

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Talonrakennustekniikka

Tutkintotyö

Joel Hekkala

## **TERÄSRAKENTEISEN HALLIN RAKENNESUUNNITTELU**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2008

DI Risto Lilja  
KPM Engineering Oy, valvojana ins. Matti Luoto

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Rakennesuunnittelu

Hekkala, Joel	Teräsrakenteisen hallin rakennesuunnittelu
Opinnäytetyö	70 sivua + 85 liitesivua
Työn ohjaaja	DI Risto Lilja
Työn teettäjä	KPM Engineering Oy, valvojana rakennusinsinööri Matti Luoto
Marraskuu 2008	
Hakusanat	teräsrakenne, halli, suunnittelu, mallinnus

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena on suunnitella teräsrakenteinen halli, tehdä tarvittavat konepaja- ja kokoonpanokuvat sekä tarkastella lyhyesti vaihtoehtoisia kehärakenteita. Pääosan työstä muodostaa hallin suunnittelu, laskenta ja mallinnus.

Lopputyö laajensi tekijän omaa osaamista suunnittelijana erityisesti teräsrakenteiden osalta. KPM Engineering hyötyi lopputyöstä hallin mallinnuksen ja kuvien muodossa.

Apuna on käytetty Tekla Structures -ohjelman 13.1 versiota, WinStatik-kehäohjelmaa, AutoCad 2007 -ohjelmaa sekä mitoituksessa apuna DOFteräs- ja Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2009 -ohjelmia. Kuormituksia kerätessä käytettiin apuna RIL201-1999-julkaisua, pääosin kuormat saatiin kuitenkin kohteen lähtötiedoista. Teräsrakenteiden hinnan muodostumisesta saatiin tietoa TTP Yhtiöltä Markku Suuroselta sekä Ruukilta Matti Virolaiselta.

TAMPERE POLYTECHNIC

Construction Technology

Building Construction

Hekkala, Joel                      Structural calculation of steel constructed hall

Engineering Thesis              70 pages + 85 appendices pages

Thesis Supervisor                Risto Lilja M.Sc.

Commissioning Company        KPM Engineering Oy, Supervisor: Matti Luoto (B.Eng)

November 2008

Keywords                         Steel construct, hall, design, model

## ABSTRACT

The subject of this engineering thesis is to design a steel structured hall, make necessary engineering work drawings, assembly drawings and also briefly examine alternative framework structures. Main parts of this engineering thesis consist of design, calculations and modeling.

This engineering thesis amplified author's know-how as a designer, especially with steel structures. KPM Engineering capitalized on the work by receiving the complete blueprints of the hall.

The modeling was made with version 13.1 of Tekla Structures –program. Modifying of the drawings was made with AutoCad 2007 –program. WinStatic Frame Analysis –program, DOFteräs –program and Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2009 -program were also used. RIL201-1999 was used as guidance while gathering loads, yet majority of the loads were received from the architect's data. Markku Suuronen from TTP Yhtiöt Oy and Matti Virolainen from Ruukki helped me with price matters.

## ALKUSANAT

Kesän 2007 sekä sitä seuraavan lukukauden 2007 - 2008 työskentelin tamperelaisessa KPM Engineering Oy -insinööritoimistossa. Koko tämän ajan keskityin työssäni teräsrakenteisiin, pääasiassa teräspäristusten suunnitteluun. Työssäni pääsin tutustumaan Tekla Structures -ohjelmistoon, jolla suurin osa toimiston teräsrakenteiden mallinnuksista tehdään.

Koulussa viimeisenä vuotena suoritin teräsrakenteiden jatkokurssin, jossa harjoitustyönä oli teräsrakenteisen hallin suunnittelu. Tästä sain idean, että voisin suunnitella myös tutkintotyökseni teräsrakenteisen hallin, joita tiesin KPM:llä suunniteltavan. Idea pääsi kehittymään kun esitin asian opettaja Risto Liljalle sekä KPM:llä esimiehelleni Matti Luodolle.

KPM sai tilauksen Helsinkiin rakennettavan Hopeasalmen telakkahallin teräsrakenteista. Kohde oli sopivan kokoinen tutkintotyöksi, joten sain hallin suunniteltavakseni. Sekä koululla että KPM:llä pidimme alustavat palaverit, joissa päätimme, mitä tutkintotyö tulee pääosin pitämään sisällään.

