

PUURAKENTEISEN TEOLLISUUSHALLIN RAKENTEIDEN SUUNNITTELU

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Puutekniikan koulutusohjelma
Puutekniikan suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
Kevät 2008
Tuomo Virtanen

Lahden ammattikorkeakoulu
Puutekniikan koulutusohjelma

VIRTANEN, TUOMO: Puurakenteisen teollisuushallin rakenteiden suunnittelu

Puurakennetekniikan opinnäytetyö, 72 sivua, 18 liitesivua

Kevät 2008

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee liimapuurakenteisen teollisuushallin rakenteiden suunnittelua. Työ on toteutettu kuvitteellisen teollisuushallin pohjalta.

Työn tavoitteena on perehtyä puurakenteisen teollisuushallin rakennesuunnitteluun sekä syventää tietoja euronormien mukaisesta rakenteiden mitoittamisesta. Rakenteet on pyritty suunnittelemaan siten, että ne on mahdollista toteuttaa esivalmistettuina elementteinä, jotka ovat nopea asentaa. Tällöin hallin rakenteet saadaan säältä suojaan mahdollisimman pikaisesti.

Euronormit korvaavat Suomen rakennusmääräyskokoelman B-osan vuonna 2010. Tässä työssä käsiteltävän hallin rakenteet on mitoitettu näiden uusien normien mukaan. Osana työtä on laadittu taulukkolaskentapohjainen liimapuupilareiden ja harjapalkkien mitoitusohjelma, josta saatavia rakenteiden dimensioita voidaan käyttää arkkitehtisuunnitelmien lähtötietoina.

Työn tuloksena esitetään liimapuurunkoisen teollisuushallin puurungon lujuuslaskelmat ja niistä tarvittavat rakennepiirustukset. Myös katon ja ulkovuorausseinien elementtisuunnitelmat sekä yksi esimerkkikuva molemmista elementeistä on esitetty. Liitteenä on cd-levyllä Microsoft Excel – tiedosto, joka sisältää pilarin ja harjapalkin mitoitusohjelman (Liite 15).

Euronormit ovat olleet marraskuusta 2007 alkaen rinnakkaiskäytössä Suomen rakennusmääräyskokoelman kanssa. Siirtymävaiheen etenemistä voi seurata ympäristöministeriön internetsivuilla www.ymparisto.fi.

Teollisuushallin rakennesuunnittelu vaatii hyvää lujuusopin tuntemusta. Suuret jänne- ja kehävälit johtavat liitosten ja tukirakenteiden suuriin kuormituksiin. Eri-tyisesti hallirakenteen jäykistys ja kuormitusten johtaminen perustuksille on haastavaa.

Avainsanat: rakennesuunnittelu, euronormi, teollisuushalli, elementtirakenteet

Lahti University of Applied Sciences

Faculty of Technology

VIRTANEN, TUOMO: Designing the structures of a wooden industrial hall

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 72 pages, 18 appendices

Spring 2008

ABSTRACT

This study deals with the construction project of a wooden industrial hall. The study is based on a fictional production hall.

The goal of the thesis is to get acquainted with designing the structures of an industrial hall using Eurocode-based dimensioning. The structures are designed to be easy to manufacture as pre manufactured elements which are quick to assemble on site. This is important for getting construction under protection against weather.

The output of the thesis is stability calculations of the timber frame and the required structural drawings. One example element for exterior wall and roof is also presented. Part of the thesis is a spreadsheet-based dimensioning program for a ridge beam and a column made of glue laminated lumber. This program is attached in a CD format.

Since November 2007 the Eurocodes have been used in parallel with the national building code of Finland. Some errors have been found and corrected in the instructions for dimensioning. The current version of the code can be seen in the internet pages of the Ministry of the Environment.

Construction designing of an industrial hall requires a knowledge of stability. A large span and perimeter leads to high tensions to joints. The bigger the construction is the more attention has to be paid to stiffening of structures and transferring loads to the ground.

Keywords: construction designing, Eurocode, industrial hall, prefabricated elements

SISÄLLYS

LYHENTEET JA KÄSITTEET	1
1 JOHDANTO	2
2 SUUNNITTELU	3
2.1 Suunnittelu yleisesti	3
2.2 Teollisuushallin arkkitehtoniset päälinjat	4
2.3 Runkojärjestelmän valinta	5
2.4 Paloluokan valinta	6
2.5 Rakennuksen jäykistys	6
2.6 Seinäelementit	8
2.7 Kattoelementit	8
2.8 Rakennuskohteen perustiedot	9
2.8.1 Rakenteellinen järjestelmä	9
2.9 Liitokset	10
2.9.1 Pilarin ja palkin liitos	10
2.9.2 Pilarin ja perustusten liitos	11
2.9.3 Harja- ja sekundääripalkin liitos	13
3 LUJUUSLASKELMAT	14
3.1 Harjapalkki	14
3.1.1 Kuormitukset	14
3.1.1.1 Käyttörajatila	15
3.1.1.2 Murtorajatila	16
3.1.1.3 Voimasuureet	16
3.1.2 Materiaalitiedot Liimapuu GL32	17
3.1.3 Mitoitus	18
3.1.3.1 Esimitoitus	18
3.1.3.2 Jännitykset	19
3.1.3.2.1 Taivutusjännitys harjalla	19
3.1.3.2.2 Taivutusjännitys vaarallisimmalla poikkileikkauksella (vino reuna)	19
3.1.3.2.3 Taivutusjännitys (suora reuna)	20
3.1.3.2.4 Syitä vastaan kohtisuora vetojännitys harjavyöhykkeellä	21

3.1.3.3 Taipuma	22
3.2 Päätypalkki	24
3.2.1 Päätypalkin kuormitukset	24
3.2.2 Päätypalkin mitoitus	25
3.3 Sekundääripalkki	27
3.3.1 Materiaalitiedot Kerto-S	27
3.3.2 Sekundääripalkin kuormitukset	28
3.3.3 Sekundääripalkin mitoitus	29
3.4 Pilarit	30
3.4.1 Kuormitukset	30
3.4.1.1 Lähtötiedot	31
3.4.1.2 Tuulikuorman määrittäminen	32
3.4.2 Pääpilarien kuormitus	35
3.4.3 Tuulikuormitus rakennuksen pitkässä suunnassa	38
3.4.3.1 Tuulipilarin kuormitus	38
3.4.3.2 Vetoteräksille kohdistuva kuormitus	40
3.4.4 Päätypilarin kuormitus	40
3.4.5 Pääpilarin mitoitus	42
3.4.6 Tuulipilarin mitoitus	48
3.4.7 Päätypilarin mitoitus	54
3.5 Jäykistys	59
3.5.1 Seinärakenteiden jäykistys	59
3.5.2 Kattorakenteiden jäykistys	60
4 ELEMENTOINTI	61
4.1 Seinäelementit	61
4.1.1 Seinäelementin liitos perustuksiin	62
4.1.2 Seinäelementtien liitos toisiinsa	62
4.2 Kattoelementit	64
5 MITOITUSOHJELMA	65
5.1 Harjapalkin mitoitus mitoitusohjelmalla	66
5.2 Mastopilarin mitoitus mitoitusohjelmalla.	67
6 YHTEENVETO	69

LYHENTEET JA KÄSITTEET

SRakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelma
Eurokoodit	Kantavien rakenteiden suunnittelua ohjaavia standardeja, joita käytetään yhdessä kansallisten liitteiden kanssa.
k-jako	Etäisyys keskeltä keskelle. Esitetään muodossa k600 tai k/k 600, jossa luku tarkoittaa etäisyyttä millimetreinä (mm).
EC1	EUROCODE 1: Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat.
EC5	EUROCODE 5: Puurakenteiden suunnittelu.
k_{def}	Virumisen ja kosteuden yhteisvaikutuksen huomioiva kerroin, jota otetaan huomioon rakenteen muodonmuutoksia laskettaessa.
k_{mod}	Kuorman vaikutusajan ja rakenteen kosteuden huomioon ottava kerroin

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä perehdyttiin puurakenteisen teollisuushallin suunnitteluun sekä tarvittaviin lujuuslaskelmiin. Lujuuslaskelmissa käytettiin mitoitusperusteena eurokoodeja eli eurooppalaisia standardeja. Perehtyminen toteutettiin suunnittelemalla liimapuurakenteinen teollisuushalli pilari-palkki -menetelmällä. Työssä on esitetty tarvittavat puurakenteiden rakennepiirustukset sekä lujuuslaskelmat.

Euronormit korvaavat niihin rinnastettavat rakenteiden kantavuutta koskevat tekniset ohjeet, jotka nyt sisältyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman B-osaan. Euronormeja käytetään yhdessä kansallisten liitteiden kanssa. Tällä hetkellä käytössä ovat molemmat ohjeet rinnakkain, mutta euronormit tulevat korvaamaan SRakMK:n vuoteen 2010 mennessä. Euronormit ovat yhteiseurooppalainen rakennusten suunnittelua ohjaava määräyskokoelma, joka mahdollistaa rakenteiden suunnittelun samalla ohjeistuksella kaikkialla Euroopassa. Tämä helpottaa rakennusten ja rakenneosien kauppaa muihin EU-maihin. Euronormit ovat kuitenkin SRakMK:aa huomattavasti laajempi kokonaisuus, joten niiden käyttö vaatii suunnittelijalta laajempaa teoreettista tietämystä rakenteiden mekaniikasta.

2 SUUNNITTELU

2.1 Suunnittelu yleisesti

Rakennusalalla jaetaan suunnittelu kolmeen pääryhmään: arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikan suunnitteluun. Tässä opinnäytetyössä on keskitytty rakennesuunnitteluun. Arkkitehtoninen suunnittelu on rajattu vain julkisivukuvien laatimiseen. Arkkitehtisuunnittelun tehtävänä on sulauttaa rakennus ympäristöön, kartoittaa rakennuttajan tarpeet ja suunnitella tilat niiden mukaisesti. Näitä asioita ei ole tässä opinnäytetyössä käsitelty. Myös talotekniikka on rajattu tämän aihealueen ulkopuolelle.

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

Suunnittelu on erittäin tärkeä osa rakennushanketta. Suunnitteluvaiheessa sidotaan suurin osa kustannuksista, eikä niihin rakennusvaiheessa voi enää juurikaan vaikuttaa. Suunnittelun osuus kustannuksista on kohteen luonteesta riippuen kuitenkin vain joitakin prosentteja. Siitä syystä suunnitteluun kannattaa varata riittävästi aikaa ja resursseja.

Hyvät suunnitelmat ovat selkeitä ja yksiselitteisiä. Rakenneosien tulee olla selkeästi ja johdonmukaisesti merkitty ja/tai numeroitu. Suunnitelmissa esitetään riittävä määrä detaljeja, joista selviävät rakenne ja rakenteiden kiinnitykset. Detaljeja ja leikkauskuvia kertyy helposti suuri määrä, joten ne tulisi niputtaa loogisesti toisiinsa, jolloin mahdolliset muutokset päivittyisivät jokaiseen kuvaan. Helpointa olisi käyttää suunnitteluohjelmaa, johon mitat syötettäisiin muuttujien arvoina. Silloin ohjelma korjaisi jokaisen kuvan tiedot joltain muuttujan arvoa muutettaessa. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää suunnitelmien virheettömyyteen. Virheet johtavat tuotannon hidastumiseen ja turhiin kuvien tarkistuksiin toteutusvaiheessa.

Suunnittelijan tulisikin kehittää menetelmä, jolla suunnitelmat edes osittain tarkistettaisiin ennen niiden tuotantoon päätymistä. Esimerkiksi toisen ammattilaisen olisi hyvä käydä läpi kuvat ja laskelmat. Tällöin yleissilmäys ja satunnaisesti poimitujen mittojen tarkistaminen yleensä riittää. Toki tulee ottaa huomioon suunnitelmien vaativuus ja laajuus.

2.2 Teollisuushallin arkkitehtoniset päälinjat

Tässä opinnäytetyössä on suunniteltu kuvitteellinen teollisuushalli. Hallin kantava runko on liimapuisena toteutettu pilari-palkki -järjestelmä. Palkiksi on valittu harjapalkki, jolloin katolle on saatu tarvittava kaato veden pois johtamiseksi. Näin toteutettu kaato on turvallinen ratkaisu kosteusfysiikan kannalta. Liimapuiset rakenteet on myös tarvittaessa helppo palomitoittaa. Teollisuushallissa palokuorma saattaa muodostua suureksi, jonka vuoksi rakenteiden yksinkertainen palomitoitus on tärkeä tekijä.

Rakennus vuorataan kantavan rungon ympärille asennettavilla elementeillä. Ker-topuusta rakennettavan vuorauksen sisään saadaan sijoitettua tarvittava lämmöneristekerros. Eristeenä on tässä rakennuksessa käytetty mineraalivillaa. Seinärakenne vuorataan puupaneloinnilla.

Opinnäytetyön teollisuushalli on huoneistoalaltaan 840 m^2 . Hallin päämitat ovat $20\text{m} * 42\text{m}$. Halli sopii kooltaan monenlaiseen toimintaan; sisätilat ovat avointa tilaa ilman kantavia välirakenteita ja hallin muoto mahdollistaa laajennuksen rakennuksen joka suuntaan.

Usein teollisuushalliin halutaan hallinosturi, joka sijoitetaan kantaviin rakenteisiin. Rakennuksen kantavat rakenteet tulee siinä tapauksessa mitoittaa nosturin dynaamisia kuormituksia vastaaviksi (liikekuormat, jarrukuormat jne.). Nosturin kuormitukset vaihtelevat nosturimerkkien ja -mallien mukaan. Kuormitustiedot on aina tarkistettava haluttua nosturia vastaavaksi. Nosturin kuormitukset selviävät

nosturivalmistajalta. Tässä työssä ei ole otettu huomioon hallinosturin kuormituk-
sia.

2.3 Runkojärjestelmän valinta

Teollisuudessa tarvitaan usein tasakorkuista tilaa, jonka korkeus ja leveys suunnitellaan rakennuksessa tapahtuvan toiminnan tarpeiden mukaisesti. Tavoite saavutetaan yleensä yksi- tai useampiaukkoisella pilari-palkki -rakenteella, joka mahdollistaa rakennuksen laajentamisen (Puuhallin suunnittelu). Liimapuinen runko on usein järkevä valinta teollisuushallin kantavaksi järjestelmäksi. Se mahdollistaa yksinkertaisen palomitoituksen toteutuksen, pitkät jännevälit sekä suurehkot aukot seinärakenteissa. Tässä opinnäytetyössä esitetyn tuotantohallin kantavaksi järjestelmäksi voidaan harkita jännevälisiä, käyttötarkoituksesta ja kustannussyistä johtuen harjapalkkia, bumerangipalkkia, vetotangollista palkkikannattajaa tai kolminivelkehää. Näistä harjapalkki on varteenotettava vaihtoehto yksinkertaisen rakenteensa vuoksi. Harjapalkilla saavutetaan valmis kattokaltevuus. Yksinkertaisen rakenteensa vuoksi se on myös edullinen. Harjapalkin korkeus kasvaa jännevälän puoliväliä lähestyttäessä, joten palkin geometria vastaa kasvavaa taivutusjännitystä. Tämä johtaa kustannustehokkaaseen rakenteeseen. Harjapalkki mahdollistaa myös melko vapaan kuormien kiinnityksen sijoittelun palkkirakenteisiin.

Mikäli esimerkiksi ilmastointiputkien pitkittäisvedot olisi saatava kattorakenteiden sisään, voisi vetotangollinen palkkikannattaja tai kolminivelkehä olla harjapalkkia parempi vaihtoehto. Tässä opinnäytetyössä ilmanvaihtoputkien pitkittäisvedot voidaan toteuttaa hallin sivuilla palkin ja pilarin liitoskohdissa. Tarvittaessa putkistot koteloidaan. Sivuttaisvedot voidaan toteuttaa harjapalkkien väleissä.

2.4 Paloluokan valinta

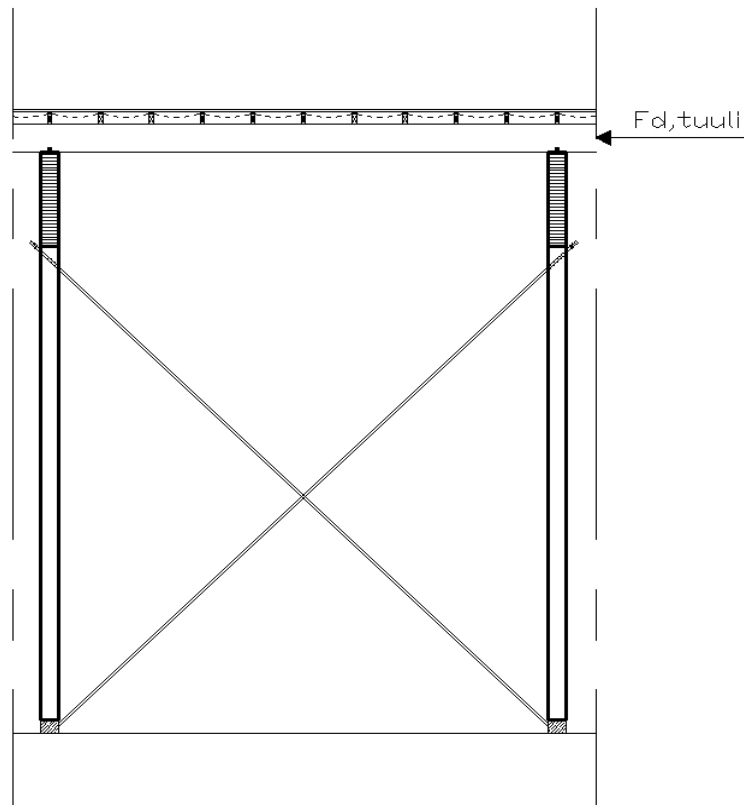
Palomääräykset asettavat paloluokasta riippuen vaatimuksia teollisuushallin rakenteille. Palomitoitus tehdään SRakMk:n E-osaan perustuen. Palovaarallisuusluokka sekä suojaustaso määräävät teollisuushallin paloluokan. Henkilömäärää ei yksikerroksisessa tuotantorakennuksessa ole rajoitettu. Hallin koko on myös vapaasti valittavissa, mutta rakennus on tarvittaessa jaettava palo-osastoihin. Palo-osastojen koko on riippuvainen paloluokasta. Yksikerroksisen tuotantorakennuksen korkeus on paloluokassa P3 rajattu 14 metriin. Paloluokissa P1 ja P2 rakennuksen korkeus on rajoittamaton. Opinnäytetyön teollisuushallin tarkempaa toimintaa ei ole määritetty. Tämän opinnäytetyön teollisuushalli voidaan suunnitella paloluokkaan P3 kuuluvaksi. Rakennus suunnitellaan palovaarallisuusluokkaan kaksi (2) kuuluvaksi, jolloin sillä on pienemmät käyttörajoitukset ja parempi jälleenyntiarvo. Palovaarallisuusluokasta kaksi (2) johtuen rakennuksen suojaustason tulee olla luokkaa kolme (3).

2.5 Rakennuksen jäykistys

Rakennus tulee jäykistää joka suunnalta tuulikuormaa vastaan. Lyhyen sivun suunnassa jäykisteenä toimivat harjapalkkeja kantavat pilarit. Pilarit kiinnitetään alapäästään jäykästi, joten ne toimivat mastorakenteina johtaen tuulikuorman perustuksille. Pilareiden käyttö jäykistykseen on taloudellista, koska katon pääkannattajat vaativat tukipinta-alaa palkin syitä vastaan kohtisuorien puristusjännitysten vuoksi. Tästä syystä pilareiden mitoitus jäykistäviksi rakenteiksi ei mainittavasti kasvata niiden poikkileikkausta.

Rakennuksen pitkän suunnan jäykistykseen on useita vaihtoehtoja. Yksi vaihtoehto on jäykistää rakennus seinäelementtien avulla, suunnittelemalla elementit niin, että niitä voidaan käyttää levyjäykisteenä. Tämä johtaisi kuitenkin vaativiin liitosrakenteisiin elementtien ja kantavien pilareiden välillä ja rajoittaisi hallin oviaukkojen sijoittelua. Toinen vaihtoehto on johtaa päätyseinän keräämä tuulikuorma sekundääripalkkien avulla harjapalkkeja kannatteleville pilareille. Tuulikuorma jaetaan halutulle määrälle pilareita ja mitoitetaan pilarit sen mukaan mastoraken-

teiksi myös sivuttaiselle kuormitukselle. Myös sekundääripalkkien liitokset tulee mitoittaa tälle vaakavoimalle. Koska sekundääripalkkeja käytetään myös harjapalkkien kiepahduksen estämiseen, tulee näiden kuormitusten yhteisvaikutus ottaa huomioon sekundääripalkkien liitoksia mitoitettaessa. Kolmas vaihtoehto on jäykistää rakennuksen pitkä suunta pilareiden väliin sijoitettavilla puisilla tai metallisilla tuuliristikoidella. Metallisten tuuliristikoiden liitosten suunnittelu on yksinkertaisempaa. Ellei arkkitehtonisista syistä toisin haluta, on metallisten tuuliristikoiden käyttö perusteltua. Tuuliristikko voidaan sijoittaa periaatteessa mihin tahansa pilariväliin rakennuksen sivulla. Tässä työssä on päädytty metallisten tuuliristikoiden käyttöön rakennuksen pitkän suunnan jäykistämiseksi.



KUVIO 1. Tuuliristikko rakennuksen pitkällä seinällä.

Tuuliristikon metallitangot mitoitetaan vetotankoina. Vetotanko mitoitetaan tuulikuorman $F_{d,tuuli}$ tangon suuntaista komponenttia vastaan (Kuvio 1). Tuuliristikon mitoitus on esitetty kohdassa 3.5.1.

2.6 Seinäelementit

Kantava runko on vain osa hallia. Usein hallin seinistä halutaan lämpöä eristävät, jolloin ne pitävät hallin lämpimänä tai viileänä, toiminnasta ja vuoden ajasta riippuen. Lisäksi halli tarvitsee ulko- ja sisävuorauksen, tuulensuojan sekä höyrynsulun suojaamaan rakennetta mahdolliselta sisäpuoliselta kosteudelta. Koko edellä esitetty seinärakenne toteutetaan asentamalla seinäelementit kantavan rungon ympärille.

Koska kantavien pilareiden etäisyys toisistaan on pitkä, kannattaa seinäelementit suunnitella vaakatasoon asennettaviksi. Elementit valmistetaan pääasiassa 12 metriä leveiksi ja 2 metriä korkeiksi, jolloin elementtejä on mahdollista kuljettaa ja käsitellä.

Opinnäytetyössä esitetään seinä- ja kattoelementtien jako sekä niiden liitosperiaatteet. Sekä seinä- että kattoelementeistä on laadittu yhden elementin rakennekuva, jonka mukaisesti kyseisen elementin voi valmistaa. Kaikkia rakennuksen elementtejä ei ole esitetty, koska se ei opinnäytetyön tavoitteet ja laajuus huomioon ottaen ole tarkoituksenmukaista.

2.7 Kattoelementit

Kantavien harjapalkkien päälle asennetaan kattoelementit, jotka koostuvat sekundaaripalkkien sisään asennettavasta mineraalivillasta, villan alle tulevasta kipsilevystä sekä päälle asennettavista palkeista ja aluslaudoituksesta. Kattoelementit sisältävät myös höyrynsulkumuovin ja aluskatteen. Peltikate asennetaan aluslaudoituksen päälle rakennuspaikalla elementtien asennuksen jälkeen.

