

LIIMAPUURAKENTEISEN HALLIN RAKENNELASKELMAT JA KUSTANNUSARVIO

Tomi Houtsonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2010

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) HOUTSONEN, TOMI	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 26.5.2010
	Sivumäärä 71	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi LIIMAPUURAKENTEISEN HALLIN RAKENNELASKELMAT JA KUSTANNUSARVIO		
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) KONTTINEN, Jukka, Lehtori		
Toimeksiantaja(t) STLG OY KIVIRANTA Marko, Kenttäestari		
Tiivistelmä Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella liimapuurakenteinen halli elementtirakenteisena sekä tehdä kustannusarvio hallista. Tilaajan mielenkiintona oli elementtiratkaisun vaikutukset rakennusaikaan, hintaan ja rakennus vaiheisiin. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa rakennevaihtoehtojen kustannusvertailua. Työ osoitti, että jo pelkästään hallin suunnittelu ja rakennelaskelmien tekeminen on kokemattomalle suunnittelijalle haastavaa ja opittavaa riittää paljon myös koulun päätyttyä. Työn pohjalta saatiin kattava kuva rakennusprojektin eri vaiheiden kustannuksista. Opinnäytetyön tuloksena valmistui pohja- leikkaus- sekä rakennetyyppikuvat. Kustannusarvio antaa hyvän lähtökohdan halliprojektin eteenpäin viemiselle.		
Avainsanat (asiasanat) Rakennesuunnittelu, rakentaminen, laskelmat, liimapuu		
Muut tiedot Liitteitä 52 sivua		



Author(s) LAST, First HOUTSONEN, Tomi	Type of publication Bachelor´s Thesis	Date 26.5.2010
	Pages 71	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title CONSTRUCTION CALCULATION AND COST ESTIMATE FOR A HALL BUILT FROM GLUED LAMINATED TIMBER		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) KONTTINEN, Jukka, Senior Lecturer		
Assigned by St. Lake Golf Ltd/ KIVIRANTA, Marko. Golf Course Superintendent		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to design a hall built from glued laminated timber. The subscriber of this thesis was interested how prefabricated units as building material affect building time, price and stages of building. In addition to this, this thesis aimed to make a comparison of costs between different structural options.</p> <p>This work demonstrates that the mere designing of a hall and making the construction calculations are challenging to an inexperienced designer. Thus, there is much to learn after the graduation, too. This thesis gives a good understanding of the costs at different building stages.</p> <p>As a result of this bachelor's thesis, a floor plan, a side projection and a construction drawings were made. The cost estimate gives a good starting point for further development of the project.</p>		
Keywords Designing, Calculations, Hall, Glued laminated timber,		
Miscellaneous Appendixes 52 pages		

SISÄLTÖ

1 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET	3
2 LIIMAPUU	4
2.1 Liimapuun rakenne	4
2.2 Liimapuu rakennusmateriaalina	5
3 RAKENNESUUNNITTELU	6
3.1 Suunnittelu yleisesti	6
3.2 Runkojärjestelmän valinta	7
3.3 Kuormitukset	7
3.4 Rungon mitoituksen periaatteita	8
3.5 Liitokset	9
3.5.1 Pilarin ja perustusten liitos	9
3.6 Rungon jäykistys	10
3.7 Paloluokan määrittäminen	11
3.8 Seinä- ja kattoelementit	11
3.9 Perustukset	12
3.9.1 Sokkeli	13
3.9.2 Peruspilarit	13
4 RAKENNELASKELMIEN SELOSTUS	14
4.1 Perustiedot	14
4.2 Rakenteellinen järjestelmä	14
4.3 Mastopilarin laskenta	15
4.4 Tuulipilarin laskenta	15
4.5 Nurkkapilarin laskenta	16
4.6 Harjapalkin laskenta	16
4.7 Päätypalkin laskenta	16
5 KUSTANNUS ARVIO	17
5.1 Kustannusarvion laatimistapa	17
5.2 Seinä- ja kattoelementtitarjous	17
5.3 Runkotarjous	18
5.4 Sokkelitarjous	18
6 YHTEENVETO	18

LÄHTEET	19
KUVIOT	10
Kuvio 1	6

LIITTEET

Liite 1. Harjapalkin laskenta	20
Liite 2. Mastopilarin laskenta	29
Liite 3. Tuulipilarin laskenta	37
Liite 4. Nurkkapilarin laskenta	43
Liite 5. Päätypalkin laskenta	50
Liite 6. Mastopilarin anturan mitoitus	55
Liite 7. Tuulikuormien määrittely	60
Liite 8. Pohjakuva	61
Liite 9. Rakenneleikkaus A-A	62
Liite 10. Perustusten ja pilarin liitos	63
Liite 11. Seinäelementti	64
Liite 12. Kattoelementti	65
Liite 13. Sokkelielementtien tarjous	66
Liite 14. Seinä- ja kattoelementtien tarjous	67
Liite 15. Liimapuu pilari ja palkki tarjous	70
Liite 16. Kustannusarviolaskelmat	71

1 OPINNÄYTETYÖN TAVOITTEET

Opinnäytetyössä tuli suunnitella liimapuurakenteisen varasto-korjaamo, laatia tarvittavat lujuuslaskelmat sekä alusta kustannusarvio. Tilaajana toimi pyhäjärvinen golfseura, St.Lake Golf, jonka tarkoituksena on laajentaa kenttää sekä saada samalla suuremmat toimi- ja sosiaalityilat työkoneille ja miehille. Halliin tuli koneille pesu, säilytys ja korjaamo tilat sekä työmiehille sosiaalityilat. Kokonais sisäpinta-ala tuli 360m². Tilaajalla oli mielenkiintona saada tietoa elementtiratkaisun vaikutuksista hintoihin, kuvausta työn eri vaiheista sekä tietoa työn nopeutumisesta verrattuna pitkästä tavarasta tehtyyn.

Lujuuslaskelmissa käytettiin mitoitusperusteena eurokoodeja eli eurooppalaisia standardeja. Ratkaisuksi valittiin pilari – palkki- järjestelmä. Työssä tuli laatia rakennepiirustukset ja lujuuslaskelmat tarjouksia varten.

Laskelmissa käytetyt euronormit korvasivat aikaisemmin käytössä olleen Suomen rakentamismääräyskokoelmaan sisältyneen B-osan. Eurokoodeja käytetään yhdessä kansallisten liitteiden kanssa. Euronormit ovat yhteiseurooppalainen rakennusten suunnittelua ohjaava määräyskokoelma, joka mahdollistaa rakenteiden suunnittelun samalla ohjeistuksella kaikkialla Euroopassa. Tämä helpottaa mm. rakennusten ja rakenneosien kauppaa muihin EU-maihin.

2 LIIMAPUU

2.1 Liimapuun rakenne

Siikanen (2008) määrittelee liimapuun olevan neljästä tai useammasta höylätystä lamellista liimaamalla koottu puurakenne, jossa lamellien syyt ovat rakenteiden pituussuunnassa. Yleisin lamellin paksuus suorissa kannatteissa on 45 mm, jolloin vähimmäiskorkeus on 180 mm. Korkeusmitat kasvavat tästä aina 45 mm:n välein. Kaarevissa liimapuukurakenteissa lamellit ovat ohuempia eli myös kaarevuussäde määrittää lamellin paksuutta. Liimapuupalkkien vakikorkeudet ovat 180 - 2050 mm (45 mm välein). Leveys suunnassa lamellin rakenne muodostuu vähintään yhdestä tai useammasta lamellista. Liimapuukannatteita voidaan valmistaa halutun pituisina mutta maksimissaan 55 metrin pituisina kannatteina. Eniten rajoituksia liimapuun pituudelle asettavat sekä kuljetus että varastointi. (Siikanen, U. 2008. s.104-105).

Liimapuun raaka-aineena käytetään yleensä 98- prosenttisesti kuusta. Kuusen ohella mäntyä käytetään liimapuun raaka-aineena arkkitehtonisista syistä tai kun liimapuu halutaan painekyllästää. Liimapuu on rakennustarvikkeena noin 20 prosenttia lujempaa kuin sahatavara, sillä lamellien vikaisuudet vaikuttavat sen lujuuteen vähemmän kuin vastaavan kokoisen sahatavaran vikaisuudet. Ulkona pysyvästi olevan liimapuun rakenteen valmistukseen tulee käyttää liimausluokkaa U (ute = ulkona) eli säänkestäviä liimoja. Näin ollen rakenteen käyttökoosteuteen ei tule rajoituksia. Kun käyttökoosteus on korkeintaan 18 prosenttia, esimerkiksi kuivissa sisätiloissa, voidaan käyttää liimausluokkaa I (inne = sisällä). Liimapuun paloluokka puolestaan on D- s2,d0. Tulipalo-oloissa liimapuun pinnan hiiltymisnopeus on noin 0,7 mm minuuttia kohden. Liimapuu käsitellään tehtaalla värittömällä puunsuoja-aineella tai lakalla ellei muuta ole sovittu. Liimapuun rakenteet tulisi aina suojata (Siikanen, U. 2008. 104-105).

2.2 Liimapuu rakennusmateriaalina

Monet ominaisuudet puoltavat liimapuuta rakennusmateriaalina, kuten paremmat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet. Omaan painoonsa suhteutettuna liimapuu on vahvempaa kuin teräs. Liimapuu mahdollistaa rakentamisessa pitkät jännevälit ilman välitukia. Tällöin liimapuunrakenteiden suunnittelussa on rajattomia mahdollisuuksia mitä erilaisimpiin suunnittelukohteisiin, kuten tavaratalon katon, pientalon rakenteen tai maantiesillan suunnitteluun. Lisäksi etuna on materiaalin käytön tehokkuus. Liimapuu on myös uusiutuva rakennusmateriaali. Muita hyviä ominaisuuksia ovat muun muassa

- miellyttävä ulkonäkö
- hyvä mittatarkkuus normaalissa lämpö- ja kosteusvaihtelussa
- hyvä palonkestävyys
- hyvät lämmöneristysominaisuudet
- pieni omapaino
- hyvä säilyvyys kemiallisesti vaikeissa olosuhteissa
- joustava tuotanto. (Carling, O. 2003. 8-9)

Liimapuurakenteiden asentaminen on nopeaa ja yksinkertaista, sillä vuodenajasta ja sääoloista riippumatta osat liitetään yhteen naula- ja ruuviliitoksilla. Lisäksi rakenteita voidaan muokata yksinkertaisten työkalujen avulla. Rakennustapana puurakentaminen on kuiva rakennustapa, joten runko voi kantaa täyden kuorman heti asennuksen jälkeen. Koska liimapuu on raaka-aineena uusiutuvaa, se voidaan palauttaa käytön jälkeen luonnon kiertokulkuun ilman, että siitä on mitään haittaa ympäristölle. (Carling, 2003. 8-9)

RAKENNESUUNNITTELU

3.1 Suunnittelu yleisesti

Rakennusalalla suunnittelu jaetaan kolmeen pääryhmään: arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikan suunnitteluun. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin rakennesuunnitelmiin, joiden pohjalta voitiin laskea kustannusarvio. Arkkitehtoninen suunnittelu keskittyy lähinnä vain tilojen suunnitteluun, mutta arkkitehtisuunnittelun tehtävänä on myös sulauttaa rakennus ympäristöön. Tätä ei ole tässä opinnäytetyössä käsitelty, ja myös talotekniikka on rajattu aihealueen ulkopuolelle.

Rakennesuunnittelun tarkoituksena on luoda rakennukselle toimiva rakennejärjestelmä arkkitehtisuunnitelmien pohjalta. Toimiva rakennejärjestelmä tarkoittaa tässä yhteydessä sellaista järjestelmää, joka on rakennusfysiikan ja statiikan kannalta oikea sekä taloudellisesti toteuttavissa. Rakenteen tulee soveltua käyttöolosuhteisiin ja kestää koko rakennuksen suunnitellun käyttöiän.

Suunnittelu on erittäin tärkeä osa rakennushanketta. Suunnitteluvaiheessa sidotaan suurin osa kustannuksista, ja niihin voi rakennusvaiheessa vaikuttaa enää hyvin vähän. Suunnittelun osuus kustannuksista koko rakennusprojektista on kohteen luonteesta riippuen usein vain muutamia prosentteja. Niinpä suunnitteluun kannattaa varata riittävästi aikaa ja resursseja.

Hyvät suunnitelmat ovat selkeitä ja yksiselitteisiä. Rakenneosien tulee olla selkeästi ja johdonmukaisesti merkitty ja numeroitu. Suunnitelmissa tulee esittää riittävä määrä detaljeja ja leikkauskuvia, joista selviävät rakenne ja kiinnitykset. Detaljeja ja leikkauskuvia syntyy helposti suuri määrä, joten ne tulisi järjestää loogiseen järjestykseen, tällöin mahdolliset muutokset olisi helpompi päivittää jokaiseen kuvaan. Helpointa olisi käyttää erilaisia suunnitteluohjelmia, joihin mitat syötettäisiin muuttujien arvoina. Silloin ohjelma korjaisi jokaisen kuvan tiedot ja kuvat pysyisivät ajan tasalla. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää suunnitelmien virheettömyyteen. Virheet johtavat helposti tuotannon hidastumiseen ja turhiin tarkistuksiin toteutusvaiheessa.

3.2 Runkojärjestelmä valinta

Teollisuudessa ja myös varastorakennuksissa tarvitaan usein tasakorkuista tilaa, jonka korkeus suunnitellaan rakennuksessa tapahtuvan toiminnan tarpeiden mukaisesti. Tavoitteeseen päästään yleensä yksi- tai useampiaukkoisella pilari-palkkirakenteella, joka mahdollistaa myös rakennuksen laajentamisen. Liimapuurunko on usein helppo ja järkevä valinta hallirakenteisiin. Se mahdollistaa yksinkertaisen palomitoituksen toteutuksen, pitkät jännevälit sekä suuretkin aukot seinärakenteissa. Tässä opinnäytetyössä kantavaksi järjestelmäksi valittiin harjapalkki sen yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Harjapalkilla saavutetaan valmis kattokaltevuus. Harjapalkki on myös rakenteensa vuoksi edullinen ja mahdollistaa myös kuormien kiinnityksen palkkirakenteisiin. Mikäli esimerkiksi ilmastointiputkien pitkittäisvedot tulisi saada kattorakenteen sisään, voisi esimerkiksi kolminivelkehä olla harjapalkkia parempi vaihtoehto. Tässä opinnäytetyössä ilmanvaihtoputkien pitkittäisvedot voidaan toteuttaa pilarin ja palkin liitoskohdissa ja tarvittaessa koteloida. Sivuttaisvedot onnistuvat helposti harjapalkkien väleissä.

Runkosuunnittelija suunnittelee rungon peruspilarin tai puurunkoa tukevan betonirakenteen. Tämän jälkeen runkosuunnittelija antaa perustusten suunnittelijalle pilareiden välittämät kuormat. Runkosuunnittelija suunnittelee rungon jäykistyksen, minkä jälkeen hän laatii yhteistyössä asennusurakoitsijan kanssa rungon asennusohjeen. Mitoitettu pohjapiirros ja lupasarja toimivat suunnittelun perustana.

3.3 Kuormitukset

Runkoa mitoittaessa huomioon tulee ottaa pystysuunnassa lumikuorma, katon oma paino ja mahdolliset ripustuskuormat sekä vakaasuunnassa tuulikuorma. Katon oma paino koostuu pääkannattajan omasta painosta (noin $0,1 \text{ kN/m}^2$) sekä kattorakenteen painosta (eristeet, vasat, laudoitukset = $0,4 \text{ kN/m}^2$). Valaistus- ja ilmastointilinjat ja johdinlinjat muodostavat ripustuskuorman, joka on yleensä noin $0,1 \text{ kN/m}^2$. Lisäksi paikkakunta vaikuttaa ominaislumikuormaan, joka voi olla $2,0$ - $3,5 \text{ kN/m}^2$. (Puurakenteiden

suunnitteluohje. 2008. kuva 2.1) Mitoituksessa on otettava huomioon katon eri muodot (kaari- ja sisätaitekatot) ja katon korkeuseroista johtuva kinostuminen. Esimerkiksi kaarikatoilla muotokerroin voi suurentaa lumikuormaa jopa 2,5-kertaiseksi. Rakennuksen maastoluokka ja korkeus puolestaan muodostavat tuulikuorman. Puuhallille tuulen nopeuspaineen ominaisarvot ovat normaalisti välillä 0,5 – 0,7. (Puuhallin rakenteet. 2009. [viittaus 18.04.2010]).