KPM:llä Markku Laurila sekä Matti Luoto opastivat minua suunnittelun eri vaiheissa.

Keravalla maaliskuussa 2009

Joel Hekkala

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>TIIVISTELMÄ.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>ALKUSANAT.....</b>	<b>4</b>
<b>SISÄLLYSLUETTELO.....</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>7</b>
<b>2 LÄHTÖTIEDOT.....</b>	<b>8</b>
<b>3 YLÄPOHJA.....</b>	<b>9</b>
3.1 Lämmöneristysvaatimus.....	9
3.2 Rakennetyyppi.....	10
3.3 Lumikuorma.....	11
3.4 Pysyvä kuorma.....	11
3.5 Kuormat yhteensä.....	13
<b>4 ULKOSEINÄ.....</b>	<b>13</b>
4.1 Lämmöneristysvaatimus.....	13
4.2 Rakennetyyppi.....	13
4.3 Tuulikuorma ulkoseinän tukirakenteiden mitoitusta varten.....	14
4.4 Mitoitus.....	16
4.5 Ulkoseinärakenteen kiinnitykset.....	16
<b>5 KEHÄ HALLIN POIKKISUUNTAAN.....</b>	<b>18</b>
5.1 Rungon päämitat.....	18
5.2 Jäykistys ja staattinen tasapaino.....	19
5.3 Kehän epätarkkuudet.....	19
5.4 Paine kertoimien määrittäminen katolle.....	22
5.5 Paine kertoimien määrittäminen seinille.....	24
5.6 Kuormitustapaukset.....	34

5.7	Kuormitusyhdistelmät .....	43
5.8	Alustavat profiilikoot .....	45
5.9	Kehän stabiilius .....	48
5.10	Staattinen tasapaino .....	49
<b>6</b>	<b>KEHÄN KATTOA KANNATTELEVAT RAKENTEET .....</b>	<b>50</b>
6.1	Kehäpalkki.....	50
6.2	Profiilikoot .....	51
<b>7</b>	<b>PÄÄPILARI.....</b>	<b>57</b>
7.1	Aksiaalisesti kuormitetut ja taivutetut sauvat .....	57
7.2	Profiilikoot .....	57
<b>8</b>	<b>HALLIN TOIMINTA PITUUSSUUNTAAN.....</b>	<b>60</b>
8.1	Jäykistys ja staattinen tasapaino.....	60
8.2	Liitostyypit .....	62
8.3	Pilarin liittyminen perustuksiin .....	65
8.4	Pohjalevy .....	66
8.5	Peruspulttien mitoitus.....	66
<b>9</b>	<b>VAIHTOEHTOISET KEHÄRAKENTEET .....</b>	<b>68</b>
<b>10</b>	<b>YHTEENVETO.....</b>	<b>69</b>
	<b>LÄHTEET.....</b>	<b>70</b>
	<b>LIITTEET.....</b>	<b>70</b>

## 1 JOHDANTO

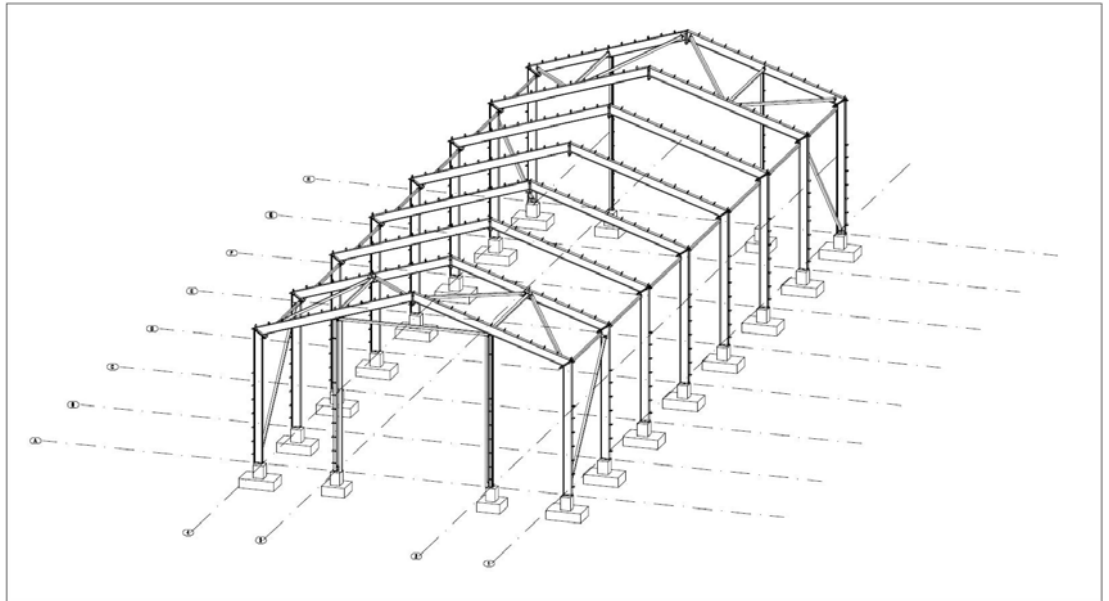
Rakennusalalla suunnittelun luonne on muuttunut paljon lähivuosien aikana. 3D-mallien havainnollisuus sekä hyödyllisyys on huomattu, minkä seurauksena mallinnusta on alettu kehittää ja käyttää enenevässä määrin. Monet ohjelmistot, Tekla Structures mukaan lukien, hyödyntävät 3D -maailmaa tehokkaasti.