2.8 Rakennuskohteen perustiedot

Kohteen nimi	Teollisuushalli Opinnäytetyö
Pääasiallinen käyttötarkoitus	Tuotantohalli
Rakenteiden vaativuusluokka	A
Seuraamusluokka	CC2
Paloluokka	P3
Pääasiallinen rakennustapa	Elementtirakentaminen
Kokonaiskorkeus	8,0 m
Huoneistoala	840 m ²
2.8.1 Rakenteellinen järjestelmä	
Perustamistapa	Seinäanturat + pilarianturat
Ulkoseinät:	Kantavat LP-pilarit + seinä 48x173 k600
Yläpohja:	Ulkoseiniltä tuetut LP harjapalkit k6000
Rakennuksen jäykistys:	Erillisen suunnitelman mukaan

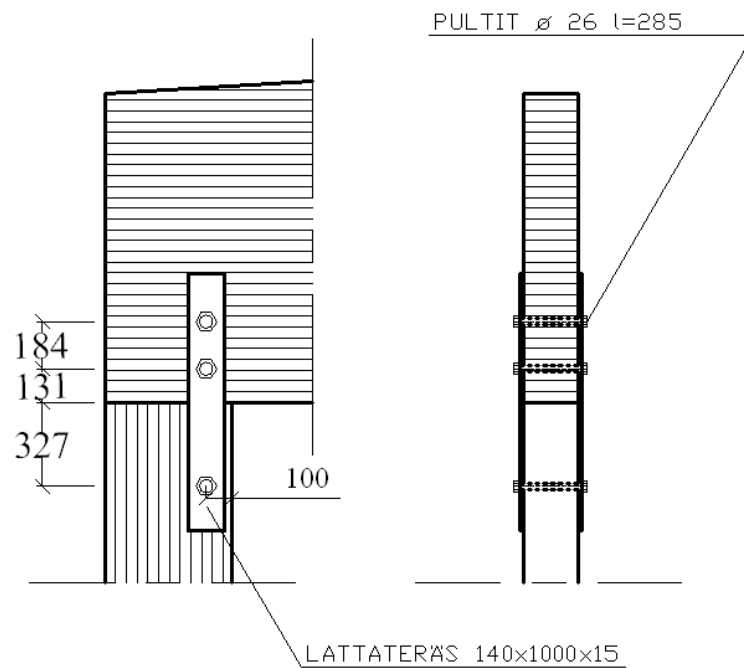
2.9 Liitokset

Tässä yhteydessä on esitetty tärkeimmät liitokset. Kaikkia liitoksia ei työn laajuus huomioon ottaen ole mielekästä esitellä.

2.9.1 Pilarin ja palkin liitos

Pilarin ja palkin liitos toteutetaan nivellettynä liitoksena, joka siirtää vaaka- ja pystyvoimia. Liitos ei estä palkin kulmanmuutosta eikä näin ollen siirrä momentteja. Jos kulmanmuutos estettäisiin, liitokseen syntyisi ylimääräisiä jännityksiä, jotka voisivat johtaa liimapuupilarin tai -palkin vaurioitumiseen (Liimapuu Käsi- kirja 2003). Harjapalkin ja pilarin kiinnitykseen sopiva liitos on esitetty kuviossa 2. Tällainen liitos mahdollistaa palkin kulmanmuutoksen sekä siirtää voimia pysty- ja vaakasuunnassa. Liitos myös jossain määrin estää palkkia kiepahtamasta. Tätä kiepahduksen estävää vaikutusta ei ole tämän opinnäytetyön laskelmissa otettu huomioon. Pultteja varten tehtävät reiät tehdään pystysuunnassa soikeiksi, jolloin palkin kosteuselämistä ei estetä. Harjapalkkiin asennettavat pultit sijoitetaan palkin alareunaan. Tällöin palkki voi mahdollisten kosteusvaihteluiden vuoksi elää ilman, että liike aiheuttaa halkeamia palkkiin.

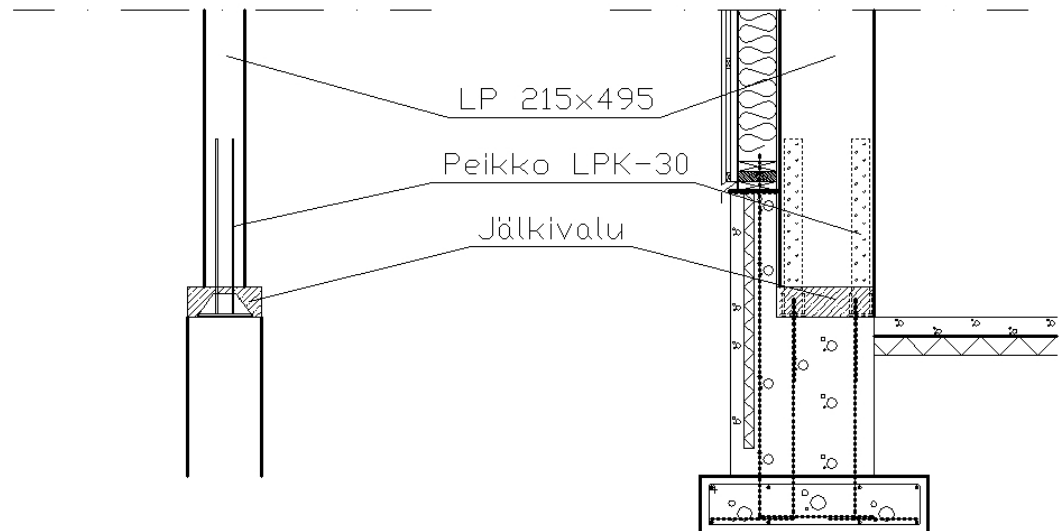
Rakennuksen päädyissä on harjapalkkien sijasta tasakorkuiset, poikkileikkaukseltaan pienemmät palkit pienemmän kuormankantotarpeen vuoksi.



KUVIO 2. Harjapalkin ja pilarin liitos.

2.9.2 Pilarin ja perustusten liitos

Pilarit mitoitetaan mastopilareiksi jäykistämään rakennus tuulikuormituksia vastaan. Tästä syystä 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 määrittää.



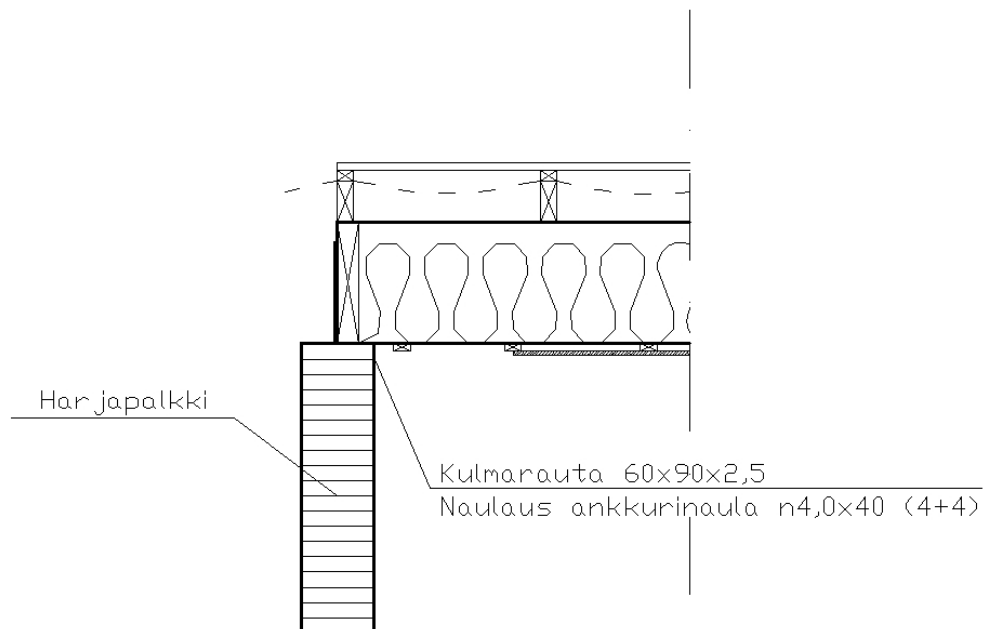
KUVIO 3. Pilarin liitos perustuksiin.

Tuulikuormituksen suunnassa momentin suhteen jäykkä liitos toteutetaan Peikko LPK-30 -pilarikengällä (Kuvio 3). Liimapuupilariin sahataa tehtaalla lovet ja asennetaan pilarikengät, kuten on esitetty liitteissä 11 - 13. Pilarikengien asennuksen jälkeen pilareihin porataan tappivaarnoille reiät, halkaisijaltaan 12 mm. Reiät porataan samanaikaisesti sekä pilarin että vaarnalevyjen läpi. Porauksen jälkeen asennetaan vaarnatapat (Puupilarikengät 2000). Rakennuspaikalla pilari nostetaan paikalleen ja kiinnitetään muttereilla perustuksiin valettuihin kierretankoihin. Pilarin korko ja asento tarkistetaan. Asennuksen jälkeen pilarin alle tehdään jälkivalu. Jälkivalua tehtäessä tulee varmistaa, että pilarin ja valun väliin on asennettu bitumihiuopa kosteuskatkoksi.

Kyseinen pilarikengä ei sovellu dynaamisille kuormituksille, joita voisi aiheutua esimerkiksi hallinosturin jarrukuormista. Jälkivalu tulee raudoittaa, mutta raudoitusta ei tässä yhteydessä ole esitetty.

2.9.3 Harja- ja sekundääripalkin liitos

Sekundääripalkit estävät harjapalkkien kiepahduksen. Kyseinen liitos tulee suunnitella siten, että se mahdollistaa kiepahdusvoiman siirtämisen. Kattorakenne toteutetaan elementteinä, jolloin edellä mainittu liitos suunnitellaan siten, ettei se riko kattorakenteen höyrynsulkumuovia. Liitoksen pitää olla sekä nopea että yksinkertainen asentaa. Tässä työssä harja- ja sekundääripalkin liitos on toteutettu asentamalla kulmaraudat kattoelementteihin. Kyseinen liitos ei mainittavasti heikennä höyrynsulun toimintaa. Kun kattoelementti on rakennuspaikalla nostettu paikalleen, kiinnitetään elementti ankkurinauloilla harjapalkkiin (Kuvio 4).

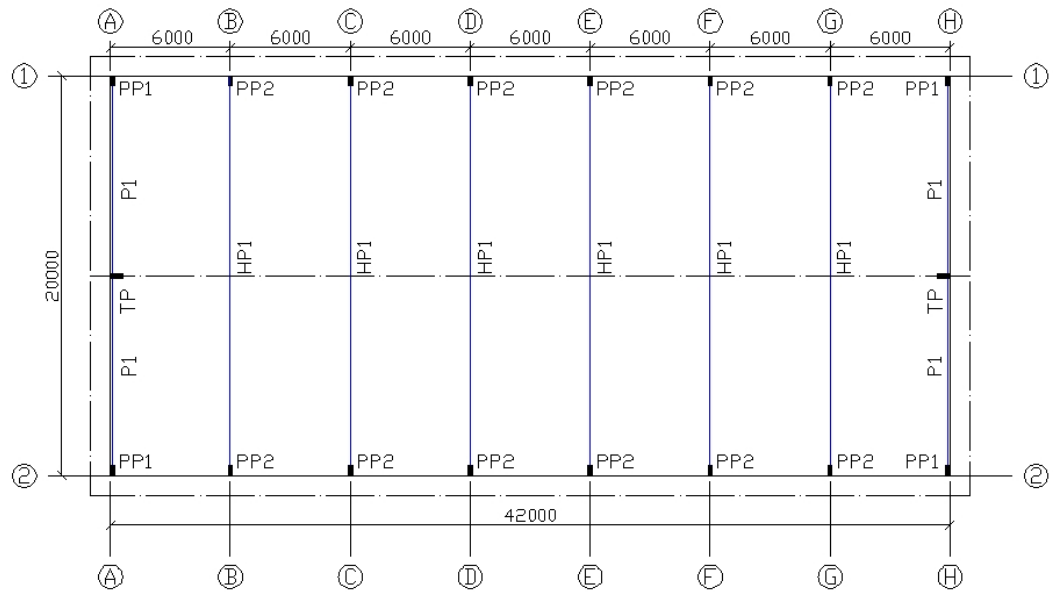


KUVIO 4. Harja- ja sekundääripalkin liitos.

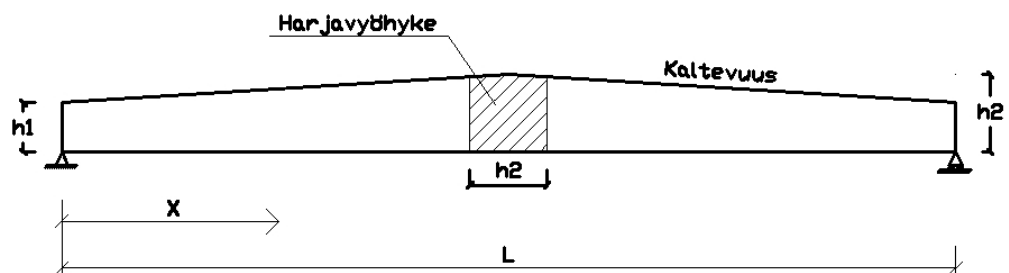
3 LUJUUSLASKELMAT

3.1 Harjapalkki

3.1.1 Kuormitukset



KUVIO 5. Hallin päämitat ja k-jako.



KUVIO 6. Harjapalkki.

Alla esitetyt kuormitukset ovat staattisia kuormia, joita vastaan rakenne mitoite-
taan. Rakenteen omapainon määrää käytetty materiaali ja lumikuorma saadaan
euronormeista rakennuspaikkakunnan mukaan. Kuormitukset annetaan muodossa
 kN/m^2 tai kN/m . Mitoitusta varten kaikki kuormitukset muutetaan muotoon kN/m .
Harjapalkin jänneväli ja k-jako on esitetty kuviossa 5. Laskuissa otetaan huomi-
oon osavarmuuskertoimet, joilla lisätään rakenteen turvallisuutta.

Lähtötiedot

Jänneväli $L = 20000\text{mm}$

Kehäväli $k = 6000\text{mm}$

Kattorakenteen paino $g_{k1} = 1,0\text{kN/m}^2$

Harjapalkin omapaino $g_{k2} = 0,9\text{kN/m}$

Lumikuorma $q_{k1} = 2,5\text{kN/m}^2$

Pysyvän kuorman osavarmuuskertoin $\gamma_g = 1,2$

Muuttuvan kuorman osavarmuuskertoin $\gamma_q = 1,5$

3.1.1.1 Käyttörajatila

Käyttörajatilan kuormituksia käytetään rakenteen muodonmuutosten laskemiseen.

Käyttörajatilan kuormituksissa ei huomioida kuormien osavarmuuskertoimia.

$$P_{k,\text{pysyvä}} = k \cdot g_{k1} + g_{k2} = 6\text{m} \cdot 1,0\text{kN/m}^2 + 0,9\text{kN/m} = 6,9\text{kN/m}$$

$$P_{k,\text{keskipitkä}} = k \cdot q_k = 6\text{m} \cdot 2,5\text{kN/m}^2 = 15,0\text{kN/m}$$

3.1.1.2 Murtorajatila

Murtorajatilan kuormituksia käytetään rakenteen lujuuden mitoittamiseen. P_d on rakenteelle laskettu viivakuormitus (kN/m), joka sisältää rakenteiden osavarmuuskertoimet.

$$P_d = k * (\gamma_g * g_{k1} + \gamma_q * q_k) + \gamma_g * g_{k2}$$

$$= 6m * (1,2 * 1,0kN/m^2 + 1,5 * 2,5kN/m^2) + 1,2 * 0,9kN/m = 30,78kN/m$$

3.1.1.3 Voimasuureet

Voimasuureet on laskettu murtorajatilan kuormituksella harjapalkin mitoittamiseksi. M_d on taivutusmomentti ja V_d harjapalkin tukireaktio palkin molemmalla tuella.

$$M_d = \frac{P_d * L^2}{8} = \frac{30,78kN/m * (20m)^2}{8} = 1539kNm$$

$$V_d = \frac{P_d * L}{2} = \frac{30,78kN/m * 20m}{2} = 307,8kN$$

3.1.2 Materiaalitiedot Liimapuu GL32

Liimapuun sallitut lujuusarvot on esitetty liitteessä 1. Nämä arvot tulee kuitenkin muuttaa käyttö- ja aikaluokkaan sopiviksi kertoimella k_{mod} . Mitoitettaessa puurakenteita, puun lujuutta alennetaan kertoimella 1,3.

KÄYTTÖTILA 2

AIKALUOKKA Keskipitkä

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

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{32N/mm^2}{1,3} = 19,7N/mm^2$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{3,5N/mm^2}{1,3} = 2,15N/mm^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{6,0N/mm^2}{1,3} = 3,69N/mm^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{0,45N/mm^2}{1,3} = 0,28N/mm^2$$

$$E_{0,mean} = 13500N/mm^2$$

$$E_{0,05} = 10800N/mm^2$$

$$G_{mean} = 840N/mm^2$$

3.1.3 Mitoitus

3.1.3.1 Esimitoitus

Tässä työssä harjapalkin mitoitus on suoritettu valitsemalla palkille mitat ja tämän jälkeen laskemalla jännitykset tarvittavissa kohdissa. Toinen tapa olisi ratkaista dimensiot jännitysten funktioina. Mitoittava jännitys vaihtelee kuitenkin kuormitusten ja jännevälin mukaan, joten samat kohdat jouduttaisiin joka tapauksessa tarkistamaan. Palkin leveys valitaan saatavilla olevista vakioleveyksistä. Muuten harjapalkki valmistetaan asiakaskohtaisesti, joten korkeudet h_1 ja h_2 voidaan mitoittaa vapaasti, höyläyskalustosta johtuen kuitenkin yleensä korkeintaan kaksi metriä korkeaksi. Jännevälin maksimi voi olla valmistusteknisesti jopa 60 metriä.

Valitaan palkin leveys, $b = 215\text{mm}$

Palkin teoreettinen minimikorkeus voidaan laskea alla kaavan mukaisesti.

$$h_1 \geq \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot b \cdot f_{v,d}}$$

$$h_1 \geq \frac{3 \cdot 307,8 \cdot 10^3 \text{ N}}{2 \cdot 215\text{mm} \cdot 2,15 \text{ N/mm}^2} \geq 999\text{mm}$$

Palkin teoreettinen minimikorkeus voidaan johtaa ratkaisemalla leikkausjännityksen kaava korkeuden h_1 suhteen. Usein teoreettinen minimikorkeus on riittämätön ja korkeudeksi h_1 valitaan sitä suurempi arvo. Palkin todellinen mitoitus selviää kohdassa 3.1.3.2 Jännitykset.

Valitaan korkeudeksi $h_1=1200\text{mm}$.

Harjakorkeus h_2 saadaan laskemalla

$$h_2 = h_1 + \tan \alpha \cdot \frac{L}{2} = 1200\text{mm} + \frac{1}{16} \cdot \frac{20000\text{mm}}{2} = 1825\text{mm}$$

3.1.3.2 Jännitykset

3.1.3.2.1 Taivutusjännitys harjalla

Ratkaistaan kerroin k_l

$$k_l = k_1 = 1 + 1,4 * \tan \alpha + 5,4 * \tan^2 \alpha = 1 + 1,4 * \frac{1}{16} + 5,4 * \left(\frac{1}{16}\right)^2 = 1,109$$

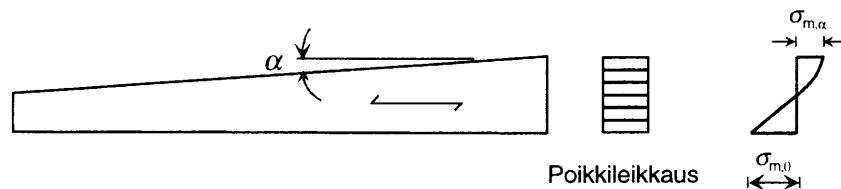
$$\delta_{m,\alpha,d} = k_l * \frac{6 * M_d}{b * h_2^2} = 1,109 * \frac{6 * 1539 * 10^6 \text{ Nmm}}{215 \text{ mm} * (1825 \text{ mm})^2} = 14,30 \text{ N / mm}^2$$

Tarkistetaan, että $\delta_{m,\alpha,d} \leq f_{m,d}$ (72,6%)

OK

3.1.3.2.2 Taivutusjännitys vaarallisimmalla poikkileikkauksella (vino reuna)

Taivutusjännitys kasvaa tuelta palkin puoliväliä lähestyessä, samoin harjapalkin korkeus ja kyky ottaa vastaan kyseinen jännitys. Määrävä taivutusjännityksen arvo suhteessa harjapalkin korkeuteen löytyy harjapalkin kolmasosapisteistä eli etäisyyden $L/3$ päässä tuesta. Taivutusjännitys jakautuu palkin poikkileikkauksessa kuvion 5 osoittamalla tavalla. Alla esitetyt taivutusjännityksen kaavat ovat voimassa, kun katon kaltevuus $\alpha \leq 10^\circ$.



KUVIO 7. Taivutusjännityksen jakautuminen harjapalkin vinolla reunalla (RIL 205-1997).

$$h_{määr} = \frac{h_1}{h_2} * \frac{L}{2} * \tan \alpha + h_1 = \frac{1200mm}{1825mm} * \frac{20000mm}{2} * \frac{1}{16} + 1200mm = 1611mm$$

$$\delta_{m,\alpha,d} = (1 - 4 * \tan^2 \alpha) * \frac{6 * M_d}{b * h_{määr}^2} = \left(1 - 4 * \left(\frac{1}{16}\right)^2\right) * \frac{6 * 1539 * 10^6 Nmm}{215mm * (1611mm)^2} = 16,29 N / mm^2$$

$$\alpha = 3,576^\circ$$

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$= \frac{19,7 N / mm^2}{\frac{19,7 N / mm^2}{3,67 N / mm^2} * (\sin(3,576))^2 + (\cos(3,576))^2} = 19,37 N / mm^2$$

Tarkistetaan, että $\delta_{m,\alpha,d} \leq f_{m,\alpha,d}$ (84,1 %)

OK

3.1.3.2.3 Taivutusjännitys (suora reuna)

Taivutusjännitys tarkastetaan myös harjapalkin alapinnassa eli palkin suoralla reunalla.

$$\delta_{m,0,d} = (1 + 4 * \tan^2 \alpha) * \frac{6 * M_d}{b * h_{määr}^2} = \left(1 + 4 * \left(\frac{1}{16}\right)^2\right) * \frac{6 * 1539 * 10^6 Nmm}{215mm * (1611mm)^2} = 16,81 N / mm^2$$

Saatu taivutusjännityksen arvoa verrataan sallittuun taivutusjännityksen arvoon $f_{m,d}$.

$\sigma_{m,0,d} < f_{m,d}$ (85,3 %) **OK**

3.1.3.2.4 Syitä vastaan kohtisuora vetojännitys harjavyöhykkeellä

Puun syitä vastaan kohtisuora lujuus on alhainen verrattuna syyn suuntaiseen lujuuteen. Tämän vuoksi tulee kohtisuora jännitys tarkistaa. Harjapalkeilla syitä vastaan kohtisuoraa vetojännitystä esiintyy harjavyöhykkeellä. Poikittainen vetolujuus riippuu suurimmaksi osaksi kuormitetun puutilavuuden suuruudesta eli kuormitustyyppistä ja rakenneosan geometriasta (Liimapuu Käsikirja 2003). Tästä syystä puun taivutuslujuuden arvoa on pienennettävä korjauskertoimella k_{vol} .

$$k_{vol} = k_{dis} \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}$$

jossa

k_{dis} = vakio, joka ottaa huomioon jännitys jakauman palkissa. Harjapalkilla 1,4.