3.4 Rungon mitoituksen periaatteita

Mitoittaessa pääkannattajia, otetaan huomioon kattorakenteen mahdollinen jatkuvuus. Kattorakenteen toimiessa 2-aukkoisesti, on pääkannattajan kuormituksen lisäys elementin keskituella 20-25% ja 3-aukkoisella pienempi, noin 5-10% kattokannattajan jäykkyydestä johtuen. Riittävä tuenta kiepahdusta vastaan tarkistetaan aina erikseen. Poikittaistuen on kestettävä vähintään sille määritetty palonkesto aika. Kun pääkannattajana käytetään palkkia, on mitoituksessa tarkistettava vähintään puristusjäännitys, taipuma, leikkausvoima ja tuella tukipaine. Tarvittaessa tukipintaa voidaan leventää esim. teräsosalla joka ankkuroidaan palkin alapintaan (Puuhallin rakenteet. 2009. [viittaus 18.04.2010]).

Pilarit

Mitoittaessa pilaria, tarkistetaan pystykuormien ja momentin yhteisvaikutus. Mitoitettaessa pilaria tuulikuormalle voidaan olettaa kattokannattajan välittävän noin puolet suojan puoleiselle pilarille. Pilarin ja pääkannattajan liitoksessa tarkistetaan tukipaine. Mikäli tukipaine kasvaa liian suureksi, voidaan sitä alentaa esim. suurentamalla pilarin poikkileikkausta tai käyttämällä kannattajan alapintaan ankkuroitavaa teräsosaa.

3.5 Liitokset

Pilari voidaan liittää pääkannattajaan esimerkiksi nk. hankolautoilla tai lattateräksillä. Lattateräs voi olla kooltaan esimerkiksi 100 x 8mm ja hankolauta 45 x 195 mm riippuen kuitenkin liitoksen välittämistä voimista. Liitososat ja kiinnikkeet mitoitetaan pilarin ja pääkannattajan välisen vaakavoiman perusteella. Liitos voidaan tarvittaessa palonsuojata esimerkiksi puuverhoilulla. Käytettäessä liitoksessa lattaterästä tulee kannattajan puoleisten reikien olla soikeita sekä kiinnityspulttien sijaita yläreunassa kannattajan pään elämisen mahdollistamiseksi. Painumavaran tulee olla pelkästään jo asennusvaran takia aina 10 mm.

Pilarin ja palkin liitos

Pilarin ja palkin liitos toteutetaan nivellettynä liitoksena, joka siirtää vaaka- ja pystyvoimia. Pultteja varten tehtävät reiät tehdään pystysuunnassa soikeiksi, jolloin palkin kosteuselämistä ei estetä. Harjapalkkiin asennettavat pultit sijoitetaan palkin alareunaan. Tällöin palkki voi elää hieman, ilman että aiheuttaa muodonmuutoksia palkissa. Liitosta ei tässä opinnäytetyössä ole mitoitettu.

3.51 Pilarin ja perustusten liitos

Pilarit mitoitetaan mastopilareiksi jäykistämään rakennus tuulikuormitusta vastaan. Tällöin pilarin ja perustusten välisen liitoksen tulee siirtää tuulikuorman suunnassa myös momenttikuormia. Näitä liitoksia ei tässä työssä ole mitoitettu, vaan niistä on esitetty yksi vaihtoehto, jonka toteutettavuuden rakennesuunnittelija erikseen määrittelee. Tuulikuormitusten suhteen jäykkä liitos voidaan toteuttaa esimerkiksi Peikko LPK-30-pilarikengällä. Pilarin päähän sahataan sen molemmin puolin kaksi kahdeksan millimetrin levyistä uraa pilarikengän vaarnalevyille, ks. kuvio 1. Kun kengät on asennettu, porataan tappivaarnoille reiät samanaikaisesti sekä pilarin että vaarnalevyjen läpi. Porauksen jälkeen asennetaan vaarnatapit. Sahattuihin uriin liimataan puusoirot tilalle. (Puupilarikengät. 2000. viittaus 4.5.2010)].

Rakennuspaikalla pilari nostetaan paikalleen ja kiinnitetään muttereilla perustuksiin valettuihin kierretankoihin. Pilarin korko ja asento tulee tarkistaa. Asennuksen jälkeen pilarin alle tehdään jälkivalu. Pilarin ja valun väliin tulee asentaa bitumihuopakaista kosteuskatkoksi. Jälkivalu tulee raudoittaa, mutta sitä ei ole tässä yhteydessä esitetty.



Kuvio 1.

Harja- ja sekundaaripalkin liitos

Sekundaaripalkit estävät harjapalkkien kiepahduksen. Kattorakenne toteutetaan elementtinä, joten liitos tulee suunnitella siten, ettei se riko höyrynsulkumuovia. Liitos voidaan toteuttaa esimerkiksi asentamalla kulmaraudat kattoelementteihin.

3.6 Rungon jäykistys

Rakennus tulee jäykistää joka suunnalta tuulikuormaa vastaan. Lyhyen sivun suunnassa mastopilarit toimivat jäykisteenä. Mastopilarit kiinnitetään alapäästään jäykästi, joten ne johtavat tuulikuorman perustuksille. Taloudellisesti pilareiden käyttö on kannattavaa, sillä harjapalkit vaativat tukipinta-alaa syitä vastaan kohtisuorien puristusjännityksien vuoksi.

Rakennuksen pitkän sivun jäykistykseen on useita vaihtoehtoja. Yksi vaihtoehto on käyttää seinäelementtejä jäykistämiseen suunnitteleamalla ne

niin, että niitä voidaan käyttää levyjäykisteenä. Tämä johtaisi vaativiin liitosrakenteisiin elementtien ja pilareiden välillä sekä rajoittaisi hallin oviaukkojen kokoa. Toisena vaihtoehtona olisi jäykistää hallirakennus pilareiden väliin sijoitettavilla puisilla tai metallisilla tuuliristikkoilla. Tuuliristikko voidaan periaatteessa sijoittaa mihin tahansa pilariväliin rakennuksen sivulla, kunhan niiden välimatkat eivät kasva liian suureksi. Tässä opinnäytetyössä tuuliristikkoja ei ole mitoitettu.

3.7 Paloluokan määrittäminen

Palomääräykset asettavat paloluokasta riippuen vaatimuksia teollisuushallin rakenteille. Palomitoitus suoritetaan SRakMk:n E-osaan perustuen. Palovaarallisuusluokka sekä suojaustaso määrittävät rakennuksen paloluokan. Henkilömäärälle ei yksikerroksissa rakennuksissa ole rajoituksia. Hallin koko on vapaasti valittavissa, mutta rakennus on tarvittaessa jaettava palo-osastoihin. Tässä hallissa osastointi tuli suorittaa korjaamotilan, varaston ja pesuhuoneen välille hitsauksen takia. Osastointi voitaisiin suorittaa tässä kohteessa esimerkiksi kipsilevyllä, joka nostettaisiin kattoelementteihin saakka. Liitoskohtien suunnittelu tulee varmistaa paikalliselta rakennusvalvojalta ja on siksi rajattu työn ulkopuolelle. Yksikerroksisen tuotantorakennuksen korkeus on paloluokassa P3 rajattu 14 metriin. Paloluokissa P1 ja P2 rakennuksen korkeus on rajoittamaton. Tässä tapauksessa halli voidaan suunnitella paloluokkaan P3 kuuluvaksi. Rakennus suunnitellaan palovaarallisuus luokkaan yksi suojaustason ollessa myös yksi. (SRakMk E1. 2002., SRakMk E2. 2005.)

3.8 Seinä- ja kattoelementit

Seinäelementit

Kantava runko on vain osa hallia. Hallin seinistä halutaan usein lämpöä eristävät, jolloin ne pitävät hallin lämpimänä tai viileänä toiminnasta ja ulko-olosuhteista riippuen. Halli tarvitsee lisäksi ulko- ja sisävuorauksen, tuulensuojan sekä höyrynsulun suojamaan sisäpuoliselta kosteudelta.

Rakenne toteutetaan yksinkertaisuudessaan asentamalla US-elementit (liite11) kantavan rungon ympärille.

Kattoelementit

Kantavien harjapalkkien päälle asennetaan kattoelementit, (liite 12), jotka koostuvat sekundaaripalkkien sisään asennettavasta Spu-eristeestä, mineraalivillasta sekä villan alle asennettavasta akustiikkalevystä.

Akustiikkalevy voidaan tarvittaessa vaihtaa kipsilevyyn. Vedeneristyskermin asennus kuuluu myös kattoelementtitarjoukseen ks. liite 14.

3.9 Perustukset

Pilari-palkkirunkoinen rakennus perustetaan yleensä maanvaraisille tai paaluille tuetuille pilarianturoille. Eräissä tapauksissa anturat peruspilareineen voidaan korvata myös reunavahvistetulla laatalalla. Tässä työssä perustamisvaihtoehtona on käytetty anturoita peruspilareineen.

Perustukset suunnittelee rakenteiden pääsuunnittelija. Lähtökohdaksi suunnittelulle tarvitaan lupasarja, mitoitettu pohjapiirros sekä pohjatutkimus. Pohjatutkimuksessa esitetään muun muassa rakennuksen ja alapohjan perustamistapa, sallittu pohjapaine ja tarvittavat maanrakennustoimenpiteet sekä todetaan salaojituksen ja routasuojauksen tarve. Pohjatutkimusta ei ole kohteesta tehty, joten tässä työssä pohjatutkimustietona käytettiin sitä, että kallion pinta koko golfkentän alueella sijaitsee noin 0,5 metristä 4 metriin.

Sallittuna pohjapaineena mitoituksessa käytettiin arvoa 150kN/m^2 .

Leikkauspiirroksessa tulee esittää anturoiden, peruspilarin ja sokkelin rakenne ja liitokset (Liite 9). Rakennesuunnittelija laatii salaojituksesta erillisen suunnitelman, jonka lähtötiedoiksi hän tarvitsee purkupaikan (perusvesikaivon) sijainnin ja purkukoron. Tässä työssä se on rajattu työn ulkopuolelle.

3.91 Sokkeli

Pilarirunkoisen rakennuksen sokkeli voidaan tehdä esimerkiksi lämpöeristetyllä teräsbetonelementillä. Sokkeli voidaan tehdä myös paikallavalamalla esiraudoitettuihin elementtimuotteihin tai muuramalla lämpöeristetyistä harkoista (kevytsora- tai betoniharkot). Muurattava sokkeli tarvitsee lisäksi oman, jatkuvan anturan. Tässä työssä sokkelivaihtoehdoksi valittiin Parman sokkelielementti. Sokkeliksi valittiin vakiosokkeli (90 mm,120 mm,90 mm), jonka korkeus on 950 mm. Vakiosokkeli - elementeillä rakentamisen etuina ovat mm. työn nopeutuminen työmaalla sekä jätteen vähentyminen. Vakiosokkeli asennetaan anturalaattojen päälle päistään tuettuna. (Vakiosokkelin suunnitteluohje. 2008. [viittaus 28.4.2010]).

3.92 Peruspilarit

Pilarit perutetaan anturoille peruspilarin välityksellä. Peruspilarin tehdään paikalla valamalla ja se raudoitetaan kuten pilari. Pääteräkset ankkuroidaan anturaan. Pilarin asennukseen tarvittavat teräsosat (peruspultit, kiinnityslevyt tai lattateräkset) sekä liitoksen vaatima lisäraudoitus (haat, pystylenkit) asennetaan peruspilariin. Peruspilari mitoitetaan käytännössä asennusterästen tilantarpeen mukaan sekä pysty- että vaakasuunnassa. Peruspilarin yläreunan ja pilarin alareunan väliin jätetään asennusvaraus liitoksia varten. Liitokset voidaan tehdä joko hitsi liitoksina tai pulttiliitoksena. Peruspilarin yläreuna jätetään vähintään 100mm lattian yläpintaa korkeammalle.

4 RAKENNELASKELMIEN SELOSTUS

4.1 Perustiedot

Laskelmissa käytettiin apuna mm. tunti muistiinpanoja, puuinfon esimerkkejä, (Puuinfo Oy. 2008. Sovelluslaskelmat.), sekä muita laskema esimerkkejä.

Seuraavana on lueteltuna perustietoja hallista.

Kohteen nimi	Huoltohalli StLG OY
Osoite	Niemeläntie, 86800 Pyhäsalmi
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Huoltohalli
Pääasiallinen rakennusmateriaali	Puu
Pääasiallinen rakennustapa	Elementit
Kerrosluku	1
Kokonaiskorkeus	n. 6 m
Bruttopinta-ala yhteensä	380,5 m ²

4.2 Rakenteellinen järjestelmä

Rakennuksen runkona ovat liimapuupilarit, jotka ovat toisesta päästä jäykästi kiinnitettyjä ja toinen pää on vapaa. Kattorakenne muodostuu harjapalkeista ja näiden varaan tulevista kattoelementeistä. Rakennuskohteen halli jäykistetään rungon poikittaissuunnassa mastopilareilla ja rungon pituussuunnassa mastopilarien ja pääkannattimien väliin sijoitettavilla jäykisteristikoilla.

Päätyseinät tuetaan tuulipilareilla perustuksiin ja kattorakenteen välityksellä jäykisteristikoihin. Tuulikuorma välitetään mastopilareille vaakasuuntaisilla ulkoseinä elementeillä. Seuraavana on lueteltuna pääasialliset runkorakenteet.

Perustamistapa	Maanvaraiset pilarianturat
Alapohja	Paikalla valettu teräsbetoni
Antura	Betoni
Sokkeli	Ei kantava elementti, lämpöeristetty
Ulkoseinät	Ei kantava elementti, lämpöeristetty

Yläpohja
Väliseinät

Lämpöeristetty kattoelementti
Paikalla tehty puurankaseinä

4.3 Mastopilarin laskenta

Runkokaavio laadittiin siten, että pilarit sijaitsevat rakennuksen läpi jaolla k6000. Mastopilarin koon kannalta määräävä tekijä oli harjapalkin leveys. Kooksi määriteltiin 190 x 450 mm. Materiaalina on liimapuu GL 32c. Määräävimmäksi kuormitustapaukseksi mitoituksen kannalta muodostui kova talvi, jossa lumikuormat otetaan kokonaisuudessaan huomioon. Myös puristusjännitys harjapalkissa, joka oli $1,58 \text{ N/mm}^2$, tuli ratkaisevaksi tukipainekestävyyden kautta. Koska $k_{c,90}$ - kerroin on Ril 205-1-2007 mukaan $L=450$, saadaan että $k_{c,90}= 1,0$, saadaan tällöin käyttöasteeksi 79 %. Tämä voidaan todeta liitteestä 1. Tuloksesta huomataan, että pilarin korkeutta voitaisiin pienentää, jolloin myös käyttöastetta saadaan pienemmäksi. Ril 205-1-2007 ei anna tähän päteviä säädöksiä, mutta tähän on tulossa muutos Ril 205-1-2009:n myötä.

4.4 Tuulipilarin laskenta

Tuulipilarin laskennassa tiedetään, että tuuli on määräävä muuttuva kuorma, jolloin määräävä kuormitus yhdistelmä saadaan täydeltä tuulelta ja yhdistelykertoimen kautta lumelta. Tuulipilarin leveyden määrää päätypalkin tukipainekestävyys, joka on 87 %, jolloin pilarin mitat ovat sidoksissa siihen. Vaikkakin pilarin muut mitoitusehdot jäävät suhteellisen alhaalle, (puristus- ja taivutusjännityksen sekä taipuman, 65 %; 58 %), ei pilarin kokoa voida näin ollen kuitenkaan pienentää.