Aikaisempi kokemukseni mm. ArchiCAD ohjelmasta helpotti muiden suunnitteluohjelmien 3D maailmaan tutustumisessa.

Laskelmia tehdessä oli Tampereen ammattikorkeakoulussa Risto Liljan pitämän teräsrakenteiden jatkokurssin harjoitustyö suureksi avuksi.

Varsinaiseen tilaajalle tehtyyn työhön hallin laskennan suoritti KPM Engineeringillä DI Markku Laurila. Nämä laskelmat on tehty kehäohjelmalla, jonka tulosteissa ei näkynyt itse laskentaa vaan pelkästään lopputulokset ja annetut kuormat. Tulosteita ei siis voi käyttää referenssinä kuin vain profiilikokojen ja kuormitusten osalta. Markku Laurilan laskelmat löytyvät liitteistä nimellä referenssilaskelmat.

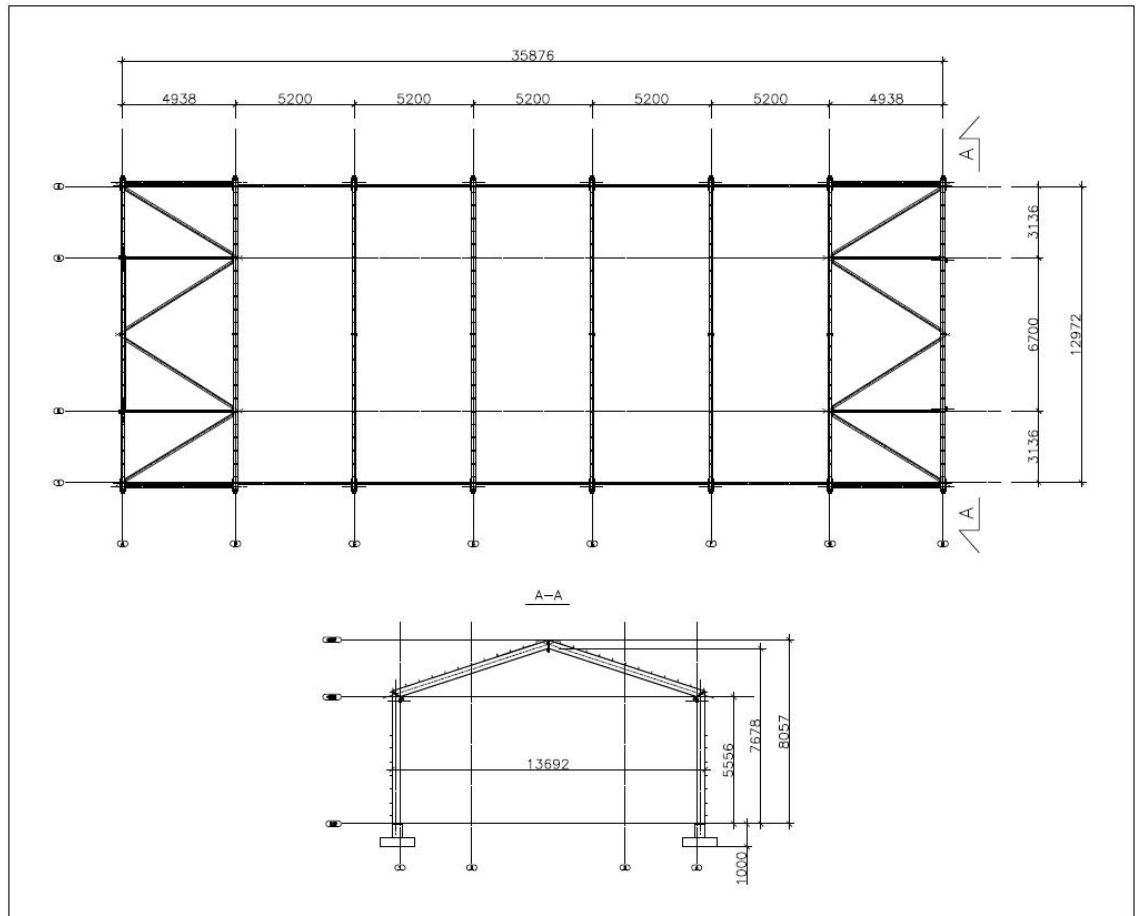
## 2 LÄHTÖTIEDOT



**Kuva 1** Havainnekuva hallista

Kuva 1 on havainnekuva hallista. Hallin moduulivälit pituussuunnassa ovat 4,9 m ja 5,2 m ja poikkisuunnassa n. 3,14 m ja 6,7 m. Nurkka- ja harjaliitokset valitussa 2-nivelkehärakenteessa ovat jäykkiä. Mittakuvassa (kuva 2) on esitetty hallin moduulimitat ja leikkaus.





**Kuva 2** Mittakuva ja leikkaus

### 3 YLÄPOHJA

Yläpohjarakenne on määritelty arkkitehdiltä saaduissa pääpiirustuksissa.

#### 3.1 Lämmöneristysvaatimus

Lämmöneristysvaatimuksen puolilämpimälle tilalle, joka rajoittuu ulkoilmaan, saadaan Rakennuksen lämmöneristys RT -kortista RT RakMK-21355. Rakenteen lämmönläpäisykerroin ei saisi pääosin ylittää  $0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K} /1$ , s. 3/.

