

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Nieminen Juha,
Purhonen Saku

ELEMENTTIRAKENTEINEN HIRSITALO



OPINNÄYTETYÖ

Huhtikuu 2016

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tekijät

Juha Nieminen ja Saku Purhonen

Nimeke

Elementtirakenteinen hirsitalo

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä suunniteltiin elementtirakenteinen hirsitalo, käyttäen kantavana rakenteena pilari-palkkijärjestelmää. Suunnittelulähtökohtana käytettiin hirsi- ja elementtirakentamisen historiaa. Opinnäytetyö mallinnettiin Tekla Structures 3D-tietomallinnusohjelmalla. Opinnäytetyössä tehtiin kustannusvertailu erilaisista seinärakenteista, jotta saatiin kokonaiskuva elementtirakenteisen hirsitalon hinnasta muihin rakenteisiin verrattuna. Elementtirakenteisen hirsitalon toimivuutta tarkasteltiin erilaisin laskelmin.

Tuloksena oleva pilari-palkkijärjestelmän ja moduulirakenteen yhdistelmä mahdollistaa elementtirakentamisen hyvien puolien hyödyntämisen hirsirakentamisessa. Järjestelmän ansiosta rakennetta on helppo soveltaa myös vaativimpiin rakenteisiin. Opinnäytetyö toimii hyvänä lähtökohtana tulevaan, ja pitkäaikaisena tavoitteena on saada opinnäytetyössä suunniteltu mallitalo rakennettua konkreettisesti.

Kieli

suomi

Sivuja 33

Liitteet 15

Liitesivumäärä

Asiasanat

hirsirakentaminen, elementtirakentaminen, pilari-palkkijärjestelmä, moduulijärjestelmä



THESIS

April 2016

Construction Engineering

Authors

Juha Nieminen and Saku Purhonen

Title

Prefabricated element log house

Abstract

The Thesis has been designed prefabricated element log house, using column-beam frames to bearing structures. The history of the log and element constructions was our base of design. The thesis has been modelled to using Tekla Structures 3D view program. This work has been done cost comparison of different wall structures to get a overall picture about element structures log houses price compared other wall structures. The element constructions of the log houses workability has been surveyed different calculations.

The resulting of the thesis column beam frame structures and modular system combinations to enable good properties of element constructions utilize for log house building. It is easy to apply more challenging structures because of this system. The thesis is a good base to future and a long time target to us is get build the model house in concretely which is designed to this thesis.

Language

Finnish

Pages 33

Appendices 15

Pages of Appendices

Keywords

Log house building, element house building, column and beam system, modular system

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Hirsirakentaminen	6
2.1	Hirsirakentamisen historia Suomessa	6
2.2	Hirren ominaisuudet	7
2.2.1	Painuminen	8
2.2.2	Halkeilu	9
2.2.3	Tiiviys	10
2.2.4	Säilyvyys	11
2.2.5	Lämmönjohtavuus	12
2.2.6	Kosteuskäyttäytyminen	13
2.2.7	Aineettomat terveyshyödyt	13
2.3	Hirsirakentaminen Suomessa ja maailmalla	14
3	Puuelementtirakentaminen	15
3.1	Puuelementtirakentamisen historia	15
3.2	Suomalainen puuelementtirakentaminen	16
3.3	Puuelementtirakentaminen 2000-luvulla	17
3.4	Elementtirakentamisen edut	20
3.5	Elementtirakentamisen tulevaisuus	20
4	Case-Elementtirakenteinen hirsiseinä/ pienhirsielementtitalo	22
4.1	Mallitalon esittely	22
4.2	Kantava runko, pilari-palkkijärjestelmä	23
4.3	Hirsiseinäelementti	24
4.4	Yläpohja	26
4.5	Alapohja	26
4.6	Rakenteen toimivuus	27
4.7	Lämpötekniinen toimivuus	27
5	Kustannusvertailu	28
6	Pohdinta	29
	Lähteet	31

1 Johdanto

Opinnäytetyötämme varten kartoitimme kyselylomakkeella Suomessa toimivien hirsirakentamiseen erikoistuneiden yritysten näkemyksiä ja kokemuksia suomalaisesta hirsirakentamisesta ja sen tulevaisuudesta. Kyselylomake on liitteenä (liite 1). Saamiemme vastausten perusteella voimme todeta, että kantava puupilari-palkki rakentaminen on ollut Suomessa vähän käytetty, mutta nähdään mahdollisuutena, että sitä hyödynnetään nykyistä paremmin rakentamisessa. Hirsirakennuksen ongelmina alan toimijoiden keskuudessa yleisesti nähdään tiukentuvat energiamääräykset. Hirsitalojen kysyntä on heidän näkemyksensä mukaan kuitenkin ollut kasvussa, vaikkakin vapaa-ajan asuntojen rakentamisessa se on vähentynyt. Voidaan siis päätellä, että hirsitalojen kysyntä nimenomaan asuinrakennuksiksi on kasvamassa.

Tästä motivoituneina päätimme kehittää puupilari- palkkirakentamista yhdistettynä hirsielementtirakentamiseen ja kehittämällä moduulijärjestelmän kyseiseen rakennustapaan sopivaksi. Moduulijärjestelmän avulla hirsitalorakentamista voidaan yhä kehittää jatkossa hirsitalovalmistajien toivomaan julkisen rakentamisen piiriin helpommin. Opinnäytetyössämme tavoitteena oli suunnitella mallitalo, jossa kantava runko rakennetaan liimapuupalkeista - ja pilareista. Työssämme keskityimme erityisesti liitos- ja kiinnitysdetaljeihin, joilla hirsiseinä kiinnitetään kantavaan runkoon siten, että rakennuksesta tulee kokonaisuudessaan toimiva. Kokonaisuudessaan toimivalla rakennuksella tarkoitamme tässä työssä sekä rakennuksen stabiiliutta että myös sen fysikaalista toimivuutta.

Mallitalo suunniteltiin 3D-mallinnusta hyödyntäen, jolloin liitosten mahdolliset riskit ja epäkohdat tulivat huomioiduksi jo heti suunnitteluvaiheessa. Käytimme mallinnuksessa Tekla Structure -mallinnusohjelmaa. Lisäksi tarkastelimme tässä työssä suunnittelemamme mallitalon kustannuksia ja vertasimme sitä muutamaa eri rakennustapojen kustannuksiin.

2 Hirsirakentaminen

2.1 Hirsirakentamisen historia Suomessa

Hirsirakentamisella on Suomessa pitkät perinteet. Suomalaisen elinympäristön varhaisin tunnettu asuinrakennuksen hirsikehikko on noin 1200 vuotta vanha ja se on paikannettu Laatokan tuntumaan. (Saarelainen 1993, 11.) Tiettävästi vanhin Suomessa vielä pystyssä oleva hirsirakennus on Kokemäellä sijaitseva Pyhän Henrikin kappeli, joka on rakennettu 1100-luvulla (Vuolle-Apiala 2012, 11).

Pohja-alaltaan pyöreästä hirsikodasta kehittynyt nelinurkkainen savupirtti levisi Suomeen idästä, todennäköisesti ennen 1323 tehtyä Pähkinäsaaren rauhaa (Siikanen 2008, 13). Nelinurkkainen hirsirunko oli Suomessa alkujaan rakennettu lähinnä tulisijan suojaksi, mutta tulisijan koon ollessa iso, syntyi rakennelmista melko massiivisia talomaisia rakenteita (Saarelainen 1993, 11.) Suojat rakennettiin poikkileikkaukseltaan pyöreästä veistämättömästä hirrestä käsityönä (Saarelainen 1993, 11). Hirsirakentaminen kehittyi aikojen saatossa. Yksihuoneisiin tupiin rakennettiin lisää huonetiloja vaiheittain ja uloslämpiväät tulisijat yleistyivät. 1700-luvulla rakennuksissa yleistyivät ikkunat. Rakentamista ohjasi Suomessa yleisesti käytettävissä ollut varallisuus, ajanmukainen rakennustyyli, sekä ympäristössä vallinneet olosuhteet (Vuolle-Apiala 2012, 16).

Rakennuksen malli säilyi aina 1800-luvulle saakka yleensä nelinurkkaisena ja pohjaratkaisultaan suorakaiteen muotoisena ja hirsipintaisena. 1800-luvulla maahamme alkoi tulla vaikutteita maailmalta ja esimerkkinä näistä vaikutteista oli, että hirsirakennuksia alettiin vuorata lautaverhouksin. (Vuolle-Apiala 2012, 24). Lautaverhouksen toteuttamista edesauttoi sahateollisuuden vahva kehittyminen Suomessa 1700-luvulla (Siikanen 2008, 13). Tämä rakennusten moninaistaminen jatkui lähes koko 1800-luvun, ollen kiivaimmillaan 1800–1900-luvun vaihteessa. Kehitystä ohjasivat pääasiassa julkiset rakennukset kuten kirkot, kartanot ja pappilat. (Vuolle-Apiala 2012, 24). Suomen kaupungeissa myös kaava muutokset, sekä 1800-luvun lopulla yleistyneet rakentamista ohjaavat ra-

kennusmääräykset alkoivat yhä enenevässä määrin ohjata rakentamista Suomessa (Vuolle-Apiala 2012, 42).

1930-luvulla hirsitalojen rakentaminen asuinkäyttöön oli varsin tavanomainen tapa Suomessa, mutta toinen maailmansota muutti suomalaista rakennustapaa voimakkaasti. Sodan jälkeen 1940-luvulla asuntojen tarve kasvoi ja käsityönä valmistetut hirsitalot eivät riittäneet täyttämään kysynnän tarvetta. Tällöin Suomessa yleistyi puurankorakenteiset sahanpurueristeiset asuintalot. (Paloheimo 2000, 74–77.) Toisen maailmansodan jälkeen Suomessa kehitettiin uusia menetelmiä rakentamiseen tarkoituksena vastata asuntojen kysynnän tarpeeseen. Niinpä Suomessa alkoi kehittyä myös hirsirakentamisen teollinen valmistus, joka mahdollisti pitkälle esivalmistetun rakennusosan valmistamisen jo tehtaalla. Höylähirsi oli ensimmäinen Suomessa hirsiteollisuuteen valmistettu teollinen rakennustuote 1950-luvun lopulla. Hirsi höylättiin muotoonsa teollisesti, mutta tapitukset ja nurkkalukot tehtiin vielä käsin. Tuotteita ja teollisuuden laitteita kehitettiin kuitenkin jatkuvasti ja tuotekehityksen tuloksena markkinoille tuotiin 1980-luvulla liimattu massiivirakenne, josta käytetään nimitystä lamellihirsi. (Saarelainen 1993, 42–48)

Suomen kaupungistuessa hallitsevaksi rakennustavaksi muodostuivat betonielementtikerrostalot. Hirsirakennustekniikka kohdistui tällöin lähinnä vapaaajan asuntoihin sekä saunarakennuksiin. (Paloheimo 2000, 74–77.) Hirsitalot ovat kuitenkin kehittyneet 1970–1980-luvuilla uusien ratkaisujen myötä. Nykyään tietokoneavusteiset laskentaohjelmat, 3D-mallinnus kuin myös puuntyöstökoneet ovat tuoneet tehokkuutta hirren teolliseen valmistukseen ja 90 % nykyään Suomessa valmistetuista hirsitaloista valmistetaan teollisesti. (RT-82-11168 2014, 11)

2.2 Hirren ominaisuudet

Hirsitaloteollisuus Ry määrittelee hirren olevan teollisesti puusta höyläämällä tai sorvaamalla valmistettu massiivinen vähintään 68 mm paksu rakennusmateriaali (Hirsitalon laatuvaatimukset, 2011). Hirrellä on paljon erilaisia ominaisuuksia.

sia, jotka tulee huomioida jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Merkittävimpiä ominaisuuksia käsitellään tulevissa kappaleissa.

2.2.1 Painuminen

Vaakahirsirakenteinen seinä painuu noin 2-4 cm seinän korkeusmetriä kohti. Huolellisesti rakennettu hirsiseinä painuu seinän jokaisesta kohdasta suunnilleen yhtä paljon. Hirsiseinän painuminen johtuu suurimmaksi osaksi puun kuivumisen aiheuttamasta kutistumisesta. Painumista aiheuttaa myös rakennuksen painon kuormitus ja seinän saumojen tiivistyminen. (Puuinfo 2015, 34; RT-82-11168 2014, 4.) Painumista voidaan estää huolellisella hirsimateriaalin kuivatuksella, huolellisella asennustyöllä ja seinien läpi asennettavilla pulteilla. Painuminen onkin hyvä huomioida jo hirsirakennuksen suunnitteluvaiheessa huolellisesti. (Saarelainen 1993, 82.) Painuminen tulee huomioida erityisesti ovien- ja ikkunoiden karmeissa, sekä pystypilareissa ja kattorakenteissa (Vuolle-Apiala 2012, 109). Myös sähköasennuksia suunniteltaessa ja asennettaessa on huomioitava hirsirakennusten painuminen. Painuminen saattaa aiheuttaa sähköjohtojen kiristymistä. (Vuolle-Apiala 1996, 101.)

Toisaalta painuminen parantaa hirsirakenteen ilmanpitävyyttä, jos rakenteeseen on jätetty riittävät painumavarat ja ilmanpitävyys näissä kohdissa on huolellisesti suunniteltu (Aho & Korpi 2009, 17). Hirsirakenteiden liitosten tulee säilyttää tiiviytensä painumien aiheuttamista muodonmuutoksista huolimatta (Hirsirakenteet 2015, 44.) Myös paloetäisyyksiä suunniteltaessa on otettava huomioon mahdollisista painumista syntyvät mittamuutokset (Siikanen 2008, 318) Väliseiniä suunniteltaessa on huomioitava hirren korkeuden suhde ja pystysuuntainen seinärakenne samankaltaiseksi kuin ulkoseinässä johon väliseinä liittyy (Hirsirakenteet 2015, 44). Lämmitetyssä tilassa olevat väliseinät painuvat yleensä noin 10mm / seinän korkeusmetri enemmän kuin ulkoseinät (Siikanen 2008, 318). Rakennusteollisuudessa on käytettävissä hirttä, jonka painumisominaisuudet vastaavat normaalia puurakentamista. Tätä kutsutaan ns. painumattomaksi hirreksi (RT-82-11168 2014 4). Painumaton hirsi on valmistettu lamelleista, joista osa on asetettu niin, että lamellin syysuunta on poikkileikkauksessa

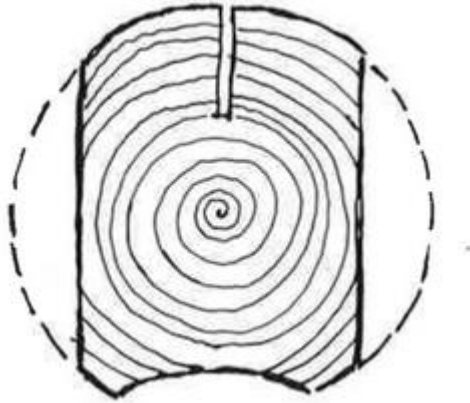
pystysuuntaan, jolloin painuminen saadaan mahdollisimman pieneksi (Hirsitalon suunnittelu 2015, 35).

2.2.2 Halkeilu

Hirsi halkeaa aina puun pinnasta kohti puun sydäntä (Vuolle-Apiala 1996, 106). Halkeilun perussyynä on sen kuivumisesta johtuva kutistuminen eri tavoin eri suunnissa (Saarelainen 1993, 82). Kuivumisen yhteydessä puuhun syntyy jännityksiä, jotka ylittäessään puun vetolujuuden, aiheuttavat puuhun halkeamia (RT-82-11168 hirsitalon suunnitteluperusteet 2014, 3).