4.5 Nurkkapilarin laskenta

Nurkkapilarin koon määrää päätypalkin tukipainekestävyys, joka on 87 %, jolloin pilarin mitat ovat sidoksissa siihen. Määräävimmän kuormitustapauksen muodosti kova talvi ja tuuli. Nurkkapilarin pituus tuli myös mukaan määräävän mitoituseseen hoikkuusluvun kautta, jolloin puristus- ja taivutusjännityksen yhteisvaikutukseksi saatiin 84 %. Koska pilarin K_{crit} arvoksi saatiin 1, ei kiepahduksen jännitysehtoja tarvitse tarkistaa.

4.6 Harjapalkin laskenta

Hallin poikittain olevat kantavat liimapuurakenteiset harjapalkit ovat osa kantavaa kattorakennetta. Tämän vuoksi on laskettava vaadittu palkki, jonka kautta yläpohjalta tulevat kuormat saadaan siirrettyä hallin molemmilla puolilla sijaitseville pilareille. Laskennassa materiaalina käytettiin liimapuu GL 32c:tä. Taivutusjännityksen kannalta määräävimmäksi kuormitustapaukseksi muodostui kova talvi, jossa lumikuormat otetaan kokonaan huomioon. Taivutusjännityksen mitoitus ehdolle mitoittava poikkileikkaus sijaitsee 3205 mm:n etäisyydellä jännevälän päästä. Tärkeimmäksi mitoistekijäksi harjapalkin kannalta tuli taipumaraja pääkannattimille $L/200$. Laskelmissa käyttöasteeksi saatiin 99,5 %. Taipuman laskelmassa palkin oletettiin olevan symmetrinen, jolloin taipuma voitiin määrittellä yksiaukkoisen palkin kaavalla, käyttäen mitoittavan poikkileikkauksen korkeutta $h=715$ mm. Tällöin saadaan ”varmalla” puolella oleva tulos.

4.7 Päätypalkin laskenta

Laskennassa käytettiin oletuksena, että päätypalkin kuormitus on puolet mastopilarien välisestä etäisyydestä. Määrääväksi kuormitusyhdistelmäksi tuli oma paino ja täysi lumi, jolloin taivutuslujuuden mitoitus ehdon käyttöasteeksi saatiin 76%. Kiepahduksen jännitystarkastelu voidaan jättää suorittamatta, koska palkin K_{crit} arvoksi saatiin 1. Palkin määräävin mitoitus ehto on tukipainekestävyys, joka on 87%. Tämän vuoksi palkkia ei voida pienentää.

5 Kustannusarvio

5.1 Kustannusarvion laatimistapa

Kustannusarvion tekemisessä pyrittiin siihen, että siitä saataisiin mahdollisimman tarkka kuva kustannuksista lähtötiedoilla. Työn edetessä tuli monenlaisia ongelmia eteen, koska kohteesta ei ollut käytössä esimerkiksi minkäänlaisia virallisia pohjatutkimustietoja eikä LVIS- suunnitelmia. Tämä aiheutti hankaluuksia mm. elementtien tarjouksien kyselemisessä, kun aukkojen paikkoja ei voitu sijoittaa mihinkään (tällä ei ollut hintaan merkittävää vaikutusta), sekä anturan laskentaan, kun ei tiedetty sallittua pohjapainetta eikä routasuojaustarpeita. Kun työ eteni, päätimme keskittyä työn tilaajan kanssa vain lähinnä elementtien ja rungon tarkempaan suunnitteluun ja mitoitukseen. Alapohjasta sekä väliseinistä on laskettu materiaalimenekit Rakennusosien kustannuksia 2010 kirjan mukaan. Laskelmissa käytetyt hinnat perustuvat todellisiin tarjouksiin rautakaupoista ja tavarantoimittajilta. Kustannusarviota tehtäessä oletettiin, että alapohjatyöt voitaisiin tehdä lähinnä talkoovoimin ja golfseuran jäsenten omilla koneilla ja että pintamaat ajettaisiin kentän laajennuksen puolelle. Kyseessä on joka tapauksessa vain hinta-arvio, joka voi heittää molempiin suuntiin.

5.2 Seinä- ja kattoelementtitarjous

Kun seinä- ja kattoelementtitarjousta ryhdyttiin pyytämään toimittajalta, ei minulla juurikaan ollut käsitystä mitä kaikkea lähtötietoja toimittaja tarvitsee jotta voi tarjouksen laskea ja tehdä. Kun asiaa selviteltiin, lähtötiedoiksi tarvittiin oikeastaan vain hallin pituus, leveys, korkeus ja pilarijako. Lisäksi tarvittiin tietysti selvitykset vedenpoistosta, katemateriaalista, U-arvoista, leikkauskuvat, rakennuksen paloluokka sekä käytettävät kuormitukset (lumi, ripustus jne.). Tarjous pyydettiin Spusystemiltä, joka sisälsi seinä- ja kattoelementit (liitteet 11 ja 12) sekä niiden asennuksen tarjouksen ehtojen mukaisesti (liite 14).

5.3 Runkotarjous

Runkotarjoustusta pyydetessä tuli kaikkien mitoituslaskelmien olla valmiina. Näiden (liitteet 1,2,3,4, ja 5) pohjalta oli tarjous sitten helppo pyytää ja toteuttaa. Runkotarjous pyydettiin Pyhännältä, koska se sijaitsee lähimpänä hallin toimituspaikkaa, jolloinkuljetus kustannukset eivät nouse niin suuriksi.

5.4 Sokkelitarjous

Sokkelitarjoustusta pyydetessä päädyttiin siihen, ettei nosto-ovien kohdalle asenneta sokkeliä ollenkaan, koska siinä kulkee joka tapauksessa kaikenlaisia koneita jolloin se ei ole järkevää. Sokkelitarjous pyydettiin Parmalta ja se suunniteltiin vakiosokkelin suunnitteluohjeen mukaisesti.

6 Yhteenveto

Hallin suunnittelu, mitoitus ja kustannusten laskenta oli ennako-odotuksiin nähden yllättävän työlästä ja haastavaa. Suunnittelutyön aikana ilmeni haasteita, joita ei rakennuspuolen opintojen aikana ollut tullut esille. Kysymyksiin etsittiin vastauksia mm. ohjaajalta, opettajilta, kirjallisuudesta sekä muilta suunnittelijoilta. Työn eri vaiheissa ilmenneisiin ongelmiin etsittiin vastauksia useista lähteistä. Opinnäytetyön laatiminen on ollut minulle opettavainen projekti.

Rakenteiden mitoitus oli varsin helppoa, koska käytettävissä oli hyvät muistiinpanot oppitunneilta sekä puuinfon esimerkit. Koska kaikki laskelmat tehtiin käsin, pilarien ja palkkien mitat muuttuivat moneen kertaan ja hintaa saatiin laskettua aina alaspäin. Yllättävintä tekijälle oli elementtien kilpailukykyinen hinta pitkään tavaraan verrattuna. Se selittyy pitkälti tämän hetken lamatilanteella ja työllistävyysvaikutuksella.

LÄHTEET

Carling, O. 2003. Liimapuu käsikirja. Helsinki: Wood Focus.

Puurakenteiden suunnitteluohje. 2008. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. 2. korj.painos. Helsinki: Suomen rakennusinsinööriliitto RIL.

Rakennusosien kustannuksia. 2010. Rakennusosien kustannuksia 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Vakiosokkelin suunnitteluohje. 2008. Parma Oy. Viitattu 28.4.2010.
<http://www.parma.fi/fi/Ammattirakentajalle/Suunnittelu/>

Puuinfo Oy. 2008. Sovelluslaskelmat. Viitattu 15.2.2010.
<http://www.puuinfo.fi/kirjasto/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennus>

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Uud. ja laaj. painos. Tampere: Rakennustieto Oy.

Puupilarikengät. 2000. Esite. Peikko Group. Viitattu 4.5.2010.
<http://www.peikko.fi/Default.aspx?id=420775>

Puuhallin rakenteet. 2009. Esisuunnittelu ja valintaperusteet. Viitattu 6.5.2010
http://www.puuelementtiteollisuus.fi/fi/?__EVIA_WYSIWYG_FILE=26973&name=file

SRakMk E1. 2002. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet.
<http://www.finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf>

SRakMk E2. 2005. Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus.
<http://www.finlex.fi/data/normit/28207-E2su2005.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Harjapalkin laskenta

Maanpinnan lumikuorma $S_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Lumikuorman muotokerroin $\mu_i = 0,8$ kun $\alpha = 3,58^\circ$ (RIL 205-1-2007, kuva 2.7)

Katolla olevan lumikuorman ominaisarvo $q_k = \mu_i S_k$

$$q_k = 0,8 * 2,5 \text{ kN/m}^2 = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Keskimääräinen palkin omapaino $g_{k,3} \sim 0,19 \text{ m} * 5 \text{ kN/m}^3 *$

$$(0,5 + 0,875/2) = 0,9 \text{ kN/m}$$

Lämpöeristetty kattoelementti, $g_{k1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$

Ripustuskuorma (lvi), $g_{k2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$

$h \sim L/30 = 12000 \text{ mm} / 30 = 400 \text{ mm} \rightarrow 500 \text{ mm}$ (Carling, O. 2003. taulukko 2.1)

Liimapuu GL32c

$$f_{m,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$$

Taivutus

$$f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

Leikkaus

$$f_{c,o,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

Puristus syysuuntaan

$$f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan

$$f_{t,90,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

Veto kohtisuoraan syysuuntaa vastaan

$$E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$$

Kimmomoduuli

$$E_{0,mean} = 13700 \text{ N/mm}^2$$

Kimmomoduuli

$$G_{mean} = 780 \text{ N/mm}^2$$

Liukumoduuli

$$\gamma_M = 1,2$$

Materiaalin osavarmuusluku

Perustiedot

Hallin pääkannattimena on liimapuurakenteinen harjapalkki, joka tukeutuu mastopilareihin. Harjapalkin yläreuna on tuettu kiepahdusta vastaan kattoelementeillä. Harjapalkit käsitellään säänkestävällä lakalla.

Harjapalkki tulee mitoittaa pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.

Kuormitus yhdistelmä käyttörajatilassa

$KY1 = 1,35K_{FI}G_{Kj}$, Pysyvä aikaluokka

$KY2 = 1,15 K_{FI}G_{kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\sum\psi_{0,i}Q_{k,i}$, Muuttuvien kuormien aikaluokka

$k = 6,0\text{m}$, pääkannattimien k-jako

Yläpohjan omapaino käyttörajatilassa

$P_{k,G} = (g_{k,1} + g_{k,2}) \cdot k + g_{k,3}$

$= (0,4 \text{ kN/m}^2 + 0,1 \text{ kN/m}^2) \cdot 6,0\text{m} + 0,9 \text{ kN/m} = 3,9 \text{ kN/m}$

Lumikuorma käyttörajatilassa

$P_{k,Q} = q_{k,1} \cdot k = 2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 6,0\text{m} = 12,0 \text{ kN/m}$

Omapaino + lumikuorma murtorajatilassa

$P_d = 1,15 K_{FI} P_{k,G} + 1,5K_{FI} P_{k,Q}$

$P_d = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 3,9 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 12,0 \text{ kN/m} = 22,5 \text{ kN/m}$

$b = 190\text{mm}$	palkin leveys
$l_a = 450\text{mm}$	tuen pituus
$H_1 = 500\text{mm}$	palkin päätykorkeus
$H_{ap} = 875\text{mm}$	palkin harja korkeus
$L_0 = 11550\text{mm}$	jänneväli

Taivutuskestävyys mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$x = \frac{H1}{Hap} \times \frac{L}{2} - \frac{la}{2} = \frac{500}{875} \times 6000 - \frac{450}{2} = 3205mm$$

Tässä tapauksessa mitoittava poikkileikkaus sijaitsee etäisyydellä 3205mm jännevälän päästä.

$$hx = \frac{3200}{16} + 500 = 715mm$$

$$Md = \frac{PdL^2}{8} = \frac{22,5 \times 11,550^2}{8} = 375,2kNm$$

$$tukivoima = 129,9kN$$

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$M = 300,6 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$\sigma_{m, \alpha, d} = \frac{6Md}{bh^2} = \frac{6 \times 300,6 \times 10^6}{190 \times 715^2} = 18,6N/mm^2 \text{ (RIL 205-1-2007, k.6.37,)}$$

Taivutuslujuus

$$K_{mod}=0,8 \quad \text{(RIL 205-1-2007. taul. 3.1)}$$

$$\gamma_M=1,2 \quad \text{(RIL 205-1-2007. taul. 2.1)}$$

$$f_{m, d} = \frac{f_{m,k} \times k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{32 \times 0,8}{1,2} = 21,3N/mm^2 \text{ (RIL 205-1-2007. k.2.14)}$$

$k_{m,a}$ -kerroin

$$\alpha_{ap} = \arctan\left(\frac{1}{16}\right) = 3,58^\circ$$

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

$$f_{c,90, d} = \frac{f_{c,90,k} \times k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \times 0,8}{1,2} = 2,0N/mm^2$$

$$k_{m, \alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \times f_{v,d}} \times \tan \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \times \tan^2 \alpha\right)^2}} \quad \text{(RIL 205-1-2007. k.6.40)}$$

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{21,3}{1,5 \times 2,13} \times \tan 3,58\right)^2 + \left(\frac{21,3}{2,0} \times \tan^2 3,58\right)^2}} = 0,92$$

Mitoitusehto taivutusjännitykselle mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$\sigma_{m,\alpha,d} < k_{m,\alpha} \times f_{m,d} \rightarrow 18,6 \text{ N/mm}^2 < 0,92 \times 21,3 \text{ OK}$$

Käyttöaste 95%

Taivutuskestävyys harjalla

$$M_{d,\max} = 375,2 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{ap} = 3,58^\circ$$

$$k_I = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap} \quad (\text{RIL 205-1-2007. k. 6.43S})$$

$$k_I = 1 + 1,4 \times \tan 3,58^\circ + 5,4 \times \tan^2 3,58^\circ = 1,11$$

Taivutusjännitys harjalla

$$M_{d,\max} = 375,2 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{K_I \times 6 M_d}{b \times h_{ap}^2} = \frac{1,11 \times 6 \times 375,2 \times 10^6}{190 \times 875^2} = 17,2 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{RIL 205-1-2007. k.6.39})$$

Taivutuslujuus

$$K_{\text{mod}} = 0,8$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \times k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{32 \times 0,8}{1,2} = 21,3 \text{ N/mm}^2$$

K_r -kerroin

$$\text{Hajapalkille} = 1,0 \quad (\text{RIL 205-1-2007. k.6.49})$$

Mitoitusehto taivutusjännitykselle harjavyöhykkeellä

$$\sigma_{m,d} \leq K_r \times f_{m,d} \rightarrow 17,2 \text{ N/mm}^2 < 1,0 \times 21,3 \text{ OK}$$

Käyttöaste 80%

Poikittainen vetokestävyys harjalla

Liimapuupalkki on käsitelty kosteuden siirtymistä estävällä pintakäsittelyllä, (esim. sään kestävä lakkaus). Tällöin taivutusmomentin aiheuttama vetojännitys harjalla saadaan laskettua kaavalla 6.55 RIL 205-1-2007.