### 3.2 Rakennetyyppi

Kattorakenne koostuu seuraavaan luetteluun kirjatuista rakennekerroksista. Sama rakenne on esitetty myös kuvassa 3.

- Kattoprofiili PRP Oy Lock rivikatto, konesaumakatto
- vesikaton ruodelaudat P32·100, k350
- aluskate EL-EXT-1300
- vesikattokoolaus P50·100, k900
- katto-orret 63·225, k600
- tuulensuojavilla 50
- kattoeriste IL-150
- höyrysulku RW-2800
- sisäkattokoolaus P22·100
- sisäkattolevy GN-13
- lämmönläpäisykerroin (laskennassa käytetty lämmönjohtavuus).



**Kuva 3** Kattorakenne

Rakenteen U-arvoksi on lähtötiedoissa valmiiksi ilmoitettu  $U = 0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Annettu U-arvo alittaa vaaditun  $0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . U-arvo on sallituissa rajoissa, joten muutoksia kattorakenteeseen ei tarvitse tehdä.

### 3.3 Lumikuorma

Julkaisussa RIL 201-1999 on ilmoitettu kuinka rakenteiden mitoituksessa käytettävä lumikuorma  $s$  määritetään kattojen peruslumikuorman  $s_k$  ja rakenteen muodosta tai sijainnista riippuvan muotokerroimen  $\mu$  tulona yhtälön (3.1) mukaan. /2, s. 27/.

Peruslumikuorma ( $s_k$ ) katolla on

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

Muotokerroin ( $\mu$ ) on

$$\mu = 0,8$$

$$s = \mu \cdot s_k \quad (3.1)$$

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

Ominaislumikuorman ( $s$ ) arvoksi saatiin kaavan (1) avulla  $s = 2,0 \text{ kN/m}^2$  .

### 3.4 Pysyvä kuorma

Seuraavaksi on ilmoitettu kattorakenteen eri osien neliökuormat.