V_0 = Vertailutilavuus (yleensä $0,01\text{m}^3$)

V = Harjavyöhykkeen tilavuus m^3

Kattokaltevuuden ollessa alle kymmenen astetta voidaan käyttää seuraavaa mitoitusehto:

$$\delta_{t,90,d} = k_p * \frac{6 * M_d}{b * h_2^2} \leq k_{vol} * f_{t,90,d}$$

jossa

k_p = kerroin, joka on harjapalkille $0,2 * \tan \alpha$

M_d = taivutusmomentti

b = harjapalkin leveys

h_2 = palkin harjakorkeus

Esimerkkihallissa tilavuuden korjauskertoimeksi k_{vol} saadaan:

$$k_{vol} = 1,4 \left(\frac{0,01m^3}{\left((1825mm)^2 * 215mm - \frac{(1825mm)^2 * 215mm * \frac{1}{16}}{2} \right) * 10^{-9}} \right)^{0,2} = 0,6$$

Tämän jälkeen voidaan laskea poikittaisvetojännitys ja tarkistaa, että jännitys pysyy sallitulla raja-alueella.

$$\delta_{t,90,d} = 0,2 * \frac{1}{16} * \frac{6 * 1539 * 10^6 Nmm}{215mm * (1825mm)^2} = 0,16N / mm^2$$

$$k_{vol} * f_{t,90,d} = 0,6 * 0,28N / mm^2 = 0,17N / mm^2$$

$$\delta_{t,90,d} < k_{vol} * f_{t,90,d} \quad (94,1 \%) \quad \mathbf{OK}$$

3.1.3.3 Taipuma

Tasaisesti kuormitetun symmetrisen harjapalkin vertailutaipuma voidaan laskea seuraavasti (Liimapuu Käsikirja 2003).

$$u_{ref} = \frac{5}{384} * \frac{q_{ref} * L^4}{E * I_e} + 0,35 * \frac{q_{ref} * L^2}{G * b * (h_1 + h_2)}$$

jossa

q_{ref} = vertailukuormitus 1,0 kN/m

L = harjapalkin jänneväli

$E_{0,mean}$ = kimmomoduli käyttötilassa

I_e = efektiivinen neliömomentti, joka lasketaan alla olevan kaavan mukaan

G_{mean} = liukumoduli käyttötilassa

Efektiivinen neliömomentti harjapalkille on (Liimapuu Käsikirja 2003).

$$I_e = \frac{b * (h_1 + 0,33 * L * \tan \alpha)^3}{12}$$

$$I_e = \frac{215\text{mm} * (1200\text{mm} + 0,33 * 20000 * (\frac{1}{16})^3)}{12} = 7,512 * 10^{10} \text{mm}^4$$

Vertailutaipumaksi u_{ref} saadaan:

$$u_{ref} = \frac{5}{384} * \frac{1,0\text{kN/m} * 20000^4}{13500\text{N/mm}^2 * 7,512 * 10^{10} \text{mm}^4} + 0,35 * \frac{1,0\text{kN/m} * 20000^2}{840\text{N/mm}^2 * 215\text{mm} * (1200\text{mm} + 1825\text{mm})} = 2,31\text{mm}$$

Vertailutaipuman avulla lasketaan harjapalkille pysyvän kuorman aiheuttama lopputaipuma ja muuttuvan kuorman aiheuttama lopputaipuma. Niiden summana saadaan palkin lopullinen taipuma. Kuormitusten aiheuttamien taipumien laskennassa otetaan huomioon kuormitusten aikaluokka. Käyttörajan kuormitukset $P_{k,pysyvä}$ ja $P_{k,keskipitkä}$ on esitetty kohdassa 3.1.1.1.

Pysyvän kuorman aiheuttama lopputaipuma:

Pysyvän kuorman k_{def} käyttöluokassa 2 on 0,8

$$u_1 = P_{k,pysyvä} * (1 + k_{def}) * u_{ref}$$

$$u_1 = 6,9 * (1 + 0,8) * 2,31\text{mm} = 28,7\text{mm}$$

Muuttuvan kuorman aiheuttama lopputaipuma:

Muuttuvan kuorman k_{def} käyttöluokassa 2 on 0,25

$$u_2 = P_{k,keskipitkä} * (1 + k_{def}) * u_{ref}$$

$$u_2 = 15 * (1 + 0,25) * 2,31\text{mm} = 43,3\text{mm}$$

Lopullinen taipuma:

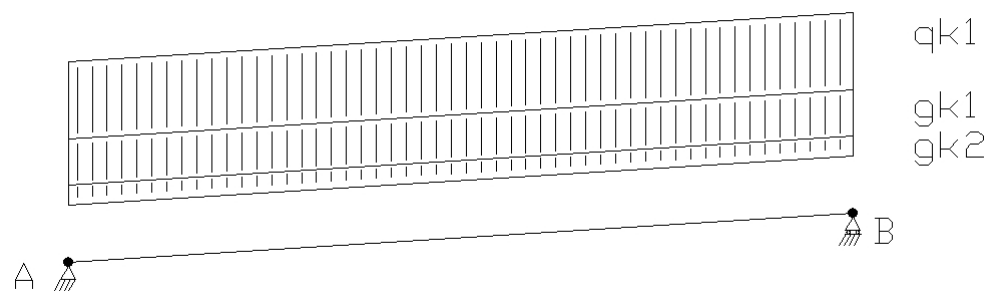
$$u_{net} = u_1 + u_2$$

$$u_{net} = 28,7\text{mm} + 43,3\text{mm} = 72,0\text{mm} \quad (72,0 \%) \quad \mathbf{OK}$$

Taipumaa verrataan sallittuun taipumaan, joka EC1:n mukaan on lopulliselle taipumalle kattorakenteissa $L/200 = 100\text{mm}$.

3.2 Päätypalkki

Rakennuksen päätyihin ei pienemmän kuormankantotarpeen vuoksi ole tarvetta sijoittaa harjapalkkeja vaan päätyihin mitoitetaan tasakorkuiset liimapuupalkit. Päätypalkkeja kuormittavat kattorakenteet, palkin omapaino sekä lumikuorma, mutta kuormitusleveys on vain puolet harjapalkeille jakautuvasta kuormasta. Myös päätypalkin omapaino on päätypalkilla pienempi kuin harjapalkilla.



KUVIO 8. Päätypalkin staattinen malli.

3.2.1 Päätypalkin kuormitukset

Päätypalkki kantaa puolet viimeisen pilarivälin lumikuormasta ja kattorakenteiden painosta. Lisäksi päätypalkin kannettavaksi tulee päätyräystäiden lumikuorma sekä rakenteiden paino. Yhteensä päätypalkin kuormitusleveys on neljä (4) metriä.

Päätypalkin paino 0,5 kN/m

Kattorakenteen paino 1,0 kN/m²

Lumikuorma 2,5 kN/m²

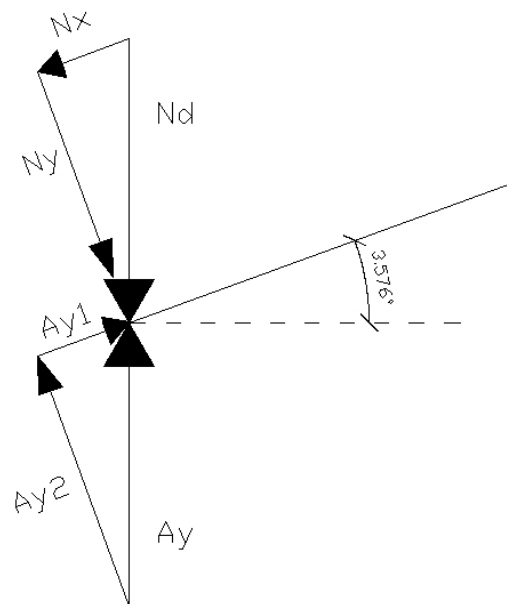
Yllämainittujen kuormitusten summana saadaan päätypalkille kohdistuva viiva-kuorma P_d .

$$P_d = 4m * (1,2 * 1,0kN / m^2 + 1,5 * 2,5kN / m^2) + 1,2 * 0,5kN / m = 20,4kN / m$$

Viivakuorman avulla saadaan päätypalkin tukireaktiot, jotka kuormittavat pääty- ja tuulipilaria.

$$N_d = \frac{P_d * L}{2} = \frac{20,4kN/m * 10m}{2} = 102,0kN$$

3.2.2 Päätypalkin mitoitus



KUVIO 9. Päätypalkin vasemman tuen vapaakappalekuvio.

Koska päätypalkki ei ole vaakatasossa, aiheuttaa palkkiin kohdistuva kuormitus siihen myös puristusjännitystä. Puristusjännitys on kuitenkin loivan kattokaltevuuden vuoksi niin pieni, ettei sitä tässä yhteydessä tarkisteta. Päätypalkin mitoitettava leikkausvoima Q_d on tukireaktion komponentti $Ay2$, kuten on esitetty kuviossa 9. Taivutusmomentti aiheutuu kuormituksesta P_d .

Valitaan palkin poikkileikkaukseksi $215 * 630\text{mm}^2$ ja tarkistetaan, että jännitykset pysyvät sallituissa rajoissa.

Leikkausvoima:

$$Q_d = Ay_2 = \cos 3,576^\circ * 102,0kN = 101,8kN$$

Leikkausjännitys:

$$\tau = 1,5 * \frac{Q_d}{A} = 1,5 * \frac{101,8kN}{215 * 630mm^2} = 1,13N / mm^2$$

Tarkistetaan ehto:

$$\tau < f_{v,d} (52,6 \%) \quad \mathbf{OK}$$

Taivutusmomentti:

$$M_t = \frac{q_d * L^2}{8} = \frac{20,4kN / m * (10m)^2}{8} = 255,0kNm$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_b = \frac{M_t}{W_t} = \frac{255,0 * 10^6 Nmm}{\frac{215 * 630^2}{6} mm^3} = 17,93N / mm^2$$

Tarkistetaan ehto:

$$\sigma_b < f_{m,d} (91,0 \%) \quad \mathbf{OK}$$

3.3 Sekundääripalkki

Sekundääripalkit muodostavat kattoelementtien rungon. Sekundääripalkit on tässä yhteydessä mitoitettu yksiaukkoisina palkkeina. Suurimmaksi osaksi kattoelementit on toteutettu kaksiaukkoisina. Osa elementeistä on kuuden metrin pituisia, jolloin rakenne on yksiaukkoinen. Yksiaukkoinen rakenne johtaa hieman epäedullisempaan rakenteeseen ja muodostaa siten mitoitettavan kuormitustapauksen. Sekundääripalkit valmistetaan Kerto-S palkeista.

3.3.1 Materiaalitiedot Kerto-S

Liimapuun sallitut lujuusarvot on esitetty liitteessä 1. Nämä arvot tulee kuitenkin muuttaa käyttö- ja aikaluokkaan sopiviksi kertoimella k_{mod} . Mitoitettaessa puurakenteita, puun lujuutta alennetaan kertoimella 1,3.

KÄYTTÖTILA 2

AIKALUOKKA Keskipitkä

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

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{50N/mm^2}{1,3} = 30,8N/mm^2$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{6,0N/mm^2}{1,3} = 3,7N/mm^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{7,0N/mm^2}{1,3} = 4,3N/mm^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} * \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{0,8N/mm^2}{1,3} = 0,5N/mm^2$$

$$E_{0,mean} = 13500N/mm^2$$

$$E_{0,05} = 12000N/mm^2$$

$$G_{mean} = 600N/mm^2$$

3.3.2 Sekundääripalkin kuormitukset

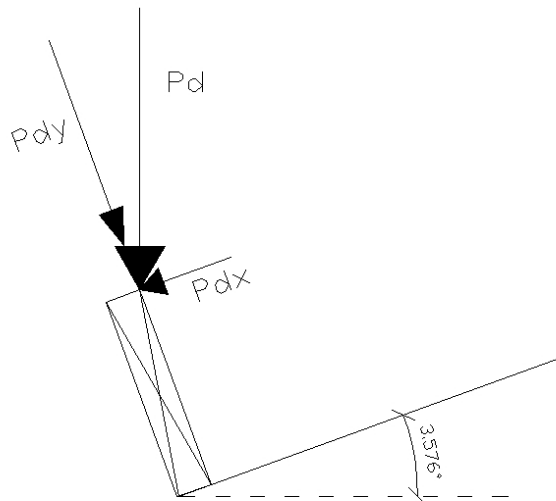
$L = 6000\text{mm}$

k600

Rakenteen omapaino $1,0 \text{ kN/m}^2$

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

$$P_d = 0,6\text{m} * (1,5 * 2,5\text{kN/m}^2 + 1,2 * 1,0\text{kN/m}^2) = 2,97\text{kN/m}$$



KUVIO 10. Sekundääripalkin kuormitus.

3.3.3 Sekundääripalkin mitoitus

Sekundääripalkkia taivutetaan syrjän ja lappeen suunnassa samanaikaisesti. Tästä syystä lasketaan P_{dx} :n ja P_{dy} :n aiheuttamat taivutusmomentit $M_{\cos\alpha}$ ja $M_{\sin\alpha}$.

$$M_{\cos\alpha} = \frac{P_d * \cos\alpha * L^2}{8} = \frac{2,97kN/m * \cos 3,576^\circ * (6m)^2}{8} = 13,34kNm$$

$$M_{\sin\alpha} = \frac{P_d * \sin\alpha * L^2}{8} = \frac{2,97kN/m * \sin 3,576^\circ * (6m)^2}{8} = 0,83kNm$$

Leikkausvoima:

$$Q_d = \frac{P_d * L}{2} = \frac{2,97kN/m * 6m}{2} = 8,91kN$$

Valitaan materiaaliksi kertopuu ja poikkileikkaukseksi $63 * 360mm^2$.

Taivutusjännitys:

$$\sigma_b = \frac{M_{\cos\alpha}}{b * h^2} + \frac{M_{\sin\alpha}}{h * b^2} = \frac{13,34 * 10^6 Nmm}{6 * 360^2 mm^3} + \frac{0,83 * 10^6 Nmm}{360 * 63^2 mm^3} = 13,29N/mm^2$$

Koska palkin korkeus h on alle 600 mm, voidaan sallittua taivutusjännitystä kasvattaa kertoimella k_h . Kertoimeksi k_h valitaan alla esitetyistä suurempi.

$$k_h = 1,15$$

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,2} = 1,11$$

Kerroin k_h saa siis arvon $k_h = 1,15$.

Tarkistetaan, että taivutusjännitys pysyy sallituissa rajoissa:

$$\sigma_b < k_h * f_{m,d} \text{ (37,6 \%)} \quad \mathbf{OK}$$

Sekundääripalkit estävät harjapalkkien kiepahduksen ja johtavat tästä aiheutuvat voimat päätyjen vanerijäykisteille. Jos sekundääripalkkeja ei olisi tuettu, tulisi ne mitoittaa nurjahdusta vastaan palkin suunnassa. Tässä rakennuksessa sekundääripalkkien päälle asennetaan kattopalkit, poikkileikkaukseltaan $48 * 123 \text{ mm}^2$. Ne muodostavat tuuletusraon ja reunoilla räystäät. Kattopalkit estävät sekundääripalkkien nurjahduksen, joten nurjahdusta ei sekundääripalkkien mitoituksessa tarvitse ottaa huomioon.

3.4 Pilarit

Teollisuushallin pilari mitoitetaan rakennuksen kehän suunnassa mastopilarina ja kehää vastaan kohtisuorassa suunnassa nivellettynä. Kehän suunnassa tuulikuorma jakautuu pääpilareille kuuden (6) metrin levyisenä. Rakennuksen pitkässä suunnassa tuulikuorma otetaan vastaan päädyn keskiosassa sijaitsevalla tuulipilarilla ja pääpilareiden väliin sijoitettavilla vetoteräksillä.

3.4.1 Kuormitukset

Tuulikuorma on esitetty EC1:ssä ja rakenteen mitoitusvaatimukset EC5:ssä. Tuulikuorma määräytyy rakennuksen sijainnin ja korkeuden mukaan. EC5:n mukaan tuulikuormia määritettäessä on myös sisäinen paine huomioitava (Leivo, Nupponen, Pitkänen 1997).

3.4.1.1 Lähtötiedot

Kehäväli $k = 6000\text{mm}$

Jänneväli $L = 20000\text{mm}$

Pilarin pituus $H = 5137\text{mm}$

Palkin korkeus $h_2 = 1825\text{mm}$

$P_a =$ Tuulikuorma

$P_b =$ Tuulen imun aiheuttama kuorma

$F_1 =$ Pistekuorma pilarin yläpäässä, jonka aiheuttaa tuulen paine palkin päähän

$F_2 =$ Pistekuorma pilarin yläpäässä, jonka aiheuttaa tuulen imu palkin päähän

$N_d =$ Harjapalkin tukireaktio

AIKALUOKKA: KESKIPITKÄ

KÄYTTÖLUOKKA: 2

Kattorakenteen paino $g_{k1} = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Harjapalkin omapaino $g_{k2} = 0,9 \text{ kN/m}$

Lumikuorma $q_{k1} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

3.4.1.2 Tuulikuorman määrittäminen

EC1 erottaa toisistaan manneralueet sekä ulkosaaret ja luodot. Suomessa tuulen vertailunopeus v_{ref} on manneralueilla 23 m/s ja ulkosaarilla sekä luodoilla 25 m/s. Tuulen nopeudet ovat kerran 50 vuodessa esiintyvien tuulen maksiminopeuksien 10 minuutin keskiarvoja. (Leivo ym. 1997). Tässä opinnäytetyössä esitetyn teollisuushallin oletetaan sijaitsevan manneralueella.

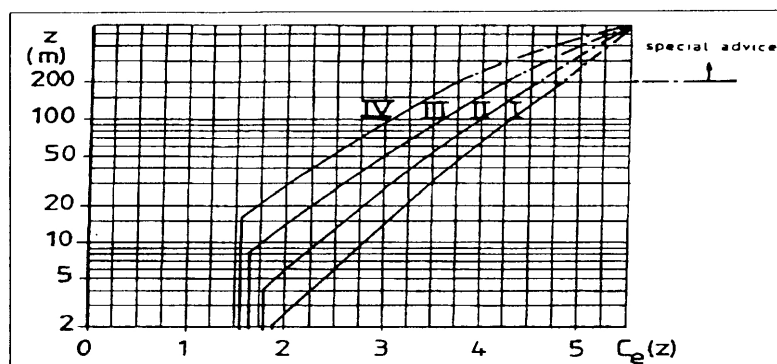
Tuulen aiheuttama paine voidaan laskea tuulen vertailunopeuden ja ilman tiheyden avulla seuraavasti:

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} * v_{ref}^2$$

jossa ρ on ilmantiheys (kg/m^3).

Ilman tiheyden arvolla $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ saadaan tuulen aiheuttamaksi paineeksi $q_{ref} = 0,33 \text{ kN/m}^2$.

Tuulen aiheuttamaa painetta käytetään vertailupaineena, jonka avulla lasketaan rakenteelle kohdistuva tuulikuorma. Tuulikuorman laskemiseksi on määritettävä altistuserroin $C_e(Z_e)$, joka on riippuvainen rakennuksen korkeudesta ja maastoluokasta. Altistuserroin voidaan tasamaalla määrittää kuviosta 11.

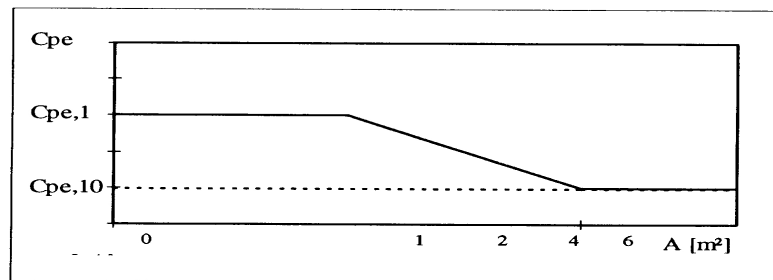


KUVIO 11. Altistuserroin $C_e(Z_e)$ tasamaalle maastoluokissa I-IV (Leivo ym. 1997).

Maastoluokassa III altistuskerroin $C_e(Z_e)$ on 1,63 rakennuksen korkeuden ollessa alle kahdeksan (8) metriä.

Altistuskertoimen lisäksi tuulikuorman määrittämiseen tarvitaan myös tuulen ulkoisen- ja sisäisen paineen kertoimet C_{pe} ja C_{pi} . Tuulikuorma aiheuttaa rakennuksen ulkopuolelle paineen tuulen puoleiselle seinälle ja imun suojan puoleiselle seinälle. Tästä syystä kerroin C_{pe} saa tuulen puolella positiivisen ja imun puolella negatiivisen arvon. Vastaavasti sisäinen paine aiheuttaa imun tuulen puoleiselle ja paineen suojan puoleiselle seinälle. Etumerkki sisäisen paineen kertoimella C_{pi} kuten edellä kertoimella C_{pe} .

Ulkoisen paineen kerroin C_{pe} on riippuvainen kuormitetun alueen koosta. Pinta-ala A on tuulta vastaan kohtisuoran kuormitusalueen pinta-ala. Kuormitetun alueen vaikutus on esitetty kuviossa 12.



KUVIO 12. Kuormitetun alueen vaikutus ulkoisen paineen kertoimeen C_{pe} .

Kuvion 11 avulla selvitetään, mitä osaa taulukosta 1 luetaan. Jos rakennuksen leveys suhteessa korkeuteen on välillä 1...4, interpoloidaan arvo edellä mainitun suhteen 1 ja 4 välistä.

TAULUKKO 1. Ulkoisen paineen kerroin C_{pe} suorakulmaisen rakennuksen seinille.

Alue d/h	Tuulepuoleinen sivu		Suojaipuoleinen sivu	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
<1	0,8	1,0	-0,3	
>4	0,6	1,0	-0,3	

Esimerkkihallin kuormitettu pinta-ala on yli 10 m², joten kertoimet saadaan sarakkeesta C_{pe,10}. Rakennuksen leveyden suhde korkeuteen (d/h) on 20m/8m = 2,5. Näin ollen kerroin tuulenpuoleiselle ulkoiselle paineelle lasketaan seuraavasti:

$$C_{pe} = 0,6 + 15 * \left(\frac{0,8 - 0,6}{30} \right) = 0,70$$

Väli 0,6...0,8 siis jaetaan 30 osan, jolloin d/h – suhteen tarkkuudeksi saadaan 0,1. Kymmenesosan tarkkuudella laskettuna (4-2,5)*10 = 15. 1/30 – osat lisätään 15-kertaisena arvoon 0,6, jolloin saadaan kerroin C_{pe} d/h-suhteella 2,5.

Suojanpuoleiselle sivulle kerroin C_{pe} = -0,3.

Seuraavaksi määritetään sisäisen paineen kertoimet C_{pi}. Kertoimet määritetään tässäkin tapauksessa rakennuksen tuulenpuoleiselle ja suojanpuoleiselle seinälle. Jos rakennuksessa on avonaisia aukkoja, voidaan kertoimet määrittää aukkosuhteen μ avulla seuraavasti: (Leivo ym. 1997)

$$\mu = \frac{\sum(\text{suojanpuoleisten ja tuulenpuoleisten aukkojen pinta-ala})}{\sum(\text{tuulenpuoleisten, suojanpuoleisten ja tuulensuuntaisten aukkojen ala})}$$

Jos rakennus on umpinainen ja sisältää väliseiniä ja avattavia ikkunoita, voidaan laskennassa käyttää sisäisen paineen kertoimen C_{pi} raja-arvoja 0,8 ja -0,5. Teollisuushallissa on yleensä suuria ovia, joista trukkien ja suurtenkin kuormien tulee mahtua. Yleensä ovia ei kuitenkaan pidetä auki öisin ja työaikanakin ne usein energian säästämiseksi pidetään suljettuina. Niinpä mitoitus tehdään varmempaan suuntaan käyttämällä sisäisen paineen kertoimen C_{pi} raja-arvoja.

Edellä esitettyjen tietojen pohjalta voidaan laskea tuulikuorma. Tuulikuorma lasketaan rakennuksen tuulen puoleiselle sekä suojan puoleiselle seinälle.

Tuulen paine:

$$C_{pe} = 0,70 \text{ (ulkoinen paine)}$$

$$C_{pi} = -0,5 \text{ (sisäinen paine)}$$

$$q_{k2} = q_{ref} * C_e(Z_e) * (C_{pe} - C_{pi}) = 0,33 \text{ kN/m}^2 * 1,63 * (0,70 - (-0,5)) = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

Tuulen imu:

$$C_{pe} = -0,3 \text{ (ulkoinen paine)}$$

$$C_{pi} = 0,8 \text{ (sisäinen paine)}$$

$$q_{k3} = q_{ref} * C_e(Z_e) * (C_{pe} - C_{pi}) = 0,33 \text{ kN/m}^2 * 1,63 * (-0,3 - 0,8) = -0,59 \text{ kN/m}^2$$

3.4.2 Pääpilarien kuormitus

Kuormitustapauksia on kolme ja niistä mitoittavaksi valitaan suurimman kuormituksen antava yhdistelmä. Kuormitustapauksia ovat: kova talvi, kova talvi + tuuli sekä talvi + kova tuuli. Kuormituksia laskettaessa käytetään varmuuskertoimia, jotka ovat pysyväälle kuormalle $\gamma_g = 1,2$ ja muuttuvalle kuormalle $\gamma_q = 1,5$.