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6MaPd}{bhap^2} - 0,6 \frac{Pd}{b}$$

$$\alpha_{ap} = 3,58^\circ$$

$$K_p = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0,2 \times \tan 3,58^\circ = 0,013$$

(RIL 205-1-2007. k.6.56S)

Poikittainen vetojännitys harjalla

$$M_d = 375,2 \text{ kNm}$$

$$P_d = 22,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,013 \frac{6 \times 375,1 \times}{bhap^2} - 0,6 \frac{Pd}{b}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,013 \frac{6 \times 375,2 \times 10^6}{190 \times 875^2} - 0,6 \times \frac{22,5}{190} = 0,13 \text{ N/mm}^2$$

Poikittainen vetolujuus

$$K_{mod} = 0,8$$

$$f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} \times k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{0,45 \times 0,8}{1,2} = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

$$K_{dis}\text{-kerroin harjapalkille} = 1,4$$

(RIL 205-1-2007. k.6.52)

$$K_{vol}\text{-kerroin}$$

$$\text{vertailutilavuus } V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

(RIL 205-1-2007. k 6.51)

$$\text{Harja-alueentilavuus} \approx 0,875 \times 0,875 \times 0,19 = 0,145 \text{ m}^3 \text{ ("varmalla puolella")}$$

$$K_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,145}\right)^{0,2} = 0,59$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{t,90,d} \leq K_{dis} \times K_{vol} \times f_{t,90,d} \rightarrow 0,13 \leq 1,4 \times 0,59 \times 0,3 \text{ OK}$$

Käyttöaste 52%

Yhdistetty poikittainen veto- ja leikkauskestävyys harjalla

Leikkausvoima harjalla epäsymmetrisestä lumikuormasta $V_d=13,5\text{kN}$

Taivutusmomentti harjalla epäsymmetrisestä lumikuormasta $M_d=324\text{kNm}$

Leikkaus jännitys harjalla

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h_{ap}} = \frac{13500}{190 \times 875} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$K_{\text{mod}}=0,8$$

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

Poikittainen vetojännitys harjalla

$$M_{\text{ap},d} = M_d = 324 \text{ kNm}$$

$$P_d = 9,0 + 4,5 = 13,5 \text{ kN (omapaino} + \frac{1}{2} \text{ lumesta)}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \times \frac{6 \times M_{\text{ap},d}}{b \times h_{ap}^2} - 0,6 \times \frac{P_d}{b} = 0,013 \times \frac{6 \times 324 \times 10^6}{190 \times 875^2} - 0,6 \times \frac{13,5}{190} = 0,13$$

Poikittainen vetolujuus

$$K_{\text{mod}}=0,8$$

$$f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} \times k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{0,45 \times 0,8}{1,2} = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

$$K_{\text{dis}}\text{-kerroin harjapalkille} = 1,4$$

$$K_{\text{vol}}=0,59$$

Mitoitusehto

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{K_{\text{dis}} \times K_{\text{vol}} \times f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,08}{2,13} + \frac{0,13}{1,4 \times 0,59 \times 0,3} = 0,56 \text{ OK}$$

Käyttöaste 56%

Leikkausvoima kestävyys

Mitoittava leikkausvoima tuella

Tasaisen kuorman aiheuttama leikkausvoima tuella=135kN

Tasaisen kuorman aiheuttamaa leikkausvoimaa voidaan pienentää kuvan 6.7 mukaan, Ril 205-1-2007.

$$V_{\text{red}} = V_{\text{pd}} \times \left(1 - \frac{h_1 + l_1}{L_0}\right) = 135 \times \left(1 - \frac{2 \times 500 + 450}{11550}\right) = 118,1 \text{ kN}$$

$$\text{Mitoittava poikkileikkaus, } h_m = 500 + \left(\frac{500 + 450}{16}\right) = 559 \text{ mm}$$

Leikkausjännitys

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{Vd}{b \times h_m} = \frac{118100}{190 \times 559} = 1,67 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$K_{\text{mod}} = 0,8$$

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

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 1,67 < 2,13 \text{ OK}$$

Käyttöaste 78%

Tukipainekestävyys

Tukireaktio

$$N_d = P_d \times \frac{L}{2} = 22,5 \times \frac{12}{2} = 135 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{b \times l_a} = \frac{135000}{190 \times 450} = 1,58 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$K_{\text{mod}} = 0,8$$

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,d} \times K_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \times 0,8}{1,2} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$K_{c,90}$ -kerroin (Mts. kuva 6.3)

$$l = 450 \text{ mm} \rightarrow K_{c,90} = 1,0$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq K_{c,90} \times f_{c,90,d} \rightarrow 1,58 < 1,0 \times 2,0 \text{ OK}$$

Käyttöaste 79%

Taipuma

Oletetaan palkin olevan symmetrinen jolloin taipuma määritetään yksiaukkoisen palkin kaavalla, käyttäen mitoittavan poikkileikkauksen korkeutta $h_x=715\text{mm}$. Tällöin saadaan varmalla puolella oleva tulos.

$$I_y = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{190 \times 715^2}{12} = 5,79 \times 10^9 \text{mm}^3$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$W_{\text{inst,G}} = \frac{5 \times Pk, G \times L^4}{384 \times E_{\text{mean}} \times I_y} = \frac{5 \times 3,9 \times 11550^4}{384 \times 13700 \times 5,79 \times 10^9} = 11,4 \text{mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta

$$W_{\text{inst,Q}} = \frac{5 \times Pk, Q \times L^4}{384 \times E_{\text{mean}} \times I_y} = \frac{5 \times 12,0 \times 11550^4}{384 \times 13700 \times 5,79 \times 10^9} = 35,1 \text{mm}$$

Kokonaistaipuma

$$K_{\text{def}} = 0,6 \quad (\text{RIL 205-1-2007. t.3.2})$$

$$\Psi_{2,1} = 0,2 \quad (\text{RIL 205-1-2007. t.2.2})$$

$$W_{\text{net,G}} = (1 + K_{\text{def}}) \times W_{\text{inst,G}} = (1 + 0,6) \times 11,4 = 18,2 \text{mm}$$

$$W_{\text{net,Q}} = (1 + \Psi_{2,1} \times K_{\text{def}}) \times W_{\text{inst,Q}} = (1 + 0,2 \times 0,6) \times 35,1 = 39,3 \text{mm}$$

$$W_{\text{fin}} = 39,3 + 18,2 = 57,5 \text{mm}$$

Mitoitusehto

Taipumaraja

$$W_{\text{fin}} \leq \frac{L_0}{200} \rightarrow 57,5 < \frac{11550}{200} \text{ OK}$$

Käyttöaste 99,5%

Lopputaipuma

$$W_c = 50 \text{mm} \quad (\text{esikorotus})$$

$$W_{\text{fin,net}} = W_{\text{fin}} - W_c = 57,5 - 50 = 7,5 \text{mm}$$

Ehto lopputaipumalle

Taipumaraja

$$W_{fin,net} \leq \frac{L_0}{300} \rightarrow 7,5 < \frac{11550}{300} \text{ OK}$$

Käyttöaste 20%

Kiepahdus kestävyys

- Kiepahdustarkastelussa palkin korkeutena käytetään mitoittavan poikkileikkauksen korkeutta $h_x=715\text{mm}$

Taivutusmomentti mitoittavassa poikkileikkauksessa

$$M_d=300,6\text{kNm}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{6 \times M_d}{b \times h^2} = \frac{6 \times 300,6 \times 10^6}{190 \times 715^2} = 18,6 \text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

$$a=2500\text{mm}$$

Kattoelementin leveys

Sivusuunnassa tuetun palkin tehollinen jänneväli

$$l_{ef}=a+2h_x=2500+2 \times 715=3930\text{mm}$$

Suorakaidepalkin kriittinen taivutusjännitys

$$c=0,71$$

Liimapuulle

$$\sigma_{m,crit} = \frac{l \times b^2}{h_x \times l_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,71 \times 190^2}{715 \times 3930} \times 11100 = 101,2 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{101,2}} = 0,56$$

K_{crit} -kerroin

$$K_{crit}=1$$

(RIL 205-1-2007. k.6.34)

Pilari ei ole kiepahdus herkkä koska K_{crit} arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitys voidaan jättää tarkastamatta.

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq K_{crit} \times f_{m,d} \rightarrow 18,6 \leq 1,0 \times 21,3 = \text{OK}$$

Käyttöaste 87%

Liite 2. Mastopilarin laskenta

- Hallin pääpilarit ovat liimapuurakenteisia mastopilareita
- Mastopilarit ovat tuettuja heikomman suunnan nurjahdusta vastaan ulkoseinäelementeillä
- Liimapuu GL32c
- $f_{m,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$ Taivutus
- $f_{v,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$ Leikkaus
- $f_{c,o,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$ Puristus syysuuntaan
- $f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$ Puristus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
- $f_{t,90,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$ Veto kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
- $E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$ Kimmomoduuli
- $E_{0,mean} = 13700 \text{ N/mm}^2$ Kimmomoduuli
- $G_{mean} = 780 \text{ N/mm}^2$ Liukumoduuli
- $\gamma_M = 1,2$ Materiaalin osavarmuusluku

Yläpohjan kuormat

- $g_{k,1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ Yläpohja yleensä
- $g_{k,2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ Ripustus kuorma (Lvi)
- $g_{k,3} = 0,9 \text{ kN/m}^2$ Harjapalkki
- $q_{k,1} = 0,56 \text{ kN/m}^2$ Tuuli
- $g_{k,2} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ Lumi

Yhdistelykertoimet

$$\Psi_{0,1} = 0,6$$

$$\Psi_{0,2} = 0,7$$

$$\Psi_{0,3} = 1,0$$

Tarkistetaan pysyvässä, keskipitkässä ja hetkellisessä aikaluokassa

$$1,35 K_{FI} G_{Kj}$$

Pysyvä aikaluokka

$$1,15 K_{FI} G_{Kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Muuttuvat kuormat

$$KY1 = 1,35 K_{FI} G_{Kj}$$

$$KY2 = 1,15 K_{FI} G_{Kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1}$$

$$KY3 = 1,15 K_{FI} G_{Kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \Psi_{0,2} Q_{k,2}$$

$$KY4 = 1,15 K_{FI} G_{Kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,2} + 1,5 K_{FI} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$$

→ Tarkistetaan hetkellisessä aikaluokassa

Kuormat ja rasitukset

$s = 6,0\text{m}$	mastopilarien k-jako
$B = 12,0\text{m}$	rakennuksen leveys
$H = 6,0$	rakennuksen korkeus
$L = 4,5\text{m}$	pilarin korkeus
$C_s C_d = 1,0$	rakennekerroin
$C_f = 1,3$	Voimakerroin sivuseinää vastaan

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{w,k} = C_s C_d \times C_f \times q_{k,1} \times s = 1,0 \times 1,3 \times 0,56 \times 6,0 = 4,4 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta käyttörajatilassa

$$F_{w,k} = q_{w,k}(H-L) = 4,4 \times (6,0 - 4,5) = 6,6 \text{ kN}$$

KY3

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 K_{Fi} C_s C_d C_f q_{k,1} s = 1,5 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,3 \times 0,56 \times 6 = 6,6 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F_{w,d} = q_{w,d}(H-L) = 6,6 \times (6,0 - 4,5) = 9,9 \text{ kN}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$\begin{aligned} N_d &= (1,15 K_{Fi} (g_{k,1} + g_{k,2}) + 1,5 K_{Fi} \Psi_{0,2} q_{k,2}) \times s \times \frac{B}{2} + 1,15 K_{Fi} \times g_{k,3} \times \frac{B}{2} \\ &= (1,15 \times 1,0 \times (0,4 + 0,1) + 1,5 \times 1,0 \times 0,7 \times 2,0) \times 6 \times \frac{12}{2} + 1,15 \times 1,0 \times 0,9 \times \frac{12}{2} \\ &= 102,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$M_{d,1} = \frac{5 \times q_{w,d} \times L^2}{16} = \frac{5 \times 6,6 \times 4,5^2}{16} = 41,8 \text{ kNm} \quad \text{Tasainen kuorma}$$

$$M_{d,2} = \frac{f_w \times d \times L}{2} = \frac{10,35 \times 4,5}{2} = 22,1 \text{ kNm} \quad \text{Pistekuorma}$$

$$M_d = M_{d,1} + M_{d,2} = 41,8 + 22,1 = 63,9 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V_d = \frac{4 \times q_w \times d \times L}{5} + \frac{f_w \times d}{2} = \frac{4 \times 6,6 \times 4,5}{5} + \frac{9,8}{2} = 28,7 \text{ kN}$$

Pilarin mitat

b=190mm	leveys
h=450mm	korkeus
A=85500mm ²	poikkileikkauksen pinta-ala

Max. normaalivoima

$$N_d = 102,5 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L_{c,z} = 2,5 \times L \quad (\text{RIL 205-1-2007, taulukko 6.1})$$

$$L_{c,z} = 2,5 \times 4,5 = 11,25 \text{ m}$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{190 \times 450^3}{12} = 1442,8 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1442,8 \times 10^6}{85500}} = 129,9 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{11250}{129,9} = 86,6 \quad (\text{RIL 205-1-2007, k.6.20.2S})$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{86,6}{\pi} \times \sqrt{\frac{26,5}{11100}} = 1,35$$

K_y-kerroin

β_c=0,01, alkukäyrydestä riippuva kerroin liimapuulle, (RIL 205-1-2007, k.6.25)

$$K_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{\text{rel},y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},y}^2) \quad (\text{RIL 205-1-2007, k.6.27})$$

$$K_y = 0,5(1 + 0,1(1,35 - 0,3) + 1,35^2)$$

$$K_y = 1,46$$

Nurjahduskerroin $K_{c,y}$

$$K_{c,y} = \frac{1}{K_y + \sqrt{K_y^2 - \lambda^2 rel,y}} = \frac{1}{1,46 + \sqrt{1,46^2 - 1,35^2}} = 0,50$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{Nd}{bh} = \frac{102500}{190 \times 450} = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$K_{mod} = 1,1$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \times K_{mod}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \times 1,1}{1,2} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 63,9 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6Md}{bh^2} = \frac{6 \times 63,9 \times 10^6}{190 \times 450^2} = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$K_{mod} = 1,1$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \times k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{32,0 \times 1,1}{1,2} = 29,3 \text{ N/mm}^2$$

Puristus ja taivutusjännityksen yhteisvaikutus

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{K_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,2}{0,5 \times 24,3} + \frac{10,0}{29,3} = 0,44 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Käyttöaste 44%

KY4

$$1,15 K_{FI} G_{kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,2} + 1,5 K_{FI} \psi_{0,1} Q_{k,1}$$

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 K_{Fi} \Psi_{0,1} C_s C_d C_f q_{k,1} s = 1,5 \times 0,6 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,3 \times 0,56 \times 6 = 3,9 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F_{w,d} = q_{w,d}(H-L) = 3,9 \times (6,0 - 4,5) = 5,9 \text{ kN}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$\begin{aligned} N_d &= (1,15 K_{Fi}(g_{k,1} + g_{k,2}) + 1,5 K_{Fi} q_{k,2}) \times s \times \frac{B}{2} + 1,15 K_{Fi} \times g_{k,3} \times \frac{B}{2} \\ &= (1,15 \times 1,0 \times (0,4 + 0,1) + 1,5 \times 1,0 \times 2,0) \times 6 \times \frac{12}{2} + 1,15 \times 1,0 \times 0,9 \times \frac{12}{2} \\ &= 134,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$M_{d,1} = \frac{5 \times q_{w,d} \times L^2}{16} = \frac{5 \times 3,9 \times 4,5^2}{16} = 24,7 \text{ kNm}$$

Tasainen kuorma

$$M_{d,2} = \frac{f_{w,d} \times L}{2} = \frac{5,9 \times 4,5}{2} = 13,3 \text{ kNm}$$

Pistekuorma

$$M_d = M_{d,1} + M_{d,2} = 24,7 + 13,3 = 38,0 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V_d = \frac{4 \times q_{w,d} \times L}{5} + \frac{f_{w,d}}{2} = \frac{4 \times 3,9 \times 4,5}{5} + \frac{5,9}{2} = 17,0 \text{ kN}$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{bh} = \frac{134900}{190 \times 450} = 1,58 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 38,0 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6M_d}{bh^2} = \frac{6 \times 38,0 \times 10^6}{190 \times 450^2} = 5,9 \text{ N/mm}^2$$

Puristus ja taivutusjännityksen yhteisvaikutus

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{K_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,58}{0,5 \times 24,3} + \frac{5,93}{29,3} = 0,33 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Käyttöaste 33%

Kiepahduskestävyys

Ulkoseinä rakenne estää pilaria nurjahtamasta sen heikommassa suunnassa. Seinärakenne ei kuitenkaan estä pilarin sisäreuna kiepahtamasta koska seinärakenne on taivutetun rakenteen "vetopuolella"

Taivutusjännitys

Max. taivutusmomentti= 63,9kNm

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6Md}{bh^2} = \frac{6 \times 63,9 \times 10^6}{190 \times 450^2} = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

a= 4500mm Pilarin pituus

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle

$$\frac{l_{ef}}{L} = 0,5 \times L = 0,5 \times 4500 = 2250 \text{ mm}$$

Kuorma sijaitsee vedetyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan pienentää mitan 0,5h verran.

$$l_{ef,1} = 2250 - 0,5h = 2250 - 0,5 \times 450 = 2025 \text{ mm} \quad (\text{RIL 205-1-2007. s.78})$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli pistekuormille

$$\frac{l_{ef}}{L} = 0,8 \rightarrow l_{ef} \times L = 0,8 \times 4500 = 3600 \text{ mm} \quad (\text{RIL 205-1-2007. s.78})$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle ja pistekuormille

$M_{d,1}=41,8$ kNm Tasaisen kuorman aiheuttama momentti

$M_{d,2}= 22,1$ kNm Pistekuormien aiheuttama momentti

$$l_{ef} = \frac{1 \times l_{ef,1} \times M_{d,2} + l_{ef,2} \times M_{d,1}}{M_{d,1} + M_{d,2}} = \frac{41,8 \times 2025 + 22,1 \times 3600}{41,8 + 22,1} = 2570 \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$c=0,71$ Liimapuulle (RIL 205-1-2007. k.6.31.1S)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h \times l_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,71 \times 190^2}{450 \times 2570} \times 11100 = 246 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{246}} = 0,36 \quad (\text{RIL 205-1-2007. k. 6.3})$$

K_{crit} -kerroin

$$K_{crit} = 1$$

Pilari ei ole kiepahdus herkkä koska K_{crit} arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitys voidaan jättää tarkastamatta.