Kattoprofiili PRP Oy Lock rivikatto, konesaumakatto

$$6 \text{ kg/m}^2 \text{ /3, s. 2/}$$

vesikaton ruodelaudat P32·100, k350

$$(1m \cdot 0,032m \cdot 0,1m) \cdot 3(kpl/m^2) \cdot 500 kg/m^3 = 4,8 kg/m^2 \quad /3, s. 2/$$

vesikattokoolaus P50·100, k900

$$(1m \cdot 0,05m \cdot 0,1m) \cdot 2(kpl/m^2) \cdot 500 kg/m^3 = 5 kg/m^2 \quad /3, s. 2/$$

katto-orret 63·225, k600

$$(1m \cdot 0,063m \cdot 0,225m) \cdot 2(kpl/m^2) \cdot 500 kg/m^3 = 14,2 kg/m^2 \quad /3, s. 2/$$

tuulensuojavilla 50

$$0,05m \cdot 120 kg/m^3 = 6 kg/m^2 \quad /3, s. 2/$$

kattoeriste IL-150

$$0,15m \cdot 80 kg/m^3 = 12 kg/m^2 \quad /3, s. 2/$$

sisäkattokoolaus P22·100

$$(1m \cdot 0,022m \cdot 0,1m) \cdot 2(kpl/m^2) \cdot 500 kg/m^3 = 2,2 kg/m^2 \quad /3, s. 2/$$

sisäkattolevy GN-13

$$0,013m \cdot 800 kg/m^3 = 10,4 kg/m^2 \quad /3, s. 2/$$

$$\sum 57,6 kg/m^2 \approx 0,6 kN/m^2$$

### 3.5 Kuormat yhteensä

Kuormat kerrotaan osavarmuuskertoimilla 1,2 ja 1,5.

$$1,2 \cdot 0,6 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2 = 3,72 \text{ kN/m}^2 \approx 4 \text{ kN/m}^2$$

## 4 ULKOSEINÄ

Ulkoseinärakenne on määritelty arkkitehdiltä saaduissa pääpiirustuksissa.

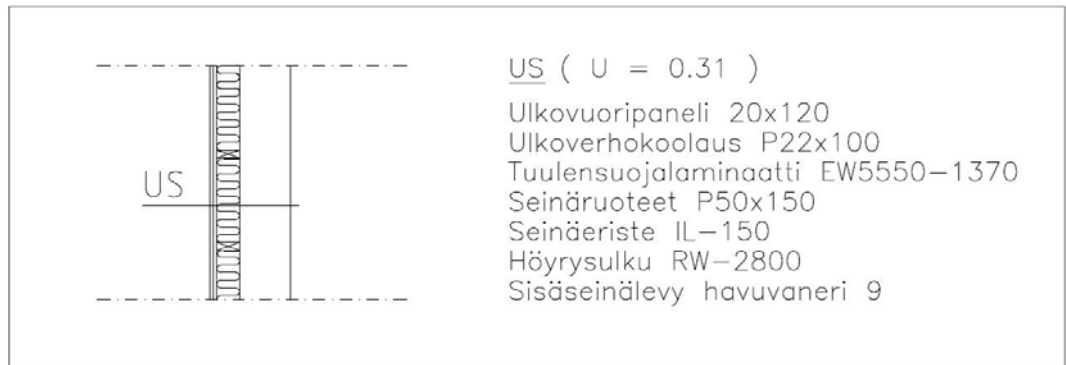
### 4.1 Lämmöneristysvaatimus

Lämmöneristysvaatimuksen puolilämpimälle tilalle, joka rajoittuu ulkoilmaan, saadaan Rakennuksen lämmöneristys RT kortista RT RakMK-21355. Rakenteen lämmönläpäisykerroin ei saisi pääosin ylittää  $0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K} /1$ , s. 3/.

### 4.2 Rakennetyyppi

Ulkoseinärakenne muodostuu seuraavista rakennekerroksista ja rakenneosista. Ulkoseinärakenne on esitetty myös kuvassa 4.

- Ulkovuoripaneeli 20·120
- ulkoverhouskoolaus P22·100
- tuulensuojalaminaatti EW5550-1370
- seinäruoteet P50·150
- seinäeriste IL-150
- höyrysulku RW-2800
- seinälevy havuvaneri 9.



**Kuva 4** Ulkoseinärakenne

Rakenteen U-arvoksi on lähtötiedoissa valmiiksi ilmoitettu  $U = 0,31 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Annettu U-arvo alittaa vaaditun  $0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . U-arvo on sallituissa rajoissa, joten muutoksia seinärakenteeseen ei tarvitse tehdä.