Kutistuminen vaihtelee puulajeittain, mutta esimerkiksi mänty ja kuusi kutistuvat tuoreesta vedettömän kuivaksi pituussuunnassa 0,2-0,3 %, tangentin suunnassa 8 % ja säteen suunnassa 4 % (Siikanen 2008, 43). Seinärakenteena käytetyn hirteen halkeamat syntyvät pääosin keskelle hirttä (Siikanen 2008, 318). Halkeaman koko riippuu käytetyn hirren koosta ja sen kosteudesta. Suurikokoisessa hirressä halkeamat saattavat olla suurempia. (RT-82-11168 2014, 3).

Halkeamia voidaan pyrkiä rajoittamaan sahaamalla hirren yläpintaan ura, joka ulotetaan riittävän lähelle puun sydäntä (kuva 1) (Vuolle-Apiala 2012, 106). Halkeamiin voidaan lisäksi vaikuttaa vielä rakennuksen käyttöönottovaiheessa. Kun hirren kuivumisen lopputilaan annetaan tapahtua mahdollisimman pitkän ajan kuluessa, on todennäköisyys hirren halkeilulle vähäisintä (Saarelainen 1993, 84).



Kuva 1. Sahausura hirren yläpinnassa (Vuolle-Apiala 2008, 30).

Halkeamat eivät vaikuta puun lujuusominaisuuksiin tai lämmönjohtavuuteen. Lämmönjohtavuus voi olla jopa hieman pienempi halkeaman kohdalla kuin muualla puussa. Sisätiloissa halkeamat vaikuttavat myönteisesti puun kykyyn tasata kosteudenvaihtelua huoneilmassa. (RT-82-11168 2014, 3; Hirsitalon suunnittelu 2015, 34). Halkeamien myönteinen vaikutus huoneilman kosteuden tasausominaisuuksiin johtuu usein siitä, että puun pinta-alan määrä seuraa suoraan rakenteen kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta (Hirsitalon suunnittelu 2015, 34).

2.2.3 Tiiviys

Hirsi materiaalina läpäisee kosteutta ja ilmaa hitaasti. Rakenteiden nurkat, varaukset ja liitokset saattavat huonosti toimiessaan läpäistä ilmaa ja kosteutta tehokkaasti. (Vuolle-Apiala 2012, 117.) Hirsiseinän ilmanpitävyyden tulee olla samaa tasoa kuin minkä tahansa muun seinärakenteen (RT-82-11168 2014, 4). Ilmanpitävyys on varmistettava varauksen muodoilla ja huolellisella tiivistämisellä (Hirsitalon suunnittelu 2015, 35). Merkittävässä roolissa rakennuksen ilmanpitävyyden kannalta on myös nurkkien ilmatiiviys (Saarelainen 1993, 84).

Hyvin suunnitellulla ja huolellisesti toteutetulla ilmanpitävyydellä saadaan estettyä haitallisen vuotoilman kulkeutuminen rakenteen läpi, jotta rakenteiden ilmanvaihdon toiminta olisi hallittua. Ilmanpitävyys estää myös vuotoilman mukana kulkeutuvan liiallisen vesihöyryn pääsyn rakenteisiin. Varausten vuotoilemi-

nen teollisessa valmistuksessa ja huolellisella tiivistyksellä saavutetaan seinärakenteelle vaadittava ilmanpitävyys. Haastavin kohta hirsirakennusten ilmanpitävyyden kannalta onkin yleensä ulkovaipan läpi tehdyt läpiviennit ja rakennesienien liitokset (RT-82-11168 2014, 4).

2.2.4 Säilyvyys

Hirren säilyvyyteen vaikuttaa merkittävimmin rakennusmateriaalina käytetyn puun kosteuspitoisuus (Karjalainen 1993, 84). Lahottaja- ja sinistäjäsiementen kasvuolosuhteet ovat otollisimmat puun kosteusprosentin ollessa 20 % tai yli, sekä lämpötilan ollessa vähintään + 5 °C. Puun kosteus nousee yli 20 % yleensä vasta, kun ilman suhteellinen kosteus on pitkäaikaisesti yli 85 % (RT-82-11168 2014, 10). Sienet aiheuttavat puussa biologisia ilmiöitä. Lahottajasienet tuhoavat ligniiniä ja selluloosaa, jotka ovat puun lujuuden muodostavia aineksia. Sinistäjä- ja homesienet eivät alenna puun lujuutta, mutta aiheuttavat vaurioita väriavikojen ja terveyshaittojen muodossa. (RIL 205-1-2007 puurakenteiden suunnitteluohje 2008, 165).

Myös auringon energia vaikuttaa hirsipintaisen julkisivun säilyvyyteen (Siikanen 2008, 73). Auringon säteily jakautuu ultraviolettisäteilyksi, lämpösäteilyksi ja näkyväksi valoksi (Siikanen 2014, 22). Ultraviolettisäteily aiheuttaa hirteen kemiallisia reaktioita, kuten puun pintarakenteen eroosiota ja värin vaihtelua (Siikanen 2014, 23). Ultraviolettisäteily on voimakkainta rakennuksen lännen ja etelän puoleisilla sivuilla (Vuolle-Apiala 2012, 107). Lämpösäteily aiheuttaa hirren pinnan kuivumista ja lisää näin kuivumishalkeilua. (Siikanen 2008, 73).

Hirsirakenteista julkisivua suunniteltaessa on huomioitava sen suojaaminen säilyvyyteen vaikuttavilta haitallisilta ilmiöiltä. Suojaaminen voidaan jakaa kolmeen ryhmään seuraavasti:

- rakenteellinen suojaus
- kemiallinen suojaus
- pinnoitus

(RT-82-11168. 2014, 6.)

Rakenteellinen suojaus on edellä mainituista suojauksista yleensä halvin ja usein myös tehokkain suojaustapa (Siikanen 2008, 84). Hirsirakenteisessa julkisivussa on kiinnitettävä puun suojauksen ohessa huomiota myös tiivisteiden asemaan seinärakenteessa. Tiiviste on suunniteltava siten, että se ei pääse kostumaan ja siten aiheuttamaan sienikasvustolle otollista elinympäristöä. Myös veden kapillaarinen nousu puurakenteeseen on estettävä. (Karjalainen 1993, 85).

2.2.5 Lämmönjohtavuus

”Rakennuksen vaippaan kuuluvan seinän, yläpohjan ja alapohjan tai puolilämpimään tilaan rajoittuvan rakennusosan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.” (D3 rakennusten energiatehokkuus 2012, 11). Hirsiseinän lämpötekniset ominaisuudet eivät yksistään ole voimassaolevien rakentamismääräysten mukaisia. Tästä syystä hirsirakennuksen lämmönjohtavuutta on tutkittava kokonaisuutena jossa huomioidaan koko talon rakenteiden keskiarvo. (Vuolle-Apiala 2008, 35.) Hirsitalon suunnittelulla on merkittävä vaikutus rakenneosien ilmanpitävyyteen ja sitä kautta rakenneosan kokonaislämmönjohtavuuteen (Aho & Korpi 2009, 17). Rakenteita ja rakenneosien liitoksia suunniteltaessa on huomioitava rakennuksen ilmanpitävyys, jotta mahdollisten vuotokohtien ilmavirtaukset eivät vaikuta rakenteiden toimivuuteen, rakennuksen käyttäjiin eikä ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen (C3 rakennusten lämmöneristys 2010, 5).

Puun huokoisuuden vuoksi sen lämmönjohtavuus on suhteellisen vähäistä. Lämmönjohtavuuteen vaikuttavat puun kosteuspitoisuus sekä puun tiheys. Tiheyden pienentyessä puun lämmönjohtavuus pienenee ja kosteuden lisääntyessä lämmönjohtavuus kasvaa. Puun lämmönvaraamiskyky eli lämpökapasiteetti riippuu puun tiheydestä, kosteudesta, lämpötilasta ja syiden suunnasta. Männyn ja kuusen keskimääräinen lämmönvaraamiskyky $+0-100^\circ\text{C}$ -asteessa on noin $2300 \text{ J}/(\text{kgK})$. (Puuinfo 2016.) Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa C4 puun ominaislämpökapasiteetiksi vakiopaineessa on määritetty $1600 \text{ J}/(\text{kgK})$ ja puun tiheydeksi $450-700 \text{ kg}/\text{m}^3$, sekä puun lämmönjohtavuudeksi

0,12-0,18 W/m²K (C4 lämmöneristys 2012, 20). Erinomaisesta lämmönvaraumiskyvystä, joka puulla on keveydestään huolimatta, on etua erityisesti jatkuvasti lämmitettyjen täyshirsirakennuksen lämmityksessä ja lämmitysjärjestelmän valinnassa (Siikanen 2008, 138).

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 kerrotaan, että lämpimän rakennuksen hirsiseinän, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180mm, lämmönläpäisykertoimena käytetään arvoa 0,40 W/m²K laskettaessa vaipan vertailulämmönhäviötä (D3 rakennusten energiatehokkuus 2012, 13).

2.2.6 Kosteuskäyttäytyminen

Koska puu on hygroskooppinen materiaali, se sitoo itseensä ympäröivän ilman vesihöyryä tai luovuttaa sitä takaisin ympäristöönsä, riippuen rakennetta ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta (RT-82-11168 2014, 3). Puu sisältää aina jonkin verran kosteutta (Siikanen 2008, 143). Hirren kosteus pyrkii asettumaan aina tasapainotilaan ympäristönsä kanssa saavuttaakseen hygroskooppisen tasapainokosteuden (Siikanen 2008, 143). Tästä johtuen puu kutistuu ja turpoaa muuttaen muotoaan. Muodonmuutosominaisuudet ovat erilaiset eri suunnissa johtuen siitä, että puu on anisotrooppinen materiaali. Puun pitkittäis-suuntainen eläminen on hyvin vähäistä, mutta poikittaissuuntainen eläminen on merkittävää. (Puuinfo 2011).

2.2.7 Aineettomat terveyshyödyt

Yleisesti rakentamisessa ongelmallista on kosteus- ja homevauriot, joista johtuvat sisäilmaongelmat aiheuttavat terveyshaittoja ja ylimääräisiä kustannuksia korjauksista. Hirren suosio on kasvanut julkisissa rakennuksissa, kerrotaan Hirsitaloteollisuus HTT ry:n vuoden 2014 julkaisussa. Hirsirakenteen hyväksi ha-

vaittu kosteustekninen turvallisuus heijastuu myös sisäilman laatuun. (Hirsitaloteollisuus HTT 2014.)

Nykyään voitaisiin kiinnittää huomiota myös puun aineettomaan terveyshyötyyn. Tampereen yliopiston dosentti Marjut Wallenius kertoo Itävallassa tehdystä tutkimuksesta, jossa seurattiin koululaisten autonomisen hermoston tilaa lukuvuoden ajan ja todettiin, että puumateriaaleilla sisustetussa luokassa oppilaiden stressitaso oli vähäisempi kuin tavallisessa luokassa opiskelleilla. Walleniuksen mukaan puu herättää myönteistä tunnetilaa ja lievittää stressiä. (Hirsitaloteollisuus HTT 2014.)

Hyvä esimerkki hirren käytöstä julkisessa rakentamisessa on päiväkotirakennus Pyhäjärven Lastentalo, jonka runkomateriaalina on hirsi. Lastentalon suunnitellut arkkitehti Esa Ojanlatva kertoo, että hirren muodostama massiivinen seinärakenne kykenee tasapainottamaan lämmön ja kosteudenvaihteluita luonnostaan. Sisäilman kosteus asettuu hirsitaloissa terveyden kannalta optimialueelle eli 30–55 %:n välille. (Hirsitaloteollisuus HTT 2014.)

2.3 Hirsirakentaminen Suomessa ja maailmalla

Yleinen tapa rakentaa hirsitalo Suomessa on ollut latoa hirret vaakatasoon yhdistämällä ne toisiinsa nurkkalukoilla. Esimerkiksi Sveitsissä ja Saksassa hirsirakennuksia on rakennettu siten, että vaakahirret on ladottu pystyhirsien väliin. Japanissa on rakennettu paljon pystyhirsiseiniä (Saarelainen 1993, 16.)

Ranskassa valtio ohjaa asetuksin rakentamista siten, että uusissa valtion ja kunnan rakennuttamissa rakennuksissa 15% rakennusmateriaaleista on oltava puuta. (Saksa 2011.)

Hirsitaloteollisuuden vahvuuksia Suomessa on korkealaatuinen automaatioon perustuva puusepäntyö, vientituotteena markkinat ovat laajat ja hirsitalot mielletään usein luksustuotteiksi monissa maissa, mutta kiinnostusta on osoitettu myös tavallisiin hirsirakennuksiin. (Saksa 2011.)

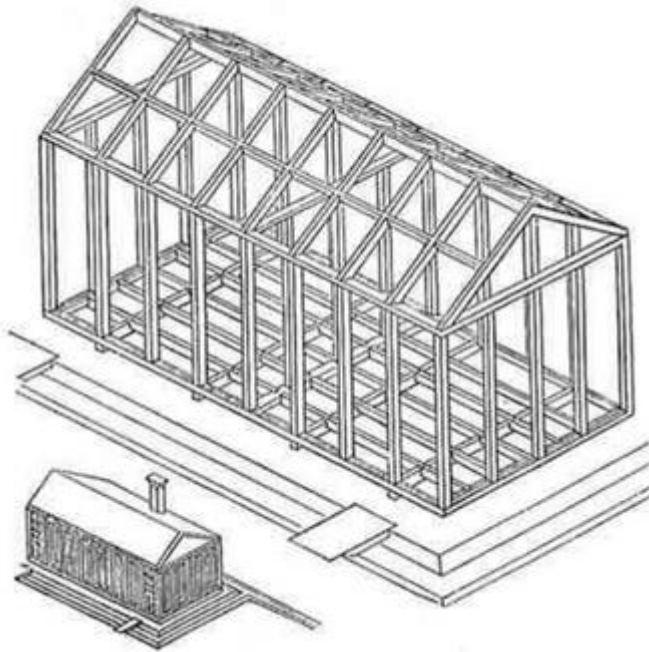
3 Puuelementtirakentaminen

3.1 Puuelementtirakentamisen historia

Puuelementillä tarkoitetaan teollisesti tai muuten esivalmistettuja kokonaisuuksia, jotka koostuvat monesta eri osasta. 1780-luvun lopulla Australian uudessa Etelä-Walesissa rakennettiin ensimmäiset tunnetut esivalmistetut puurakenteiset talot. Samuel Wyatt pystytti ja purki 90 m²:n sairaalarakennuksen noin tunnissa.

Uuden Etelä-Walesin kuvernööri antoi määräyksen aloittaa esivalmistettujen rakennusten tuotanto vientiä varten vuonna 1804. Esivalmistelu oli alkeellista ja käsitti lähinnä suunnittelun ja puutarvikkeiden määrämittaan katkaisun. (Laitinen 1995, 11-12)

1830-luvulla Länsi-Australiassa asukkaita kehoitettiin hankkimaan Englannista John Manningin valmistamia, nopeasti pystytettäviä taloja, joissa ikkuna-, ovi- ja seinäelementit olivat valmiina. Tämä Manningin järjestelmä perustui tarkasti suunniteltujen elementtien käyttöön, joka sittemmin on toiminut esikuvana puuelementtirakentamisessa (kuva 2). 1850-luvulla Euroopassa oli kaksi suurta puutalovalmistajaa, sveitsiläinen Kaeffer ja norjalainen Pariisin maailmannäyttelyssä vuonna 1889 palkittu Thams. (Laitinen 1995, 12-14; Siikanen 2008, 296).