Kova talvi (lumi 100 %)

$$P_d = k * (\gamma_g * g_{k1} + \gamma_q * q_{k1}) + \gamma_g * g_{k2}$$

$$= 6m * (1,2 * 1,0 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 2,5 \text{ kN/m}^2) + 1,2 * 0,9 \text{ kN/m} = 30,78 \text{ kN/m}$$

$$N_d = \frac{P_d * L}{2} = \frac{30,78 \text{ kN/m} * 20m}{2} = 307,8 \text{ kN}$$

Kova talvi + tuuli (lumi 100 % + tuuli 50 %)

$$P_d = 30,78 \text{ kN/m}$$

$$N_d = 307,8 \text{ kN}$$

$$F_{1,tuuli50\%} = k * \gamma_q * 0,5 * q_{k2} * h_2 = 6\text{m} * 1,5 * 0,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 * 1,825\text{m} = 5,3 \text{ kN}$$

$$F_{2,tuuli50\%} = k * \gamma_q * 0,5 * q_{k3} * h_2 = 6\text{m} * 1,5 * 0,5 * 0,59 \text{ kN/m}^2 * 1,825\text{m} = 4,8 \text{ kN}$$

$$P_{a,tuuli50\%} = k * \gamma_q * 0,5 * q_{k2} = 6\text{m} * 1,5 * 0,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 = 2,9 \text{ kN/m}$$

$$P_{b,tuuli50\%} = k * \gamma_q * 0,5 * q_{k3} = 6\text{m} * 1,5 * 0,5 * 0,59 \text{ kN/m}^2 = 2,7 \text{ kN/m}$$

$$M_{A,tuuli50\%} = -\frac{H^2}{16} * \left(5 * P_{a,tuuli50\%} + 3 * P_{b,tuuli50\%} + \frac{8 * (F_{1,tuuli50\%} + F_{2,tuuli50\%})}{H} \right)$$

$$M_{A,tuuli50\%} = -\frac{(5,137\text{m})^2}{16} * \left(5 * 2,9\text{kN/m} + 3 * 2,7\text{kN/m} + \frac{8 * (5,3\text{kN} + 4,8\text{kN})}{5,137\text{m}} \right)$$

$$= -63,2 \text{ kNm}$$

Talvi + kova tuuli (lumi 70 % + tuuli 100 %)

$$P_d = k * (\gamma_g * g_{k1} + \gamma_q * 0,7 * q_{k1}) + \gamma_g * g_{k2}$$

$$= 6\text{m} * (1,2 * 1,0 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 0,7 * 2,5 \text{ kN/m}^2) + 1,2 * 0,9 \text{ kN/m} = 24,03 \text{ kN/m}$$

$$N_d = \frac{P_d * L}{2} = \frac{24,03\text{kN/m} * 20\text{m}}{2} = 240,3\text{kN}$$

$$F_{1,tuuli100\%} = k * \gamma_q * q_{k2} * h_2 = 6\text{m} * 1,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 * 1,825\text{m} = 10,7 \text{ kN}$$

$$F_{2,tuuli100\%} = k * \gamma_q * q_{k3} * h_2 = 6m * 1,5 * 0,59 \text{ kN/m}^2 * 1,825m = 9,7 \text{ kN}$$

$$P_{a,tuuli100\%} = k * \gamma_q * q_{k2} = 6m * 1,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 = 5,85 \text{ kN/m}$$

$$P_{b,tuuli100\%} = k * \gamma_q * q_{k3} = 6m * 1,5 * 0,59 \text{ kN/m}^2 = 5,31 \text{ kN/m}$$

$$M_{A,tuuli100\%} = -\frac{H^2}{16} * \left(5 * P_{a,tuuli100\%} + 3 * P_{b,tuuli100\%} + \frac{8 * (F_{1,tuuli100\%} + F_{2,tuuli100\%})}{H} \right)$$

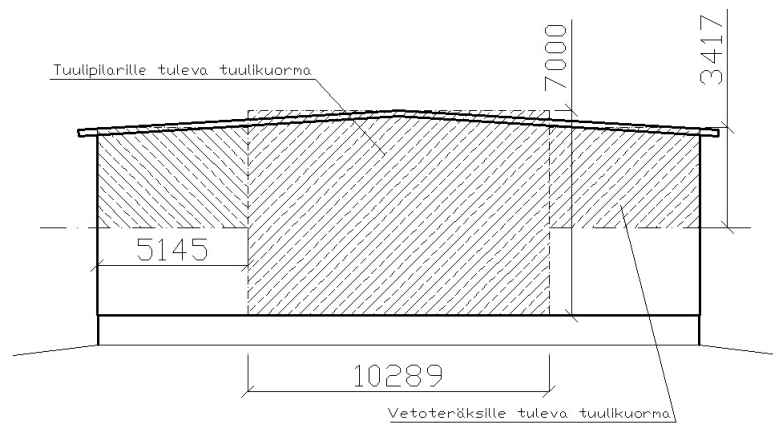
$$M_{A,tuuli50\%} = -\frac{(5,137m)^2}{16} * \left(5 * 5,85 \text{ kN/m} + 3 * 5,31 \text{ kN/m} + \frac{8 * (10,7 \text{ kN} + 9,7 \text{ kN})}{5,137m} \right)$$

$$= -126,9 \text{ kNm}$$

3.4.3 Tuulikuormitus rakennuksen pitkässä suunnassa

3.4.3.1 Tuulipilarin kuormitus

Tuulipilaria kuormittaa päätyseinään kohdistuva tuulikuorma. Kuormituksen lähtökohtina on käytetty samaa tuulen paineen kuormaa kuin pääpilarin mitoituksessa. Päädyssä tuulikuorma jakautuu kuvion 13 esittämällä tavalla.



KUVIO 13. Tuulikuorman jakautuminen tuulipilarille ja vetoteräksille rakennuksen päädyissä.

Tuulipilarille tuulikuormaa kertyy:

$$P_{a,\text{keski,tuuli100\%}} = k * \gamma_q * q_{k2} = 10\text{m} * 1,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 = 9,75 \text{ kN/m}$$

Tuulipilarille kohdistuvat myös päätypalkkien tukireaktiot, jotka käytännössä ovat puolet päätyjen lumi- ja kattorakenteiden kuormasta. Toinen puoli näistä kuormista johtuu päätypilareille PP1. Tuulipilari mitoitetaan tarkastamalla samat kolme kuormitusyhdistelmää kuin edellä esitettyssä pääpilarin mitoituksessa.

Lumi- ja kattokuormien kuormitusalue päätypalkeille P1 on puolet välistä HP1 – P1 ja päätyräystäät. Yhteensä tämän kuormitusalueen leveys on neljä (4) metriä. Tuulipilarin kuormituksia määritettäessä on tämä neljä (4) metriä esitetty koolausjaon (k) arvona. Rakennuksen jänneväli on 20 m ja puolet tämän matkan kuormi-

tuksista jakautuu tuulipilarin kannettavaksi. Päätypalkin omana painona on las-
kuissa käytetty arvoa 0,5 kN/m.

Kova talvi (lumi 100 %)

$$P_d = k * (\gamma_g * g_{k1} + \gamma_q * q_{k1}) + \gamma_g * g_{k3}$$

$$= 4m * (1,2 * 1,0 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 2,5 \text{ kN/m}^2) + 1,2 * 0,5 \text{ kN/m} = 20,4 \text{ kN/m}$$

$$N_d = \frac{P_d * L}{2} = \frac{20,4 \text{ kN/m} * 20 \text{ m}}{2} = 204,0 \text{ kN}$$

Kova talvi + tuuli (lumi 100 % + tuuli 50 %)

$$N_d = 204,0 \text{ kN}$$

$$P_{a,keski,tuuli50\%} = \frac{P_{a,keski,tuuli100\%}}{2} = \frac{9,75 \text{ kN/m}}{2} = 4,88 \text{ kN/m}$$

$$M_{A,2,tuuli50\%} = -\frac{H_2^2}{16} * (5 * P_{a,keski,tuuli50\%})$$

$$M_{A,2,tuuli50\%} = -\frac{(8 \text{ m})^2}{16} * (5 * 4,88 \text{ kN/m})$$

$$= -97,6 \text{ kNm}$$

Talvi + kova tuuli (lumi 70 % + tuuli 100 %)

$$P_d = k * (\gamma_g * g_{k1} + \gamma_q * 0,7 * q_{k1}) + \gamma_g * g_{k3}$$

$$= 4m * (1,2 * 1,0 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 0,7 * 2,5 \text{ kN/m}^2) + 1,2 * 0,5 \text{ kN/m} = 15,9 \text{ kN/m}$$

$$N_d = \frac{P_d * L}{2} = \frac{15,9 \text{ kN/m} * 20 \text{ m}}{2} = 159,0 \text{ kN}$$

$$P_{a,keski,tuuli100\%} = k * \gamma_q * q_{k2} = 10 \text{ m} * 1,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 = 9,75 \text{ kN/m}$$

$$M_{A,2,tuuli100\%} = -\frac{H_2^2}{16} * (5 * P_{a,keski,tuuli100\%})$$

$$M_{A,2,tuuli100\%} = -\frac{(8 \text{ m})^2}{16} * (5 * 9,75 \text{ kN/m})$$

$$= -195,0 \text{ kNm}$$

3.4.3.2 Vetoteräksille kohdistuva kuormitus

Rakennuksen päädyn tuulikuorma otetaan vastaan osittain pilareiden väliin sijoitettavilla vetoteräksillä. Vetoteräksille tuleva kuormitus on esitetty kuviossa 13.

$$P_{a,reuna,tuuli100\%} = k * \gamma_q * q_{k2} = 5 \text{ m} * 1,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 = 4,9 \text{ kN/m}$$

$$F_{d,paaty,1} = \frac{P_{a,reuna,tuuli100\%} * H_2}{2} = \frac{4,9 \text{ kN/m} * 7,0 \text{ m}}{2} = 17,15 \text{ kN}$$

3.4.4 Päätypilarin kuormitus

Päätypilaria kuormittaa päätypalkin P1 tukireaktio N_d . Tuulen neliökuorma on sama kuin pääpilareilla, mutta kuormitusala on vain puolet pääpilareille kohdistuvasta kuormitusalueesta. Päätypilarin pituus $L_p = 6097 \text{ mm}$.

Kova talvi (lumi 100 %)

$$N_d = 102,0 \text{ kN}$$

Kova talvi + tuuli (lumi 100 % + tuuli 50 %)

$$N_d = 102,0 \text{ kN}$$

$$P_{a,tuuli50\%} = k * \gamma_q * 0,5 * q_{k2} = 3\text{m} * 1,5 * 0,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 = 1,46 \text{ kN/m}$$

$$P_{b,tuuli50\%} = k * \gamma_q * 0,5 * q_{k3} = 3\text{m} * 1,5 * 0,5 * 0,59 \text{ kN/m}^2 = 1,33 \text{ kN/m}$$

$$M_{A,tuuli50\%} = -\frac{L_p^2}{16} * (5 * P_{a,tuuli50\%} + 3 * P_{b,tuuli50\%})$$

$$M_{A,tuuli50\%} = -\frac{(6,097\text{m})^2}{16} * (5 * 1,46\text{kN/m} + 3 * 1,33\text{kN/m})$$

$$= -26,2 \text{ kNm}$$

Talvi + kova tuuli (lumi 70 % + tuuli 100 %)

$$P_d = k * (\gamma_g * g_{k1} + \gamma_q * 0,7 * q_{k1}) + \gamma_g * g_{k2}$$

$$= 4\text{m} * (1,2 * 1,0 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 0,7 * 2,5 \text{ kN/m}^2) + 1,2 * 0,5 \text{ kN/m} = 15,9 \text{ kN/m}$$

$$N_d = \frac{P_d * L}{2} = \frac{15,9\text{kN/m} * 10\text{m}}{2} = 79,5\text{kN}$$

$$P_{a,tuuli100\%} = k * \gamma_q * q_{k2} = 3\text{m} * 1,5 * 0,65 \text{ kN/m}^2 = 2,93 \text{ kN/m}$$

$$P_{b,tuuli100\%} = k * \gamma_q * q_{k3} = 3\text{m} * 1,5 * 0,59 \text{ kN/m}^2 = 2,66 \text{ kN/m}$$

$$M_{A,tuuli100\%} = -\frac{L_p^2}{16} * (5 * P_{a,tuuli100\%} + 3 * P_{b,tuuli100\%})$$

$$M_{A,tuuli100\%} = -\frac{(6,097m)^2}{16} * (5 * 2,93kN/m + 3 * 2,66kN/m)$$

$$= -52,6 \text{ kNm}$$

3.4.5 Pääpilarin mitoitus

Pilarin materiaali on sama kuin harjapalkilla, liimapuu GL32. Materiaalin lujuusarvot on esitetty kohdassa 3.1.2. EC5:n mukaan pilarin nurjahduskerroin on riippuvainen pilarin materiaalista ja lujuusluokasta. Pilari tarkastetaan nurjahdusta vastaan molempiin suuntiin samanaikaisesti (Leivo ym. 1997).

AIKALUOKKA: KESKIPITKÄ

KÄYTTÖLUOKKA: 2

Valitaan pilarin leveydeksi sama kuin harjapalkilla, $b_1 = 215 \text{ mm}$. Pilarin toiseksi leveydeksi valitaan $b_2 = 495 \text{ mm}$.

Pilaria tarkastellaan puristettuna sauvana ja laskelmia varten tulee määrittää puristussauvan nurjahduspituus L_c . Puristussauvan nurjahduspituus on riippuvainen puristetun sauvan kiinnitystavasta taulukon 2 mukaisesti. Lisäksi otetaan huomioon jännitykset, jotka aiheutuvat pilarin alkukieroudesta ja taipumista sekä epäkeskisyydestä (Leivo ym 1997). Käytännössä materiaalin sallittua puristusjännitystä alennetaan nurjahduskertoimella k_c .

TAULUKKO 2. Puristussauvan nurjahduspituus L_c .

Tuentatapa	L_c
Sauva on jäykästi kiinnitetty molemmista päistä	$0,7 \cdot H$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästä ja toisesta nivelletty	$0,85 \cdot H$
Sauva on nivelöity molemmista päistä	$1,0 \cdot H$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästä ja toisesta päästä suunnalleen muttei asemalleen	$1,5 \cdot H$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästä ja toisesta päästä vapaa	$2,5 \cdot H$

Mitoitus vahvempaan suuntaan

Pilarit mitoitetaan kehän suunnassa mastopilareina, jolloin pilarin alapää on jäykästi kiinnitetty perustuksiin, mutta yläpää on nivelöity. Puristussauvan pituus L_c on näinä ollen $2,5 \cdot 5,137 \text{ m} = 12,84 \text{ m}$.

Määritetään pilarin suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel,y}$:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

jossa

$$\lambda_y = \frac{L_c}{0,289 \cdot b_2} = \frac{12840 \text{ mm}}{0,289 \cdot 495 \text{ mm}} = 89,76$$

joten suhteelliseksi hoikkuudeksi y-suunnassa saadaan:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{89,76}{\pi} \sqrt{\frac{29 \text{ N/mm}^2}{10800 \text{ N/mm}^2}} = 1,48$$

Seuraavaksi määritetään kerroin $k_{c,y}$. Kertoimella $k_{c,y}$ pienennetään sallittua puristusjännitystä, jottei nurjahdusta pääse tapahtumaan. Kerrointa $k_{c,y}$ varten tulee kuitenkin ensin laskea kerroin k_y :

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2)$$

jossa liimapuulla $\beta_c = 0,1$

$$k_y = 0,5 * (1 + 0,1 * (1,48 - 0,5) + 1,48^2) = 1,64$$

Tämän jälkeen saadaan laskettua kerroin $k_{c,y}$:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,64 + \sqrt{1,64^2 - 1,48^2}} = 0,43$$

Mitoitus heikompaan suuntaan

Pilarit mitoitetaan rakennuksen pitkässä suunnassa nivellettyinä. Nurjahduspituudeksi saadaan tällöin taulukon 2 mukaan $L_c = H = 5,137$ m.

Pilarin mitoitusta varten lasketaan suhteellinen hoikkuus ja kerroin $k_{c,z}$. Laskenta tapahtuu z-suuntaan.

$$\lambda_z = \frac{L_c}{0,289 * b_1} = \frac{5137mm}{0,289 * 215mm} = 82,67$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{82,67}{\pi} \sqrt{\frac{29N/mm^2}{10800N/mm^2}} = 1,36$$

Kerrointa $k_{c,z}$ varten lasketaan kerroin k_z :

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 * (1 + 0,1 * (1,36 - 0,5) + 1,36^2) = 1,47$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,47 + \sqrt{1,47^2 - 1,36^2}} = 0,49$$

Kuormitusyhdistelmät

Pilari tarkistetaan kohdassa 3.4.2 mainittujen kuormitusyhdistelmien vallitessa.

Pilarin tulee kestää jokaisen kuormitusyhdistelmän antama kuormitus.

Kova talvi (KESKIPITKÄ)

Kova talvi sisältää vain täyden lumikuorman. Tästä syystä lasketaan vain pilarin puristusjännitys syynsuunnassa.

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b_1 * b_2} = \frac{307,8 * 10^3 N}{215 mm * 495 mm} = 2,89 N / mm^2$$

Saatu puristusjännitystä verrataan kertoimella $k_{c,y}$ alennettuun sallittuun puristusjännitykseen $f_{c,0,d}$. Tarkastetaan ehto:

$$\sigma_{c,0,d} < k_{c,y} * f_{c,0,d}$$

$$2,89 N/mm^2 < 0,43 * 17,8 N/mm^2 \quad (37,8 \%) \quad \mathbf{OK}$$

Heikommassa suunnassa puristusjännitys on sama kuin vahvemmassa suunnassa. Heikomman suunnan nurjahduksen huomioiva alennuskerroin $k_{c,z}$ on suurempi kuin vahvemman suunnan $k_{c,y}$, pilarin erilaisesta kiinnitystavasta johtuen. Nurjahduspituus L_c heikommassa suunnassa on vain 1/2,5 vahvemman suunnan nurjah-

duspuiteudesta. Tästä syystä ei nurjahdusta heikommassa suunnassa tarvitse tämän kuormitusyhdistelmän kohdalla tarkistaa.

Kova talvi + tuuli (LYHYTAIKAINEN)

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = 2,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{b,y} = \frac{M_{A,tuuli50\%}}{\frac{b_1 * b_2^2}{6}} = \frac{63,2 * 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{215 * 495^2}{6} \text{ mm}^3} = 7,20 \text{ N/mm}^2$$

Koska kohdassa 3.1.2 esitetyt liimapuun lujuusarvot on laskettu aikaluokassa keskipitkä, täytyy ne tässä tapauksessa muuntaa aikaluokkaan lyhytaikainen. Aika- ja käyttöluokan kerroin k_{mod} on aikaluokassa keskipitkä 0,8 ja aikaluokassa lyhytaikainen 0,9. Sallittuja lujuusarvoja korotetaan täten kertoimella:

$$\frac{0,9}{0,8} = 1,125$$

Lasketaan sallitut puristus- ja taivutuslujuuksien arvot:

$$f_{c,0,y,d} = k_{c,y} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,43 * 17,8 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 8,61 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = f_{m,d} * 1,125 = 19,7 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 22,2 \text{ N/mm}^2$$

Heikompi suunta

$$\sigma_{c,0,z,d} = 2,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0 \quad (\text{Tuulesta ei aiheudu momenttia heikompaan suuntaan})$$

Lasketaan sallittu puristusjännitys:

$$f_{c,0,z,d} = k_{c,z} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,49 * 17,8 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 9,81 \text{ N/mm}^2$$

Pilarin mitoittamista varten tarvitaan vielä kerroin k_m , joka on riippuvainen poikkileikkauksen muodosta. Kerroin k_m on suorakulmaiselle poikkileikkaukselle 0,7 ja muille 1,0.

Seuraavista ehdoista ankarin on mitoittava:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{c,0,z,d}}{f_{c,0,z,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m * \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,52 \leq 1 \\ \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,66 \leq 1 \end{array} \right. \quad \text{OK}$$

Talvi + kova tuuli (LYHYTAIKAINEN)

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b_1 * b_2} = \frac{240,3 * 10^3 \text{ N}}{215 \text{ mm} * 495 \text{ mm}} = 2,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{b,y} = \frac{M_{A,tuuli100\%}}{\frac{b_1 * b_2^2}{6}} = \frac{126,9 * 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{215 * 495^2}{6} \text{ mm}^3} = 14,45 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan sallitut jännitykset kyseisessä aikaluokassa:

$$f_{c,0,y,d} = k_{c,y} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,43 * 17,8 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 8,61 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = f_{m,d} * 1,125 = 19,7 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 22,2 \text{ N/mm}^2$$

Heikompi suunta

$$\sigma_{c,0,z,d} = 2,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0$$

Sallittu puristusjännitys:

$$f_{c,0,z,d} = k_{c,z} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,49 * 17,8 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 9,81 \text{ N/mm}^2$$

Seuraavista ehdoista ankarin on mitoittava:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{c,0,z,d}}{f_{c,0,z,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m * \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,67 \leq 1 \\ \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,91 \leq 1 \end{array} \right. \quad \text{OK}$$

3.4.6 Tuulipilarin mitoitus

Tuulipilari mitoitetaan kuten pääpilaritkin; tuulikuormaa vastaan mastopilarina ja tässä tapauksessa kehän suuntaan molemmista päistään nivellettynä. Tuulipilarin mitoiksi valitaan $b_1 = 215 \text{ mm}$ ja $b_2 = 630 \text{ mm}$.

Mitoitus vahvempaan suuntaan

Puristussauvan nurjahduspituus $L_c = 2,5 * 8 \text{ m} = 20,0 \text{ m}$.

Määritetään pilarin suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel,y}$:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

jossa

$$\lambda_y = \frac{L_c}{0,289 * b_2} = \frac{20000mm}{0,289 * 630mm} = 109,8$$

joten suhteelliseksi hoikkuudeksi y-suunnassa saadaan:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{109,8}{\pi} \sqrt{\frac{29N/mm^2}{10800N/mm^2}} = 1,81$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2)$$

jossa liimapuulla $\beta_c = 0,1$

$$k_y = 0,5 * (1 + 0,1 * (1,81 - 0,5) + 1,81^2) = 2,20$$

Tämän jälkeen saadaan laskettua kerroin $k_{c,y}$:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,20 + \sqrt{2,20^2 - 1,81^2}} = 0,29$$

Mitoitus heikompaan suuntaan

Pilari mitoitetaan rakennuksen kehän suunnassa nivellettynä. Näin ollen nurjahduspituudeksi saadaan taulukon 2 mukaan $L_c = H = 8$ m.

Pilarin mitoitusta varten lasketaan suhteellinen hoikkuus ja kerroin $k_{c,z}$. Laskenta tapahtuu z-suuntaan.

$$\lambda_z = \frac{L_c}{0,289 * b_1} = \frac{8000mm}{0,289 * 215mm} = 128,8$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{128,8}{\pi} \sqrt{\frac{29N/mm^2}{10800N/mm^2}} = 2,12$$

Kerrointa $k_{c,z}$ varten lasketaan kerroin k_z :

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 * (1 + 0,1 * (2,12 - 0,5) + 2,12^2) = 2,83$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,83 + \sqrt{2,83^2 - 2,12^2}} = 0,21$$

Kuormitusyhdistelmät

Pilari tarkistetaan kohdassa 3.4.2 mainittujen kuormitusyhdistelmien vallitessa.

Pilarin tulee kestää jokaisen kuormitusyhdistelmän antama kuormitus.

Kova talvi (KESKIPITKÄ)

Kova talvi sisältää vain täyden lumikuorman. Tästä syystä lasketaan vain pilarin puristusjännitys syynsuunnassa. Puristusjännitys tarkistetaan vain vahvemmassa suunnassa pilarin kiinnitystapojen vuoksi. Perustelut on esitetty edellä pääpilarin mitoituksen yhteydessä.