Leikkausvoima kestävyys

$$V_d = 28,7 \text{ kN}$$

Leikkausvoima tuella

$$T_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{bh} = \frac{3}{2} \times \frac{28700}{190 \times 450} = 0,50 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$K_{mod} = 1,1$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \times K_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \times 1,1}{1,2} = 2,93 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto leikkauskestävyydelle

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,50 \text{ N/mm}^2 < 2,93 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

Käyttöaste 17%

Liite 3. Tuulipilarin laskenta

- Liimapuurakenteisia mastopilareita
- Tuulipilarin yläpää on nivellisesti ja alapää jäykästi tuettu
- Tuettu heikomman suunnan nurjahdusta vastaan ulkoseinäelementillä

Yläpohjan kuormat

- $g_{k,1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ Yläpohja yleensä
- $g_{k,2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ Ripustus kuorma (Lvi)
- $g_{k,3} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ Päätypalkki
- $q_{k,2} = 0,56 \text{ kN/m}^2$ Tuuli
- $q_{k,1} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ Lumi

Yhdistelykertoimet

$\Psi_{0,2} = 0,7$

$K_{FI} = 1,0$

Mitoitetaan hetkellisessä aikaluokassa, tuuli määräävä muuttuva kuorma

$1,15 K_{FI} G_{kj} + 1,5 K_{FI} Q_{k,2} + 1,5 K_{FI} \Psi_{0,2} Q_{k,1}$, Muuttuvat kuormat

Kuormat ja rasitukset

$s = 6000 \text{ mm}$	Mastopilarien k-jako
$B = 3,0 \text{ m}$	Kuormitusleveys
$L = 5210 \text{ mm}$	Pilarin pituus
$C_s C_d = 1,0$	Rakenne kerroin
$C_f = 0,9$	Voimakerroin sivuseinää vastaan

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{w,k} = c_s c_d \times c_f \times q_{k,2} \times B = 1,0 \times 0,9 \times 0,56 \times 3 = 1,51 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 K_{FI} q_{w,k} = 1,5 \times 1,0 \times 1,51 = 2,3 \text{ kN/m}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$N_d = (1,15 K_{FI} (g_{k,1} + g_{k,2}) + 1,5 K_{FI} \Psi_{0,2} q_{k,1}) \times \frac{s}{2} \times B + 1,15 K_{FI} \times g_{k,3} \times B$$

$$= (1,15 \times 1,0 \times (0,4 + 0,1) + 1,5 \times 1,0 \times 0,7 \times 2,0) \times \frac{6}{2} \times 3 + 1,15 \times 1,0 \times 0,1 \times 3$$

$$=24,6$$

Pilarin taivutusmomentti tuulikuormasta murtorajatilassa pilarinjuuressa

$$M_d = \frac{9 \times q_w \cdot d \times L^2}{128} = \frac{9 \times 2,3 \times 5,015^2}{128} = 4,1 \text{ kNm}$$

Pilarin taivutusmomentti kuorman epäkeskisyydestä murtorajatilassa pilarin juuressa

$$M_d = N_d \times e = 24,9 \times 0,05 \text{ m} = 1,2 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima tuulikuormasta murtorajatilassa

$$V_d = \frac{5 \times q_w \cdot d \times L}{8} = \frac{5 \times 2,3 \times 5,015}{8} = 7,2 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima kuorman epäkeskisyydestä murtorajatilassa

$$V_d = \frac{N_d \times e \times \frac{N_d \times e}{2}}{L} = \frac{24,6 \times 0,05 + \frac{24,6 \times 0,05}{2}}{5,210} = 0,35 \text{ kN}$$

Pilarin lähtötiedot

b=90mm	leveys
h=180mm	korkeus
A=16200mm ²	poikkileikkauksen pinta-ala

Nurjahduskestävyys (z-suuntaan)

Max. normaalivoima

$$N_d = 24,6 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L_{c,z} = 0,85 \times L$$

(RIL 205-1-2007. taulukko

6.1)

$$L_{c,z} = 0,85 \times 5210 = 4429 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{90 \times 180^3}{12} = 43,7 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{43,7 \times 10^6}{16200}} = 51,9 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{4429}{51,9} = 85,3 \quad (\text{RIL 205-1-2007. k.6.20.2S})$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{85,3}{\pi} \times \sqrt{\frac{26,5}{11100}} = 1,32$$

K_y -kerroin

$\beta_c = 0,01$, alkukäyrydestä riippuva kerroin liimapuulle, (RIL 205-1-2007. k.6.25)

$$K_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{\text{rel},y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},y}^2) \quad (\text{RIL 205-1-2007. k.6.27})$$

$$K_y = 0,5(1 + 0,1(1,32 - 0,3) + 1,32^2)$$

$$K_y = 1,42$$

Nurjahduskerroin $K_{c,y}$

$$K_{c,y} = \frac{1}{K_y + \sqrt{K_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}} = \frac{1}{1,42 + \sqrt{1,42^2 - 1,32^2}} = 0,51$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{Nd}{bh} = \frac{24600}{90 \times 180} = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$K_{\text{mod}} = 1,1$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} \times K_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \times 1,1}{1,2} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 7,2 + 0,35 = 7,55 \text{ kNm} \quad (\text{tuuli+ epäkeskisyys})$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6Md}{bh^2} = \frac{6 \times 7,55 \times 10^6}{90 \times 180^2} = 15,6 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$K_{\text{mod}}=1,1$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \times k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{32,0 \times 1,1}{1,2} = 29,3 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{K_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,5}{0,51 \times 24,3} + \frac{15,6}{29,3} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Käyttöaste 65%

Kiepahduskestävyys

Max. taivutusmomentti

$$M_d = 7,55 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6Md}{bh^2} = \frac{6 \times 7,55 \times 10^6}{90 \times 180^2} = 15,6 \text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

$$a = 5210 \text{ mm}$$

Pilarin pituus

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli

$$\frac{l_{ef}}{l} = 1,0 \rightarrow l_{ef} = 1,0 \times l = 1,0 \times 5210 = 5210 \text{ mm}$$

Kuorma sijaitsee puristetulla reunalla, joten tehollista jänneväliä tulee suurentaa mitan 2h verran

$$l_{ef} = l_{ef} + 2h = 5210 + 2 \times 180 = 5570 \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$$c = 0,71$$

Liimapuulle (RIL 205-1-2007. k.6.31)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h \times l_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,71 \times 90^2}{180 \times 5570} \times 11100 = 63,7 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{63,7}} = 0,71 \quad (\text{RIL 205-1-2007. k. 6.3})$$

K_{crit} -kerroin

$$K_{crit} = 1$$

Pilari ei ole kiepahdus herkkä koska K_{crit} arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitys voidaan jättää tarkastamatta.

Leikkausvoima kestävyys

$$V_d = 7,55 \text{ kN}$$

Leikkausvoima tuella

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{bh} = \frac{3}{2} \times \frac{7550}{90 \times 180} = 0,7 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$K_{mod} = 1,1$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \times K_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \times 1,1}{1,2} = 2,93 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto leikkauskestävyydelle

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,724 \text{ N/mm}^2 < 2,93 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

Käyttöaste 14%

Taipuma

Pilarin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{90 \times 180^3}{12} = 43,7 \times 10^6$$

Hetkellinen taipuma

$$W_{inst,Q} = \frac{q_{w,k} \times L^4}{185 \times E_{0,mean} \times I_y} = \frac{1,51 \times 5210^4}{185 \times 13700 \times 43,7 \times 10^6} = 10,0 \text{ mm}$$

Ehto taipumalle

Tuulikuormalle lopputaipuma $W_{\text{net,fin}}=W_{\text{inst}}$

Taipumaraja $W_{\text{net,fin}} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 10,0\text{mm} < \frac{5210\text{mm}}{300}$ OK

Käyttöaste 58%

Liite 4. Nurkkapilarin laskenta

- Liimapuurakenteisia mastopilareita
- Tuettu heikomman suunnan nurjahdusta vastaan ulkoseinäelementillä

Yläpohjan kuormat

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| - $g_{k,1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ | Yläpohja yleensä |
| - $g_{k,2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ | Ripustus kuorma (Lvi) |
| - $g_{k,3} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ | Päätypalkki |
| - $q_{k,2} = 0,56 \text{ kN/m}^2$ | Tuuli |
| - $q_{k,1} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ | Lumi |

Yhdistelykertoimet

$$\Psi_{0,1}=0,6 \qquad \Psi_{0,2}=0,7 \qquad \Psi_{0,3}=1,0$$

$$K_{FI}=1,0$$

Mitoitetaan pysyvässä, keskipitkässä ja hetkellisessä aikaluokassa

$1,35K_{FI}G_{Kj}$	Pysyvä aikaluokka
$1,15 K_{FI}G_{Kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\sum \Psi_{0,i} Q_{k,i}$	Muuttuvat kuormat

$$KY1 = 1,35K_{FI}G_{Kj}$$

$$KY2 = 1,15 K_{FI}G_{Kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1}$$

$$KY3 = 1,15 K_{FI}G_{Kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,2} + 1,5K_{FI}\Psi_{0,2} Q_{k,1}$$

$$KY4 = 1,15 K_{FI}G_{Kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\Psi_{0,1} Q_{k,2}$$

→ Tarkistetaan hetkellisessä aikaluokassa

Kuormat ja rasitukset

$s=6000\text{mm}$	Mastopilarien k-jako
$H\approx 6\text{m}$	Rakennuksen korkeus
$L=4790\text{mm}$	Pilarin pituus
$C_s C_d=1,0$	Rakenne kerroin
$C_f=1,3$	Voimakerroin sivuseinää vastaan

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

$$q_{w,k} = C_s C_d \times C_f \times q_{k,2} \times \frac{s}{2} = 1,0 \times 1,3 \times 0,56 \times \frac{6}{2} = 2,2 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta käyttörajatilassa

$$F_{w,k} = q_{w,k}(H-L) = 2,2 \times (6,0 - 4,64) = 3,0 \text{ kN}$$

KY3

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 K_{Fi} C_s C_d C_f q_{k,2} \times \frac{s}{2} = 1,5 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,3 \times 0,56 \times \frac{6}{2} = 3,3 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$f_{w,d} = q_{w,d}(H-L) = 3,3 \times (6,0 - 4,79) = 4,0 \text{ kN}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$\begin{aligned} N_d &= (1,15 K_{Fi} (g_{k,1} + g_{k,2}) + 1,5 K_{Fi} \Psi_{0,2} q_{k,1}) \times \frac{s}{2} \times \frac{B}{8} + 1,15 K_{Fi} \times g_{k,3} \times \frac{B}{8} \\ &= (1,15 \times 1,0 \times (0,4 + 0,1) + 1,5 \times 1,0 \times 0,7 \times 2,0) \times \frac{6}{2} \times \frac{12}{8} + 1,15 \times 1,0 \times 0,1 \times \frac{12}{8} \\ &= 12,2 \end{aligned}$$

Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$M_{d,1} = \frac{5 \times q_{w,d} \times L^2}{16} = \frac{5 \times 3,3 \times 4,79^2}{16} = 23,7 \text{ kNm} \quad \text{Tasainen kuorma}$$

$$M_{d,2} = \frac{f_{w,d} \times L}{2} = \frac{4,0 \times 4,79}{2} = 9,6 \text{ kNm} \quad \text{Pistekuorma}$$

$$M_d = M_{d,1} + M_{d,2} = 33,3 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V_d = \frac{4 \times q_{w,d} \times L}{5} + \frac{f_{w,d}}{2} = \frac{4 \times 3,3 \times 4,79}{5} + \frac{4,0}{2} = 14,6 \text{ kN}$$

Pilarin mitat

b=90mm	leveys
h=315mm	korkeus
A=28350mm ²	poikkileikkauksen pinta-ala

Nurjahduskestävyys (z-suuntaan)

Max. normaalivoima

$$N_d = 12,2 \text{ kN}$$

Hoikkuusluku

$$L_{c,z} = 2,5 \times L \quad (\text{RIL 205-1-2007. taulukko 6.1})$$

$$L_{c,z} = 2,5 \times 4790 = 11975 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{90 \times 315^3}{12} = 234,4 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{234,4 \times 10^6}{28350}} = 90,9 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{11975}{90,9} = 131,7 \quad (\text{RIL 205-1-2007. k.6.20.2S})$$

Muunnettu hoikkuusluku

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{131,7}{\pi} \times \sqrt{\frac{26,5}{11100}} = 2,04$$

K_y-kerroin

β_c=0,01, alkukäyryydestä riippuva kerroin liimapuulle, (RIL 205-1-2007. k.6.25)

$$K_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (\text{RIL 205-1-2007. k.6.27})$$

$$K_y = 0,5(1 + 0,1(2,04 - 0,3) + 2,04^2)$$

$$K_y = 2,67$$

Nurjahduskerroin K_{c,y}

$$K_{c,y} = \frac{1}{K_y + \sqrt{K_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,67 + \sqrt{2,67^2 - 2,04^2}} = 0,23$$

Puristusjännitys

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{Nd}{bh} = \frac{12200}{90 \times 315} = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus

$$K_{\text{mod}} = 1,1$$

$$f_{c,o,d} = \frac{f_{c,0,k} \times K_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{26,5 \times 1,1}{1,2} = 24,3 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 33,3 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6Md}{bh^2} = \frac{6 \times 33,3 \times 10^6}{90 \times 315^2} = 22,4 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$K_{\text{mod}} = 1,1$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \times k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{32,0 \times 1,1}{1,2} = 29,3 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{K_{c,y} \times f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,43}{0,23 \times 24,3} + \frac{22,4}{29,3} = 0,51 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Käyttöaste 84%

KY4

$$1,15 K_{\text{FI}} G_{k,j} + 1,5 K_{\text{FI}} Q_{k,1} + 1,5 K_{\text{FI}} \psi_{0,1} Q_{k,2}$$

Seinän tuulikuorma murtorajatilassa

$$q_{w,d} = 1,5 K_{\text{FI}} \psi_{0,1} C_s C_d C_f q_{k,1} \frac{s}{2} = 1,5 \times 0,6 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,3 \times 0,56 \times \frac{6}{2} = 2,0 \text{ kN/m}$$