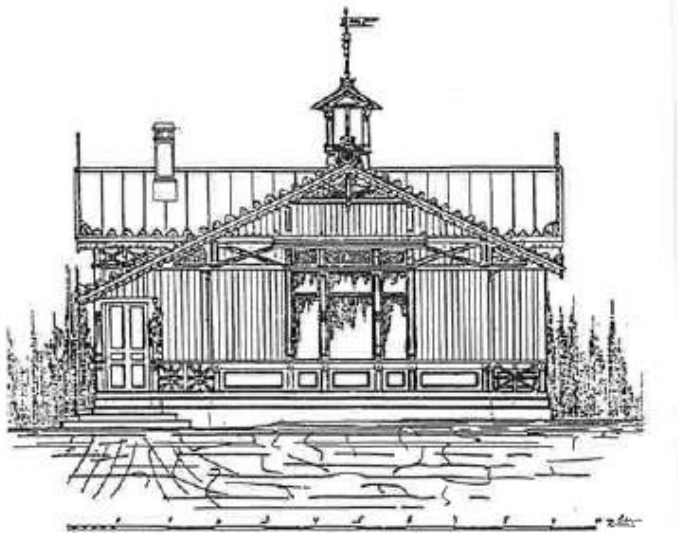


Kuva 2. Johan Manningin esivalmistetun talon runko 1830-luvulta. (Laitinen 1995, 12).

1880-luvulla Yhdysvalloissa sijaitsevista sahalaitoksista otettiin käyttöön standardisoitujen talotyyppien tuotanto-ohjelma suuren asuntotarpeen kattamiseksi. Näistä sahalaitoksista muodostui myöhemmin ensimmäiset puutalotehtaat. Tämä tuotanto-ohjelma valmisti nykyisin Pre-cut-järjestelmänä tunnettua puutalojen toteutustapaa. (Laitinen 1995, 14). Pre-cut-järjestelmä on paikalla rakentamisen ja elementtirakentamisen välimuoto, joka koostuu tehtaalla määrämittaan katkaistuista osista jotka toimitetaan rakennuspaikalle kasattaviksi (Siikanen 2008, 302). Järjestelmän tavoitteena oli materiaalisäästö, pystytysvaiheen nopeuttaminen, sekä rakentamisen helpottaminen. Tämä johti siihen, että tehtaissa valmistettiin entistä suurempia rakennuselementtejä (Laitinen 1995, 15).

3.2 Suomalainen puuelementtirakentaminen

Varhaisesta suomalaisesta elementtirakentamisesta on esimerkkinä vuodelta 1891 peräisin oleva myyntiesite tehdasvalmisteisesta huvilarakennuksesta (kuva 3) (Siikanen 2008, 296 -297).



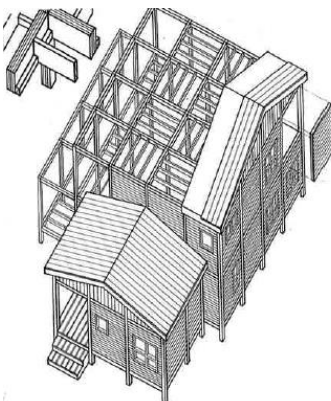
Kuva 3. Mainos tehdasvalmisteisesta huvilasta vuodelta 1891 (Siikanen 2008, 297).

Nykyaikainen puuelementtiteollisuus alkoi varsinaisesti Ruotsissa 1920-luvulla. Suomessa puutalojen teollisen valmistamisen aloitti 1920-luvun lopulla kaksi yrittäjää. (Laitinen 1995, 15; Siikanen 2008, 296.)

3.3 Puuelementtirakentaminen 2000-luvulla

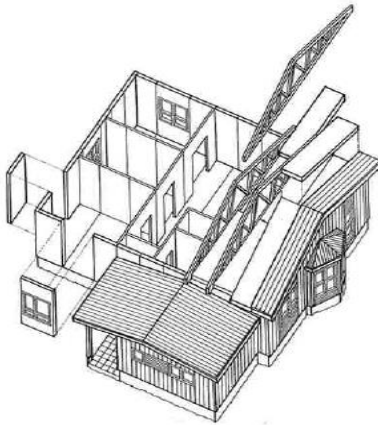
Puuelementtirakentamista voidaan toteuttaa monilla erilaisilla järjestelmillä, jotka luokitellaan kunkin järjestelmän valmiusasteen perusteella:

- Pre-cut- järjestelmästä on kerrottu enemmän kappaleessa 3.1 Puuelementtirakentamisen historia.



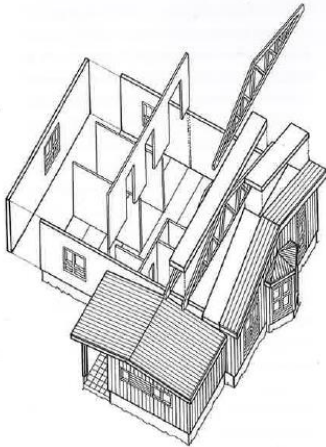
Kuva 4. Pre-cut- järjestelmä (Siikanen 2008, 302).

- Pienlevyjärjestelmä, jossa ulkoseinät, lattia- ja kattorakenteet ja väliseinät ovat elementtejä. Suurimpana etuna on sen asennettavuus miesvoimin ilman nostolaitteita.



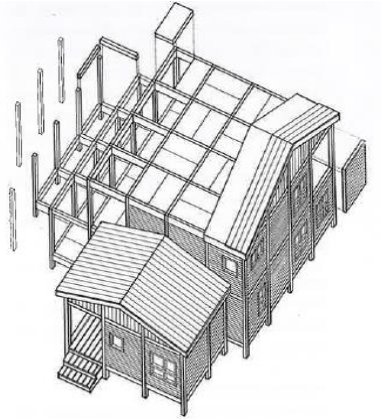
Kuva 5. Pienlevyjärjestelmä (Siikanen 2008, 302).

- Suurlevyjärjestelmä, jossa rakennuksen ulko- ja väliseinät ja ala- ja välipohjat kootaan suurista levyelementeistä. Ulkoseinäelementit ovat useasti koko seinän levyisiä ja niissä on useasti ikkunat, sekä ulkoverhous jo valmiiksi asennettuna.



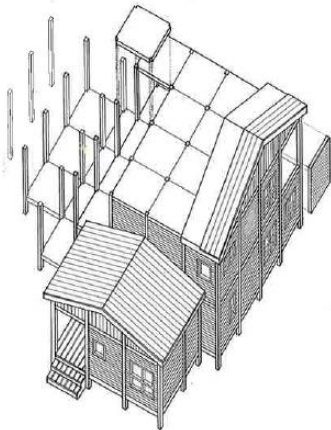
Kuva 6. Suurlevyjärjestelmä (Siikanen 2008, 304).

- Pilari-palkkijärjestelmä, jossa rakennuksen kantavan rungon muodostaa esivalmistetut pilarit ja palkit, joiden varaan asennetaan rakennuksen seinäelementit, sekä ala- väli- ja yläpohjat.



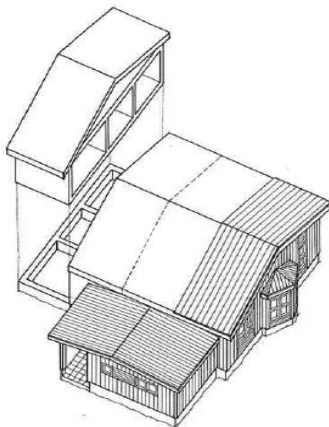
Kuva 7. Pilari-palkkijärjestelmä (Siikanen 2008, 304).

- Pilari-laattajärjestelmässä rakennuksen kantavan pystyrungon muodostavat pilarit, joiden varaan tuetaan nurkista ala- väli- ja yläpohjat.



Kuva 8. Pilari-laattajärjestelmä (Siikanen 2008, 305).

- Tilaelementtijärjestelmässä elementit ovat valmiita rakennuksen viipaleita. Viipaleissa on valmiina Lvi-tekniikka, sekä kiintokalusteet ja pintamateriaalit. (Siikanen 2008, 301-306.)



Kuva 9. Tilaelementtijärjestelmä (Siikanen 2008, 305).

3.4 Elementtirakentamisen edut

Elementtirakentamisella ja sen huolellisella suunnittelulla nostetaan rakennustyön laatua ja tuottavuutta. Tuotannon siirtämisellä tehdastiloihin, hallittuihin olosuhteisiin saavutetaan monenlaisia hyötyjä.

- Toiminnan systematisointi eli kertaalleen tehdyn työn hyödyntäminen seuraavassa hankkeessa esim. tietotekniikkaa apuna käyttäen hyödynnetään valmiita tilaratkaisuja.
- Rakennusajan lyhentyminen, asennusaika rakennustyömaalla lyhenee, jolloin työmaan yleiskustannukset pienenevät.
- Valmistuksen teollinen tuotanto mahdollistaa kontrolloidut olosuhteet, jolloin lämpö- kosteustekninen toimivuuden laadunvalvonta helpottuu.
- Tuotantoprosessin kehittäminen helpottuu.
- Kausivaihtelujen vaikutukset pienenevät.
- Helpottaa työvoiman saatavuutta ja resursointia.
- Rakentamisessa työn osuus kustannuksista on merkittävä ja kokonais työpanosta pienentämällä saavutetaan helposti säästöjä. (Kilpeläinen ja muut 2001, 12; Laitinen 1995, 50-51.)

3.5 Elementtirakentamisen tulevaisuus

Elementtirakentamisen tulevaisuuden näkymät ovat laajat ja uusia tekniikoita ja tuotteita kehitetään jatkuvasti. Tulevaisuuden rakentamisessa nähdään jo tänä päivänä esimerkiksi 3d tulosteiset rakenteet jotka tulevat olemaan osa tulevaisuutta. Uudet tekniikat eivät kuitenkaan tule syrjäyttämään tällä hetkellä käytössä olevia rakennustekniikoita ainakaan kovin nopeasti. Mutta kysymys onkin siitä, miten tulevaisuuden tekniikoita voitaisiin hyödyntää osana tämänhetkistä rakennustuotantoa, voisiko se olla esimerkiksi 3d-tulostetut sellukuitu/muovi rakenteet.

On kuitenkin selvää, että elementtirakentaminen menee eteenpäin ja se tulee olemaan rakennusmuotona vallitsevin myös tulevaisuudessa. Tietä elementtirakentamiselle ovat näyttämässä suunnittelijat ja arkkitehdit, joiden käytössä on

tänä päivänä erinomaiset mallinnus ohjelmat, joiden avulla rakennetekniset ominaisuudet ja rakennustekniset ratkaisut on suunniteltavissa yksityiskohtaisesti jo suunnittelun alkuvaiheessa. Ohjelmistojen avulla voidaan mallintaa ja simuloida koko rakennus projekti kokonaisuudessa, eli osatuotanto, kasaaminen, kuljetus ja rakentaminen.

4 Case-Elementtirakenteinen hirsiseinä/ pienhirsielementtitalo

Hirsirakentamisen voidaan ajatella olevan jo itsessään eräänlainen elementtirakentamisen muoto. Kuitenkaan hirsirakentamista ei ole suuressa määrin viety elementtirakentamisen suuntaan. Kyselytutkimukseen vastanneet totesivat, että hirsirakentamisen osuus elementtirakentamisessa on lähes olematon. On olemassa joitakin valmistajia, jotka tuottavat pitkälle vietyjä rakenneratkaisuja hirsirakentamisessakin esimerkiksi pilari-palkkirakenteet ja erilaiset kaksois- ja kenohirsirakenteet ovat hyvin toimivia ratkaisuja. Hirsirakentamisen kehittäminen ja vieminen kohti elementtirakentamista voisi olla ratkaisuna hirsirakentamisen menestymiseen jatkossakin.

4.1 Mallitalon esittely

Tässä opinnäytetyössä tutkimme Hirsirakentamisen soveltuvuutta elementtirakentamiseen. Opinnäytetyössä käytimme vertailukohteena, asuinkäyttöön suunniteltua hirsirakennusta jota tässä työssä kutsutaan mallitaloksi. Mallitalo on yksikerroksinen, ja siinä on tuulettuva ylä- ja alapohja. Mallitalo on mallinnettu Tekla Structures 3D mallinnus ohjelman versiolla 21.0 ja siitä on tulostettu pohjapiirustus (Liite 2) ja leikkauspiirustus (Liite 3), sekä 3D näkymä (Liite 4).

Mallitalo on suunniteltu toimimaan siten, että rakennuksen yläpohjasta tulevat pystysuuntaiset kuormat siirtyvät kantavan liimapuurakenteisen pilari- palkkijärjestelmän kautta rakennuksen perustuksille. Pääasiassa tuulikuormista koostuvat vaakakuormat huomioidaan väliseinien mitoituksessa. Mallitalo rakennetaan kolmen metrin pituisista moduuleista. Moduulit koostuvat hirsiseinäelementeistä, jotka asennetaan kantavien pilareiden- ja palkkien väliin.

Mallitalon kerrostasoala on 108 m^2 ja talon lämmitettävä tilavuus on 260 m^3 . Rakennuksen lämpimän tilan ulkoseinien pinta-ala on 110 m^2 .

4.2 Kantava runko, pilari-palkkijärjestelmä

Rakennuksen kantavan runko on suunniteltu valmistettavaksi liimapuusta GL32c.

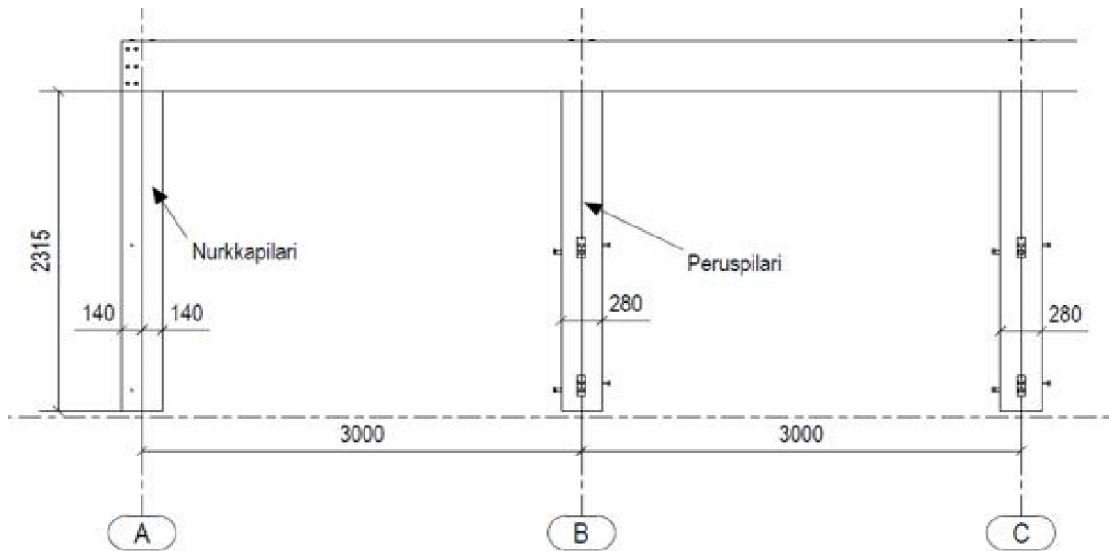
Rakennuksen yläpohjasta rakennuksen runkoon kohdistuvat pystysuuntaiset kuormat on suunniteltu siirtymään liimapuusta valmistetun pilari-palkkirungon kautta perustuksille. Pilari-palkkikehä toimii kantavana kehärakenteena. Pilari-palkkijärjestelmä yhdessä moduulijärjestelmän kanssa on valittu siksi, että suunnitelmasta saadaan mahdollisimman mukautuva, monikäyttöinen ja erilaisia tarpeita huomioiva. Kaikki pilarit ja palkit ovat tehtaalla esivalmistettuja ja niiden kiinnityskohtiin suunnitellut työstöt on työstetty valmiiksi tehdasolosuhteissa. Pilarit ja palkit kiinnitetään toisiinsa työmaalla pultti- ja ruuviliitoksien (liitteet 5, 6 ja 7).