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b_1 * b_2} = \frac{204,0 * 10^3 N}{215 mm * 630 mm} = 1,51 N / mm^2$$

Saatus puristusjännitystä verrataan kertoimella $k_{c,y}$ alennettuun sallittuun puristusjännitykseen $f_{c,0,d}$. Tarkastetaan ehto:

$$\sigma_{c,0,d} < k_{c,y} * f_{c,0,d}$$

$$1,51 N/mm^2 < 0,29 * 17,8 N/mm^2 \quad (29,3 \%) \quad \mathbf{OK}$$

Kova talvi + tuuli (LYHYTAIKAINEN)

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = 1,51 N/mm^2$$

$$\sigma_{b,y} = \frac{M_{A,2,tuuli50\%}}{\frac{b_1 * b_2^2}{6}} = \frac{97,6 * 10^6 Nmm}{\frac{215 * 630^2}{6} mm^3} = 6,86 N / mm^2$$

Koska kohdassa 3.1.2 esitetyt liimapuun lujuusarvot on laskettu aikaluokassa keskipitkä, täytyy ne tässä tapauksessa muuntaa aikaluokkaan lyhytaikainen. Aika- ja käyttöluokan kerroin k_{mod} on aikaluokassa keskipitkä 0,8 ja aikaluokassa lyhytaikainen 0,9. Sallittuja lujuusarvoja korotetaan täten kertoimella:

$$\frac{0,9}{0,8} = 1,125$$

Lasketaan sallitut puristus- ja taivutuslujuuksien arvot:

$$f_{c,0,y,d} = k_{c,y} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,29 * 17,8 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 5,81 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = f_{m,d} * 1,125 = 19,7 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 22,2 \text{ N/mm}^2$$

Heikompi suunta

$$\sigma_{c,0,z,d} = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0 \quad (\text{Tuulesta ei aiheudu momenttia heikompaan suuntaan})$$

Lasketaan sallittu puristusjännitys:

$$f_{c,0,z,d} = k_{c,z} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,21 * 17,8 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 4,21 \text{ N/mm}^2$$

Pilarin mitoittamista varten tarvitaan vielä kerroin k_m , joka on riippuvainen poikkileikkauksen muodosta. Kerroin k_m on suorakulmaiselle poikkileikkaukselle 0,7 ja muille 1,0.

Seuraavista ehdoista ankarin on mitoittava:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{c,0,z,d}}{f_{c,0,z,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m * \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,57 \leq 1 \\ \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,57 \leq 1 \end{array} \right. \quad \text{OK}$$

Talvi + kova tuuli (LYHYTAIKAINEN)

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b_1 * b_2} = \frac{159,0 * 10^3 N}{215 mm * 630 mm} = 1,17 N / mm^2$$

$$\sigma_{b,y} = \frac{M_{A,2,tuuli100\%}}{\frac{b_1 * b_2^2}{6}} = \frac{195,0 * 10^6 Nmm}{\frac{215 * 630^2}{6} mm^3} = 13,71 N / mm^2$$

Lasketaan sallitut jännitykset kyseisessä aikaluokassa:

$$f_{c,0,y,d} = k_{c,y} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,29 * 17,8 N/mm^2 * 1,125 = 5,81 N/mm^2$$

$$f_{m,y,d} = f_{m,d} * 1,125 = 19,7 N/mm^2 * 1,125 = 22,2 N/mm^2$$

Heikompi suunta

$$\sigma_{c,0,z,d} = 1,17 N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0$$

Sallittu puristusjännitys:

$$f_{c,0,z,d} = k_{c,z} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,21 * 17,8 N/mm^2 * 1,125 = 4,21 N/mm^2$$

Seuraavista ehdoista ankarin on mitoittava:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{c,0,z,d}}{f_{c,0,z,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m * \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,71 \leq 1 \\ \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,82 \leq 1 \end{array} \right. \quad \text{OK}$$

3.4.7 Pääty Pilarin mitoitus

Pääty Pilarin mitoitus tehdään kehan suunnassa mastopilarina ja kehua vastaan kohdistuessa suunnassa molemmista päistään nivellettyinä. Pääty Pilarin yläpuolella katon jäykisteet ottavat rakenteeseen kohdistuvat tuulikuormat ja johtavat ne tuulipilarille ja vetoteräksille. Tästä syystä päätyseinän tuulikuormia ei oteta pääty Pilarin mitoituksessa huomioon. Pääty Pilarin mitoiksi valitaan $b_1 = 215 \text{ mm}$ ja $b_2 = 360 \text{ mm}$.

Mitoitus vahvempaan suuntaan

Puristussauvan nurjahduspituus $L_c = 2,5 * 6,097 \text{ m} = 15,2 \text{ m}$.

Määritetään pilarin suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel,y}$:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

jossa

$$\lambda_y = \frac{L_c}{0,289 * b_2} = \frac{15200 \text{ mm}}{0,289 * 360 \text{ mm}} = 146,1$$

joten suhteelliseksi hoikkuudeksi y-suunnassa saadaan:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{146,1}{\pi} \sqrt{\frac{29 \text{ N/mm}^2}{10800 \text{ N/mm}^2}} = 2,41$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2)$$

jossa liimapuulla $\beta_c = 0,1$

$$k_y = 0,5 * (1 + 0,1 * (2,41 - 0,5) + 2,41^2) = 3,5$$

Tämän jälkeen saadaan laskettua kerroin $k_{c,y}$:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,5 + \sqrt{3,5^2 - 2,41^2}} = 0,166$$

Mitoitus heikompaan suuntaan

Pilari mitoitetaan rakennuksen kehän suunnassa nivellettynä. Näin ollen nurjahduspituudeksi saadaan taulukon 2 mukaisesti $L_c = L_p = 6,097$ m.

Pilarin mitoitusta varten lasketaan suhteellinen hoikkuus ja kerroin $k_{c,z}$. Laskenta tapahtuu z-suuntaan.

$$\lambda_z = \frac{L_c}{0,289 * b_1} = \frac{6097mm}{0,289 * 215mm} = 98,13$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{98,13}{\pi} \sqrt{\frac{29N/mm^2}{10800N/mm^2}} = 1,62$$

Kerrointa $k_{c,z}$ varten lasketaan kerroin k_z :

$$k_z = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$k_z = 0,5 * (1 + 0,1 * (1,62 - 0,5) + 1,62^2) = 1,87$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,87 + \sqrt{1,87^2 - 1,62^2}} = 0,357$$

Kuormitusyhdistelmät

Pilari tarkistetaan kohdassa 3.4.2 mainittujen kuormitusyhdistelmien vallitessa. Pilarin tulee kestää jokaisen kuormitusyhdistelmän antama kuormitus.

Kova talvi (KESKIPITKÄ)

Kova talvi sisältää vain täyden lumikuorman. Tästä syystä lasketaan vain pilarin puristusjäännitys syynsuunnassa. Puristusjäännitys tarkistetaan vain vahvemmassa suunnassa pilarin kiinnitystapojen vuoksi. Perustelut on esitetty edellä pääpilarin mitoituksen yhteydessä.

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b_1 * b_2} = \frac{102,0 * 10^3 N}{215mm * 360mm} = 1,32 N / mm^2$$

Saatu puristusjäännitystä verrataan kertoimella $k_{c,y}$ alennettuun sallittuun puristusjäännitykseen $f_{c,0,d}$. Tarkastetaan ehto:

$$\sigma_{c,0,d} < k_{c,y} * f_{c,0,d}$$

$$1,32 N/mm^2 < 0,166 * 17,8 N/mm^2 \quad (44,7 \%) \quad \mathbf{OK}$$

Kova talvi + tuuli (LYHYTAIKAINEN)

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = 1,32 N/mm^2$$

$$\sigma_{b,y} = \frac{M_{A,2,tuuli50\%}}{\frac{b_1 * b_2^2}{6}} = \frac{26,2 * 10^6 Nmm}{\frac{215 * 360^2}{6} mm^3} = 5,64 N / mm^2$$

Koska kohdassa 3.1.2 esitetyt liimapuun lujuusarvot on laskettu aikaluokassa keskipitkä, täytyy ne tässä tapauksessa muuntaa aikaluokkaan lyhytaikainen. Aika- ja käyttöluokan kerroin k_{mod} on aikaluokassa keskipitkä 0,8 ja aikaluokassa lyhytaikainen 0,9. Sallittuja lujuusarvoja korotetaan täten kertoimella:

$$\frac{0,9}{0,8} = 1,125$$

Lasketaan sallitut puristus- ja taivutuslujuuksien arvot:

$$f_{c,0,y,d} = k_{c,y} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,166 * 17,8 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 3,32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = f_{m,d} * 1,125 = 19,7 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 22,2 \text{ N/mm}^2$$

Heikompi suunta

$$\sigma_{c,0,z,d} = 1,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0 \quad (\text{Tuulesta ei aiheudu momenttia heikompaan suuntaan})$$

Lasketaan sallittu puristusjännitys:

$$f_{c,0,z,d} = k_{c,z} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,357 * 17,8 \text{ N/mm}^2 * 1,125 = 7,15 \text{ N/mm}^2$$

Pilarin mitoittamista varten tarvitaan vielä kerroin k_m , joka on riippuvainen poikkileikkauksen muodosta. Kerroin k_m on suorakulmaiselle poikkileikkaukselle 0,7 ja muille 1,0.

Seuraavista ehdoista ankarin on mitoitettava:

$$\begin{cases} \frac{\sigma_{c,0,z,d}}{f_{c,0,z,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m * \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,36 \leq 1 \\ \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,65 \leq 1 \end{cases} \quad \text{OK}$$

Talvi + kova tuuli (LYHYTAIKAINEN)

Vahvempi suunta

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b_1 * b_2} = \frac{79,5 * 10^3 N}{215 mm * 360 mm} = 1,027 N / mm^2$$

$$\sigma_{b,y} = \frac{M_{A,2,tuuli100\%}}{\frac{b_1 * b_2^2}{6}} = \frac{52,6 * 10^6 Nmm}{\frac{215 * 360^2}{6} mm^3} = 11,33 N / mm^2$$

Lasketaan sallitut jännitykset kyseisessä aikaluokassa:

$$f_{c,0,y,d} = k_{c,y} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,166 * 17,8 N/mm^2 * 1,125 = 3,32 N/mm^2$$

$$f_{m,y,d} = f_{m,d} * 1,125 = 19,7 N/mm^2 * 1,125 = 22,2 N/mm^2$$

Heikompi suunta

$$\sigma_{c,0,z,d} = 1,027 N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = 0$$

Sallittu puristusjännitys:

$$f_{c,0,z,d} = k_{c,z} * f_{c,0,d} * 1,125 = 0,357 * 17,8 N/mm^2 * 1,125 = 7,15 N/mm^2$$

Seuraavista ehdoista ankarin on mitoitettava:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\sigma_{c,0,z,d}}{f_{c,0,z,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m * \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,50 \leq 1 \\ \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{b,y}}{f_{m,y,d}} = 0,82 \leq 1 \end{array} \right. \quad \text{OK}$$

3.5 Jäykistys

3.5.1 Seinärakenteiden jäykistys

Kehän suunnassa jäykistys on hoidettu mastopilareina. Pääpilareiden mitoitus on käsitelty kohdassa 3.4.5. Rakennuksen pidemmässä suunnassa jäykistys toteutetaan pilareiden väliin sijoitettavien vetoterästen sekä keskelle päätyseinää sijoitetun tuulipilarin avulla. Päätyseinän tuulikuorma johdetaan vetoteräksille ja tuulipilarille katon päätyihin asennettavien vanerijäykisteiden kautta.

Vetoteräs mitoitetaan voiman $F_{d,paaty,1}$ vetoteräksen suuntaista komponenttia vastaan. Vetoteräksen ja siihen päädyistä kohdistuvan vaakasuuntaisen voiman välinen kulma on 41° . Vetoteräksen kohdistuu siis voima:

$$F_{teras} = \frac{F_{d,paaty,1}}{\cos 41^\circ} = \frac{17150N}{\cos 41^\circ} = 22724N$$

Vetoteräksen materiaali Fe37b, jonka vetolujuus on $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$. Tarvittava vetoteräksen poikkipinta-ala on tällöin:

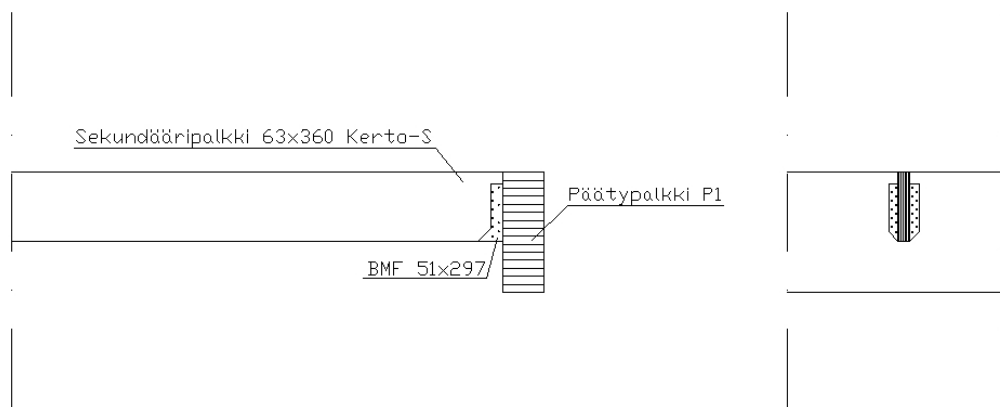
$$A_{teras} = \frac{F_{teras}}{f_y} = \frac{22724N}{235 \text{ N/mm}^2} = 97 \text{ mm}^2$$

Vetoteräkseksi käy halkaisijaltaan 12mm:n terästanko.

Vetoteräs ei hoikkuutensa vuoksi voi ottaa vastaan puristusjännitystä, joten vetoteräksiä tulee aina varmuuden vuoksi asentaa kaksi kappaletta ristiin. Vetoteräksen mitoituksen lisäksi tulee tarkistaa, ettei vetoteräs aiheuta liian suurta puristusjännitystä pilareiden yläpäähän. Vetoteräs kiinnitetään yläpäässä harjapalkin ja pilarin liittäväan lattateräkseen. Käytännössä lattateräs jakaa puristavan voiman tasaisesti pilarille. Lattateräksen pinta-ala mitoitetaan riittävän suureksi ottaen huomioon liimapuun sallittu puristusjännitys syitä vastaan 41° kulmassa.

3.5.2 Kattorakenteiden jäykistys

Rakennuksen kattorakenteet valmistetaan elementteinä. Katon sekundääripalkit estävät harjapalkkien kiepahduksen. Kiepahdusvoimasta sekundääripalkkeihin aiheutuva vaakavoima otetaan vastaan vanerijäkisteillä, jotka sijoitetaan sekundääripalkkien päälle rakennuksen pätyihin. Sekundääripalkit kiinnitetään päistään päätypalkkeihin (Kuvio 14). Vanerilla jäykistetty päädyn kattorakenne jakaa sekundääripalkkien vaakakuormituksen tuulipilarille ja rakennuksen pitkän sivun jäykistäville vetoteräksille. Katon vanerijäkistykseen periaate ja sijoitus on esitetty liitteessä 14.



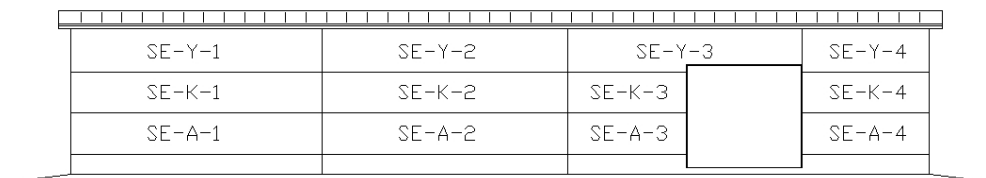
KUVIO 14. Sekudääripalkkien kiinnitys päätypalkkeihin.

4 ELEMENTOINTI

Rakennuksen kantavan rungon ympärille asennetaan ulkovuoraus seinä- ja kattoelementeistä. Näin rakenteet saadaan nopeasti suojattua sateelta ja tuulelta. Elementit suunnitellaan siten, että niiden kuljetus ja käsittely rakennuspaikalla on mahdollista. Erityistä huomiota kiinnitetään elementtien nopeaan asennukseen.

4.1 Seinäelementit

Seinäelementit valmistetaan pääasiassa 12m * 2m -kokoisiksi. Poikkeuksen muodostavat päätyjen elementit, jotka ovat kooltaan 10m * 2m. Myös ovi- ja ikkunaukot sekä ulkonurkat muuttavat elementtien päämittoja. Seinäelementtien sijoittelu etelän puoleiselle seinälle on esitetty kuviossa 15. Seinäelementit kiinnitetään liimapuupilareihin lattarauodoilla (Kuvio 18). Seinäelementit siirtävät seiniin kohdistuvan tuulikuorman pilareille.



KUVIO 15. Etelän puoleisen seinän jako elementteihin.

Opinnäytetyön liitteenä on esitetty seinäelementti SE-K-1 (liite 7). Rakennuksen pitkällä sivuilla seinäelementtejä on päällekkäin kolme kappaletta. Elementin nimi muodostuu seuraavista tiedoista:

S = Seinäelementti

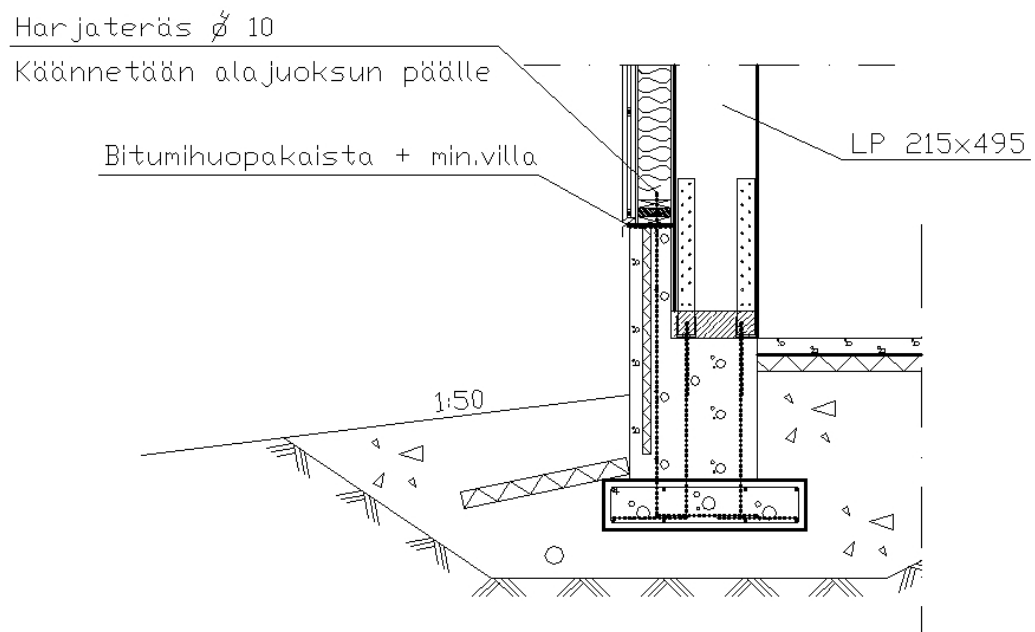
E = Etelä (julkisivun ilmansuunta)

K = Keski (elementin sijoitus pystysuunnassa, A = ala, K = keski, Y = ylä)

1 = Elementin numero

4.1.1 Seinäelementin liitos perustuksiin

Seinäelementti asennetaan ruuvaamalla se sokkelin päälle kiinnitettyyn kertopuiseen alajuoksuun. Alajuoksuun alle on tärkeää asettaa bitumihuopakaista ja mineraalivilla liitoksen tiiviiden ja kosteuden katkon varmistamiseksi. Alajuoksu kiinnitetään sokkeliin kääntämällä sokkeliin valetut harjateräkset alajuoksuun päälle (Kuvio 16).

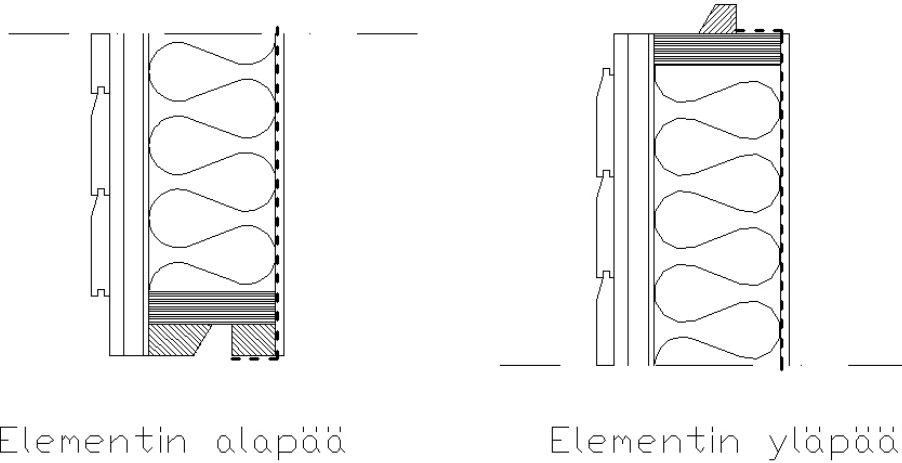


KUVIO 16. Seinäelementin liitos perustuksiin.

4.1.2 Seinäelementtien liitos toisiinsa

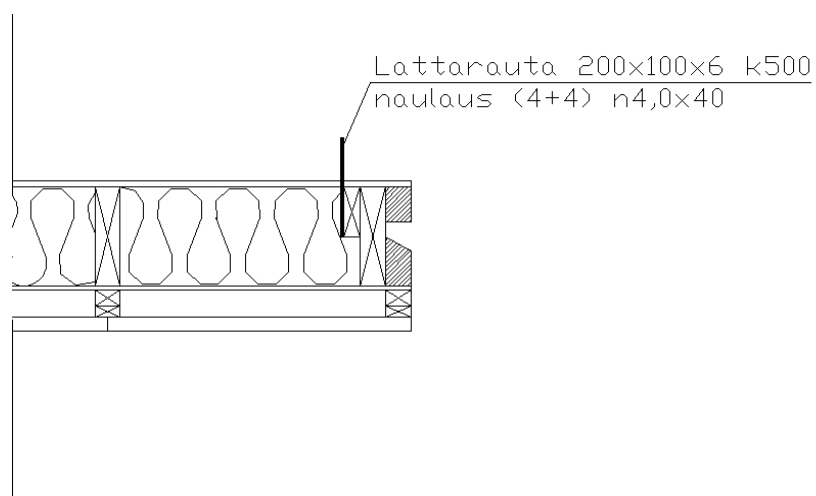
Seinäelementit liitetään toisiinsa ruuvaamalla. Seinäelementtien ylä- ja alapäihin tehdään ponttaukset, jotka ohjaavat elementit kohdilleen (Kuvio 17). Elementin yläpäässä oleva urospontti valmistetaan 6 mm matalammaksi kuin vastaava naaraspontti elementin alapäässä. Näin varmistetaan, ettei pontti jää kantamaan elementtiä. Naarasponnin pohjaan asetetaan mineraalivillakaista tiivistämään rakenne.

Höyrynsulkumuovi käännetään sisäpuolelta ponttaukseen asti ja niitataan kiinni ylä- tai alajuoksuun, kuten on esitetty katkoviivalla kuviossa 17.



KUVIO 17. Elementin ala- ja yläpää.

