	1,00	1,80	1,00	13,5	13,0
Ulko-ovet	6,4		1,00	-	1,00	6,4	6,4
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	240	240				75,0	75,2
Puoliämpimät tilat							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet			1,40	-		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = n ₅₀ / 25 × V / 3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 × q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	1,9	0,0056	0,0054	6,8	6,4
Puoliämpimät tilat	2,0	1,9			-	-

ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{lv} = 1200 × q _{v,p} × (1 - η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Halittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat			45		-	-
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta	8,000		0		9 600,0	9 600,0
Puoliämpimät tilat			45		-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus	Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{per} + H _{vuotoilma} + H _{lv}]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä	9 682	9 682
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä	-	-

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräykkoelman osan D3 mukaisesti.

Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätilan ilman ulkoilmaa korkeampi vuotuinen keskilämpötila.

Ryömintätilan tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

8 PÄÄTELMÄT

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin hirsihuvila toteutusta varten. Suunnittelua aloitettaessa oli kellarikerroksen ulkoseinä jo muurattu. Maan kantavuus jätettiin asiantuntijan arvion varaan ilman tehtyä pohjatutimusta.

Suunnittelussa käytettiin apuna mahdollisimman paljon tietotekniikkaa. Huomattiin, että tietotekniikan luotettava käyttö vaatii tietämystä myös käytettävien ohjelmien toimintavasta ja siitä mihin niiden laskenta perustuu. Tätä tietoa piti tämän työn aikana hankkia.

Tätä työtä voi pitää varsin rutiiniomaisena ja paljon tehtynä rakennusalan suoritteena, vaikka eräät seikat tekevätkin suunnitellusta rakennuksesta ainutkertaisen Suomessa. Tämän tyyppisiä rakennuksia tiedetään kuitenkin rakennetun paljon Keski-Eurooppaan.

Täytyy myöskin todeta, ettei tässä työssä erityisemmin keskitytty rakennuksen tiiveyteen, mikä on tämänhetkisen rakentamisen yksi keskeinen tavoite sekä keino säästää energiaa.

LÄHTEET

/1/ Eurokoodi 1, SFS-EN 1991-1-1/AC.

/2/ Eurokoodi 5, Lyhennetty suunnitteluohje, toinen painos. 55s.

/3/ Eurocode 2, SFS-EN 1992-1-1.