Pilareiden ja palkkien laskelmat on suoritettu Puuinfon julkaiseman Puurakenteiden suunnittelu Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohjeen mukaisesti. Yläpohjan kuormitusyhdistely on tehty Eurokoodi 1990-1-1 mukaisesti. (Liitteet 8-10).

Alustavan suunnitelman mukainen pilarikoko 140x140 todettiin laskelmissa liian pieneksi. Yläpohjaa kannattelevan palkin tukipainekestävyys ei ollut riittävä ja tästä syystä pilarin kokoa on kasvatettu, jolloin pilarin kantavuus ja työstettävyys muuttuu lisäksi helpommaksi.

Rakennukseen kohdistuvat vaakakuormat on jätetty huomioimatta pilarin laskennassa. Pääasiassa tuulesta aiheutuvat vaakakuormat tulee ottaa huomioon väliseinien mitoituksessa.

Pystypilarin koko mallitalossa on 140 mm*280 mm siten, että 280 mm on seinänsuuntainen poikkipinta-alan mitta. Pilarien päällä kulkevan palkin koko on 140 mm*360 mm. Palkki jatkuu nurkkapilareita lukuun ottamatta yli pystypilarin seinänsuuntaisesti. Pilarin nurjahdusta laskettaessa pilarin heikomman suunnan korkeudeksi on valittu 140 mm (kuva 10).



KUVA 10. Kantavan pilari-palkkirungonleikkaus mallitalosta

4.3 Hirsiseinäelementti

Hirsiseinäelementti valmistetaan 240mm leveästä ja 270mm korkeasta lamelli-hirrestä. Yksi hirsikerros on liimattu kuudesta lamellista niin, että seinän molempiin ulkopintoihin tulee sydänpuu (kuva 11).



Kuva 11. Poikkileikkaus hirsielementtiseinästä

Hirsiseinät rakennetaan tehdastiloissa perinteisen hirsirakentamisen tapaan tappittaen. Hirsielementtiseinä puristetaan tiiviiksi seinäelementiksi hydraulisella pöytäpuristimella. Esipuristuksen jälkeen hirret sidotaan toisiinsa kierretangoilla.

Kierretanko asennetaan esiporattuihin reikiin hirsielementtiseinän läpi seinän pystysuunnassa. Ylimpään seinähirteen työstetään 80mm syvyinen ura kantavalle palkille. Uraan asennetaan polystyreenitiiviste joka hirren mahdollisesti painuessa paisuu työstettyyn uraan pitäen hirsielementin ja kantavan palkin väliin jäävän raon ilmatiiviinä. Hirsiseinäelementit kiinnitetään liimapuu pilareihin detaljin (Liitteen 6) mukaisesti.

Hirsiseinäelementteihin suunnitellut aukot ja aukkojen pielet huomioidaan ja niiden vaatimat varaukset valmistetaan tehtaalla valmiiksi. Elementtihirsiseinä mahdollistaa ikkunoiden ja ovien asentamisen jo tehtaalla.

Rakennuksen ulkonurkka rakennetaan erillisenä elementtinä, joka kiinnitetään rakennuksen nurkkapilareihin Sherba kiinnikkeillä, josta esimerkki kuvassa 12.



Kuva 12 Sherba kiinnikkeellä kiinnitetty palkki (Nieminen 2015)

4.4 Yläpohja

Talon yläpohja rakennetaan moduulimitaan sopivina 3 metrin levyisinä elementteinä. Elementit asennetaan kantavan pilari-palkkijärjestelmän päälle.

Yläpohjarakenne on rakennettu perinteisistä kattoristikoista. Kattoristikon alajuoksun päälle on asennettu 500mm:n kerros puhallettua ekovillaa. Alajuoksun alapinnassa on höyrynsulkumuovi joka limitetään vierekkäisten elementtien höyrynsulun kanssa työmaalla.

Yläpohjarakenteen alapinnan lämpimälle puolelle rakennettava alas laskettu sisäkattorakenne mahdollistaa ilmanvaihto- ja sähkötekniikan saattamisen höyrynsulun lämpimällä puolella, jolloin höyrynsulun lävistävät läpivientien määrät saadaan minimoitua.

Leikkauksen (Liite 5) nurkkakoteloratkaisun avulla rakennuksen yläpohjan nurkkaliitokset saadaan eristettyä ja tiivistettyä huolellisesti. Nurkkakoteloiden kohdalta saadaan myös suoritettua pilareiden ja hirsiseinäelementtien pulttausten kiristys.

Yläpohjan eristeeksi on suunniteltu puhallettava ekovilla 500mm:n kerroksena, jonka lämmönjohtavuuden suunnitteluarvona voidaan käyttää $0,039 \text{ w/m}^2\text{K}$.

4.5 Alapohja

Rakennuksen alapohjaan emme ole katsoneet tarpeelliseksi keskittyä tässä opinnäytetyössä. Alapohja tulee suunnitella tapauskohtaisesti kuhunkin rakennushankkeeseen sopivaksi ratkaisuksi.

4.6 Rakenteen toimivuus

Yläpohjarakenne, tiiviit nurkkaratkaisut, sekä lamellihirsielementti mahdollistavat huolellisella esivalmistuksella ja asennustyöllä ilmatiiviin ja toimivan nopeasti säältä suojaan rakennettavan asuinrakennuksen toteuttamisen.

4.7 Lämpötekkinen toimivuus

Mallitalosta on tehty tasauslaskelma Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti (Liite 11). Tasauslaskelmasta voidaan huomata, että hirsi-seinän ominaislämpöhäviö on suurempi, kuin suunnitteluratkaisun vertailuarvo. Vaikka ylä- ja alapohja tasaavat rakennuksen vaipan ominaislämpöhäviötä on rakennuksen vaipan lämpöhäviö mallitalomme osalta puutteellinen. Hallitun ilmanvaihdon suunnitteluratkaisulla ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton sekä huomioimalla laitteen 70 prosentin hyötysuhteen saadaan suunnitteluratkaisusta lämpöhäviövaatimukset täyttävä.

Tasauslaskelmissa on käytetty poistoilmavirtana D3:n mukaista $0,4 \text{ l/s/ m}^2$. Ilmanvuotoluku $4,0 \text{ m}^3/ (\text{h m}^2)$. Rakennuratkaisu yksityiskohtineen on pyritty suunnittelemaan siten, että mikäli mallitalosta olisi mahdollista suorittaa ilmatii-veysmittauksia, olisi ilmanvuotolukuna mahdollista käyttää $3,0 \text{ m}^3 (\text{h m}^2)$. Liitteessä 12 olemme tehneet erilaisten rakenteiden U-arvo vertailua.

5 Kustannusvertailu

Kustannusvertailua varten olemme laskeneet kustannuslaskelman neljälle erityyppiselle seinärakenteelle. Kustannuslaskennan olemme tehneet käyttäen lähteenä Ratu 6017 Rakennustöiden menekit 2010 kirjassa esitettyjä rakentamisen työaikamenekkejä, sekä rakennusmateriaalien toimittajien esille laittamia tämänhetkisiä yleisiä rakennusmateriaalikustannuksia (liite 13). Kustannusvertailua varten teimme kustannuslaskennan mallitalomme lisäksi perinteisestä hirsirakenteesta, kahdesta hirsi-kennoelementtirakenteesta ja yhdestä perinteisestä rankarakenteisesta ulkoseinäratkaisusta (Liite 14).

Mallitalomme osalta kustannuslaskenta on laskettu mallinnuksen perusteella saadun materiaaliluettelon määrien mukaisesti (Liite 15).

Kustannusvertailusta voimme huomata, että kennorakenteinen hirsielementtiseinä on hirsiseinäratkaisusta edullisin, koska hirren paksuudella on merkittävä vaikutus kokonaiskustannukseen. Hirsiseinärakenteita vertailtaessa voidaan myös huomata, että pilari- palkkielementtirakenteella ei ole merkittävää kustannuseroa verrattuna perinteiseen hirsirakenteeseen. Laskelmista voidaan todeta myös, että rankarakenteinen seinärakenne on edullisin, verrataanpa sitä mihin tahansa muuhun vertailussa käytettyyn rakenteeseen.

6 Pohdinta

Työssämme olemme pohtineet vaihtoehtoja perinteisen hirsirakentamisen kehittämiseksi. Olemme pyrkineet poimimaan hirsirakentamisen hyviä puolia ja yhdistämään niitä elementtirakentamiseen. Olemme myös huomioineet hirsirakentamisen ongelmakohtia ja suunnitelleet ratkaisua niiden parantamiseksi.

Työtä tehdessämme huomasimme alalla vallitsevan jonkin asteista avoimuuden puutetta, tämä saattaa johtua toimittajien vähäisestä määrästä. Toimittajien vähäinen määrä mahdollisesti johtuu pienestä markkinaosuudesta asuin- ja julkisessa rakentamisessa. Toimittajien vähäiseen määrään voi vaikuttaa myös loma-asumisrakentamisen väheneminen.

Myös hirren korkean kustannuksen oletamme johtuvan edellä mainittujen asioiden lisäksi hirsirakentamiseen vaadittavan tuotantolinjan massiivisuudesta ja korkeasta kustannuksesta. Nämä syyt voivat muodostaa liian korkean kynnyksen uusille hirsirakentamisen alalle saapuville toimijoille. Hirsirakentamisen alalla olisi kysyntää hirsirakentamisen tuotantoketjun yksittäisille osa-alueille. Hirsirakentamista voitaisiin näillä toimilla viedä samantapaisesti toimivaksi, kuten rankarakenteinen elementtirakentaminen. Tällöin kilpailua saataisiin lisättyä ja kustannuksia saataisiin mahdollisesti laskettua.

Tekla Structures 21.1 mallinnusohjelmalla voidaan tuottaa osapiirustuksia tarkasti ja samalla saadaan tehtyä konekieliset työstöt eri osille. Kun ohjelmaan kehitetään komponentti-luetteloja, jotka ovat hirsirakentamisen alalle suunnattuja ja alan toimijoiden käytössä yleisesti, saadaan hirsitalojen rakennesuunnittelusta vieläkin tehokkaampaa.

Opinnäytetyössämme suunniteltu mallitalo on mielenkiintoista toteuttaa todellisuudessa, jotta rakenteen toimivuuden ja rakennettavuuden pääsisi testaamaan. Mallitalomme rakenne on muotoutunut pitkän ajanjakson kuluessa, useiden palaverien lopputuloksena. Olemme tiedostaneet rakenteen olevan yksityiskohdiltaan vaativa, mutta asianmukaisesti toteutetulla tuotantolinjalla ja tuotannonsuunnittelulla toteutettavissa. Tämä rakenne mahdollistaa elementtira-

kentämisen hyvien puolien hyödyntämisen hirsirakentamisessa. Moduulijärjestelmän ansiosta rakennetta on helppo soveltaa myös vaativimpiin julkisiin rakenteisiin.

Opinnäytetyön tavoitteet toteutuivat odotetusti. Suunniteltu aikataulutavoitteemme ylittyi merkittävästi, koska kahden tekijän yhteisen ajan löytäminen oli haastavaa. Joskin aikataulun venyminen mahdollisti pidemmän ajan rakenteen kehittymiselle ajatuksissamme, sekä näiden ajatusten jakamisen ja uudelleen kehittymisen.

Mallitalossamme on vielä paljon suunniteltavaa, eikä sitä tämän opinnäytetyön puitteissa ole tarkoitettu suunniteltavaksi toteutettavaksi. Uskomme, että mallitalomme kehitysprosessi jatkuu tämän opinnäytetyön valmiiksi saattamisen jälkeen ja saamme jonain päivänä nähdä mallitalomme toteutettuna.

Lähteet

- Aho, H. & Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere: TTY.
- C3 rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Joulukuu, 2008. Helsinki.
- C4 rakennusten lämmöneristys. Ohjeet 2012. Luonnos. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Maaliskuu, 2012.
- D3 rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Maaliskuu, 2011. Helsinki.
- Hirsitalon laatuvaatimukset. 2011 Hirsitaloteollisuus HTT Ry. http://www.hirsikoti.fi/asets/imges/HTT_standardit/Laatuvaatimukset_HTT/HIRSITALON_LAATUVAATIMUKSET_4_2011.pdf. 1.2.2016
- Puinfo OY. 2015. Hirsitalon suunnittelu. Puu-lehti (2/15). S. 32-39.
- Hirsitaloteollisuus HTT. 2014. Hirsirakennusten hyvä sisäilma ja kosteustekninen turvallisuus kiinnostavat rakennuttajia. Hirsitaloteollisuuden julkaisu. <http://www.hirsikoti.fi/media/hirsirakennusten-hyva-sisailma-ja-kosteustekninen-turvallisuus-kiinnostavat-rakennuttajia>. 1.2.2016
- Puinfo OY. 2015. Hirsirakenteet. Puu-Lehti (2/15). S. 44-47.
- Kilpeläinen, M., Kivimäki, M. & Ukonmaanaho, A. 2001. Avoin puurakennusjärjestelmä-elementtirakentaminen. Vammala: Wood Focus OY. <http://www.puinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohteet/avoinpuurakennusjarjestelmaelementtirakenteet/elementtirakenteet.pdf>. 12.2.2016
- Laitinen, E. 1995. Teollinen puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto.
- Paloheimo, E. 2000. Metsä ja puu 4. Puinen rakennus. Helsinki: Rakennustieto.
- Puinfo. 2011. Puun kosteuskäyttäytyminen. Puufon julkaisu. <http://www.puinfo.fi/suunnitteluohjeet/puun-kosteusk%C3%A4ytt%C3%A4ytyminen>. 13.3.2016
- Puinfo. 2016. Lämpötekniisiä ominaisuuksia. Puufon julkaisu. <http://www.puinfo.fi/node/1499>. 13.3.2016
- RIL 205-1-2007 puurakenteiden suunnitteluohje, eurokoodi EN 1995-1-1. 2008. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- RT 82-11168, Hirsitalon suunnitteluperusteet. 2014. Rakennustietosäätiö
- Saarelainen, E. 1993. Hirren maailma. Jyväskylä: Rakentajan tietokirjat RATK Oy & Eero Saarelainen.
- Saksa, M-L. 2011. Vuoden hirsirakennus. Puu&Tekniikka. Puuteollisuuden uutis- ja ammattilehti 11/2011 S. 1.
- Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Tampere: Rakennustieto.
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Tampere: Rakennustieto.
- Vuolle-Apiala, R. 1996. Hirsitalo. Helsinki: Rakennusalan kustantajat.
- Vuolle-Apiala, R. 2008. Hirsityöt. Saarijärvi: Multikustannus.
- Vuolle-Apiala, R. 2012. Hirsitalo ennen ja nyt. Porvoo: Moreeni.

Liite 1 Kyselylomake

Kysely: Hirsirakentamisen nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät.

Opinnäytetyönä



TERVE!!

Teemme opiskelutoverini kanssa opinnäytetyönä tutkielmaa hirsirakentamisen nykypäivästä ja tulevaisuuden näkymistä ja mahdollisuuksista. Tähän opinnäytetyöhön tarvitsemme alalla toimivien konkareiden näkemyksiä hirsirakentamisen tämänhetkisestä tilanteesta ja mielipiteitä tulevaisuuden hirsirakentamisesta. Olemme valinneet teidät osaksi tätä kyselyä, jonka lähetimme 15 alalla toimivalle yritykselle. Yritykseen mukautuu pääsääntöisesti hirsirakentamisen parissa toimivia toimittajia ja rakentajia. Kyselylomakkeen vastauksia referoimme opinnäytetyöhömme ja tutkimme vastauksien perusteella keskiarvoisesti mihin suuntaan ala on suuntautumassa. Eli vastaukset voivat olla omasanaisia ja laajuudella ei ole merkitystä, kunhan asiasta tulevat pääpiirteet esille.