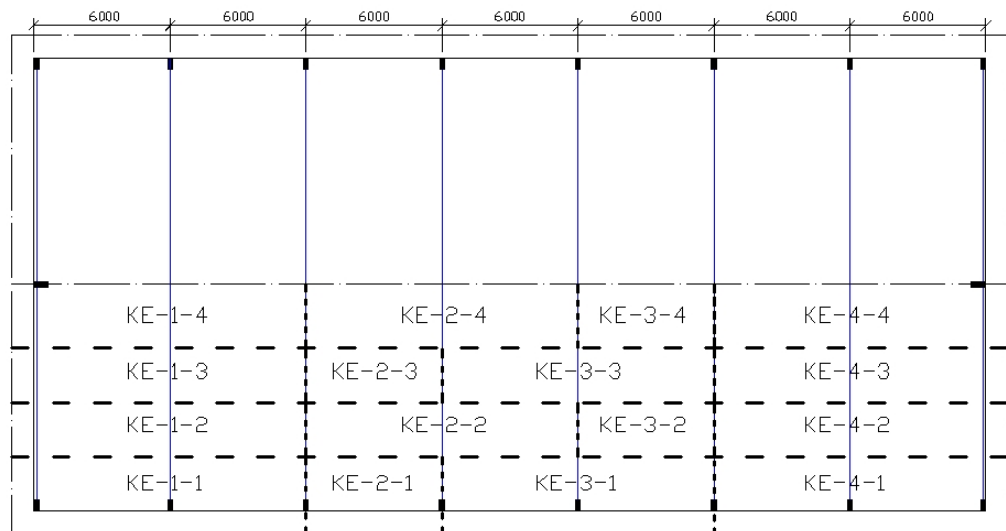
Seinäelementtien sivuissa käytetään samanlaisia ohjauskiskoja kuin elementin ylä- ja alapääissä. Elementtien sauma osuu aina pilarin puoliväliin. Kuviossa 18 esitetty lattarauta naulataan elementin asennuksen jälkeen pilariin. Liitoksen tiiviys varmistetaan saumavaahdolla naaraspontin pohjassa.



KUVIO 18. Seinäelementin pääty.

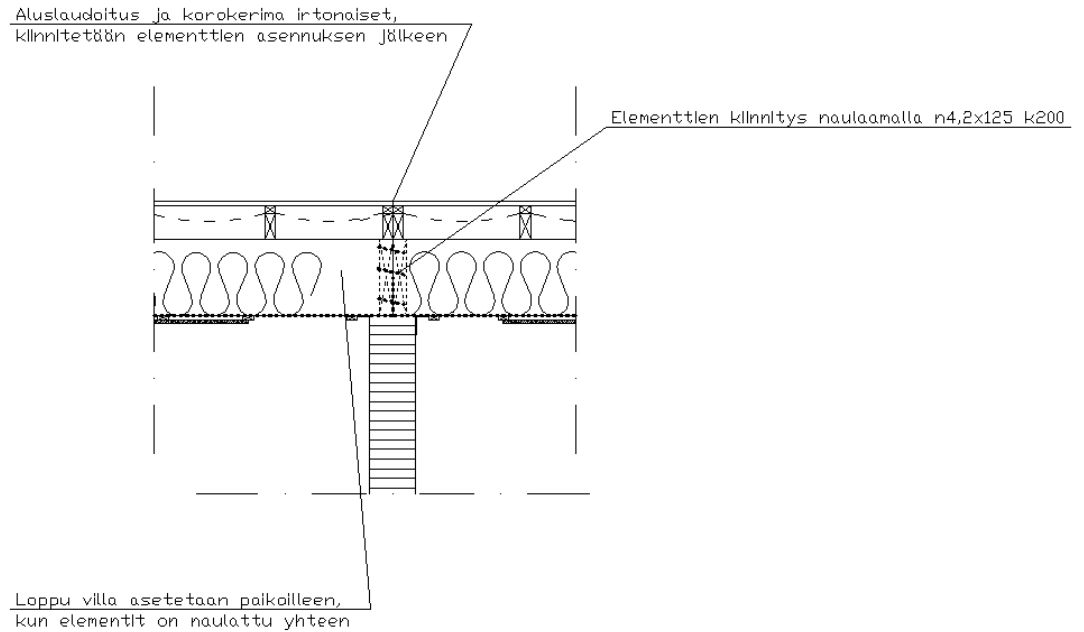
4.2 Kattoelementit

Katto koostuu 32 kattoelementistä. Kattoelementit ovat mitoiltaan pääasiassa 12m * 2,4m. Kattoelementtien suunnittelussa tulee huomioida samat lähtökohdat kuin seinäelementtien suunnittelussa. Huomioitavia kohtia ovat elementtien kuljetus, liikuttelu rakennuspaikalla sekä asennuksen nopeus ja yksinkertaisuus.

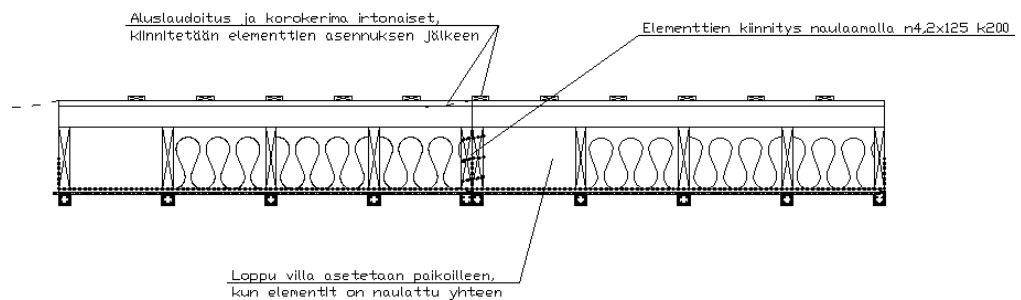


KUVIO 19. Katon etelän puoleisen lappeen jako elementteihin.

Opinnäytetyön liitteenä on esitetty kattoelementti KE-3-3 (Liite 8). Rakennuksen katemateriaali asennetaan vasta kattoelementtien asennuksen jälkeen. Tästä syystä kattoelementit voidaan kiinnittää toisiinsa ylhäältä naulaamalla. Liitoskohtien suunnittelussa huomioidaan asennus. Esimerkiksi aluskate jätetään elementin kahdella reunalla irralliseksi, jolloin elementtien kiinnitys on mahdollista. Samoin peltikatteen aluslaudoituksia sekä niiden alla olevia korokerimoja jätetään tarpeen mukaan kiinnittämättä. Kattoelementtien liitos toisiinsa on esitetty kuvioissa 20 ja 21. Elementtien tiiviys varmistetaan saumavaahdolla asennuksen yhteydessä.



KUVIO 20. Kattoelementtien liitos toisiinsa rakennuksen pitkässä suunnassa



KUVIO 21. Kattoelementtien liitos toisiinsa kehän suunnassa.

5 MITOITUSOHJELMA

Opinnäytetyön osana suunniteltiin myös yksinkertainen ohjelma, jonka avulla voi mitoittaa yksiaukkoisia harjapalkkeja ja mastopilareita. Ohjelma on tehty Microsoft Excel taulukkolaskenta -ohjelmalla. Ohjelman tarkoitus on toimia apuvälineenä arkkitehtisuunnittelussa. Sen avulla saadaan nopeasti kantavan rungon dimensiot rakennuksen ulkomittojen suunnitteluun. Ohjelman tekijä ei ota vastuuta ohjelman käytöstä. Rakenteiden mitoituksesta vastaa aina rakennesuunnittelija.

Ohjelma sisältää kaksi osaa: yksiaukkoisen harjapalkin mitoituksen ja mastopilarin mitoituksen. Nämä kaksi osaa on tehty omille välilehdilleen ja niiden valinta löytyy ruudun vasemmasta alareunasta (Kuvio 22). Kuviossa 22 välilehdet on ympyröity soikiolla. Pilarin mitoitukseen tarvittavat harjapalkin tukireaktiot saadaan automaattisesti harjapalkin mitoituksesta eikä niitä tarvitse erikseen syöttää. Tämä edellyttää, että harjapalkki mitoitetaan ensin.

HARJAPALKKI		
Lähtötiedot		
13	k-jako (m)	6
14	Jänneväli (m)	20
15	Kaltevuus (1/l)	1/16
Kuormitukset		
18	Omapaino (kN/m)	0.9
19	Pysyvä kuorma (kN/m ²)	1
20	Lumikuorma (kN/m ²)	2.5
Esimitoitus		
Valitaan palkin leveys (mm)		
27	b ₁ (mm)	215
29	h _{1,min} =	997
32	Syötä ano h ₁	1200
33	-> h ₂	1825
Jännitykset		
Jännitysten tulee pysyä sallituissa rajoissa (alle 100%)		
41	Tarvitusjännitys-harjalla	14.30 N/mm ²
		72.6

KUVIO 22. Mitoitusohjelma harjapalkille ja mastopilarille.

5.1 Harjapalkin mitoitus mitoitusohjelmalla

Harjapalkin mitoitusohjelma on jaettu viiteen osaan. Aluksi ohjelmaan syötetään lähtötiedot, joita ovat k-jako, jänneväli ja harjapalkin kaltevuus. Tämän jälkeen annetaan kuormitukset, joita ovat harjapalkin omapaino, kattorakenteen pysyvä kuorma sekä lumikuorma. Lähtötietojen ja kuormitusten syöttämisen jälkeen esimitoitetaan harjapalkki. Esimitoituksessa syötetään haluttu palkin leveys, jonka jälkeen ohjelma laskee palkin teoreettisen minimikorkeuden $h_{1,min}$ tuen kohdalla. Teoreettinen minimikorkeus ei kuitenkaan yleensä riitä, vaan palkin korkeutta tuella joudutaan kasvattamaan. Käytännössä palkin korkeus tuella, h_1 , joudutaan

hakemaan kokeilemalla. Korkeus h_1 on sopiva, kun kaikki jännitykset ovat alle 100 %.

Ohjelma esittää esimitoituksen jälkeen harjapalkin jännitykset tarkasteltavissa kohdissa. Jotta harjapalkki ei olisi ylimitoitettu, tulee kaikkien jännitysten ja taipuman olla alle 100 %. Jännitysten ollessa sallituissa rajoissa, ohjelma näyttää prosenttiluvut vihreänä. Jännitysten ylittäessä sallitut rajat, prosenttiluvut näytetään punaisena.

Viimeiseksi ohjelma laskee palkin taipumat. Taipumat on eritelty pysyvän kuorman aiheuttamaan lopputaipumaan, muuttuvan kuorman aiheuttamaan lopputaipumaan ja lopulliseen taipumaan sekä näiden summana saatavaan lopulliseen taipumaan. Taipumien pohjalta voidaan harkita palkin esikorottamista valmistusvaiheessa.

5.2 Mastopilarin mitoitus mitoitusohjelmalla.

Hallirakenteen mastopilareiden mitoitus mitoitusohjelmalla tapahtuu samaan tapaan kuin harjapalkin mitoitus. Ensin syötetään lähtötiedot, joihin kuuluvat pilarin pituus, k-jako ja pilarin dimensiot. Lähtötietojen jälkeen annetaan kuormitustiedot, jonka jälkeen ohjelma laskee jännitykset ja vertaa niitä sallittuihin jännityksiin. Jännitysten pysyessä sallituissa rajoissa, ohjelma ilmoittaa tulokset vihreällä (Kuvio 23). Vastaavasti ylimitoitustilanteessa tulokset esitetään punaisella. Pilarin dimensioita muuttamalla haetaan haluttu lopputulos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	
51																	
52																	
53																	
54																	
55																	
56																	
57																	
58																	

Kuvio 23. Mastopilarin mitoitus mitoitusohjelmalla.

Pilarin mitoitusta varten ohjelma hakee harjapalkin tukireaktiot harjapalkin mitoitus -osiosta. Pilarit mitoitetaan nurjahdusta vastaan sekä rakennuksen pitkässä että lyhyessä suunnassa. Nurjahdus tarkastetaan seuraavilla kuormitusyhdistelmillä: kova talvi (lumi 100 %), kova talvi + tuuli (lumi 100 % + tuuli 50 %) sekä talvi + kova tuuli (lumi 70 % + tuuli 100 %).

6 YHTEENVETO

Teollisuushallin suunnittelu vaatii suunnittelijalta näkemystä eri rakennejärjestelmistä. Tässä opinnäytetyössä esitetty liimapuinen pilari-palkki -järjestelmä soveltuu hyvin teollisuushallin kantavaksi rakennejärjestelmäksi. Liimapuinen runko on tarvittaessa helppo mitoittaa myös paloluokkaan P2 kuuluvaksi.

Rakennepiirustusten ja mahdollisten asennusohjeiden tulee olla tarkkoja ja yksiselitteisiä eivätkä ne saa olla ristiriidassa keskenään. Hyvällä suunnittelulla voidaan säästää aikaa rakennusvaiheessa ja päästä taloudelliseen lopputulokseen. Myös urakkatarjousten teko on tarkempaa ja luotettavampaa hyvien suunnitelmien pohjalta. Mikäli suunnitteluvaiheeseen ei varata riittävästi resursseja, on selvää, ettei edellä mainittuihin tavoitteisiin kaikilta osin päästä. On kuitenkin huomattava, että varsinkin teollisuuskohteissa rakennuttajan tavoitteena on saada rakennus mahdollisimman nopeasti käyttöön. Tästä syystä olisi suunnittelijalle eduksi selkeä näkemys urakan vaatimuksista. Tällöin suunnittelija voi paremmin arvioida tarvitsemansa resurssit kohteen suunnitteluun ilman suuria yllätyksiä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on ollut luoda selkeä runko teollisuushallin puurungon suunnitteluun. Asiat on pyritty selittämään yksityiskohtaisesti niin, että lukija pystyy perehtymään euronormien mukaiseen mitoittamiseen.

Kuten runkojärjestelmän mitoituksesta selviää, euronormien käyttö vaatii perehtymistä sekä statiikkaan että kyseisiin normeihin. Jo tuulikuorman määrittäminen vaatii monen erilaisen muuttujan huomioon ottamista. Tästä syystä suunnittelijan on perehdyttävä huolella rakennuspaikkaan ennen suunnittelun aloittamista. Toisaalta voidaan kyseenalaistaa, johtaako näin tarkka kuormien määrittely todellisuudessa tarkempaan rakenteiden mitoittamiseen, vai lisääkö se vain erehdyksen riskiä suunnittelussa. Täytyy muistaa suunnittelun tärkein tavoite: suunnitella turvallinen, toimiva ja käyttöön soveltuva rakennus rakennuttajan toiveiden ja vaatimusten mukaan.

Opinnäytetyötä laadittaessa on menossa siirtymävaihe, jolloin euronormeja voi käyttää mitoituksen perusteena SRakMk:n rinnalla. Tärkeää on kuitenkin huomata, ettei näitä kahta määräystä saa sekoittaa keskenään, vaan koko rakennus tulee mitoittaa vain toista mitoitusperustetta käyttäen.

LÄHTEET

Leivo, M., Nupponen, A., Pitkänen, J. 1997. Eurocode 5 Esimerkkilaskelmat.
Wood Focus Oy, Kotka

Liimapuu Käsikirja. 2003. Wood Focus Oy / Suomen Liimapuuyhdistys, Helsinki

Puuhallin suunnittelu, Esisuunnittelu ja arkkitehtoniset valinnat, Wood Focus Oy.
Saatavissa: www.puuinfo.fi

Puupilarikengät. 5/2000. Peikko Finland Oy. Saatavissa: www.peikko.fi

RIL 205-1997 Puurakenteiden suunnittelu, Euronormi. Suomen rakennusinsinöö-
rien liitto RIL r.y.

LIITTEET

- Liite 1. Liimapuun GL32 ja kertopuun Kerto-S lujuusarvot
- Liite 2. Julkisivukuvat etelään ja pohjoiseen
- Liite 3. Julkisivukuvat itään ja länteen
- Liite 4. Rakenneleikkaus A-A
- Liite 5. Detalji harjapalkin ja pilarin liitos
- Liite 6. Detalji perustusten ja pilarin liitos
- Liite 7. Seinäelementti SE-K-1
- Liite 8. Kattoelementti KE-3-3
- Liite 9. Tuotantokuva Harjapalkki HP1
- Liite 10. Tuotantokuva Päätypalkki P1
- Liite 11. Tuotantokuva Pääpilari PP2
- Liite 12. Tuotantokuva Päätypilari PP1
- Liite 13. Tuotantokuva Tuulipilari TP
- Liite 14. Katon jäykistys
- Liite 15. Harjapalkin ja pääpilarin mitoitusohjelma (CD)

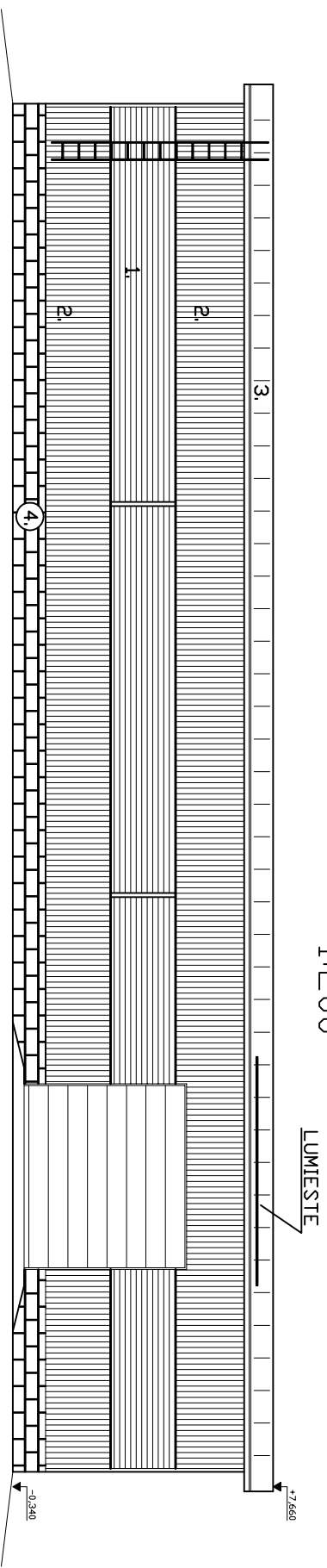
Liite 1. Liimapuun GL32 ja kertopuun Kerto-S lujuusarvot

Materiaali Lujuusluokka		Liimapuu Kertopuu	
		GL32	Kerto-S
Ominaislujuudet (N/mm²)			
Taivutus	fm,g,k	32	50
Veto	ft,o,g,k	24	38
	ft,90,g,k	0,45	0,8
Puristus	fc,0,g,k	29	38
	fc,90,g,k	6	7
Leikkaus	fv,k	3,5	6
Jäykkyysominaisuuudet (N/mm²)			
Kimmomoduuli			
	E0,mean	13500	13500
	E0,05	10800	12000
Liukumoduuli	Gmean	840	600
Tiheydet (kg/m³)			
Ominaistiheys		440	510

Liite 2

Julkisivut etelään ja pohjoiseen

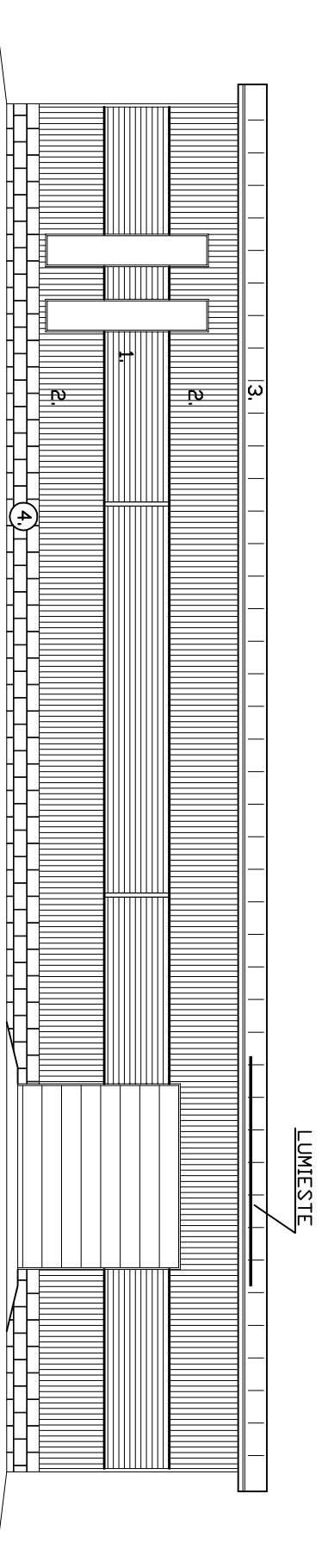
1:200



Julkisivu etelään

JULKISIVUMATERIAALIT JA VÄRIT

1. Vaakapanelointi UYV 170mm Punainen
 2. Pystypanelointi UYV 145mm Punainen
 3. Konesaumapelti, Musta
 4. Rappaus, Harmaa
- Räystäslaudat, nurkkalaudat, syöksyt ja rännit valkoiset

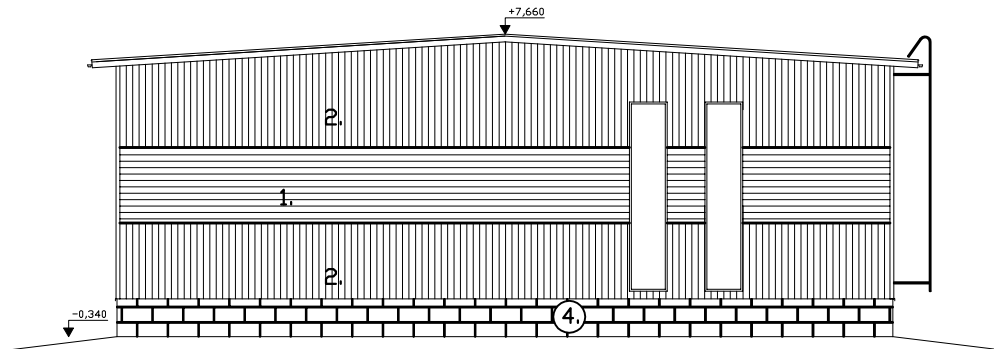


Julkisivu pohjoiseen

Liite 3

Julkisivut itään ja länteen

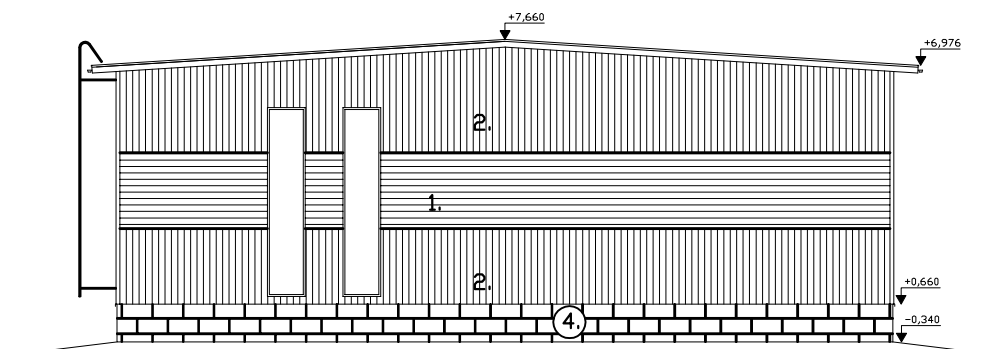
1:200



Julkisivu länteen

JULKISIVUMATERIAALIT JA VÄRIT

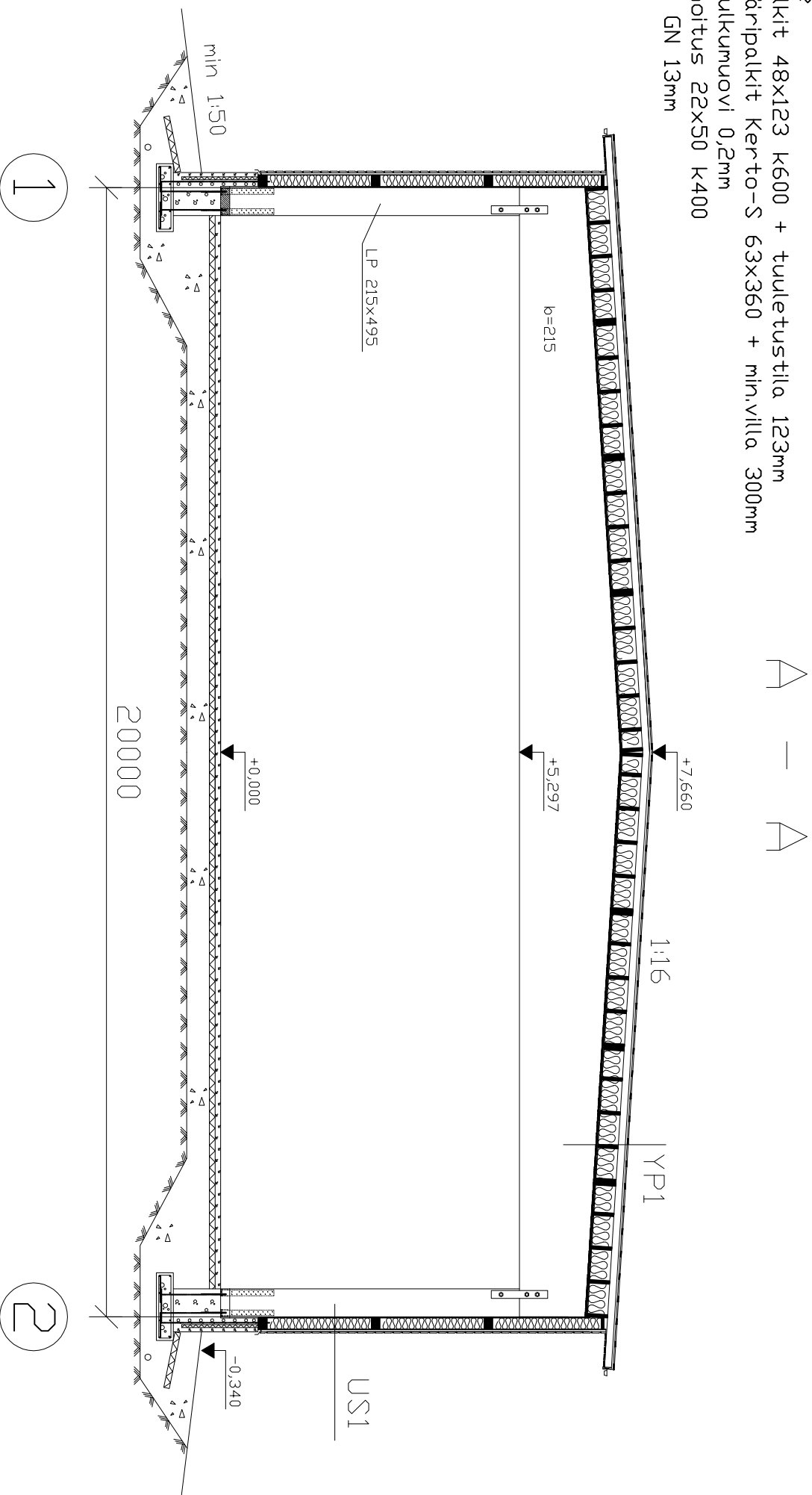
1. Vaakapanelointi UYV 170mm
Punainen
 2. Pystypanelointi UYV 145mm
Punainen
 3. Konesaumapelti, Musta
 4. Rappaus, Harmaa
- Räystäslaudat, nurkkalaudat, syöksyt ja rännit valkoiset