### 4.3 Tuulikuorma ulkoseinän tukirakenteiden mitoittamista varten

Lasketaan tuulen aiheuttamat maksimikuormat seinän kannakelevyjen sekä seinäruoteiden kiinnityksien mitoittamista varten.

RIL 201-1999, Maastoluokka I

Valitaan maastoluokka I, koska rakennettava telakkahalli sijaitsee satamassa. Tuuli pääsee vapaasti puhaltamaan mereltä, jolloin tuulen nopeudet ovat suurempia.

Ulkoinen tuulenpaine lasketaan kaavalla (x):  $W_e = q(z_e) \cdot c_{pe}$  (4.1) /2, s. 51/

Sisäinen tuulenpaine lasketaan kaavalla (x):  $W_i = q(z_e) \cdot c_{pi}$  (4.2) /2, s. 51/

Maastoluokan mukainen nopeuspaine  $q(z_e)$  saadaan RIL 201-1999-julkaisun sivulla 46 olevasta taulukosta tai seuraavalla kaavalla (4.1).

$$q(z_e) = 0,77 \cdot (z/10)^{0,20} \quad (4.3)$$

Kaava (4.3) löytyy julkaisun RIL 144-1997 sivulta 30. Sekä julkaisusta RIL 144-1997 saatu kaava, että julkaisun RIL 201-1999 taulukko antavat saman arvon haetulle nopeuspaineelle.

Valitaan rakennuksen korkeudeksi maaston pinnasta 10 metriä. Tuulikuorma tulee tällöin hiukan ylimitoitettua.

$$q(ze) = 0,77 \cdot (10m/10)^{0,20} = 0,77$$

$$q(ze) = 0,77 \text{ kN/m}^2$$

Kertoimet  $C_{pe}$  ja  $C_{pi}$

Kertoimien  $C_{pe}$  ja  $C_{pi}$  arvoiksi taulukoista valitaan  $C_{pe,10}$  ja  $C_{pi,10}$  -arvot, koska kuormitusala A johon tuulenpaine kohdistuu, on yli  $10m^2/2$ , s. 53 ja s. 55/.

Sisäänpäin painavat max tuulenpaineet

$$C_{pe,max} = 0,8 \quad /2, \text{ s. } 55/$$

$$C_{pi,max} = 0,5 \quad /2, \text{ s. } 71/$$

Ulospäin painavat max tuulenpaineet

$$C_{pe,max} = 1,0 \quad /2, \text{ s. } 55/$$

$$C_{pi,max} = 0,8 \quad /2, \text{ s. } 71/$$

Ylipaine

$$\text{Sisäinen paine: } W_e = q(ze) \cdot c_{pe} = 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 = 0,77 \text{ kN/m}^2 \quad (4.4)$$

$$\text{Ulkoinen paine: } W_i = q(ze) \cdot c_{pi} = 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 = 0,62 \text{ kN/m}^2 \quad (4.5)$$

$$\text{Ylipaine yhteensä: } \Rightarrow 0,77 \text{ kN/m}^2 + 0,62 \text{ kN/m}^2 = 1,39 \text{ kN/m}^2 \approx 1,4 \text{ kN/m}^2$$

Alipaine

$$\text{Sisäinen paine: } W_e = q(z_e) \cdot c_{pe} = 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5 = 0,385 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ulkoinen paine: } W_i = q(z_e) \cdot c_{pi} = 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 = 0,62 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Alipaine yhteensä: } \Rightarrow 0,385 \text{ kN/m}^2 + 0,62 \text{ kN/m}^2 = 1,005 \text{ kN/m}^2 \approx 1 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.4 Mitoitus

Tiedetään että tuulesta aiheutuva maksimikuormitus  $|W|_{\max}$  on  $140 \text{ kg/m}^2$ .

Arkkitehti on määritellyt seinärakenteen hyvin tarkasti. Mikäli selkeää virhettä esimerkiksi seinäruoteiden osalta ei ole havaittavissa, ei ole syytä puuttua rakenteeseen. Tässä tapauksessa rakenteeseen ei ole tarvetta puuttua.

Ulkoseinärakenne tukeutuu teräspilareihin hitsattuihin kannakelevyihin. Kannakelevyissä on 8 mm reiät ruuvikiinnityksiä varten.