Vastauksia emme luvatta julkaise kenenkään nimissä, vaan kerromme vain yritykset, jotka ovat osallistuneet kyselyyn. Muuton, jos vastauksianne voi käyttää lainauksena työssä pyydämme teitä rastimaan kyselylomakkeen alussa oleva asiaan viittaava kohta.

Opinnäytetyömme tarkoituksena on viedä eteenpäin Suomalaista hirsirakentamista tutkimalla sen tilaa ja mahdollisuuksia. Palautetaan ihmisten mieleen mikä on oikeasti se ekologisin ja terveellisin rakentamisen ja asumisen muoto. Tämän vuoksi toivomme osallistumistanne kyselyyn!

Vastaukset kyselyyn voi lähettää s-postiin ja yhteyttä voi tarvittaessa ottaa joko puhelimella tai s-postilla.

Ystävällisin Terveisin

Saku Purhonen

0504396805

saku.purhonen@edu.karelia.fi

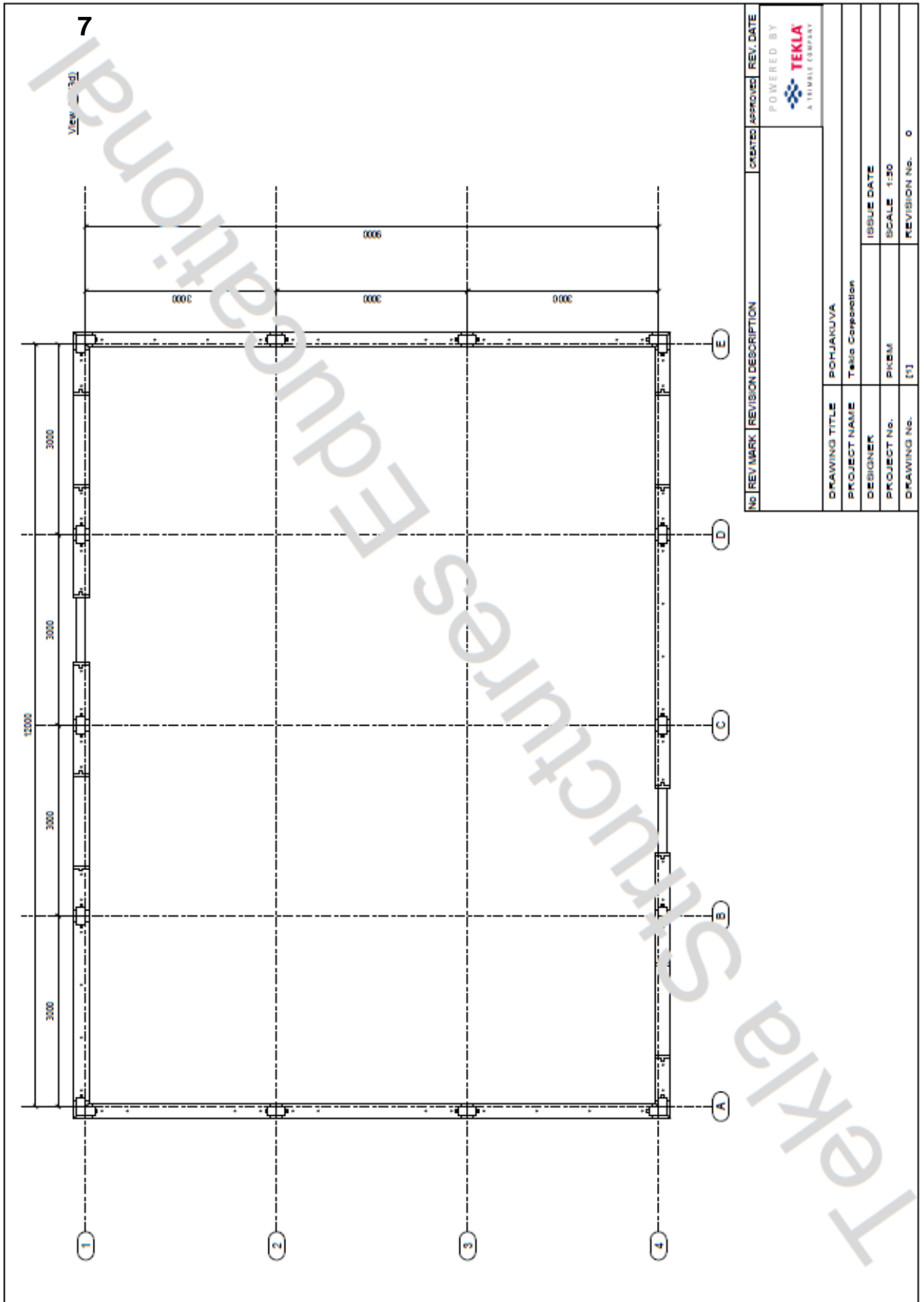
Juha Nieminen

0465919291

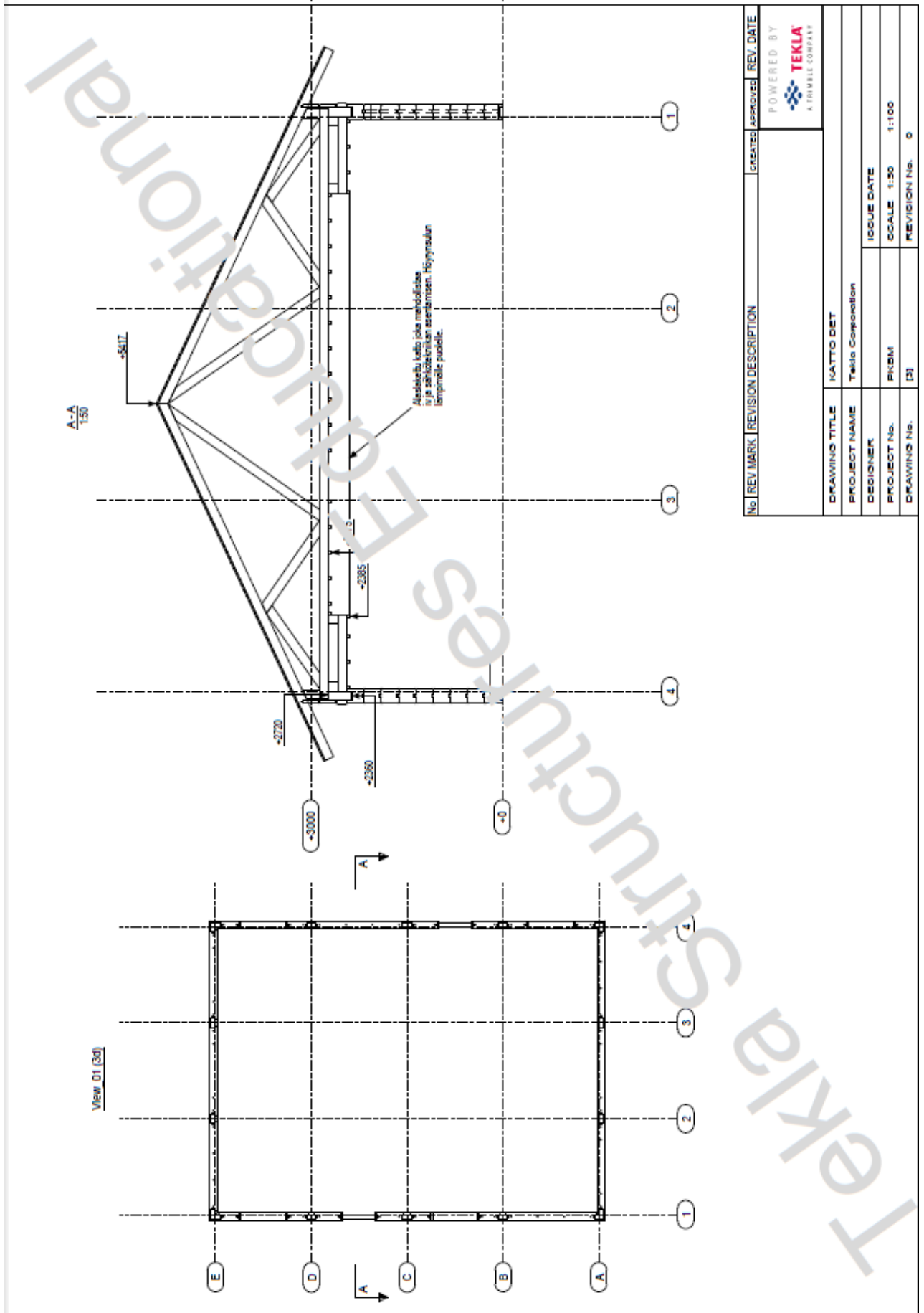
juha.nieminen@edu.karelia.fi

Kyselylomake

Liite 2 Pohjakuva



Liite 3 Leikkauskuva

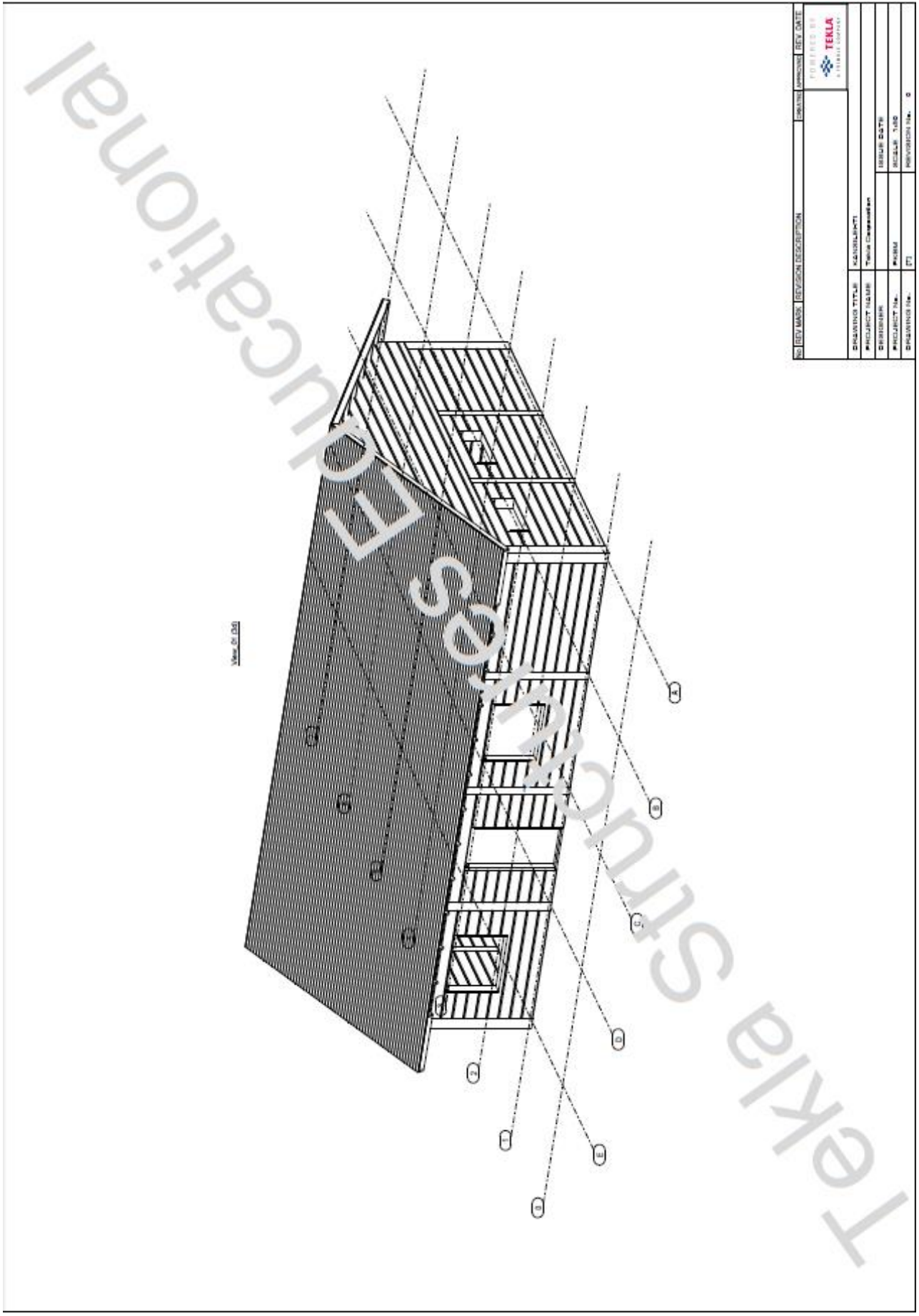



No	REV MARK	REVISION DESCRIPTION	CREATED	APPROVED	REV DATE

POWERED BY
TEKLA
 A TRIMBLE COMPANY

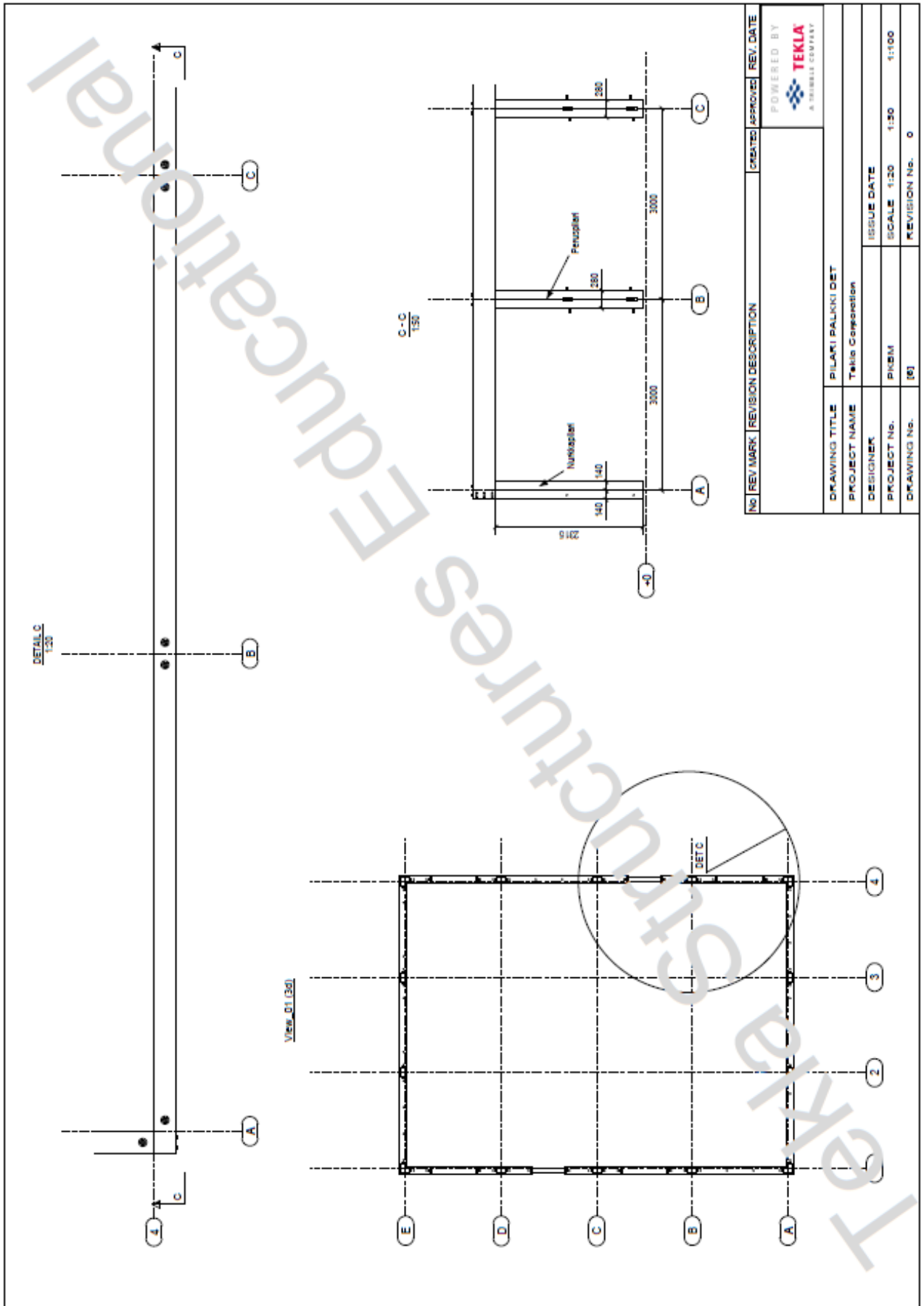
DRAWING TITLE	KATTO DET
PROJECT NAME	Tekla Corporation
DESIGNER	
PROJECT No.	PKEM
DRAWING No.	[3]
ISSUE DATE	
SCALE	1:30 1:100
REVISION No.	0