Seinän tuulikuorma yläpohjan osalta murtorajatilassa

$$F_{w,d} = q_{w,d}(H-L) = 2,0 \times (6,0 - 4,79) = 2,42 \text{ kN}$$

Pilarin pystykuorma murtorajatilassa

$$\begin{aligned} N_d &= (1,15 K_{Fi}(g_{k,1} + g_{k,2}) + 1,5 K_{Fi} q_{k,1}) \times \frac{s}{2} \times \frac{B}{8} + 1,15 K_{Fi} \times g_{k,3} \times \frac{B}{8} \\ &= (1,15 \times 1,0 \times (0,4 + 0,1) + 1,5 \times 1,0 \times 2,0) \times \frac{6}{2} \times \frac{12}{8} + 1,15 \times 1,0 \times 0,1 \times \frac{12}{8} \\ &= 16,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pilarin taivutusmomentti murtorajatilassa

$$M_{d,1} = \frac{5 \times q_{w,d} \times L^2}{16} = \frac{5 \times 2,0 \times 4,79^2}{16} = 14,3 \text{ kNm} \quad \text{Tasainen kuorma}$$

$$M_{d,2} = \frac{f_{w,d} \times L}{2} = \frac{2,42 \times 4,79}{2} = 5,8 \text{ kNm} \quad \text{Pistekuorma}$$

$$M_d = M_{d,1} + M_{d,2} = 20,1 \text{ kNm}$$

Pilarin leikkausvoima murtorajatilassa

$$V_d = \frac{4 \times q_{w,d} \times L}{5} + \frac{f_{w,d}}{2} = \frac{4 \times 2,0 \times 4,79}{5} + \frac{2,42}{2} = 8,9 \text{ kN}$$

Puristusjännitys

Max. normaalivoima, $N_d = 16,3 \text{ kN}$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{bh} = \frac{16300}{90 \times 315} = 0,58 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 20,1 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6M_d}{bh^2} = \frac{6 \times 20,1 \times 10^6}{90 \times 315^2} = 13,5 \text{ N/mm}^2$$

Puristus ja taivutusjännityksen yhteisvaikutus

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{K_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,58}{0,23 \times 24,3} + \frac{13,5}{29,3} = \leq 1 \quad \text{OK}$$

Käyttöaste 56%

Kiepahduskestävyys

- Ulkoseinärakenne estää pilaria nurjahtamasta sen heikommassa suunnassa. Seinärakenne ei kuitenkaan estä pilarin sisäreunaa kiepahtamasta, koska seinärakenne sijaitsee taivutetun rakenteen (pilarin) ”vetopuolella”.

Taivutusjännitys

max. taivutusmomentti $M_d = 33,3 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6Md}{bh^2} = \frac{6 \times 33,3 \times 10^6}{90 \times 315^2} = 22,4 \text{ N/mm}^2$$

Kiepahdustuentaväli

$a = 4790 \text{ mm}$ Pilarin pituus

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle

$$\frac{l_{ef}}{L} = 0,5 \times L = 0,5 \times 4790 = 2395 \text{ mm} \quad (\text{RIL 205-1-2007. s.78})$$

Kuorma sijaitsee vedetyllä reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan pienentää mitan 0,5h verran

$$l_{ef,1} = 2395 - 0,5h = 2395 - 0,5 \times 315 = 2238 \text{ mm} \quad (\text{RIL 205-1-2007. s.78})$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli pistekuormille

$$\frac{l_{ef}}{L} = 0,8 \rightarrow l_{ef} \times L = 0,8 \times 4790 = 3832 \text{ mm} \quad (\text{RIL 205-1-2007. s.78})$$

Sivusuunnassa tukemattoman pilarin tehollinen jänneväli tasaiselle kuormalle ja pistekuormille

$M_{d,1} = 23,7 \text{ kNm}$ Tasaisen kuorman aiheuttama momentti

$M_{d,2} = 9,6 \text{ kNm}$ Pistekuormien aiheuttama momentti

$$I_{ef} = \frac{1 \times I_{ef,1} + M_{d,2} \times I_{ef,2}}{M_{d,1} + M_{d,2}} = \frac{23,7 \times 2395 + 9,6 \times 3832}{23,7 + 9,6} = 2809 \text{ mm}^4$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$c=0,71$ Liimapuulle (RIL 205-1-2007. k.6.31.1S)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h \times I_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,71 \times 90^2}{315 \times 2809} \times 11100 = 7 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{72}} = 0,67 \quad (\text{Mts. k. 6.3})$$

K_{crit} -kerroin

$$K_{crit} = 1$$

Pilari ei ole kiepahdus herkkä koska K_{crit} arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitys voidaan jättää tarkastamatta.

Leikkausvoima kestävyys

$$V_d = 14,6 \text{ kN}$$

Leikkausvoima tuella

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{bh} = \frac{3}{2} \times \frac{14600}{90 \times 315} = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$K_{mod} = 1,1$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \times K_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \times 1,1}{1,2} = 2,93 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto leikkauskestävyydelle

$$\tau_d \leq f_{v,d} \Rightarrow 0,51 \text{ N/mm}^2 < 2,93 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

Käyttöaste 17%

Liite 5. Päätypalkin laskenta

- Palkkin materiaali liimapuu GL32C
- Palkki yläreuna tuettu kiepahdusta vastaan kattoelementeillä

Kuormitusyhdistelmät murtorajatilassa

$$KY1 = 1,35K_{FI}G_{Kj}$$

$$KY2 = 1,15 K_{FI}G_{Kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1}$$

$$k = 6,0m \quad \text{pilarien k-jako}$$

Oletetaan, että päätypalkin kuormitus leveys on puolet mastopilarien välisestä etäisyydestä.

Yläpohjan kuormat

- $g_{k,1} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ Yläpohja yleensä
- $g_{k,2} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ Ripustus kuorma (Lvi)
- $g_{k,3} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ Palkin omapaino
- $g_{k,1} = 2,0 \text{ kN/m}^2$ Lumi

Yläpohjan omapaino käyttörajatilassa

$$P_{k,g} = (g_{k,1} + g_{k,2}) \times \frac{K}{2} + g_{k,3} = (0,4 + 0,1) \times \frac{6}{2} + 0,1 = 1,6 \text{ kN/m}$$

Lumikuorma käyttörajatilassa

$$P_{k,q} = q_{k,1} \times \frac{K}{2} = 2,0 \times \frac{6}{2} = 6,0 \text{ kN/m}$$

Pystykuorma murtorajatilassa

$$P_d = 1,15 K_{FI}P_{k,g} + 1,5K_{FI}P_{k,q} = 1,15 \times 1,0 \times 1,6 + 1,5 \times 1,0 \times 6,0 = 10,8 \text{ kN/m}$$

Palkin max. tukimomentti

$$M_{d,1} = \frac{ql^2}{8} = \frac{10,8 \times 3,0^2}{8} = 12,2 \text{ kNm}$$

Palkin max. tuki reaktio

$$B_d = \frac{5}{8} \times ql = \frac{5}{8} \times 10,8 \times 6,0 = 40,5 \text{ kN}$$

Palkin max. leikkausvoima

$$V_d = 20,25 \text{ kN}$$

Palkin lähtötiedot

b= 90mm	palkin leveys
l= 90mm	tuulipilarin leveys
h= 225mm	palkin korkeus

Taivutuskestävyys**Max. taivutusmomentti**

$$M_d = 12,2 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6M_d}{bh^2} = \frac{6 \times 12,2 \times 10^6}{90 \times 225^2} = 16,1 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$K_{mod} = 0,8$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \times k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{32,0 \times 0,8}{1,2} = 21,3 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 16,1 \leq 21,3 \text{ OK}$$

Käyttöaste 76%

Kiepahduskestävyys**Kiepahdustuentaväli**

a=2500mm kattoelementin leveys

Sivusuunnassa tuetun palkin tehollinen jänneväli

$$\frac{l_{ef}}{l} = 1,0 \rightarrow l_{ef} = 1,0 \times 2500 = 2500 \text{ mm}$$

Kuorma puristetulla reunalla, joten tehollista jänneväliä voidaan suurentaa mitan 2h verran. (RIL 205-1-2007. s.78)

$$l_{ef} = l_{ef} + 2,0h = 2500 + 2 \times 225 = 2950 \text{ mm}$$

Suorakaidepilarin kriittinen taivutusjännitys

$$c = 0,71$$

Liimapuulle (RIL 205-1-2007. k.6.31.1S)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{c \times b^2}{h \times l_{ef}} \times E_{0,05} = \frac{0,71 \times 90^2}{225 \times 2950} \times 11100 = 96,20 \text{ N/mm}^2$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32}{96,2}} = 0,58 \quad (\text{RIL 205-1-2007. k. 6.3})$$

K_{crit} -kerroin

$$K_{crit} = 1$$

Palkki ei ole kiepahdus herkkä koska K_{crit} arvo on 1. Näin ollen kiepahduksen jännitys voidaan jättää tarkastamatta.

Leikkausvoima kestävyys

$$V_d = 20,25 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys tuella

$$T_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{bh} = \frac{3}{2} \times \frac{20250}{90 \times 225} = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$K_{mod} = 1,1$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \times K_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,2 \times 0,8}{1,2} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto leikkauskestävyydelle

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 1,5 \text{ N/mm}^2 < 2,1 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

Käyttöaste 73%

Tukipainekestävyys palkissa

Tukireaktio

$$B_d = 40,5 \text{ N}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{B_d}{bl} = \frac{40500}{90 \times 90} = 5,0 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$K_{\text{mod}} = 0,8$$

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \times K_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{3,0 \times 0,8}{1,2} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$K_{c,90}$ -kerroin

Ehto kaavan valintaan

$$l_1 = 3000 \text{ mm} > 2h \rightarrow 3000 \text{ mm} > 2 \times 225 \rightarrow \text{kaava 6.3.1S RIL 205-1-2007}$$

$$K_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250} \right) \times \left(\frac{1 + k \min(h; 2,5b)}{12l} \right) \leq 4,0$$

$$K_{c,90} = \left(2,38 - \frac{90}{250} \right) \times \left(1 + \frac{2 \times 225}{12 \times 90} \right) = 2,87$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq K_{c90} \times f_{c,90,d} \rightarrow 5,0 \leq 2,87 \times 2,0 \text{ OK}$$

Käyttöaste 87%

Taipuma

Palkin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{90 \times 225^3}{12} = 85,4 \times 10^6$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$L_0 = 3000\text{mm}$, tuen keskeltä tuen keskelle

$$W_{\text{inst},g} = \frac{1 \times Pk,g \times L_0^4}{192 \times E_{0\text{mean}} \times I_y} = \frac{1 \times 1,6 \times 3000^4}{192 \times 13700 \times 85,4 \times 10^6} = 0,58\text{mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvasta kuormasta

$$W_{\text{inst},q} = \frac{1 \times Pk,q \times L_0^4}{192 \times E_{0\text{mean}} \times I_y} = \frac{1 \times 6,0 \times 3000^4}{192 \times 13700 \times 85,4 \times 10^6} = 2,16\text{mm}$$

Lopputaipuma

$$K_{\text{def}} = 0,6 \quad (\text{Mts. t.3.2})$$

$$\Psi = 0,2 \quad (\text{Mts. t. 2.2})$$

$$W_{\text{net,fin}} = \{(1 + K_{\text{def}}) \times W_{\text{inst},g} + (1 + \Psi K_{\text{def}}) \times W_{\text{inst},q}\}$$

$$W_{\text{net,fin}} = \{(1 + 0,6) \times 0,58 + (1 + 0,2 \times 0,6) \times 2,16\} = 3,3\text{mm}$$

Mitoitusehto

$$W_{\text{net,fin}} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 3,3\text{mm} \leq \frac{3000}{300} \text{ OK}$$

Käyttöaste 33%

Liite 6. Mastopilarin anturan mitoitus

Perustiedot:

Betoni=	C25/30-2
f_{ctk} =	1,8Mpa
Teräs=	A500HW
γ_c =	1,5
γ_s =	1,15
$\sigma_{maa,sall}$ =	150 kN/m ²
Katto g_k =	0,4 kN/m ²
Seinät g_{ks} =	0,3 kN/m ²
Lumi q_s =	2,0 kN/m ²
Tuuli q_w =	0,56kN/m ²
γ_{betoni} =	25,0 kN/m ²
Hallin sisäkorkeus=	4,5m
Katon korkeus=	1,38m
Pilarit=	k 6,0m
Sokkelin koko=	Paksuus=0,3 Korkeus=0,95m
Anturan koko=	Pituus=1,6 Leveys=1,0m Korkeus= 0,3m
Peruspilari	a=0,65m
Kuormien yhdistelykertoimet	
Omapaino, $\psi_{0=}$	1,0
Tuuli, $\psi_{0=}$	0,6
Tuulenpaine kertoimet	
q_{wA} =	0,7
Kuormien osavarmuus	
q_{wB} =	0,5

Keskipilarin kuormat

YP oma, $G_{k,1}$	0,5x12,0x6,0x0,4=1	14,4kN
-------------------	--------------------	--------

US oma Gk,2	$4,5 \times 6,0 \times 0,3 =$	8,1kN
Peruspil,oma,Gk,3	$1,0 \times 0,7 \times 0,7 \times 25,0 =$	10,0kN
Sokk,oma,Gk,4	$1,0 \times 0,3 \times 6,0 \times 25,0 =$	42,8kN
Antura,oma,Gk,5	$2,5 \times 1,0 \times 0,3 \times 25,0 =$	18,8kN
Yhteensä Gk		94,0kN
YP lumi,qk,s	$0,5 \times 12,0 \times 6,0 \times 2,0 =$	72,0kN

Mitoitus suoritetaan vain KT1:ssa

$$\text{Tuuli } q_w = 0,6 \times 0,56 = 0,34 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{wA,k} = 0,7 \times 6,0 \times 0,34 = 1,41 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{wB,k} = 0,5 \times 6,0 \times 0,34 = 1,01 \text{ kN/m}^2$$

$$M'_{Ak} = -1 \times 4, \frac{5^2}{16} \times \left\{ 1,41 \times \left(5 + 8 \times \frac{1,4}{4,5} \right) + 1,01 \times \left(3 + 8 \times \frac{1,4}{4,59} \right) \right\} = -20,2 \text{ kNm}$$

$$X_k = 3 \times \frac{4,5}{16} \times (1,41 - 1,01) + \frac{1,4}{2} \times (1,41 - 1,01) = 0,62 \text{ kN}$$