Julkisivu itään

US1
 Kipsilevy EK 13mm
 Seinärunko + min.villa 200mm
 Tuulensuojalevy 9mm
 Tuuletusrako 50mm
 Puupaneli 28mm
 Seinärakenteen paksuus 300mm
 YP1
 Konesaumattu peltikatto
 Aluslaudoitus K400
 Korokerima 32mm
 Aluskate
 Kattopalkit 48x123 K600 + tuuletustila 123mm
 Sekundääripalkit Kerto-S 63x360 + min.villa 300mm
 Höyrynsulkumuovi 0,2mm
 Harvarimoitus 22x50 K400
 Kipsilevy GN 13mm

Liite 4
 Rakenneleikkaus A-A
 1:100

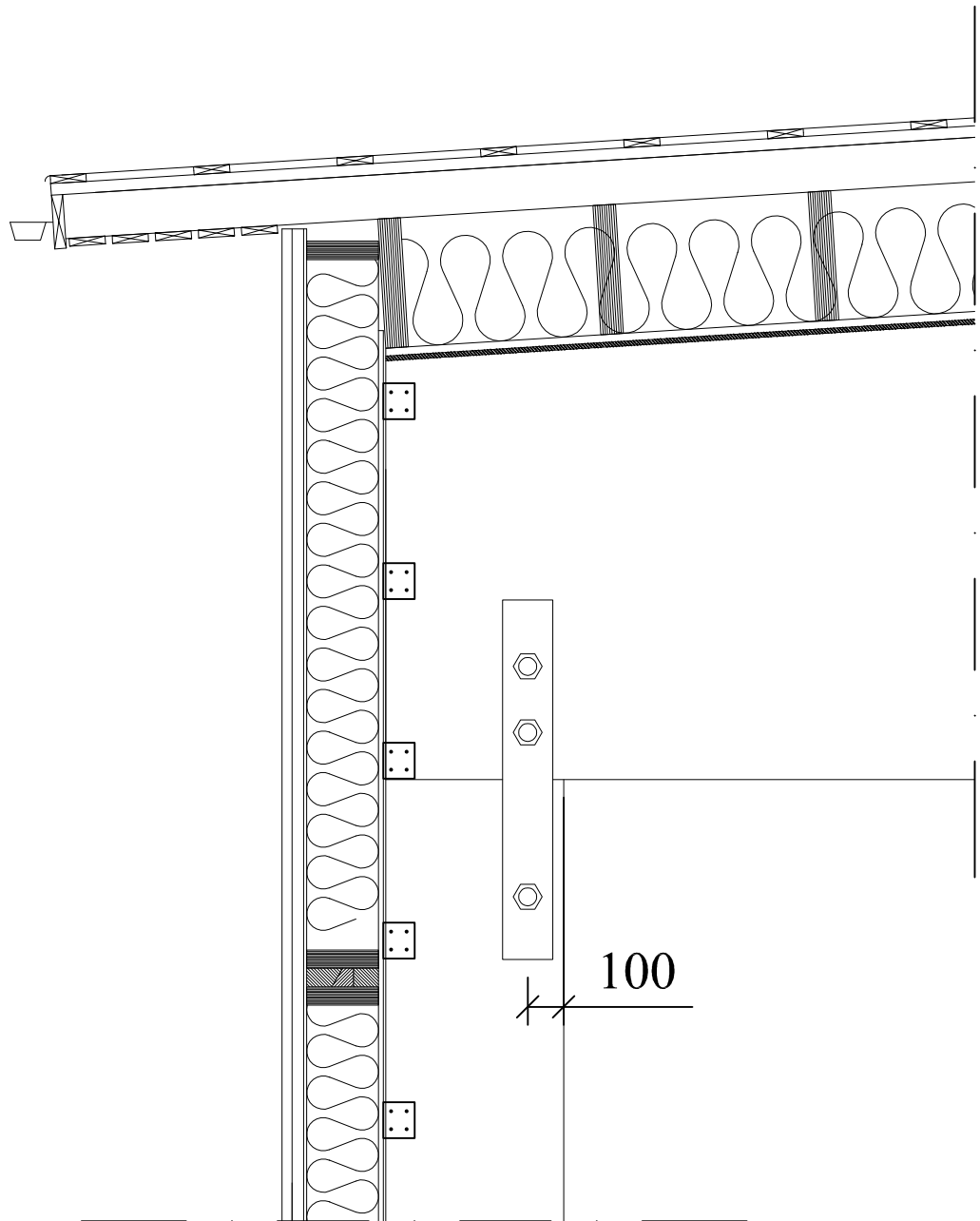


Liite 5

Harjapalkin ja pilarin liitos

1:20

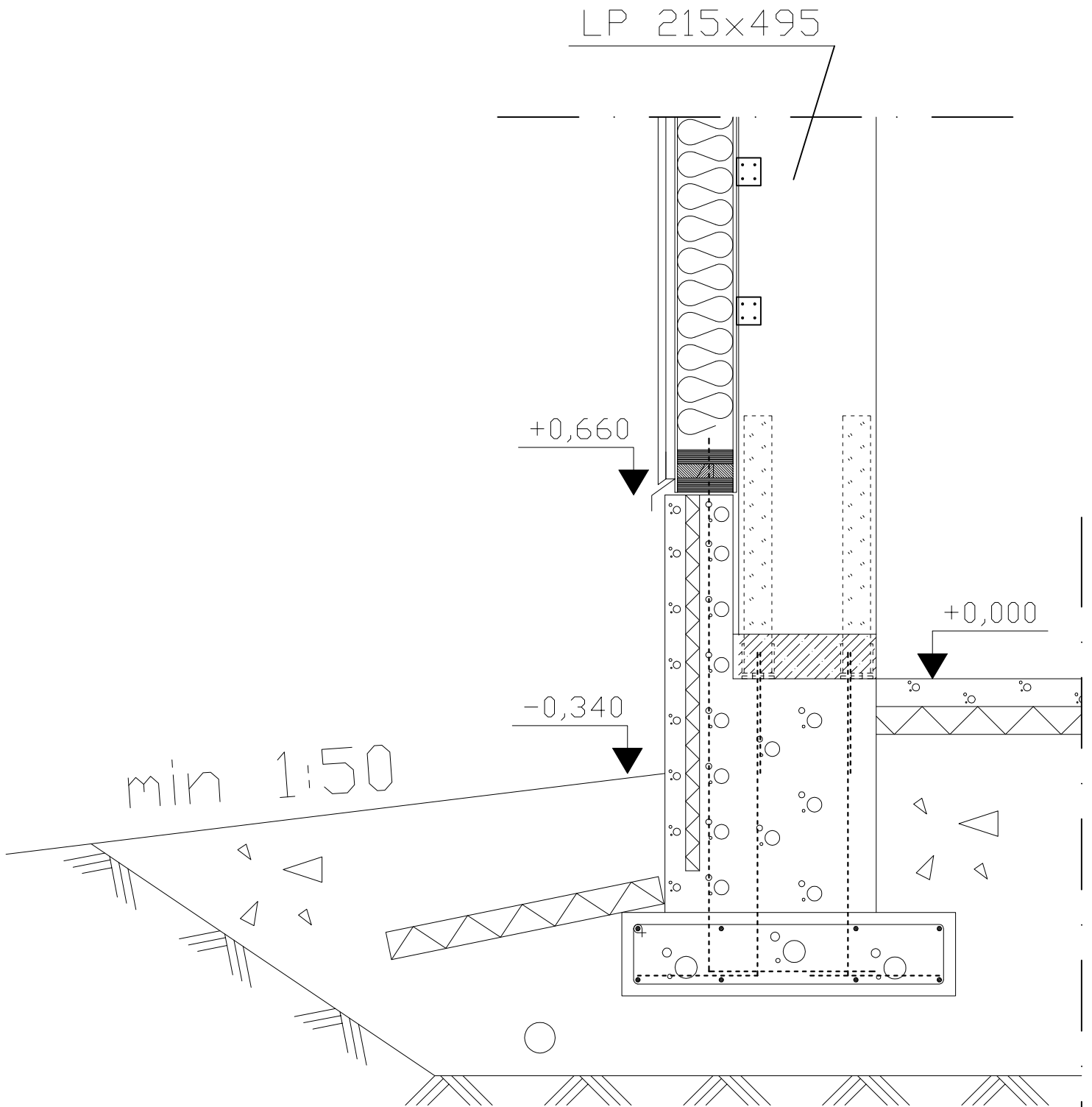
Seinäelementin kiinnitys pilariin ja harjapalkkiin
lattaraudalla 200x100x6 k500 naulaus n4,0x40 (4+4)



Liite 6

Perustusten ja pilarin liitos

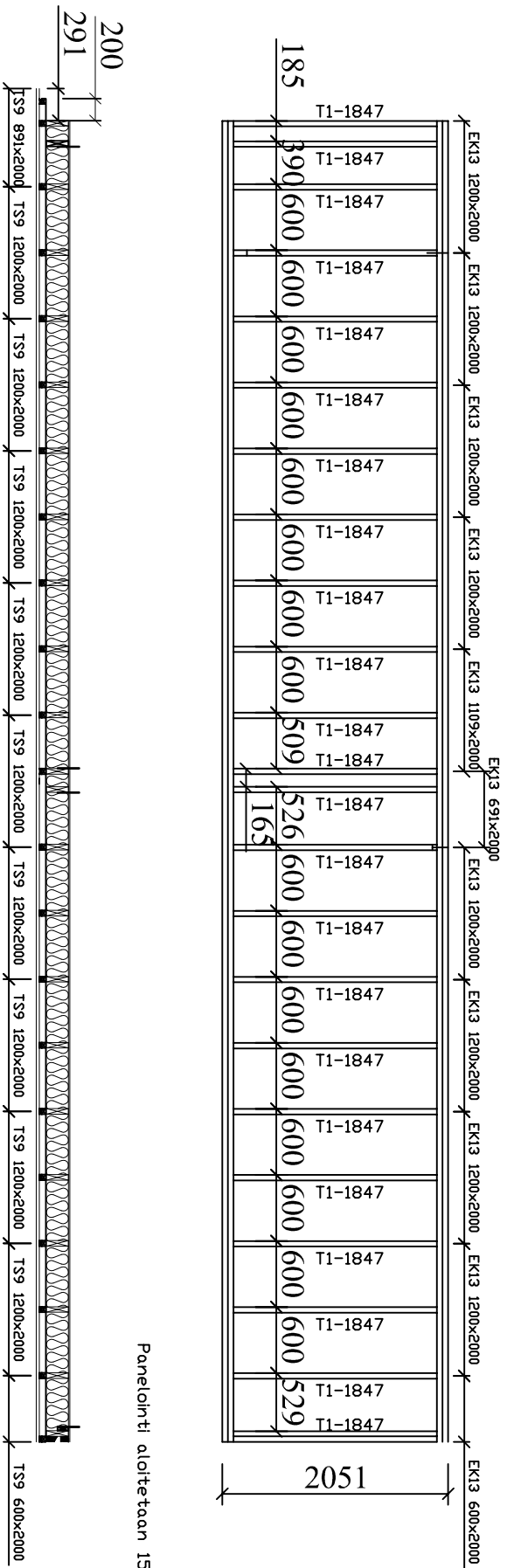
1:20



Litte 7

Seinäelementti SE-K-1

1:60



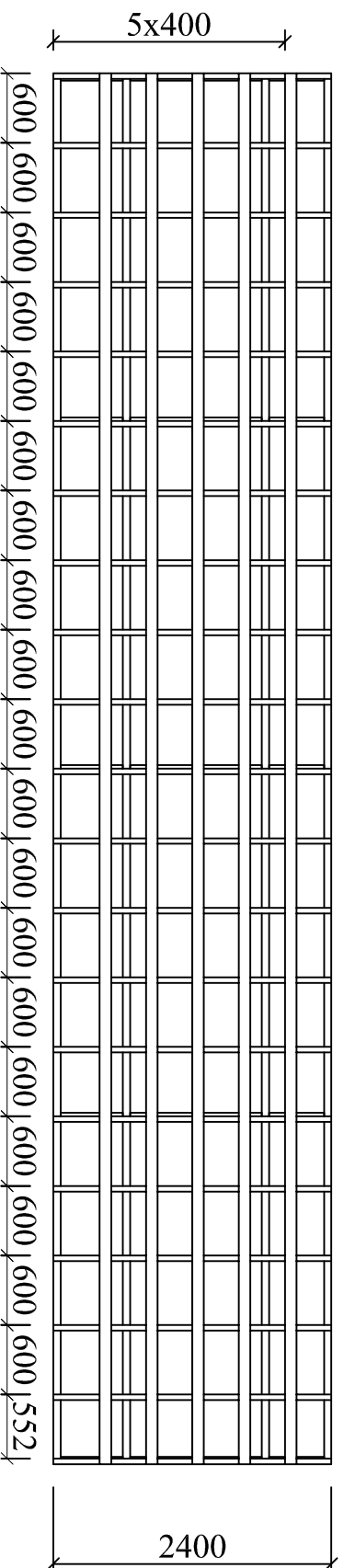
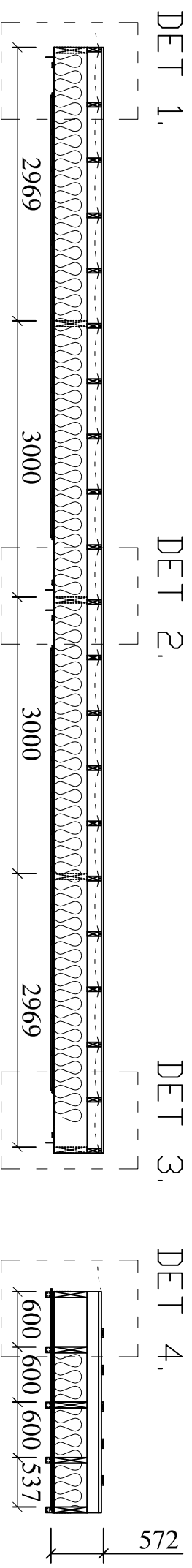
Panelointi aloitetaan 15mm elementin alareunasta

Lite 8/1

Kattoelementti KE-3-3

1:60

A-A



Liite 8/2

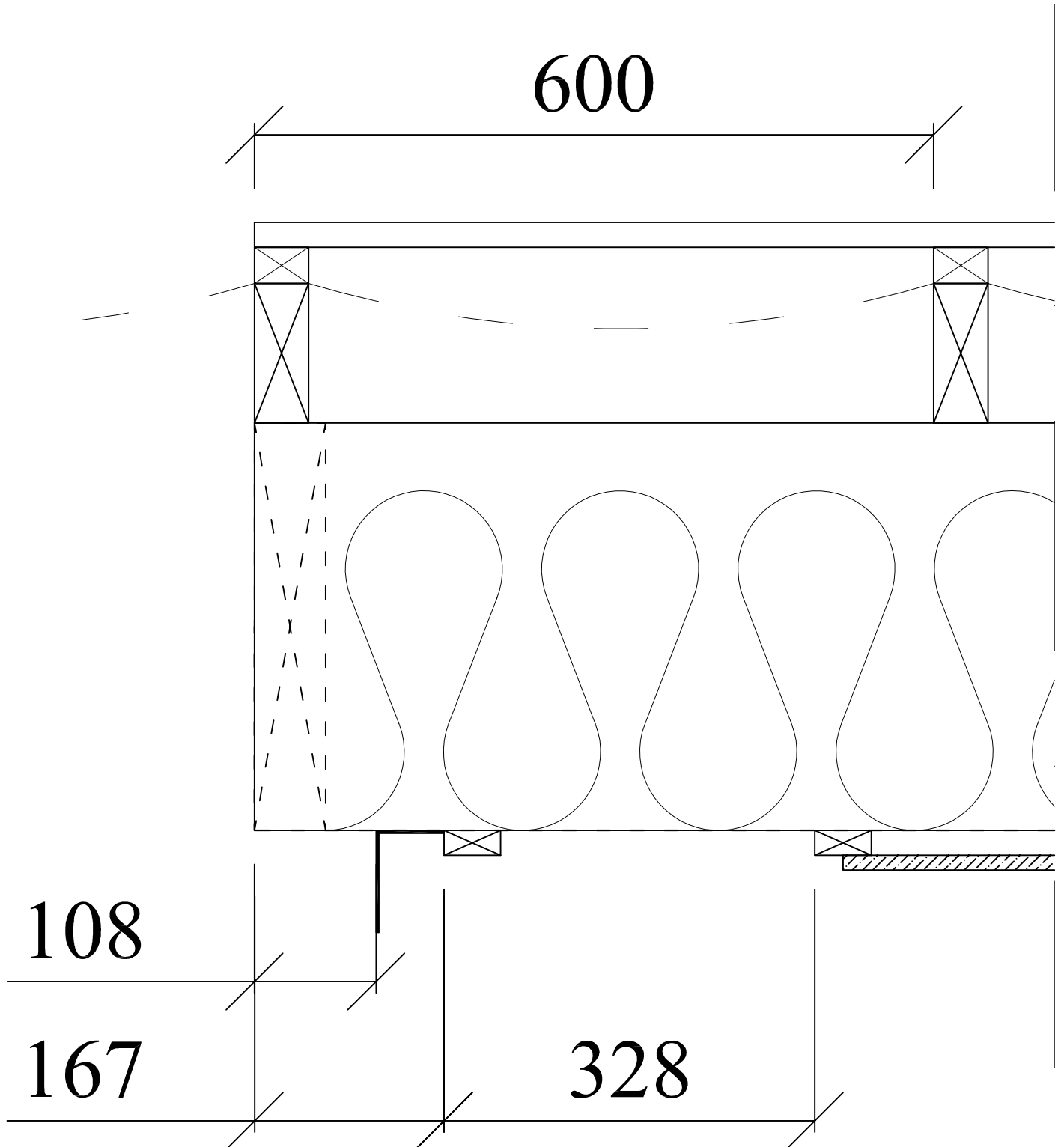
DET 1.