Liite 4 3D-malli



NO	REV. MARK	REVISION DESCRIPTION	DATE	APPROVED	REV. DATE
		AUTHORIZED BY  TEKLA A TETRA COMPANY			
DRAWING TITLE		KÄSIVÄIKU			
PROJECT NAME		Puhon Korjaus			
DRAWING					
PROJECT NO.		FORMA		SCALE: 1:50	
DRAWING NO.		[1]		REVISION NO. 0	

Liite 7 Pilari-palkkidetelji



NO	REV MARK	REVISION DESCRIPTION	CREATE	APPROVE	REV. DATE

POWERED BY
TEKLA
A TRIBBLE COMPANY

DRAWING TITLE	PILARI PALKKI DET
PROJECT NAME	Tekla Corporation
DESIGNER	
PROJECT No.	PIEM
DRAWING No.	[8]
ISSUE DATE	
SCALE	1:20 1:50 1:100
REVISION No.	0

Liite 8 Kuormayhdistely -laskelmat

Rakennuksen suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta.

Rakenteen seuraamusluokka on CC2.

Rakennuksen aikaluokka on keskipitkä.

Asuinrakennuksen luokka on A

Kuormien luokittelu tapahtuu Eurokoodi 1991-1-1 mukaisesti:

Vesikaton luokka on H, eli kyseessä on vesikatto, jolle on pääsy vain normaalia kunnossapitoa ja korjaamista varten.

Vesikatto

$$q_k = 0,4 \text{ kN}$$

Lumikuorma katolla määritellään 1991-1-3 mukaisesti kaavalla 1

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (1)$$

missä

$$\mu_1 = \text{Katon muotokerroin } 0,8$$

$$s_k = \text{Lumikuorma maassa } 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$C_e = \text{tuulensuojaiskerroin (0,8 tai 1,0), 0,8 tuulisilla maasto-olosuhteilla}$$

$$C_t = \text{lämpökerroin (tavallisesti 1,0)}$$

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$s = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Yläpohjan oma paino

$$g = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Liite 8 Kuormayhdistely -laskelmat

Murtorajatila:

Kuormitusyhdistelmä lasketaan Eurokoodi 1990-1-1 mukaisesti kaavalla 2.

$$P_d = \gamma_{g,j} Q_{k,j} + (\gamma_{q,1} Q_{k,1}) + (\gamma_{q,i} \psi_{0,1} Q_{k,i}) \quad (2)$$

missä

P_d = suunnitteluarvo, joka sisältää osavarmuuskertoimet

$\gamma_{g,j}$ = pysyvän kuorman osavarmuusluku

$\gamma_{q,1}$ = muuttuvan kuorman osavarmuusluku

$\gamma_{q,i}$ = muun muuttuvan kuorman osavarmuusluku

$\psi_{0,1}$ = muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

$Q_{k,j}$ = pysyvien kuormien ominaisarvo

$Q_{k,1}$ = määrävän muuttuvan kuorman ominaisarvo

$Q_{k,i}$ = muun muuttuvan kuorman ominaisarvo

Lumikuorma määritellään SFS 1990-1-1 Taulukon A1.1 mukaan esitettyjen muuttuvien kuormien yhdistelykertoimien avulla:

Lumikuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,7	0,5	0,2
Muu hyötykuorma:	0,7	0,5	0,3

Liite 8 Kuormayhdistely -laskelmat

Kuormitusyhdistelyt

Palkille yläpohjasta tuleva kuorma

Kuorma / m²

$$P_d: 1,15 * 1,2 \text{ kN} + (1,5 * 0,4 \text{ kN}) + (0,7 * 1,5 * 2,0 \text{ kN}) = 4,08 \text{ kN/m}^2$$

$$(Q_1 = \text{Hyöty } 0,4 \text{ kN/m}^2)$$

$$P_d: 1,15 * 1,2 \text{ kN} + (1,5 * 2,0 \text{ kN}) + (0,7 * 1,5 * 0,4 \text{ kN}) = 4,8 \text{ kN/m}^2$$

$$(Q_1 = \text{Lumi } 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

$$P_k: 2,0 \text{ kN} + 1,2 \text{ kN} + 0,4 \text{ k} = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

Kuormitusalue on YP:lta kantavalle palkille tuleva kuorma

$$12,5 \text{ m} / 2 = 6,25 \text{ m}$$

$$6,25 \text{ m} * 4,8 \text{ kN/m}^2 = 30,00 \text{ kN/jm}$$

$$\text{Palkin tiheys} = 470 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Palkin oma paino} = 0,237 \text{ kN/jm}$$

$$P_d = 30 \text{ kN} + (0,252 \text{ kN/jm} * 1,15) = 30,29 \text{ kN/jm}$$

$$\text{Pysyvän kuorman osavarmuuskerroin} = 1,15$$

$$\text{Muuttuvan kuorman osavarmuuskerroin} = 1,5$$

Liite 9 Pilarilaskelmat

Pilarin mitoittaminen

Rakennuksen aikaluokka on keskipitkä.

Rakenteessa käytetään liimapuuta GL32c

Reunapilarille tuleva kuorma on 45,33 kN. Keskipilarille tuleva kuorma $45,33 \text{ kN} * 2 = 90,86 \text{ kN}$. Tässä laskelmassa tarkastetaan keskipilarin kestävyys. Mitoitettava pystykuorma $N_{ed} = 90,86 \text{ kN}$

Mitoitusyhtälöllä tarkistetaan pilarin kestävyys kaavalla 1

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} < 1 \quad (1)$$

missä

$\sigma_{m,y,d}$ = taivutusjännitys

$f_{m,d}$ = taivutuskestävyys

M_d = momentti

k_{mod} = muunnoskerroin

$\sigma_{c,0,d}$ = puristusjännitys

$k_{c,y}$ = nurjahduskerroin, joka riippuu sauvan hoikkeudesta

$f_{c,0,d}$ = puristuslujuus syyn suunnassa

$f_{c,0,k}$ = puristuslujuuden ominaislujuus syyn suunnassa

i = poikkileikkauksen jäyhyysäde

I = jäyhyysmomentti nurjahdussuunnassa [mm^4]

Liite 9 Pilarilaskelmat

Pilarin koko on $140 \cdot 280 \text{ mm} = 39200 \text{ mm}^2$

Pilarin nurjahduspituus: $1 \cdot 2,6 \text{ m} = 2,6 \text{ m}$

Sauvat ovat nivelöity molemmista päistä, joten nurjahduspituus on 1.

Lasketaan pilarin puristusjännitys kaavalla 2

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{ed}}{A} = \frac{90860 \text{ N}}{39200 \text{ mm}^2} \quad \sigma_{c,0,d} = 2,32 \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

Lasketaan pilarin puristuskestävyys kaavalla 3

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{26,5 \text{ N/mm}^2}{1,2} \quad (3)$$

$$f_{c,0,d} = 17,66 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan jäyhyysmomentti I nurjahdussuunnassa kaavan 4 avulla

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{280 \text{ mm} \cdot 140^3 \text{ mm}^3}{12} \quad I = 64026666 \text{ mm}^4 \quad (4)$$

Lasketaan jäyhyyssäde i kaavan 5 avulla

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{64026666 \text{ mm}^4}{39200 \text{ mm}^2}} \quad i = 40,41 \text{ mm} \quad (5)$$

Lasketaan sauvan hoikkuusluku kaavalla 6

$$\lambda = \frac{L_c}{i} = \frac{2600 \text{ mm}}{40,41 \text{ mm}} \quad \lambda = 64 \quad (6)$$

Liite 9 Pilarilaskelmat

missä

b = palkin leveys

h = palkin korkeus

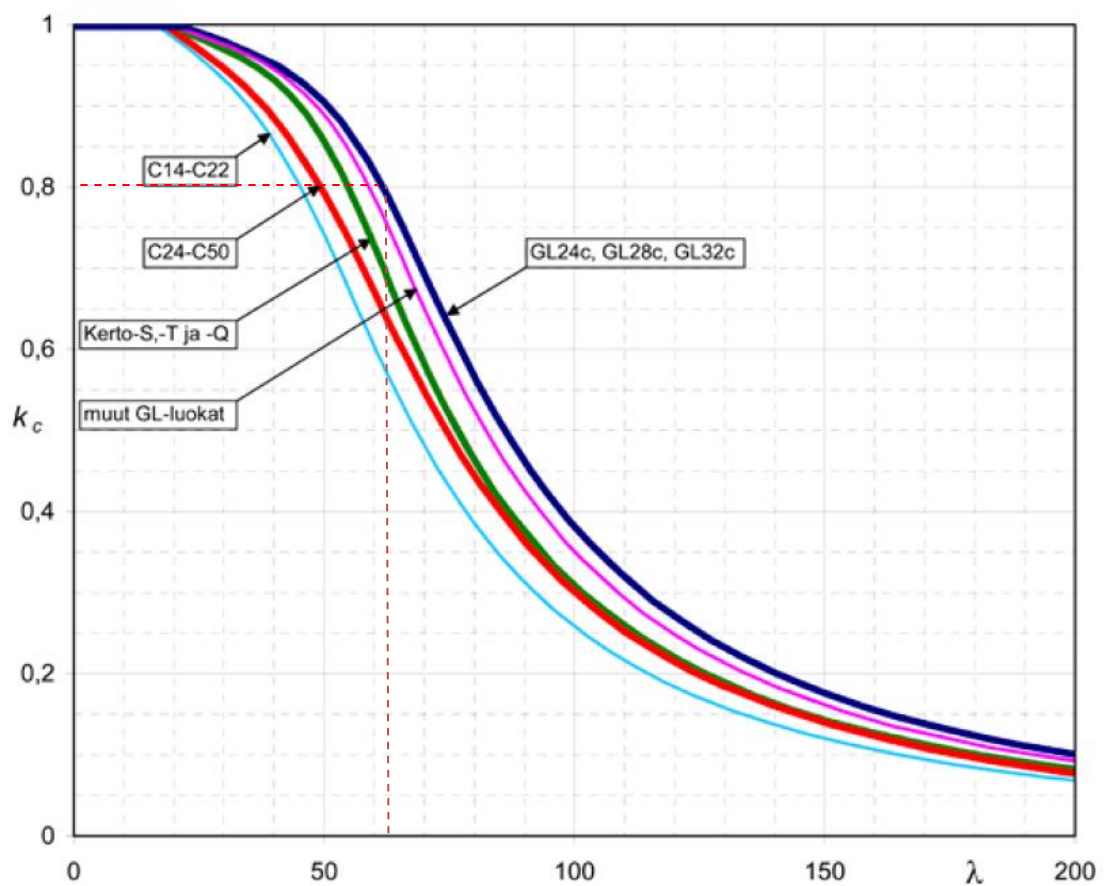
i = jäyhyssäde

I = jäyhyysmomentti

λ = sauvan hoikkuusluku

L_c = nurjahduspituus

Tarkistetaan nurjahduskerroin k_c taulukosta 2.



Taulukko 2

Liite 9 Pilarilaskelmat

$$k_c = 0,80$$

Pienennetään puristuskestävyyden arvoa arvolla 0,80

Lasketaan taivutuskestävyys keskipitkässä aikaluokassa

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{mk}}{\gamma_m} = 0,8 \frac{32 \text{ N/mm}}{1,2} \quad f_{m,d} = 21,33 \text{ N/mm} \quad (7)$$

Tarkistetaan pilarin kestävyys kaavalla 1

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} < 1 \quad (1)$$

$$\frac{0 \text{ Nmm}}{21,33 \text{ Nmm}} + \frac{2,32 \text{ N/mm}^2}{0,8 * 17,66 \text{ N/mm}^2} < 1 \quad = 0,16 < 1$$

Liite 10 Palkkilaskelmat

Kantavat rakenteet ovat liimapuuta GL32c

Seuraavat laskelmat on suoritettu Puuinfon julkaiseman Puurakenteiden suunnittelu, lyhennetty suunnitteluohje kolmas painos mukaisesti.

Rakenteet on laskettu käyttöluokassa 2 ja aikaluokkana käytetään keskipitkää aikaluokkaa.

Liimapuun osavarmuuslukuna on käytetty 1,2

Lujuusominaisuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (1)$$

missä

k_{mod} = muunnoskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus = 0,8 (keskipitkä aikaluokka, käyttöluokassa 2)

γ_m = liimapuun osavarmuusluku 1,2

X_k = lujuusominaisuuden ominaisarvo

Laskelmissa käytetään

Ominaislujuudet:

Taivutus	$f_{m,k}$	32	N/mm ²
Veto	$f_{t,0,k}$	19,5	N/mm ²
Veto	$f_{t,90,k}$	0,45	N/mm ²
Puristus	$f_{c,0,k}$	26,5	N/mm ²
Puristus	$f_{c,90,k}$	3,0	N/mm ²
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,2	N/mm ²
Kimmomoduuli	E_{mean}	13 700	N/mm ²
Kimmomoduuli	$E_{90,mean}$	420	N/mm ²
Tiheyden keskiarvo		470	kg/m ³

Palkin taivutuskestävyys lasketaan kaavojen 2-5 mukaan:

missä

M_d = taivutusmomentti

P_d = kuorma

I = jänneväli

Liite 10 Palkkilaskelmat

w = taivutusvastus

$\sigma_{m,d}$ = taivutusjännitys

b = palkin leveys

h = palkin korkeus

$f_{m,d}$ = taivutuskestävyys

k_{mod} = muunnoskerroin

Pilariväli on 3000mm ja materiaalina käytetään liimapuupalkkia GL32c

$$M_d = \frac{pd \cdot l(2)}{8} = \frac{35,926 \text{ kN/m} \cdot 3 \text{ m}^2}{8} \quad (2)$$

$$M_d = 34,076 \text{ kNm} = 34076025 \text{ Nmm}$$

$$w = \frac{b \cdot h(2)}{6} = \frac{140 \text{ mm} \cdot 360 \text{ mm}^2}{6} \quad (3)$$

$$w = 3024000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{md}{w} = \frac{34076025 \text{ Nmm}}{3024000 \text{ mm}^2} \quad (4)$$

$$\sigma_{m,d} = 13,37 \text{ Nmm}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{1,2} = \frac{0,8 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,2} \quad (5)$$

$$f_{m,d} = 21,33 \text{ N/mm}^2 > 11,27 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste: 62,7 %

Tarkastetaan palkin taipuma kaavojen 6-7 avulla

Palkin sallittu taipuma on $L/300 = 3000/300 = 10 \text{ mm}$

P_k = kuorma

I = jäyhyysmomentti

b = palkin leveys

h = palkin korkeus

l = jänneväli

E = kimmokerroin

Liite 10 Palkkilaskelmat

Palkille tuleva kuorma ilman osavarmuuskertoimia

$$P_k: 6,25\text{m} * 3,6 \text{ kN/m}^2 + 0,237 \text{ kN/jm} = 22,737 \text{ kN/jm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{140\text{mm} * 360\text{mm}^3}{12} \quad I = 544320000 \text{ mm}^4 \quad (6)$$

$$\frac{5}{384} * \frac{pk * l^4}{EI} = \frac{5}{384} * \frac{22,737\text{kN} * 3000\text{mm}^4}{13000 * 544320000} \quad 3,38 \text{ mm} \quad (7)$$

3,38 mm < 10mm palkin taipuma on ok.