LIITEET

LIITE .Asemapiirustus 1:500

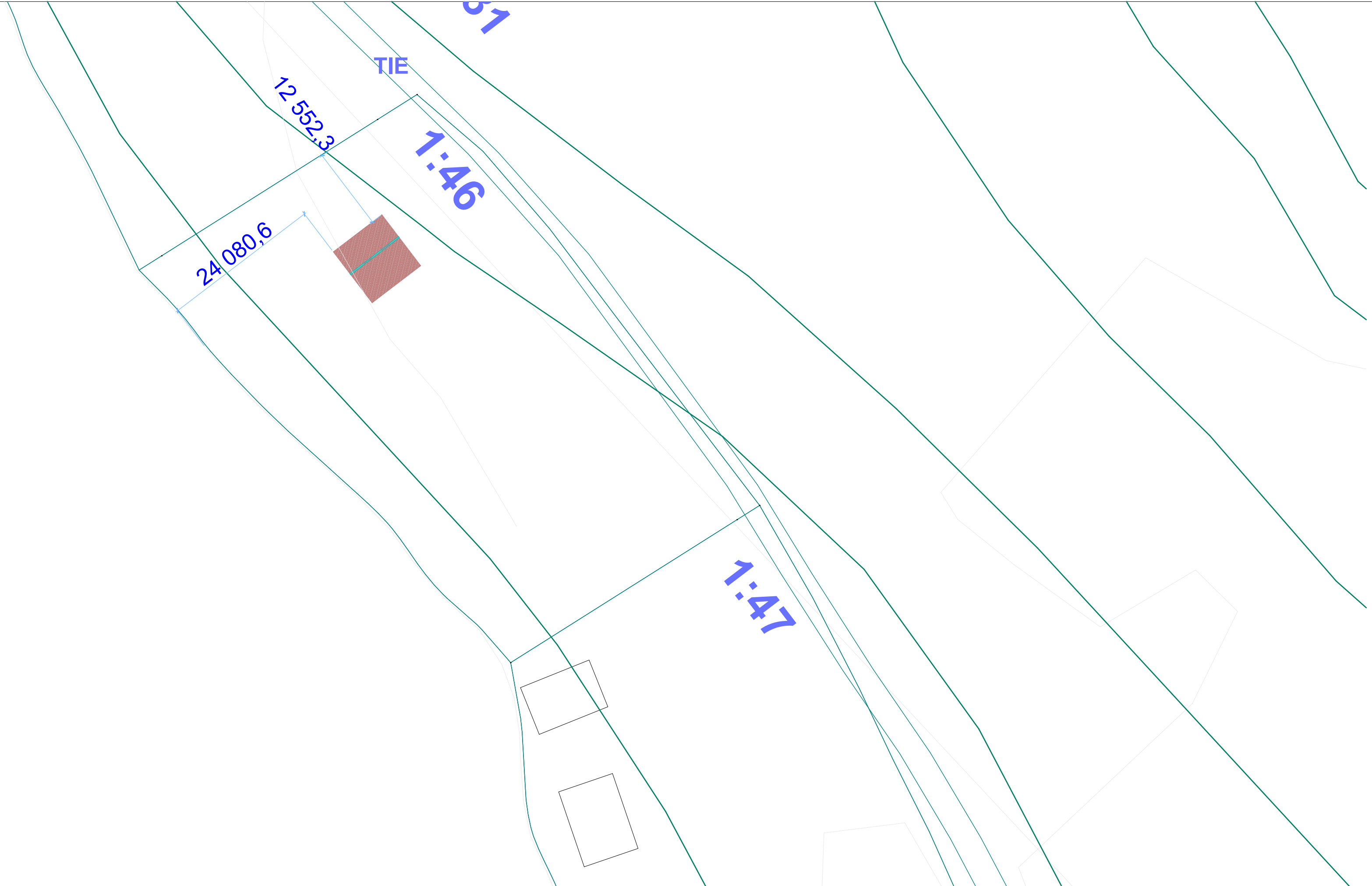
LIITE .Julkisivupiirustus 1:100

LIITE Pohjapiirustus 1:100

LIITE .Leikkauspiirustus 1:100

LIITE U-arvolaskenta Doftecilla

Liite 1



Katto: Profiilipeltikate, vihreä, U-arvo 0,052
Ulkoseinät: Lamellihirsi(270mm) U-arvo 0,413, pinnoittamaton, Kellarissa Leca (300mm) 3-kerrosrappaus, U-arvo 0,513
Lumi Maassa 2,7 kN/m²

Huoneistoalat:

Kellarikerros	33,5
tekn. tila	3,3
sauna	3,3
pesuhuone	3,8
takkahuone	23,1
Keittiökerros	35,1
Ullakkokerros	32,4
yhteensä	100 m²
Kerrosala	35,1
Tilavuus	249,6 m³

k.osa/kylä HURTTAVAARA	kortti/tila	tontti/rn.o	viranomaisen merkintöjä
rakennus/toimenpide UUDISRAKENNUS			piirustuslaji PÄÄPIIRUSTUS
rakennuskohde/project VILLA ONNELA			piirustus
JOENSUU			mittakaava 1:500
Uudisrakennus 1:47 62°33'0,66"P 30°46'51,48"l			LUONNOS
 +358-45-2042778	työnumero	ARK 1	
	cad-koodi Archicad 14	muutos/rev	
	paiväys	suunn./architect K.Lauronen	piirtäjä ****
<small> TOIMIMME: TÄMÄN SUUNNITELMAN KÄYTTÖÖN TALENTTI-ALUEIDEN KÄYTTÖTARKOITUKSIA KÄSITTELEVÄN LAUSUNNON PERUSTELLA. KÄYTTÖTARKOITUKSIA KÄSITTELEVÄN LAUSUNNON KÄYTTÖÖN TALENTTI-ALUEIDEN KÄYTTÖTARKOITUKSIA KÄSITTELEVÄN LAUSUNNON PERUSTELLA. TÄMÄN SUUNNITELMAN KÄYTTÖÖN TALENTTI-ALUEIDEN KÄYTTÖTARKOITUKSIA KÄSITTELEVÄN LAUSUNNON PERUSTELLA. TÄMÄN SUUNNITELMAN KÄYTTÖÖN TALENTTI-ALUEIDEN KÄYTTÖTARKOITUKSIA KÄSITTELEVÄN LAUSUNNON PERUSTELLA. </small>			

Liite 5 –U-arvojen Doftec laskenta

Lattia

RAKENTEEN P—TIEDOT:

U-arvo: 0.68 W/m²K
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisΣ: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 0.000
Pinta-ala: 40.00 m²
Paksuus: 850.000 mm
Vesih+yryyn vastus: 20887500.027 m²hPa/g
Vesih. lΣpΣisykerroin: 0.000000 g/m²hPa
LΣmm+nvastus: 1.479 m²K/W
Paino: 62900.00 kg

Hirsi

RAKENTEEN P—TIEDOT:

U-arvo: 0.45 W/m²K
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisΣ: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000
Pinta-ala: 1.00 m²
Paksuus: 270.000 mm
Vesih+yryyn vastus: 7500.000 m²hPa/g
Vesih. lΣpΣisykerroin: 0.000133 g/m²hPa
LΣmm+nvastus: 2.247 m²K/W
Paino: 135.00 kg

Katto

RAKENTEEN PffTIEDOT:

U-arvo: 0.12 W/m²K
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sis%: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 25.000
Pinta-ala: 100.00 m²
Paksuus: 416.000 mm
Vesih^yryyn vastus: 2802070.873 m²hPa/g
Vesih. l%p%isykerroin: 0.000000 g/m²hPa
L%mm^nvastus: 8.496 m²K/W
Paino: 4432.00 kg

Kellarin seinä

RAKENTEEN P—TIEDOT:

U-arvo: 0.28 W/m²K
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisΣ: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000
Pinta-ala: 78.00 m²
Paksuus: 300.000 mm
Vesih+yryyn vastus: 28563.991 m²hPa/g
Vesih. lΣpΣisykerroin: 0.000035 g/m²hPa
LΣmm+nvastus: 3.630 m²K/W
Paino: 9165.00 kg