1:5

Aluskate yli min. 200mm

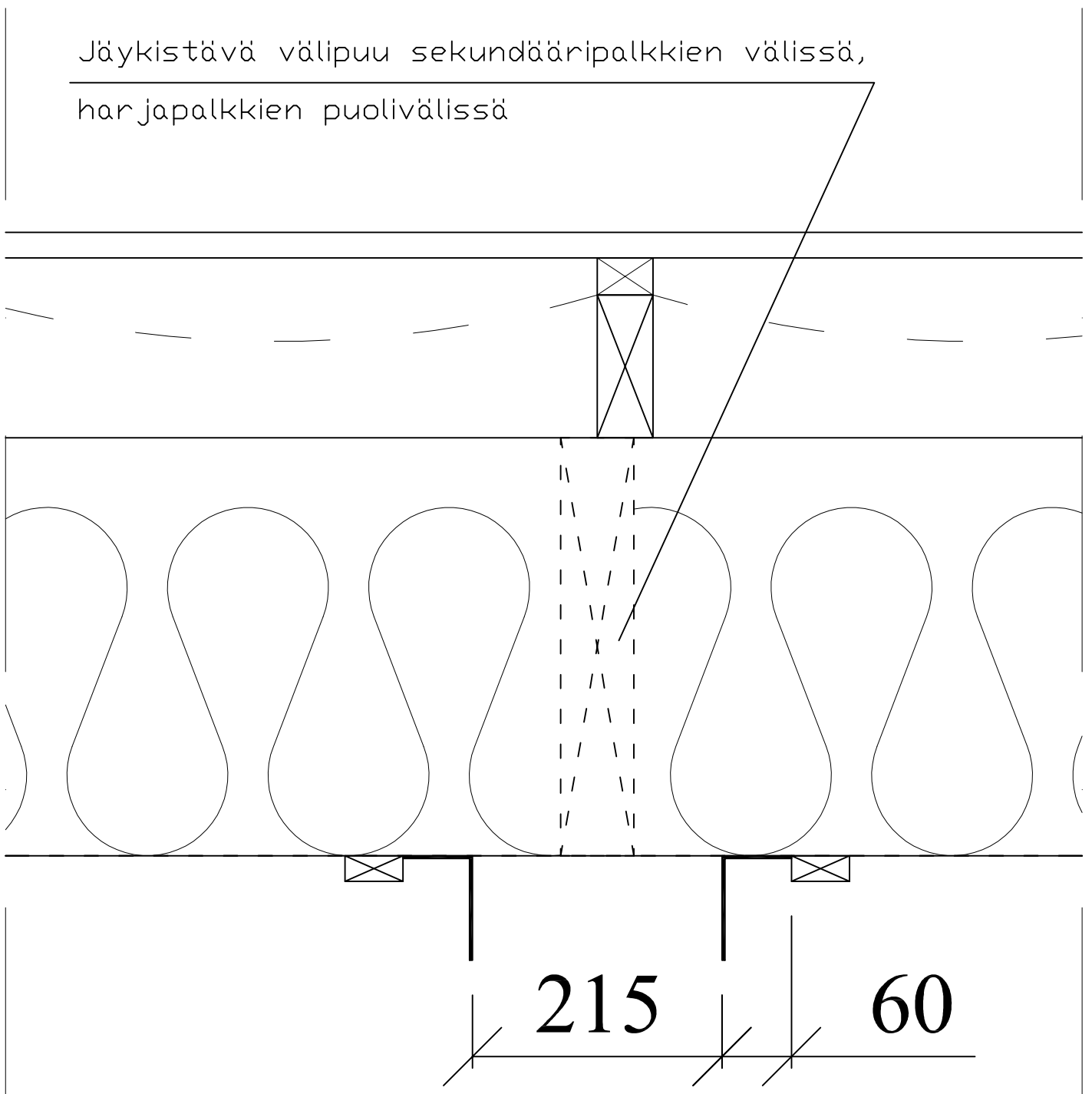
Elementtien välisen sauman tiiviys varmistetaan saumavaahdolla

Höyrynsulkumuovi kiinnitetään niiteillä elementin pätyyn



Kipsilevykaista kiinnitetään elementin asennuksen jälkeen

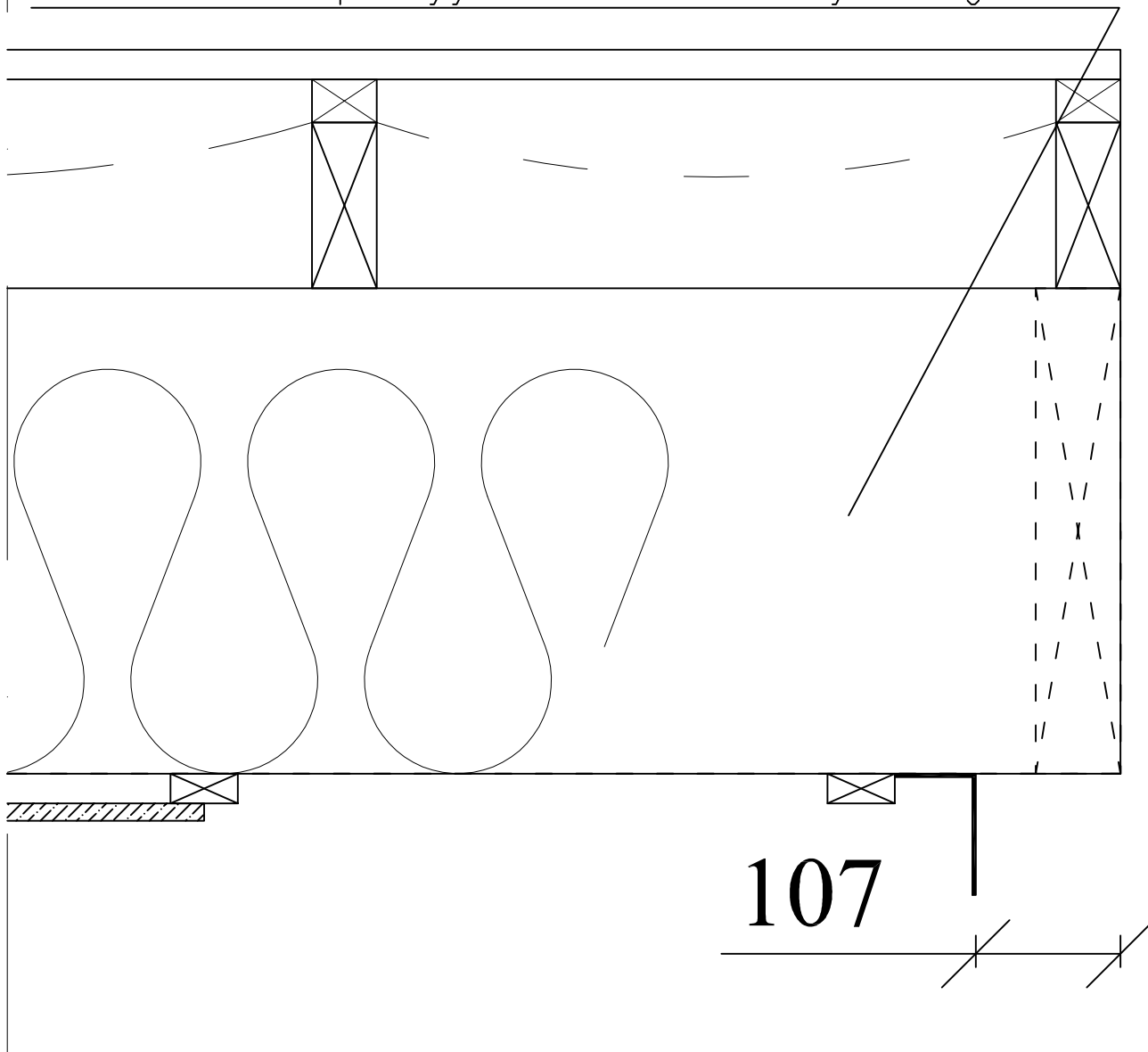
Jäykistävä välipuu sekundääripalkkien välissä,
harjapalkkien puolivälissä



Aluskate, korokerima ja aluslaudoitus kiinnitetään elementin asennuksen jälkeen.

Höyrynsulkumuovi kiinnitetään niiteillä elementin pätyyn

Villa elementin pätyyn elementin kiinnityksen jälkeen



Kipsilevykaista kiinnitetään elementin asennuksen jälkeen

Liite 8/5

DET 4.

1:5

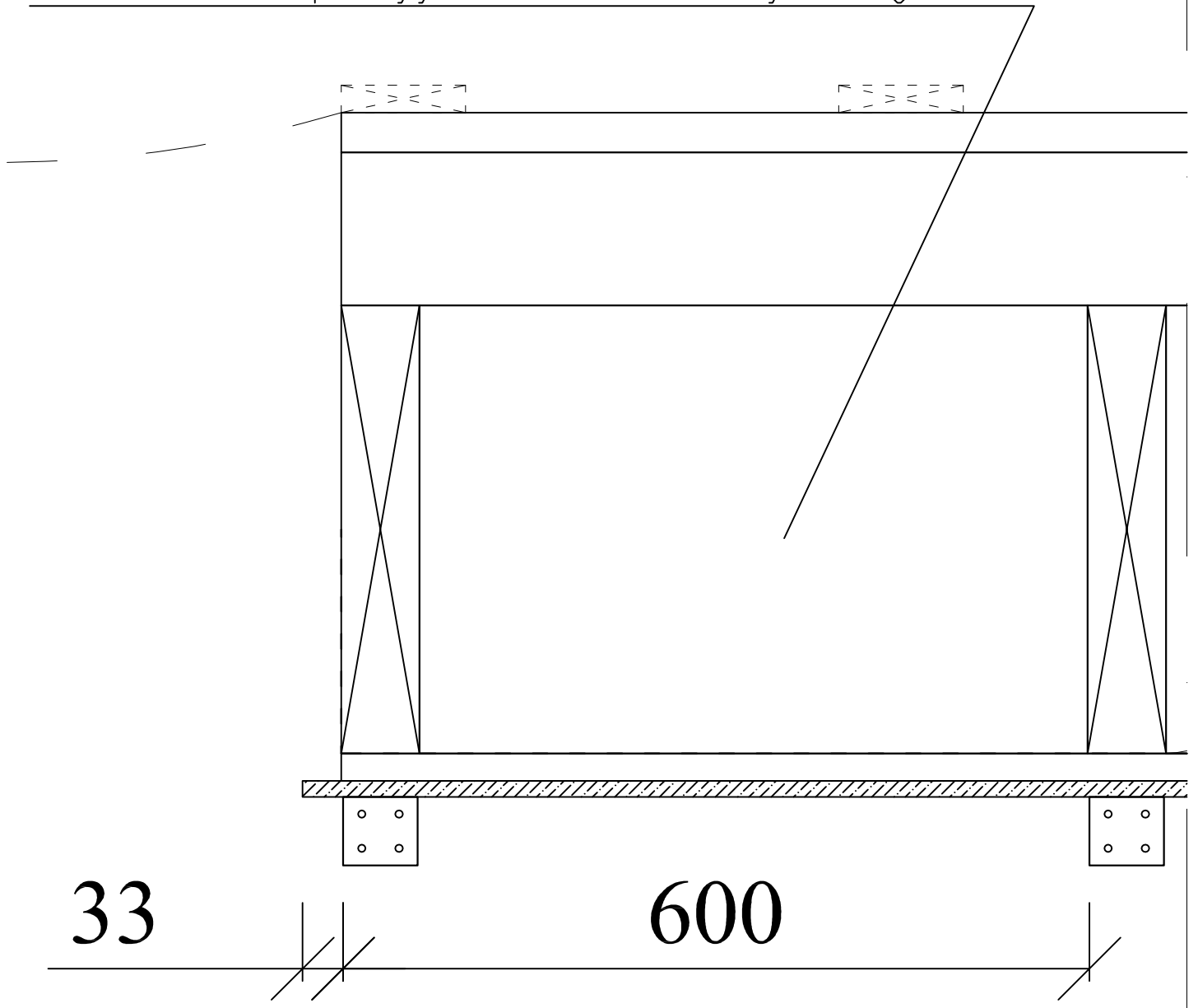
Aluskate vähintään 200mm elementin yli

Elementtien välisen sauman tiiviys varmistetaan saumavaahdolla

Aluskate, korokerima ja aluslaudoitus kiinnitetään elementin asennuksen jälkeen.

Höyrynsulkumuovi kiinnitetään niiteillä elementin pätyyn

Villa elementin pätyyn elementin kiinnityksen jälkeen



Harjapalkki HP1

K/k 6000

Valmistetaan 6 kpl

Tukipinta reunoilla 215x495mm²

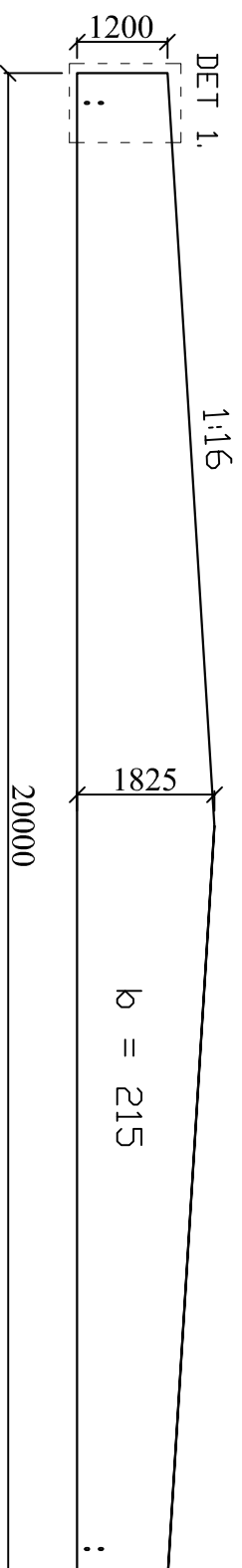
Lumikuorma 2,5 kN/m²

Kattorakenteen kuorma 1,0 kN/m²

Liite 9

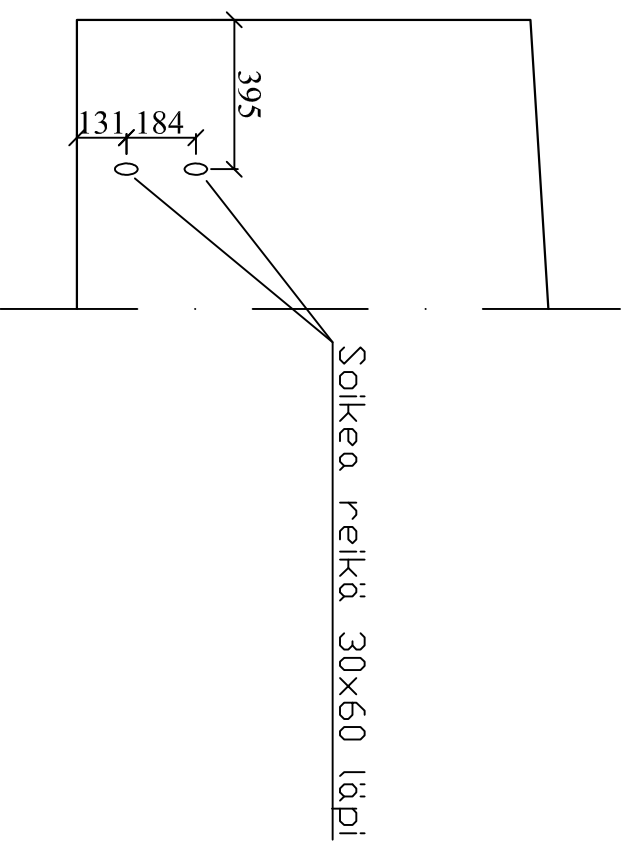
Tuotantokuva Harjapalkki HP1

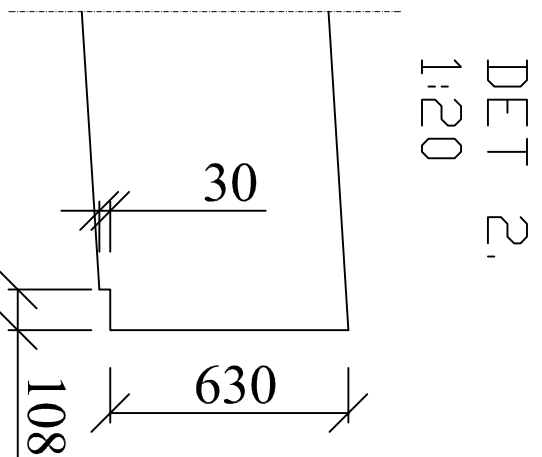
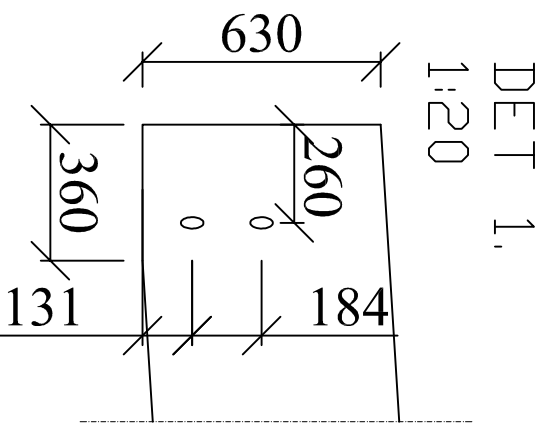
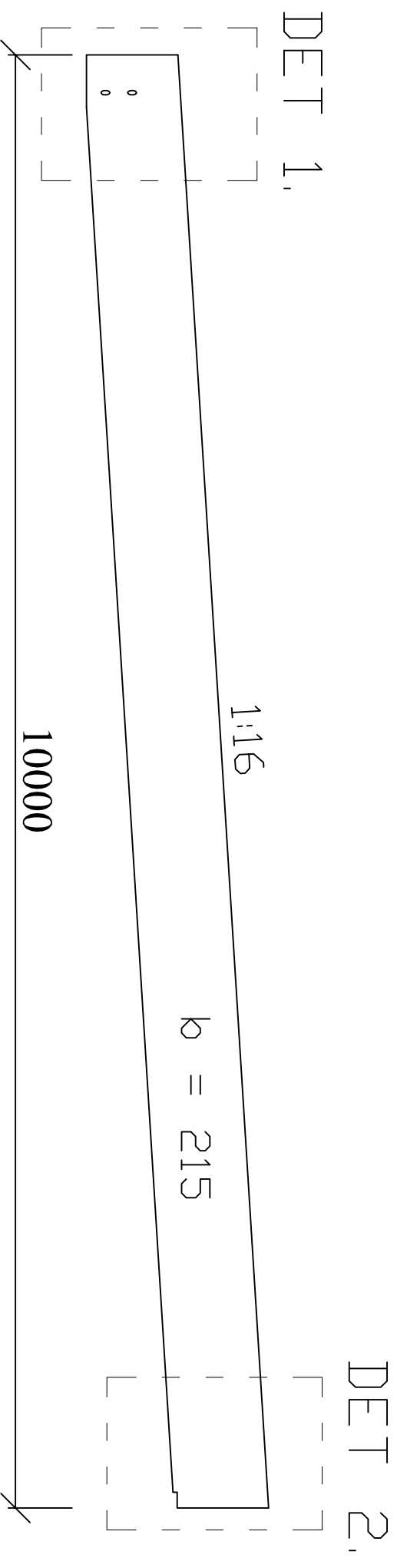
1:100



DET 1.

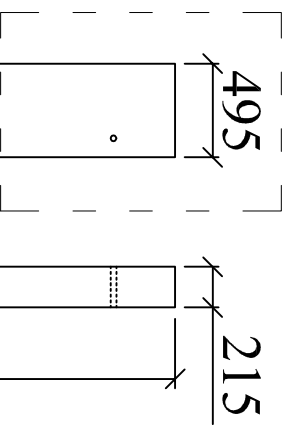
1:20





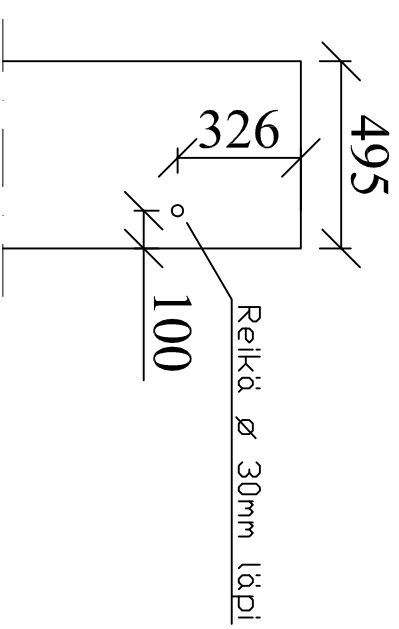
Reiät 30x60 läpi, muoto soikea tai pitkänomainen

DET 1.



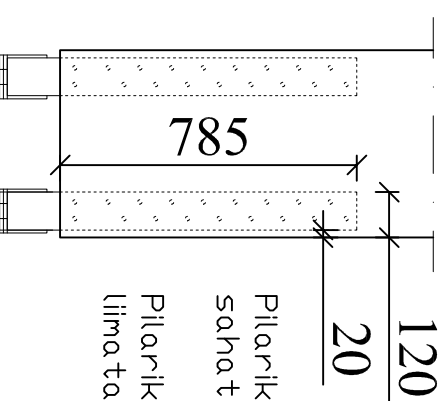
DET 1.

1:20



DET 2.

1:20



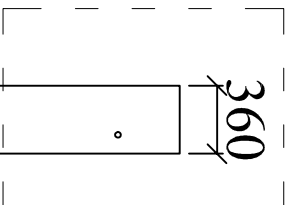
Pilarikenkien asennusta varten pilariin sahataan lovet 785x120x9
Pilarikenkien asennuksen jälkeen loviin liimataan puusoirot 785x20x8

Valmistetaan 4 kpl

Lite 12

Tuotantokuva Päättypilari PP1
1:40

DET 1,

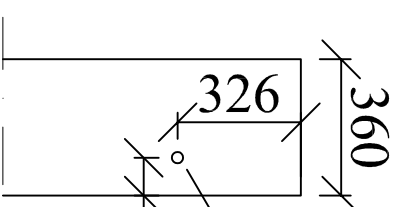


360

215

DET 1,

1:20



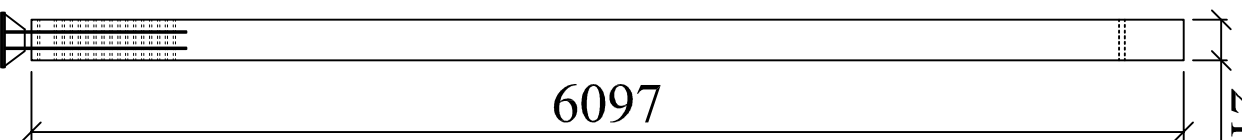
360

326

100

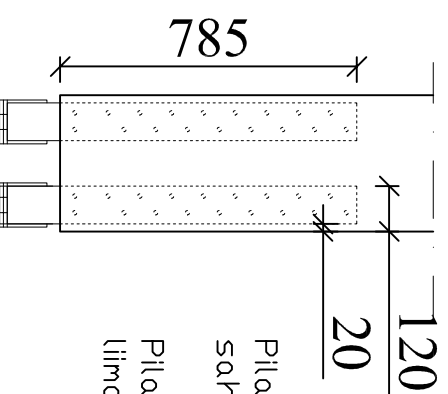
Reikä \varnothing 30mm läpi

6097



DET 2,

1:20



785

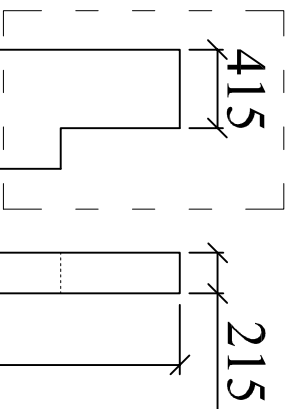
120

20

Pilarikenkien asennusta varten pilariin sahataan lovet 785x120x9
Pilarikenkien asennuksen jälkeen loviin liimataan puusoirot 785x20x8

DET 2,

DET 1.

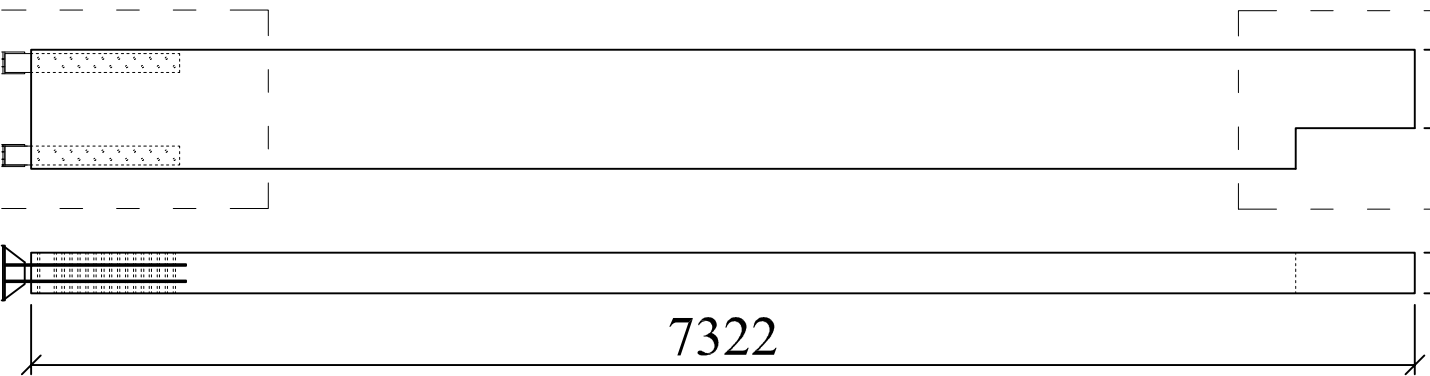


Lite 13

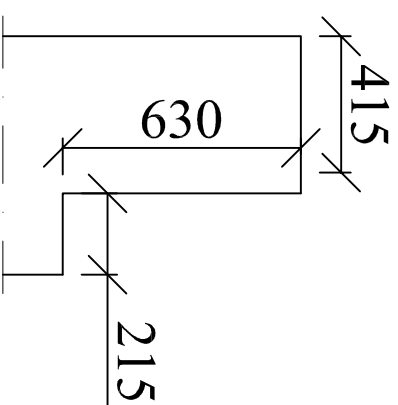
Tuotantokuva Tuulipilari TP1
1:40

Valmistetaan 2 kpl

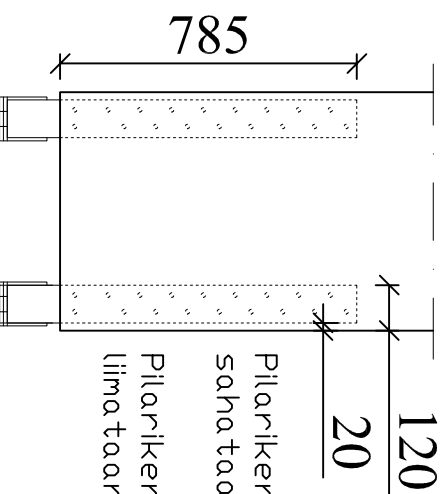
DET 2.



DET 1.
1:20



DET 2.
1:20



Pilarikenkien asennusta varten pilariin
sahataan lovet 785x120x9
Pilarikenkien asennuksen jälkeen loviin
liimaetaan puusoirot 785x20x8

*) Vanerijäykistys 21mm
 sekundaäriपाल्किएन
 päällä. Kiinnitys
 n3,4x90 k200.