Käyttöaste 33,8 %

Leikkauskestävyys lasketaan kaavojen 8-10 mukaan:

P_d kuorma

I jänneväli

V_d leikkausvoima eli tukivoima

k_{mod} muunnoskerroin

γ_m osavarmuuskerroin

$\sigma_{v,d}$ leikkausjännitys

$f_{v,d}$ leikkauskestävyys

$$V_d = \frac{pd * l}{2} = \frac{30,29 \text{ kN} * 3 \text{ m}}{2} \quad V_d = 45,43 \text{ kN} \quad (8)$$

$$\sigma_{v,d} = \frac{3 V_d}{2 * A} = \frac{3 * 45,43\text{kN}}{2 * (140\text{mm} * 360\text{mm})} \quad \sigma_{v,d} = 1,35 \text{ N/mm}^2 \quad (9)$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{vk} * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{3,2\text{N/mm} * 0,8}{1,2} \quad f_{v,d} = 2,1 \text{ N/mm}^2 \quad (10)$$

2,1 N/mm² > 1,35 N/mm²

Käyttöaste: 76 %

Liite 10 Palkkilaskelmat

Tukipainekestävyys lasketaan kaavojen 11-14 mukaan
missä

Pilarin koko on 140mm * 280mm, jolloin tukileveys palkin syyn
suunnassa on 280mm/2 = 140mm.

$\sigma_{c,90,d}$ = kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoi-
tusarvo

b = palkin leveys

l = jänneväli

N_d = normaalivoima

$f_{c,90,d}$ = puristuslujuuden mitoitussarvo syysuuntaa vastaan koh-
tisuorassa puristuksessa

k_{mod} = muunnoskerroin

γ_m = osavarmuuskerroin

$k_{c,90,d}$ = tukipaine kerroin, jonka arvona havuisella liimapuulla käyte-
tään 1,5

k_c = tukipaine kerroin

$l_{c,90,ef}$ = tehollinen kosketuspinnan pituus

l = kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa

$$k_{c\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} k_{c,90} \quad (11)$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus $l_{c,90,ef}$ määritellään lisäämällä kosketuspinnan
pituuteen l molemmin puolin 30mm

$$k_{c\perp} = \frac{30mm + 140mm + 30mm}{140mm} * 1,5 \quad k_{c\perp} = 2,14$$

Liite 10 Palkkilaskelmat

$$f_{c,90d} = \frac{f_{c,90k} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{3,0 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,8}{1,2} \quad f_{c,90d} = 2,0 \text{ N/mm}^2 \quad (12)$$

Puristuslujuuden mitoitusarvo korotetaan tukipainekertoimella

$$k_{c\perp} \cdot f_{c,90d} \quad (13)$$

$$2,14 \cdot 2,0 \text{ N/mm}^2 = 4,28 \text{ N/mm}^2$$

Puristusjännitys lasketaan kaavalla

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{Nd}{b \cdot l} = \frac{45430 \text{ N}}{140 \text{ mm} \cdot 140 \text{ mm}} \quad \sigma_{c,90,d} = 2,32 \text{ N/mm}^2 \quad (14)$$

Mitoitusehtona on

$$\sigma_{c,90d} < k_{c\perp} \cdot f_{c,90d}$$

$$2,32 \text{ N/mm}^2 < 4,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Käyttöaste} = 54,2\%$$

Liite 11 Tasauslaskelma

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	HIRSIRAKENNUS- UUDISRAKENNUS
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Juha Nieminen
Päiväys	27.2.2016
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	270 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	108 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	108 m ²
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	2 kerrosta

Lasketatuloksia

Julkisivupinta-ala on 117 m²
 Ikkunapinta-ala on 9 % maanpäällisestä kerrostasoalasta
 Ikkunapinta-ala on 9 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	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
RAKENNUSOSAT							
<i>Lämpimät tilat</i>							
Ulkoseinä			0,17	0,60	0,12	-	-
Hirsiseinä	97	103	0,40	0,60	0,48	38,7	49,4
Yläpohja	108	108	0,09	0,60	0,09	9,7	9,7
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾		108	0,17	0,60	0,17	18,4	18,4
Alapohja (maanvastainen) ²⁾			0,16	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	16,2	10,0	1,00	1,80	0,82	16,2	8,2
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾		4,0	1,00	1,80	0,80	4,0	3,2
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Kattovalokuvut			1,00	2,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	333	333				87,0	88,9
<i>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</i>							
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) ²⁾			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾			1,40	2,80		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Kattovalokuvut			1,40	2,80		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 24 · A/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	4,0	0,0077	0,0154	9,3	18,5	
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [h _s]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _v = 1200 · q _{v,p} · (1-h _s)]		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat		0,040	45	70	26,4	14,4	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puolilämpimät tilat			45		-	-	
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K [H = H _{joht} + H _{vuotoilma} + H _v]		
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä			123	122			
Puolilämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä			-	-			

Liite 11 Tasauslaskelma

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista (osa D3)

Pinta-alat				
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	kyllä v	ei		
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuisissa				
- lämpimissä tiloissa	v			
- puolilämpimissä tiloissa				
Rakennusosien U-arvot				
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia	kyllä v	ei		
Rakennusvaipan ilmanpitävyys				
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnittelu-arvo on enintään enimmäisarvon suuruinen	kyllä v	ei	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo
- lämpimissä tiloissa			4	4,00
- puolilämpimissä tiloissa			4	
Rakennuksen lämpöhäviöiden taseus				
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	kyllä v	ei	Vertailuarvo	Suunnittelu-arvo
- lämpimissä tiloissa			123 W/K	122 W/K
- puolilämpimissä tiloissa				
Tarkistuslistan yhteenvedo				
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	kyllä v	ei		

Lisäselvitykset

Rakennuksen ilmanpitävyys

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnittelu-arvoa. Suunnittelu-arvon valinnasta on esitettävä selvitys. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys. Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan määrittää lämmöntalteenottolaitteen valmistajan ilmoittaman varmennetun vuosihyötysuhteen perusteella. Ohjeita vuosihyötysuhteen määrittämiseksi esitetään ympäristöministeriön monisteessa 122 ja tasauslaskentaoppaassa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään osassa D3/2012 esitetyn säävyöhyke I:n säätiedoilla (Helsinki-Vantaa).

Liite 12 U-arvo vertailu

Elementti hirsiseinä 1			
Hirsi	λ -arvo	RT	Seinän U-arvo
mm	w/mk	Rsi+R1+R2...+Rse	1/RT
88	0,12	0,90	1,11
114	0,12	1,12	0,89
135	0,12	1,30	0,77
180	0,12	1,67	0,60
202	0,12	1,85	0,54
230	0,12	2,09	0,48
270	0,12	2,42	0,41

Elementti hirsiseinä 2 kennorakenne								
Hirsi sisäpuoli	λ -arvo	Hirsi ulkopuoli	λ -arvo	Eriste	λ -arvo	Paksuus	RT	Seinän u-arvo
mm	w/mk	mm	w/mk	mm	w/mk	mm	Rsi+R1+R2...+Rse	1/RT
45	0,12	45	0,12	50	0,038	140	2,24	0,45
45	0,12	45	0,12	100	0,038	190	3,42	0,29
45	0,12	45	0,12	140	0,038	230	4,43	0,23
45	0,12	45	0,12	200	0,038	290	6,01	0,17

Elementti hirsiseinä 3 kennorakenne								
Hirsi sisäpuoli	λ -arvo	Hirsi ulkopuoli	λ -arvo	Eriste	λ -arvo	Paksuus	RT	Seinän u-arvo
mm	w/mk	mm	w/mk	mm	w/mk	mm	Rsi+R1+R2...+Rse	1/RT
88	0,12	45	0,12	50	0,038	183	2,42	0,41
88	0,12	45	0,12	100	0,038	233	3,74	0,27
88	0,12	45	0,12	140	0,038	273	4,79	0,21
88	0,12	45	0,12	200	0,038	333	6,37	0,16

Liite 13 Ratu 6017 Rakennustöiden menekit 2010

Työmenekki	T3	Yks.	T13 kerroin	T4
Kattopellititys konesauma	0,16	tth/m2	1,3	0,2080
YP Levytys	0,15	tth/m2	1,2	0,1800
YP koolaus	0,4	tth/m2	1,3	0,5200
Kattotuolit	0,4	tth/kpl	1,2	0,4800
Runko koolauksella	0,45	tth/m2	1,3	0,5850
Runko	0,28	tth/m2	1,3	0,3640
Umpilaudoitus katto	0,18	tth/m2	1,3	0,2340
Us 2xkoolaus ponttilaudoitus	0,37	tth/m2	1,3	0,4810
Räystä	0,4	tth/jm	1,3	0,5200
Kattolista	0,04	tth/jm	1,3	0,0520
Ovet + eristys	1,05	tth/kpl	1,2	1,2600
Ikkunat +eristys	1	tth/kpl	1,2	1,2000
Elementtiasennus alle 3,6m	0,8	tth/kpl	1,2	0,9600
Tuulensuoja	0,07	tth/m2	1,2	0,0840
Eristy katto 250mm	0,02	tth/m2	1,3	0,0260
Eristys seinä/kerros	0,04	tth/m2	1,3	0,0520
Höyrynsulku	0,02	tth/m2	1,3	0,0260
Katto tasoitus saumat	0,023	tth/m2	1,3	0,0299
Seinä levytys	0,12	tth/m2	1,2	0,1440
katto tasoitus pohja	0,024	tth/m2	1,3	0,0312
katto tasoitus pinta	0,024	tth/m2	1,3	0,0312
Seinä tasoitus sauma	0,023	tth/m2	1,3	0,0299
Seinä tasoitus pohja	0,022	tth/m2	1,3	0,0286
Seinä tasoitus pinta	0,022	tth/m2	1,3	0,0286
Katto maalaus pohja	0,025	tth/m2	1,3	0,0325
Katto maalaus Pinta	0,03	tth/m2	1,3	0,0390
Seinä maalaus pohja	0,032	tth/m2	1,3	0,0416
Seinä maalaus Pinta	0,037	tth/m2	1,3	0,0481
Alaslaskukatto runko+reunalista	0,19	tth/m2	1,3	0,2470
Alaslasku levyt	0,08	tth/m2	1,3	0,1040

Liite 14 Kustannusvertailu

Rankarakenteinen ulkoseinä ja katto

Kustannus laskenta		Työn hinta						
		Työ €/h	18,00	€				
		Sos kulu	70,00	%				
		Yht	25,71	€				
Rankarakenteinen seinä								
	Yksikkö	Määrä	A-Hinta	Mat. Yht.	Työ kust	Työ määrä	Työ Yht.	Yht Hinta
YP normaali						TL4/yks		
Pelti	m2	185,00	22,11	4090,35	25,71	0,21	989,49	5079,84
Ponttilaudoitus	m2	185,00	8,32	1538,42	25,71	0,23	1113,17	2651,59
Räystäät	jm	41,00	2,90	118,90	25,71	0,52	548,23	667,13
Kattotuoli	kpl	15,00	220,00	3300,00	25,71	0,48	185,14	3485,14
Eristys	m3	78,00	41,60	3244,80	25,71	0,05	104,30	3349,10
Hörynsulku	m2	108,00	1,13	122,04	25,71	0,03	72,21	194,25
Koolaus	m2	108,00	2,23	240,30	25,71	0,52	1444,11	1684,41
Gyrock	m2	108,00	3,49	376,92	25,71	0,18	499,89	876,81
Tasoitus	m2	108,00	0,50	54,00	25,71	0,09	256,33	310,33
Maalaus	m2	108,00	4,00	432,00	25,71	0,07	198,57	630,57
Listoitus	jm	42,00	2,20	92,40	25,71	0,05	56,16	148,56
YHT		1086,00		13610,13			5467,59	19077,72
US								
Maalaus	m2	115,00	4,00	460,00	25,71	0,09	265,26	725,26
Tasoitus	m2	115,00	0,50	57,50	25,71	0,09	257,57	315,07
Gyproc	m2	115,00	3,49	401,35	25,71	0,14	425,83	827,18
Runko päädyt	m2	23,00	4,92	113,08	25,71	0,36	215,28	328,36
Runko +koolaus	m2	115,00	6,40	736,00	25,71	0,59	1729,93	2465,93
Eriste 50	m2	115,00	3,56	409,40	25,71	0,05	153,77	563,17
Eriste 150	m2	115,00	8,72	1002,80	25,71	0,05	153,77	1156,57
Tuulensuoja	m2	138,00	6,09	840,42	25,71	0,08	298,08	1138,50
Koolaus Ulko	m2	138,00	2,45	338,10	25,71		0,00	338,10
Panelointi	m2	138,00	10,45	1442,73	25,71	0,48	1706,86	3149,59
YHT		897,00		5283,88			4683,52	11007,73

Määrät YP		m/m		
Nimike	Materiaali	m/m2	Hinta	Hinta/m2
Ponttilauta	23x95	10,53	0,79	8,32
Koolaus	48x48	2,50	0,89	2,23
Räystäät	20x145	2	1,45	2,90

Määrät US				
Nimike	Materiaali	m/m2	Hinta	Hinta/m2
Runko	48x148	1,67	2,95	4,92
Koolaus	48x48	1,67	0,89	1,48
Koolaus ulko	22x50	5,00	0,49	2,45
Paneli	20x120	9,09	1,15	10,45

Liite 14 Kustannusvertailu

Elementtihirsiseinä

Määrät YP		m/m		
Nimike	Materiaali	m/m2	Hinta	Hinta/m2
Ponttilauta	28x95	10,53	0,40	4,21
Koolaus	45x45	2,50	0,45	1,13
Räystäät	22x145	2	0,6	1,20
Lähde Echophono hinnasto				
Alaslasku	600x600	Kisko reuna	Kisko T	T-Välikisko
Master A FT/alfa	34,472	2,232	2,356	2,356

Hirsi menekki ja kustannus US					
Korkeus	Menekki m/m2	Hinta /m	Hinta/m2	Menekki	Yht
170	5,88	18	105,88	108	635,29
195	5,13	25	128,21	108	553,85
230	4,35	33	143,48	108	469,57
270	3,70	43	159,26	108	400,00
Hirsipaneli	Päädyt m2	Sivut m2	yht		
45x270	22,5	6,8	29,3		