Rasitukset kerroksen alareunassa ($F_3 = \text{lisävaakavoima} = N_k/150$)

$$N_k = 14,4 + 8,1 + 72 = 94,5 \text{ kN}$$

$$F_{3k} = 95/150 = 0,63 \text{ kN}$$

$$M_{3k} = -1 \times 0,63 \times 4,5 = 2,84 \text{ kNm}$$

$$M_{Ak} = -20,2 + (-2,84) = -23,1 \text{ kNm}$$

$$F_{xL,k} = (4,5 + 1,4) \times 1,41 + 0,63 - 0,62 = 8,3 \text{ kN}$$

Rasitukset perustustasossa sekä pystykuorman epäkeskisyys

$$M_{A,k,kok} = -23,1 - 8,3 \times (1,0 + 0,3) = 33,5 \text{ kNm}$$

$$N_{A,k,kok} = 94,8 + 10,0 + 42,8 + 18,8 = 166,4 \text{ kN}$$

$$e_k = -1 \times \frac{-33,5}{166,4} = 0,20 \text{ m}$$

Vastaavat laskenta-arvot

$$M'_{Ad} = 1,5 \times (-20,2) = 30,4 \text{ kNm}$$

$$X_d = 1,5 \times 0,62 = 0,93 \text{ kN}$$

Rasitukset kerroksen alareunassa (F3=lisävaakavoima=Nd/150)

$$N_d = 1,15 \times (14,4 + 8,1) + 1,5 \times 72 = 133,9 \text{ kN}$$

$$\gamma(N_d/N_k) = 133,9/94,8 = 1,42$$

$$F_{3d} = 1,42 \times 0,63 = 0,9 \text{ kN}$$

$$M_{3d} = 1,42 \times (-2,84) = 4,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ad} = -30,4 + (-4,0) = -34,4 \text{ kNm}$$

$$F_{xL,d} = 1,5 \times 8,3 = 12,5 \text{ kN}$$

Rasitukset perustustasossa sekä kuorman epäkeskisyyss

$$M_{A,d,kok} = -34,4 - 12,5 \times (1,0 + 0,3) = -49,9 \text{ kNm}$$

$$N_{A,d,kok} = 133,9 + 1,15 \times (42,8 + 18,8) = 205 \text{ kN}$$

$$e_d = -1 \times \frac{-49,9}{205} = 0,24 \text{ m}$$

Anturan pituuden arviointi, kun käytetään anturan leveydelle arvoa $B=1,0\text{m}$

$$L \geq N_{k,tot} / (B \times \psi_{sall}) + 2 \times e_k$$

$$L \geq 166,4 / (1,0 \times 150) + 2 \times 0,20 = 1,51 \text{ m}$$

Valitaan anturan pituudeksi $L=1,6\text{m}$

Kaatumistarkastelu anturan reunan suhteen, Ril 207-2009: $M_{std} > M_{dst}$

$$M_{dst} = M_{A,d,kok} = 49,9 \text{ kNm}$$

$$M_{stb} = -1 \times 166,4 = 149 \text{ kN OK}$$

Kaatumistarkastelu anturan reunan suhteen ominaiskuormilla, varmuus vähintään 2,0

$$M_{,kaatava} = M_{A,k,kok} = -33,5 \text{ kNm}$$

$$M_{,pp} = N_{A,k,kok} \times L/2 = 166,4 \times 1,6/2 = 133 \text{ kNm}$$

$$\gamma_{,kaat} = M_{stb} / M_{dst} = -133 / -33,5 = 3,97 > 2,0 \text{ OK}$$

Tarkistetaan pohjarasitus. Lt on anturan tehollinen pituus. $L_t = L - 2 \times e_k$

$$L_t = 1,6 - 2 \times 0,2 = 1,2 \text{ m} > L/2$$

$$p_k = 166,4 / (1,0 \times 1,2) = 138,7 \text{ kN/m}^2 < 150 \text{ kN/m}^2 \text{ OK}$$

Todellinen laskentapohjapaine

$$p_d = 205 / (1,0 \times 1,2) = 170,9 \text{ kN/m}^2$$

Anturan paksuuden arviointi

$$\text{Anturauloke } c_x = (1,6 - 0,65) / 2 = 0,475 \text{ m}$$

$$\text{Anturauloke } c_y = (1,0 - 0,65) / 2 = 0,175 \text{ m}$$

Halkeamarajatila

$$M_k = 0,5 \times 138,7 \times 0,48^2 = 15,6 \text{ kNm/m}$$

$$W_{ce, \text{vaad}} \geq 15,6 / (1,7 \times 1197) = 0,008 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$H, \text{vaad} \geq (6 \times 0,008 / 1,0)^2 = 0,215 \text{ m}$$

Raudoitus

Valittu korkeus:

$$H = 0,3 \text{ m}$$

$$c = 50 \text{ mm}$$

$$d = 240 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd,005} = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

Pitkittäisraudoitus

$$\text{Momentti } m_{d,x} = 0,5 \times 170,9 \times 0,475^2 = 19,3 \text{ kNm/m}$$

$$\mu = \frac{19,3}{240 \times 240 \times 14,2} = 0,024$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,024} = 0,024$$

$$A_s = 0,024 \times 1000 \times 240 \times 14,2 / 435 = 187 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{min}} = 0,26 \times f_{ctm} / f_{yk} \times b_t \times d = 0,26 \times 2,56 / 500 \times 1000 \times 240 = 320 \text{ mm}^2/\text{m}$$

→ T10

$$A_{s1} = 78,5 \text{ mm}^2 \rightarrow$$

T10 k 0,245

Valitaan T10 k200 393mm²/m

Poikittaisraudoitus

Momentti $m_d, x = 0,5 \times 170,9 \times 0,175^2 = 2,6 \text{ kNm/m}$

$$\mu = \frac{2,6}{240 \times 240 \times 14,2} = 0,003$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,003} = 0,003$$

$$A_s = 0,003 \times 1000 \times 240 \times 14,2 / 435 = 25 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{min}} = 0,26 \times f_{ctm} / f_{yk} \times b_t \times d = 0,26 \times 2,56 / 500 \times 1000 \times 240 = 320 \text{ mm}^2/\text{m}$$

→ T10 $A_{s1} = 78,5 \text{ mm}^2$ → T10 k 0,245

Valitaan T10 k200 393mm²/m

Liite 7 Tuulikuormien määrittäminen

Laskelmissa on noudatettu RIL 205-1-2007 ja RIL 201-1-2008 ohjeita ja määräyksiä. Tuulennopeuspaineen määrittämiseen vaikuttaa rakennuksen korkeus maanpinnasta sekä rakennusta ympäröivän maaston maastoluokka. Rakennuspaikka sijoittuu maastoluokkaan II (RIL 205-1-2007, kuva 2.6), koska se sijaitsee golfkentän läheisyydessä, jossa on vain matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia.

Tuulikuormien määrittäminen voimakerroinmenetelmällä (tuuli kohtisuoraan sivuseinää vastaan).

Nopeuspaine $q_p(z) = 0,56 \text{ kN/m}^2$ (maastoluokka 2, tasainen maasto)

Rakennekerroin $c_s c_d = 1,0$ ($h < 15$) (RIL 201-1-2008 luku 6.2)

Tehollinen hoikkuus $\lambda = \frac{2 \times h}{b} = \frac{2 \times 5,975}{30} = 0,4$ (RIL 201-1-2008 t. 5.1S)

Sivusuhte $\frac{d}{b} = \frac{12}{30} = 0,4$

Voimakerroin $c_f = 1,3$ (RIL 201-1-2008 t.5.2S)

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo sivuseinää vastaan neliökuormana

$$q_{w,k} = q_{w,k} = c_s c_d \times c_f \times q_p(z) = 1,0 \times 1,3 \times 0,56 = 0,73 \text{ kN/m}^2$$

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo päätyseinää vastaan neliökuormana

Nopeuspaine $q_p(z) = 0,56 \text{ kN/m}^2$ (maastoluokka 2, tasainen maasto)

Rakennekerroin $c_c c_d = 1,0$
6.2)

($h < 15$) (RIL 201-1-2008 luku

Tehollinen hoikkuus $\lambda = \frac{2 \times h}{b} = \frac{2 \times 5,975}{12} = 1,0$

(RIL 201-1-2008 t. 5.1S)

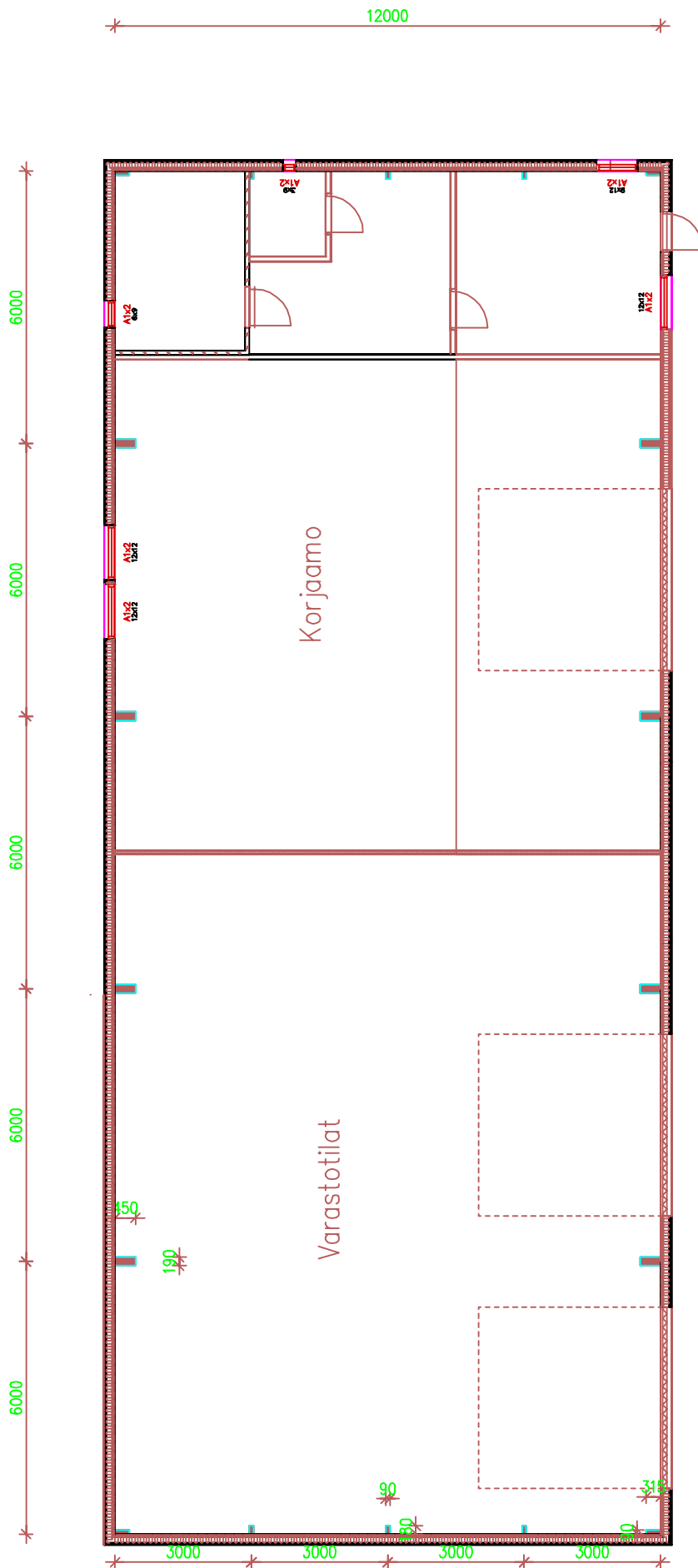
Sivusuhte $\frac{d}{b} = \frac{30}{12} = 2,5$

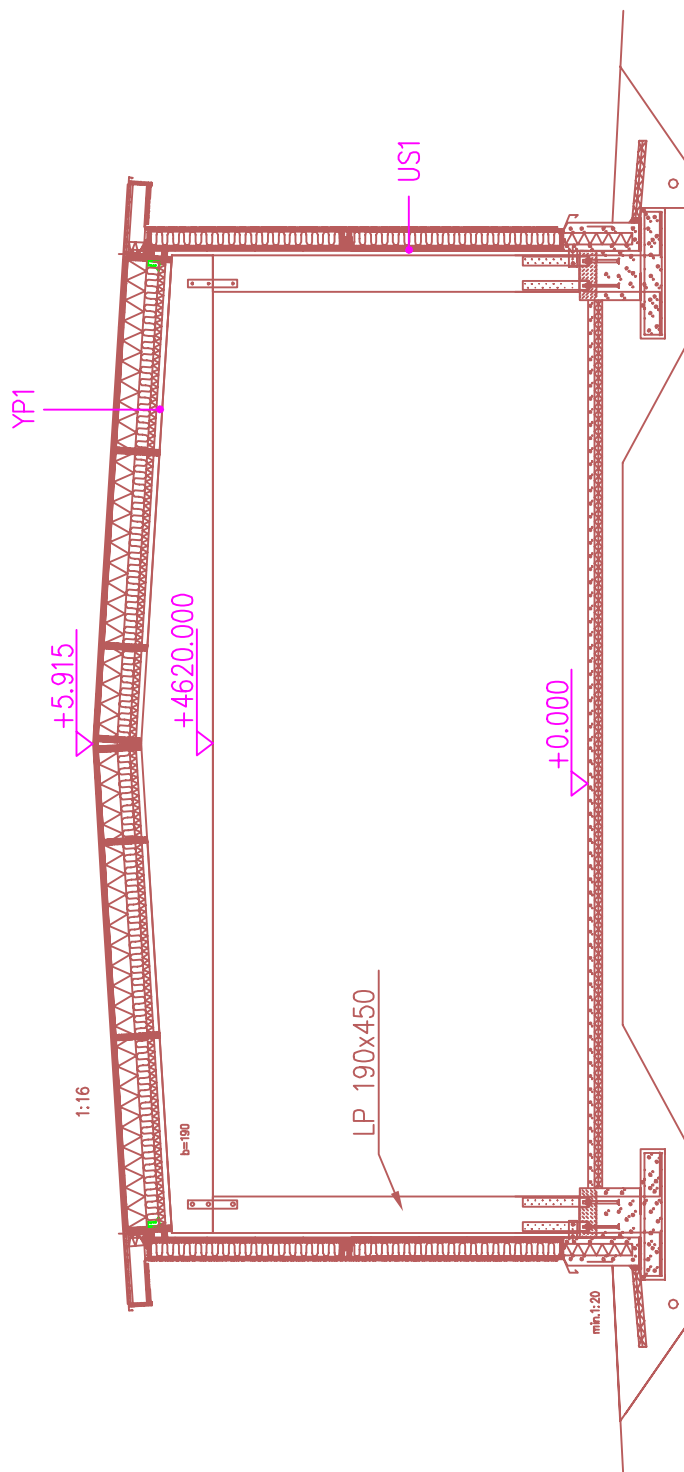
Voimakerroin $c_f = 0,9$

(RIL 201-1-2008 t.5.2S)

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo päätyseinää vastaan neliökuormana

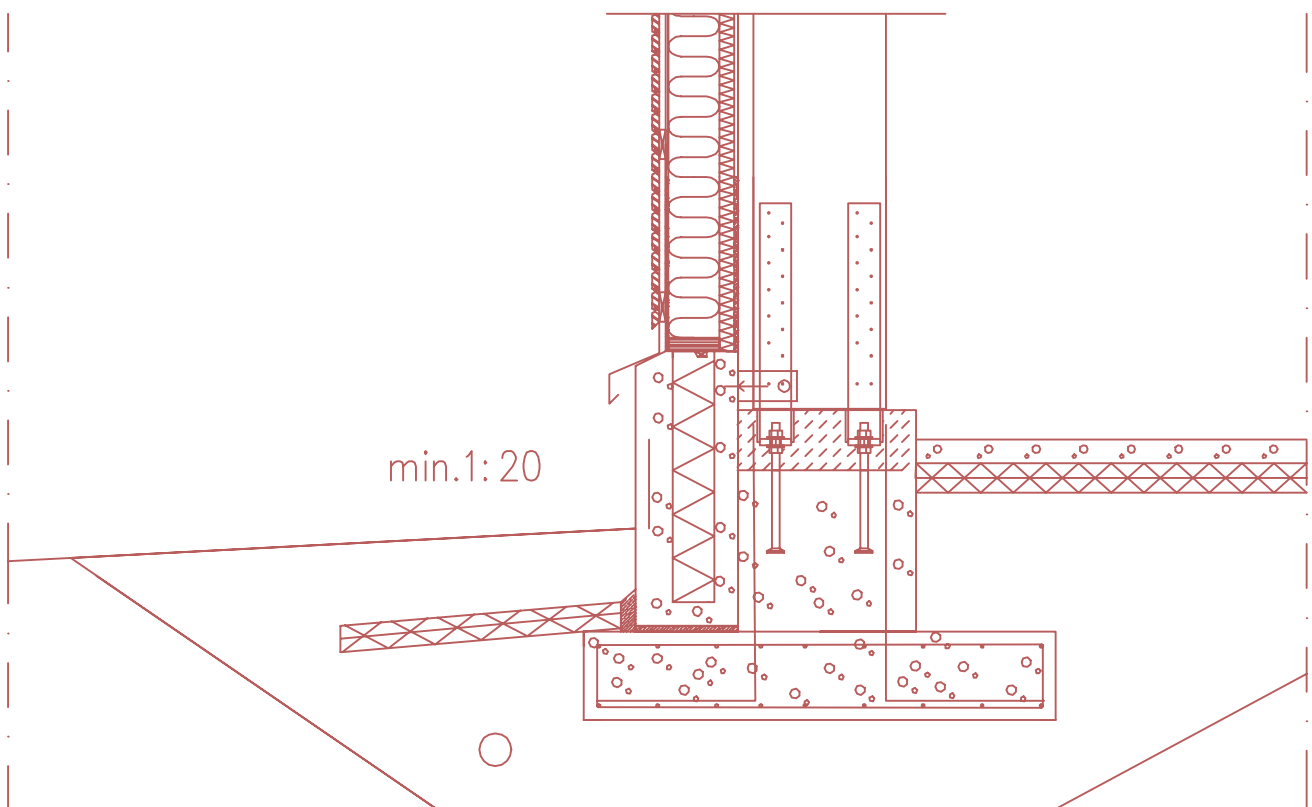
$$q_{w,k} = q_{w,k} = c_s c_d \times c_f \times q_p(z) = 1,0 \times 0,9 \times 0,56 = 0,5 \text{ kN/m}^2$$





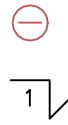
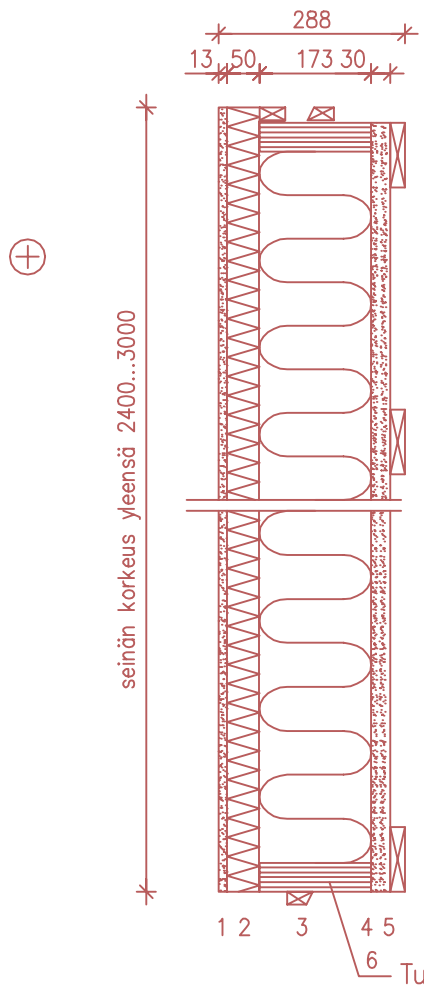
Pilarin ja perustusten liitos

1:20



Rakennuskohde	Sisältö Villaseinäelementti		
 SPU SYSTEMS OY Sillanpääkatu 20 PL 98, 38701 KANKAANPÄÄ P. (02) 572 770 F. (02) 572 7723 www.spu.fi	Pvm 5.5.2010	Mittakaava 1:10	Tunnus
	Muutos pvm	Tekijä -	

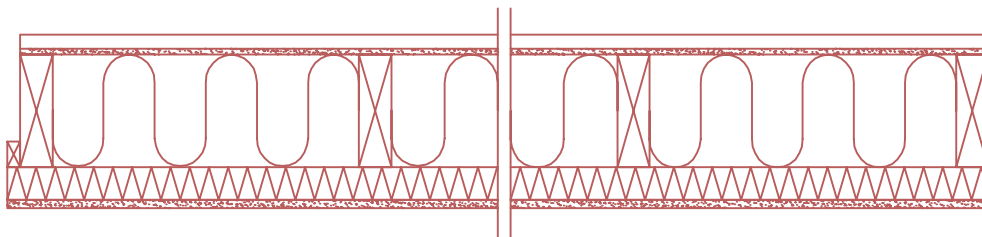
Mittakaava 1:10



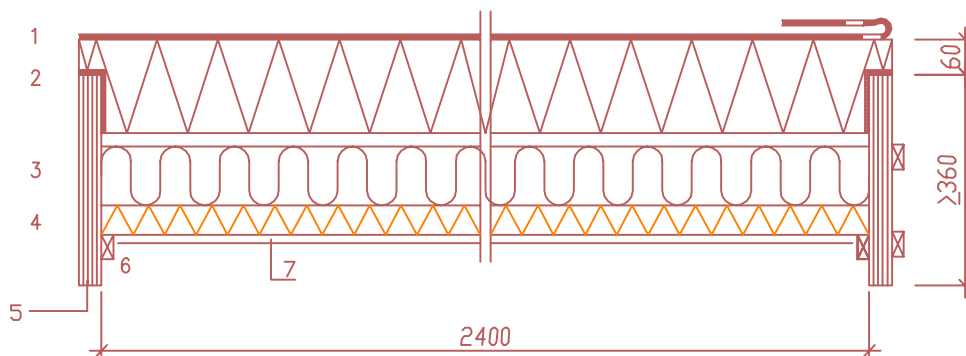
- 1 Sisäverhouslevy, kipsilevy EK 13 mm
- 2 Höyrysulkulevy (SPU AL 50 mm)
- 3 Runko + mineraalivilla 175 mm
- 4 Tuulensuoja (esim. tuulensuojakipsilevy)
- 5 Harvalauditus pysty-/vaakasuuntaan
- 6 Kertopuupalkki

LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN: 0,17 W/m² K

1-1



Rakennuskohte	Sisältö PU-kattoelementti Akustiikkalevy alapinnassa		
 SPU SYSTEMS OY Sillaripäänkatu 20 PL 98, 38701 KANKAANPAA P. (02) 572 770 F. (02) 572 7723 www.spu.fi	Pvm 5.5.2010	Mittakaava 1:10	Tunnus Liite 12
	Muutos pvm	Tekija -	



- 1 Vedeneristyskermi
- 2 SPU Eriste AL 160
- 3 Välipalkki k 600 + minvilla 100 mm
- 4 Akustiikkalevy 50 mm
- 5 Kertopuupalkki H=360
- 6 Puulista
- 7 Puulista k 600

KUVASSA ESITETYN ELEMENTIN PAINO = 27 kg/m²
 SPU ERISTE ~ 35 kg/m³
 LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN: U=0,09 W/m²K
 PALOLUOKKA: REI 15, TARVITTAESSA REI 30, REI 60

20.04.2010

Tomi Houtsonen

044 556 8073

tomi.houtsonen.tra@jamk.fi

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoamme Teille alla mainittuun kohteeseen tuotteitamme seuraavasti:

Kohde**HALLI HOUTSONEN****Toimitussisältö**SW-sokkelielementit (90+120+90) mm, betonipinta 15 kpl 70 m²**Toimitusehto**

FCA Forssa (vapaasti kuljettajalla tehtaalla), Finnterms 2001, Suomen logistiikkayhdistys ry.

Toimitusaika

Sopimuksen mukaan.

Hinta**11.200 € (sis. alv 22 %).**

Mikäli toimituksen sisältö muuttuu, muutetaan hintaa vastaavasti.

Maksuehdot ja –erät

10 % kun sopimus on vahvistettu, 40 % valmistuksen mukaan, 40 % toimitusten mukaan ja 10 % kun työ on vastaanotettu.
Maksuehto on 14 pv netto, viivästyskorko korkolain mukaan.

Huomioitavaa

Tilaaaja toimittaa valmistuspiirustukset neljänä sarjana valmistajalle viimeistään viisi viikkoa ennen toimitusaikaa.

Voimassaoloaika

Tarjous on voimassa 17.5.2010 saakka.

Toimituksessa noudatetaan Betonituotteiden kuluttajakaupan yleisiä sopimusehtoja 2004.

PARMA OY
Toimitilat yksikkö, Etelä-Suomi



Nisse Venho

SPUELEMENTIT

**Tomi
Houtsonen
puh 044-5568073
s-posti: tomi.houtsonen.TRA@jamk.fi**

TARJOUS OPINNÄYTETYÖ

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoamme teille yllämainittuun rakennushankkeeseen katto- ja seinäelementit seuraavasti:

Tarjous perustuu

19.4.2010 lähetettyihin pohjakuvaan ja leikkaukseen.

Tarjous erittelyineen

1. SPU-kattoelementit

- sisältää **kattoelementit asennettuna** asennusnostoineen
- katon koko räystäineen 13,0 * 31,0 m
- sisäpinnassa on pinnoitettu **akustiikkalevy** (TAL-N tai vastaava)
- katon **palonkesto REI15** ja katon **U-arvo 0,09**
- sisältää **vedeneristyskermin asennettuna takuineen**
- **ripustuskuorma** on 0,1 kN/m² ja lumikuorma 2,0 kN/m²
- sisältää **tippapellit** sivuräystäillä ja **hattupellit** päätyräystäillä asennettuna
- **räystäiden alapinta tehdasmaalattu** kertaalleen

2. Ulkoseinäelementit

- sisältää **seinäelementit asennettuna** asennusnostoineen
- sisäpinnassa on reunaohentamaton pintakäsittelemätön **kipsilevy EK**
- ulkopinnassa on tuulensuojalevy RKL 30 mm mekaanisesti kiinnitettynä ilman teippauksia
- sisältää ovien ja ikkunoiden puupieliset aukot sovitettuna elementtijakoon
- lämmöneristeenä mineraalivilla, seinän **U-arvo 0,17**
- ei sisällä julkisivuverhoilua eikä ikkunoita eikä ovia

Kokonaishinta kohdat 1-2 yhteensä **73.000 € alv 0%**

Ilmoitettuun hintaan lisätään kulloinkin voimassaoleva arvonlisävero.

Pintakäsittely ja paloluokka

Rakenteet ovat käsittelemättömiä ja teollista laatua ellei toisin mainittu.

Rakennuksen paloluokka on P3.

SPUELEMENTIT

Suunnittelu

Sisältää toimitukseen kuuluvien tuotteiden rakenne- ja elementtisuunnittelun.

Toimitus- ja maksuehdot

Työmaalla asennettuna. Sopimusehdot YSE 1998, RYL 90. Ks. Liite A.

Kauppahinta suoritetaan erillisen maksuerätaulukon mukaan.

Maksuaika on 14 pv netto.

Voimassaoloaika

Tarjous on voimassa kuukauden. Toimitusajan suhteen välimyyntivarauksin.

Erityistä

Tämä tarjous on tehty vain opinnäytetyötä varten. Rahdiksi oletettu 300 km Kankaanpäästä.

Yhteystietomme ja -henkilömme

Projektipäällikkö Mikko Virta gsm 050-586 4882

Keskustelemme mielellämme toimitussisällöstä ja toimitusehdoista.

Kunnioitavasti
SPU Systems Oy



Mikko Virta
projektipäällikkö

Liitteet

Työnrajaus, liite A



TYÖNRAJAUS LIITE A

Toimitus sisältää

- tarjouksessa eriteltyt tuotteet kuljetettuna työmaalle
- asennustyöt nostoineen yhtäjaksoisesti suoritettuna
- asennustyöt lohkoittain (nostoetäisyys enintään 20 m)
- asennustyöt estää työvaiheessa haitallinen sade, tuuli tai pakkanen

Asennus edellyttää että tilaaja hoitaa ja kustantaa

- puurungon
- sosiaali-, toimisto- ja varastotilat (sekä kylmää että lämmintä varastotilaa)
- työmaan sisäänajo- ja kulkutiet (huom liittymän vaatimukset pitkille elementeille)
- tasaisen, tiivistetyn ja esteettömän tilan asennusta ja välivarastointia varten
- työmaasähkön ja yleisvalaistuksen (myös hallin katolle)
- jätelavat puuta, muovia ja sekajätettä varten
- vastaavan työnjohtajan
- tarkemittauksen ja mittalinjat sekä korot ja vastaa niiden oikeellisuudesta
- vesikaton läpiviennit juuripellityksineen
- loppusiivouksen
- mahdolliset lumi- ja jäätyöt
- työmaavakuutukset

PRT-Lami Oy TARJOUS

Leiviskäntie 2

92930 PYHÄNTÄ

020 770 73503.5.2010

020 770 7361

Houtsonen Tomi Puh Fax

Huoltohalli

Kiitämme tarjouspyynnöstänne ja tarjoamme:

Tuote Määrä/yks Erä Lisäselvitys

LP 190*450 L 45008,00kpl1

LP 190*315 L 47904,00kpl1

LP 90*180 L 52104,00kpl1

LP 90*225 L 60154,00kpl1

LP 190*875 L 120004,00kpl1 harjapalkki h

500..875..500, EK

30mm

Lujuusluokka 40, liimausluokka U, pintaluokka höylätty (H),
pintakäsittely lakkaus, kirkas liima, pakkaus muovi

Hinta	Tuotteet yhteensä	6 514,80EUR
	Rahti	260,00EUR
	Arvonlisävero 22,00%	1490,46EUR
	Yhteensä	8265,26EUR

Tarjous on voimassa kuukauden tarjouksen päiväyksestä.

Laskutus Tukkuliikkeen kautta

Toimitusosoite 86800 PYHÄSALMI

Toimitustapa Vapaasti autossa työmaalla

Toimitusaika Viikko 1021

Toimitusaika on ohjeellinen, ja se tarkistetaan tilauksen yhteydessä.

Lisäselvitykset Tarjous ei sisällä pilareiden /palkkien kiinnitys / -liitososia.

Liite 16. Kustannusarvio laskelmat

71

Tuote	Määrä	Hinta
Poimulevy PK20 RR32	146.8m ²	1277,16
Kyllästetty 48x48A	104,9jm	114,34
Sokkelikaista 15cm, pit.8jm	4 RLA	16,00
Kipsilevy 13x1200x2600mm	42kpl	365,40
Kyllästetty 48x98	57,3jm	120,33
Sahattu 48x98	150jm	217,50
Sahattu 48x48	60,3jm	41,61
Väliseinäpöntti 85mm	274kpl	252,08
Ohutsaumamuurauslaasti 25kg	2SK	28,00
Vetonit märkätilatasoite	1SK	15,00
Vedeneriste 15L	1AS	99,00
Nurkkavahvikenauha 25jm	1RLA	18,00
Seinälaatta	16m ²	176,00
Saumauslaasti 10Kg	1AST	17,00
Silikoni	1Tb	6,00
Saneerauslaasti 20Kg	3SK	57,00
Laakaovi 9x21	4kpl	152,00
Karmi 9x21	4kpl	120,00
Ulko-ovi	1kpl	319,00
Salaoja 110/95 6,0m	15kpl	165,00
Harjateräs 10mm	666m	244,20
Sahattu 22x100	360jm	190,80
Suodatinkangas 400m ²	1RLL	170,00
Stryrox routa 50x1000x1200	71PKT	2343,00
Ulkooverhouspaneeli	5950jm	4343,50

Betoni	43m3	5160,00
Nosto-ovi	3kpl	3270,00
Betoniteräslaatta 2,35x5,00m	37kpl	693,75
LPK24	20kpl	2464,40
LPK30	16kpl	2607,87
24 HPM	40kpl	529,48
30 HPM	32kpl	558,27

YHT 26151,69

Muut kustannukset mm. kiinnikkeet,(ruuvit, naulat,), maalit jne. lisäksi hintaan.

Kaikki kustannukset (elementtit jne.) YHT 118616,95e

Kustannusten hinnatkin ovat vain suuntaa antavia eivätkä lopullisia "tiukkoja hintoja" joten ainakin esimerkiksi styroxin hinta tippuu reilusti kun tilausta ryhdytään tekemään. Jos hintaan laitetaan 5-10% heitto suuntaan taikka toiseen, on hinta haarukka silloin noin.108000-130000e, ilman lvis töitä/tarvikkeita, kalusteita (wc, sos.tilat) jne. Kustannuksista jäi varmastikin jotain pois kokonaan eikä menekit ole lopullisia vaan suuntaa antavia, mutta itse näen ettei sillä lopulliseen hinta haarukkaan ole merkittävää muutosta.