Kustannus laskenta		Työn hinta						
		Työ €/h	18,00	€				
		Sos kulu	70,00	%				
		Yht	25,71	€				
Elementti hirsi 240								
	Yksikkö	Määrä	A-Hinta	Yht	Työ kust	Työ määrä h/yks	Yht	Yht Hinta
YP kotelo+alaslasku								
Pelti	m2	185,00	21,00	3885,00	25,71	0,21	989,49	4874,49
Ponttilaudoitus	m2	185,00	4,21	778,95	25,71	0,23	1113,17	1892,12
Räystäät	jm	41,00	1,20	49,20	25,71	0,52	548,23	597,43
Kattotuoli	kpl	15,00	220,00	3300,00	25,71	0,48	185,14	3485,14
Eristys	m3	78,00	41,60	3244,80	25,71	0,05	104,30	3349,10
Hörynsulku	m2	120,00	1,13	135,60	25,71	0,03	80,23	215,83
Koolaus	m2	108,00	1,13	121,50	25,71	0,52	1444,11	1565,61
Gyroock	m2	37,00	3,49	129,13	25,71	0,18	171,26	300,39
Tasointus	m2	37,00	0,50	18,50	25,71	0,09	87,82	106,32
Maalaus	m2	37,00	4,00	148,00	25,71	0,07	68,03	216,03
AK levy	m2	71,00	34,47	2447,51	25,71	0,10	189,87	2637,39
AK reunalista	jm	35,00	2,23	78,12	25,71		0,00	78,12
AK keskilista	jm	110,00	2,36	259,16	25,71		0,00	259,16
AK väliista	jm	133,00	2,36	313,35	25,71	0,25	844,74	1158,09
Listoitus	jm	42,00	3,00	126,00	25,71	0,05	56,16	182,16
YHT				15034,82			5882,54	20917,36
US 240								
Hirsi	m2	108,00	159,26	17200,00	25,71	1,00	2777,14	19977,14
Hirsi seinä elementti	kpl	14,00			25,71	0,96	345,60	345,60
Hirsipaneli	m2	29,30	29,30	858,49	25,71	0,48	362,40	1220,89
Palkki	m	43,20	39,90	1723,68	25,71	0,50	555,43	2279,11
Pilari	m	41,70	14,70	612,99	25,71	0,50	536,14	1149,13
YHT				20395,16			4576,71	24971,87

Liite 14 Kustannusvertailu

Kennorakenteinen hirsiseinä 1 Rakenne sisältä ulospäin: (45mm hirsi+140mm eriste+45mm hirsi)

Kustannus laskenta		Työn hinta							
		Työ €/h	18,00	€					
		Sos kulu	70,00	%					
		Yht	25,71	€					
Elementti hirsi 230 (KENNO 1)									
	Yksikkö	Määrä	A-Hnita	Yht	Työ kust	Työ määrä	Yht		Yht Hinta
YP kotelo+alaslasku						h/yks			
Pelti	m2	185,00	21,00	3885,00	25,71	0,21	989,49		4874,49
Ponttilaidoitus	m2	185,00	4,21	778,95	25,71	0,23	1113,17		1892,12
Räystäät	jm	41,00	1,20	49,20	25,71	0,52	548,23		597,43
Kattotuoli	kpl	15,00	220,00	3300,00	25,71	0,48	185,14		3485,14
Eristys	m3	78,00	41,60	3244,80	25,71	0,05	104,30		3349,10
Hörynsulku	m2	120,00	1,13	135,60	25,71	0,03	80,23		215,83
Koolaus	m2	108,00	1,13	121,50	25,71	0,52	1444,11		1565,61
Gyrock	m2	37,00	3,49	129,13	25,71	0,18	171,26		300,39
Tasoitus	m2	37,00	0,50	18,50	25,71	0,09	87,82		106,32
Maalaus	m2	37,00	4,00	148,00	25,71	0,07	68,03		216,03
AK levy	m2	71,00	34,47	2447,51	25,71	0,10	189,87		2637,39
AK reunalista	jm	35,00	2,23	78,12	25,71		0,00		78,12
AK keskilista	jm	110,00	2,36	259,16	25,71		0,00		259,16
AK väliista	jm	133,00	2,36	313,35	25,71	0,25	844,74		1158,09
Listoitus	jm	42,00	3,00	126,00	25,71	0,05	56,16		182,16
YHT				15034,82			5882,54		20917,36
US 45+140+45									
Hirsi	m2	108,00	74,07	8000,00	25,71	0,75	2082,86		10082,86
Eriste	m2	100,00	15,18	1518,00	25,71	0,50	1285,71		2803,71
Hirsi elementti	kpl	14,00			25,71	0,96	345,60		345,60
Hirsi paneli	m2	29,30	29,30	858,49	25,71	0,48	362,40		1220,89
Palkki	m	43,20	39,90	1723,68	25,71	0,50	555,43		2279,11
Pilari	m	41,70	14,70	612,99	25,71	0,50	536,14		1149,13
YHT				12713,16			5168,14		17881,30

Määrät YP		m/m		
Nimike	Materiaali	m/m2	Hinta	Hinta/m2
Ponttilauta	28x95	10,53	0,40	4,21
Koolaus	45x45	2,50	0,45	1,13
Räystäät	22x145	2	0,6	1,20

Hirsi menekki ja kustannus US								
Malli	Korkeus	Ulko	Hinta/m	Sisä	Hinta/m	Menekki r	Hinta /m	Hinta/m2
45+88	270	45	10	88	18	3,70	28	103,70
45+45	270	45	10	45	10	3,70	20	74,07

Liite 14 Kustannusvertailu

Kennorakenteinen hirsiseinä 2 Rakenne sisältä ulospäin: (88mm hirsi+140mm eriste+45mm hirsi)

Kustannus laskenta		Työn hinta						
		Työ €/h	18,00	€				
		Sos kulu	70,00	%				
		Yht	25,71	€				
Elementti hirsi 230 (KENNO 2)								
	Yksikkö	Määrä	A-Hnita	Yht	Työ kust	Työ määrä h/yks	Yht	Yht Hinta
YP kotelo+alaslasku								
Pelti	m2	185,00	21,00	3885,00	25,71	0,21	989,49	4874,49
Ponttilaudoitus	m2	185,00	4,21	778,95	25,71	0,23	1113,17	1892,12
Räystäät	jm	41,00	1,20	49,20	25,71	0,52	548,23	597,43
Kattotuoli	kpl	15,00	220,00	3300,00	25,71	0,48	185,14	3485,14
Eristys	m3	78,00	41,60	3244,80	25,71	0,05	104,30	3349,10
Hörynsulku	m2	120,00	1,13	135,60	25,71	0,03	80,23	215,83
Koolaus	m2	108,00	1,13	121,50	25,71	0,52	1444,11	1565,61
Gyrock	m2	37,00	3,49	129,13	25,71	0,18	171,26	300,39
Tasoitus	m2	37,00	0,50	18,50	25,71	0,09	87,82	106,32
Maalaus	m2	37,00	4,00	148,00	25,71	0,07	68,03	216,03
AK levy	m2	71,00	34,47	2447,51	25,71	0,10	189,87	2637,39
AK reunalista	jm	35,00	2,23	78,12	25,71		0,00	78,12
AK keskilista	jm	110,00	2,36	259,16	25,71		0,00	259,16
AK väliista	jm	133,00	2,36	313,35	25,71	0,25	844,74	1158,09
Listoitus	jm	42,00	3,00	126,00	25,71	0,05	56,16	182,16
YHT				15034,82			5882,54	20917,36
US 45+140+88								
Kennohirsi	m2	108,00	103,70	11200,00	25,71	0,75	2082,86	13282,86
Eriste	m2	100,00	15,18	1518,00	25,71	0,50	1285,71	2803,71
Hirsi elementti	kpl	14,00			25,71	0,96	345,60	345,60
Hirsipaneli	m2	29,70	29,30	870,21	25,71	0,48	367,35	1237,56
Palkki	m	43,20	39,90	1723,68	25,71	0,50	555,43	2279,11
Pilari	m	41,70	14,70	612,99	25,71	0,50	536,14	1149,13
YHT				15924,88			5173,09	21097,97

Määrät YP		m/m		
Nimike	Materiaali	m/m2	Hinta	Hinta/m2
Ponttilauta	28x95	10,53	0,40	4,21
Koolaus	45x45	2,50	0,45	1,13
Räystäät	22x145	2	0,6	1,20

Hirsi menekki ja kustannus US								
Malli	Korkeus	Ulko	Hinta/m	Sisä	Hinta/m	Menekki r	Hinta /m	Hinta/m2
45+88	270	45	10	88	18	3,70	28	103,70
45+45	270	45	10	45	10	3,70	20	74,07

Liite 14 Kustannusvertailu

Perinteinen hirsiseinä

Kustannus laskenta		Työn hinta						
		Työ €/h	18,00	€				
		Sos kulu	70,00	%				
		Yht	25,71	€				
Perinteinen Hirsiseinä								
	Yksikkö	Määrä	A-Hnita	Mat. Yht.	Työ kust	Työ määrä	Työ Yht.	Yht Hinta
YP normaali						TL4/yks		
Pelti	m2	185,00	22,11	4090,35	25,71	0,21	989,49	5079,84
Ponttilaudoitus	m2	185,00	8,32	1538,42	25,71	0,23	1113,17	2651,59
Räystäät	jm	41,00	2,90	118,90	25,71	0,52	548,23	667,13
Kattotuoli	kpl	15,00	220,00	3300,00	25,71	0,48	185,14	3485,14
Eristys	m3	78,00	41,60	3244,80	25,71	0,05	104,30	3349,10
Hörynsulku	m2	108,00	1,13	122,04	25,71	0,03	72,21	194,25
Koolaus	m2	108,00	2,23	240,30	25,71	0,52	1444,11	1684,41
Gyrook	m2	108,00	3,49	376,92	25,71	0,18	499,89	876,81
Tasoitus	m2	108,00	0,50	54,00	25,71	0,09	256,33	310,33
Maalaus	m2	108,00	4,00	432,00	25,71	0,07	198,57	630,57
Listoitus	jm	42,00	2,20	92,40	25,71	0,00	0,00	92,40
YHT		1086,00		13610,13			5411,43	19021,56
US 230								
Hirsi	m2	138,00	155,56	21466,67	25,71	1,00	3548,57	25015,24
YHT				21466,67			3548,57	25015,24

Määrät YP		m/m			
Nimike	Materiaali	m/m2	Hinta	Hinta/m2	
Ponttilauta	23x95	10,53	0,79	8,32	
Koolaus	48x48	2,50	0,89	2,23	
Räystäät	20x145	2	1,45	2,90	

Hirsi menekki ja kustannus US					
Korkeus	Menekki m/m2	Hinta /m	Hinta/m2	Menekki	Yht
170	5,88	20	117,65	108	635,29
195	5,13	27	138,46	108	553,85
230	4,35	33	143,48	108	469,57
270	3,70	42	155,56	108	400,00

Liite 15 Materiaaliluettelo

Report

Tekla Structures MATERIAL LIST - Load into a specific Excel file - DO NOT CHANGE THIS LINE!

Project number: ;
 Project name: ;
 Project address: ;
 ;
 ;
 Date: ;04.04.2016

Profile	Material	NUM	Length [mm]	Length sum	Weight[kg]	Weight sum	Area [m2]	Area sum
45*45	;T24	; 18 ;	10700;	192600;	9.8;	175.5;	1.93;	34.74;
45*45	;T24	; 8 ;	11900;	95200;	10.8;	86.8;	2.15;	17.17;
Sub total, 45*45		; ; ;	; ;	287800;	; ;	262.3;	; ;	51.91;
45*140	;T24	; 1 ;	9000;	9000;	25.5;	25.5;	3.34;	3.34;
45*140	;T24	; 1 ;	9140;	9140;	25.9;	25.9;	3.39;	3.39;
45*140	;T24	; 1 ;	12140;	12140;	34.4;	34.4;	4.50;	4.50;
45*140	;T24	; 1 ;	12280;	12280;	34.8;	34.8;	4.56;	4.56;
Sub total, 45*140		; ; ;	; ;	42560;	; ;	120.7;	; ;	15.80;
45*145	;T24	; 52 ;	145;	7540;	0.4;	22.1;	0.07;	3.54;
45*145	;T24	; 26 ;	268;	6970;	0.7;	17.9;	0.10;	2.67;
45*145	;T24	; 4 ;	321;	1285;	0.8;	3.1;	0.12;	0.47;
45*145	;T24	; 4 ;	603;	2412;	1.6;	6.4;	0.22;	0.90;
45*145	;T24	; 4 ;	885;	3539;	2.4;	9.7;	0.33;	1.33;
45*145	;T24	; 4 ;	1166;	4666;	3.2;	13.0;	0.44;	1.75;
45*145	;T24	; 26 ;	1195;	31070;	3.5;	91.2;	0.47;	12.15;
45*145	;T24	; 32 ;	1388;	44400;	4.1;	130.4;	0.54;	17.29;
45*145	;T24	; 4 ;	1448;	5793;	4.1;	16.3;	0.55;	2.18;
45*145	;T24	; 26 ;	1491;	38757;	4.0;	103.9;	0.54;	13.92;
45*145	;T24	; 26 ;	1665;	43290;	4.5;	115.9;	0.60;	15.49;
45*145	;T24	; 4 ;	1730;	6920;	4.9;	19.6;	0.65;	2.61;
45*145	;T24	; 4 ;	2012;	8047;	5.7;	22.9;	0.76;	3.04;
45*145	;T24	; 4 ;	2293;	9174;	6.6;	26.2;	0.87;	3.47;
45*145	;T24	; 4 ;	2467;	9869;	7.1;	28.3;	0.93;	3.73;
45*145	;T24	; 26 ;	2986;	77640;	8.3;	214.5;	1.09;	28.31;
45*145	;T24	; 4 ;	5167;	20666;	15.0;	59.9;	1.95;	7.81;
45*145	;T24	; 30 ;	6167;	184998;	18.0;	540.2;	2.34;	70.32;
45*145	;T24	; 14 ;	9230;	129220;	27.1;	379.4;	3.52;	49.29;
45*145	;T24	; 1 ;	9300;	9300;	27.3;	27.3;	3.55;	3.55;
Sub total, 45*145		; ; ;	; ;	645553;	; ;	1848.2;	; ;	243.81;
360*140	;T24	; 2 ;	9000;	18000;	203.7;	407.3;	9.25;	18.50;
360*140	;T24	; 2 ;	12280;	24560;	277.9;	555.8;	12.58;	25.17;
Sub total, 360*140		; ; ;	; ;	42560;	; ;	963.2;	; ;	43.67;
BL 50*190	;T24	; 20 ;	2430;	48600;	10.4;	207.8;	1.19;	23.71;
Sub total, BL 50*190		; ; ;	; ;	48600;	; ;	207.8;	; ;	23.71;
BL 95*50	;T24	; 8 ;	2430;	19440;	3.8;	30.6;	0.64;	5.12;
Sub total, BL 95*50		; ; ;	; ;	19440;	; ;	30.6;	; ;	5.12;
BL 285*50	;T24	; 8 ;	2430;	19440;	14.2;	113.7;	1.58;	12.66;
Sub total, BL 285*50		; ; ;	; ;	19440;	; ;	113.7;	; ;	12.66;
BL140*140	;T24	; 28 ;	2315;	64820;	20.4;	560.9;	1.36;	38.09;
Sub total, BL140*140		; ; ;	; ;	64820;	; ;	560.9;	; ;	38.09;
CU41-2.5-9.5-41-7.2	;S235JR	; 28 ;	2300;	64400;	6.4;	178.7;	0.66;	18.55;
Sub total, CU41-2.5-9.5-41-7.2		; ; ;	; ;	64400;	; ;	178.7;	; ;	18.55;
PNL_B160*60-15	;T24	; 2 ;	9400;	18800;	39.4;	78.8;	3.97;	7.94;
PNL_B160*60-15	;T24	; 2 ;	12400;	24800;	52.1;	104.1;	5.24;	10.48;
Sub total, PNL_B160*60-15		; ; ;	; ;	43600;	; ;	182.9;	; ;	18.42;