#### 4.5 Ulkoseinärakenteen kiinnitykset

Ulkoseinärakenteiden kiinnitysten maksimikuormitus aiheutuu tuulen maksimi ylipaineesta. Seinäruoteiden kiinnityksille tämä aiheuttaa leikkausta ja seinäkannakelevyjen hitseille vetoa.

$$|W|_{\max} = 140 \text{ kg/m}^2$$

Vaakahitsin minimivahvuus vedolle:

Seinäkannakelevyjen maksimietäisyys korkeussuunnassa = 1,5 m



Seinäkannakelevyjien maksimietäisyys leveyssuunnassa = 5,4 m

$$f_u = 1400 \text{ N/m}^2 \cdot (1,5\text{m} \cdot 5,4\text{m}) = 11340 \text{ N}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw} \cdot a \cdot L_w = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} \cdot a \cdot L_w \quad (4.6)$$

$$a \geq \frac{F_{t,Sd}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} \cdot L_w} = \frac{11340 \text{ N}}{\frac{510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} \cdot 145 \text{ mm}} = 0,3 \text{ mm}$$

Laskenta osoittaa vaakahitsiä rasittavan voiman olevan hyvin pieni toteutuvan hitsisauman vetokestävyyteen verrattuna.

Valitaan seinäkannakelevyjien pystyhitseiksi sekä ylä- ja alareunan vaakahitseiksi  $a = 3 \text{ mm}$  pienahitsi. Hitsisauman ylimitoituksella taataan sen, että mahdolliset lisäkuormat eivät aiheuta ongelmia.

Mitoitetaan ruuvit ja ruuvimäärät ulkoseinää irrottavalle tuulenpaineelle.

Tukivoima:

$V = \text{ominaiskuorma}$

$V_d = \text{laskentakuorma} = 1,5 \cdot V$

Seinäkannakelevyjien maksimietäisyys korkeussuunnassa = 1,5 m

Seinäkannakelevyjien maksimietäisyys leveyssuunnassa = 5,4 m

Valitaan ruuvi SXC14-S19-5,5x240

Ruuvien halkaisija = 5,5 mm

Ruuvien vetokestävyys 1500 N

Ruuvien leikkauskestävyys:

$$A_r = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (5,5/2)^2 = 23,76 \text{ mm}^2 \quad (4.7)$$

$$V_{pl.Rd} = A_v \frac{f_y}{\gamma_{MO} \cdot \sqrt{3}} = 23,76 \text{ mm}^2 \frac{355 \text{ N/mm}^2}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 4427 \text{ N} = 4,43 \text{ kN}$$

Tuulikuorma:

$$V_d = 1,4 \text{ kN/m}^2 \cdot (5,4 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m}) \cdot 1,5 = 17 \text{ kN}$$

Ruuvien määrä

$$17 \text{ kN} \div 4,43 \text{ kN} = 3,84 \Rightarrow 4 \text{ ruuvia} / \text{seinäkannakelevy}$$

## 5 KEHÄ HALLIN POIKKISUUNTAAN

### 5.1 Rungon päämitat

Jänneväli 4,9 m ja 5,2 m.

Laskennassa käytetään 5,2 metrin jänneväliä. Tällöin tulokset ovat varmalla puolella. Mikäli rakenteen optimointi viimeiseen asti ei ole rakennetta mitoitettaessa olennaisinta, voi ja kannattaa nyt käsiteltävän tapauksen mukaisesti pitää mitoitus hieman varman puolella. Näin toimittaessa rakenne kestää varmasti tulevat kuormitukset ja rakenneosien monimuotoisuus vähenee, mikä on myös osaltaan kustannus-säästö. Suunnittelussa tämä säästö ilmenee suunnitteluun käytetyn ajan määrässä. Konepajatuotannossa usean saman rakenteen valmistaminen on edullisempaa kuin yksilöityjen tuotteiden. Monimuotoisen

detaljiikan vaatima koneiden uudelleen ohjelmointi ja lisääntyvistä työvaiheista aiheutuva kustannuslisä luonnollisesti kasvattaa rakenteen hintaa. Eli yhdenmukaistamalla rakenneosia voidaan pienentää kustannuksia.

$$\text{Pituus } 2 \cdot 4,938m + 5 \cdot 5,2m = 35,88m$$

$$\text{Leveys } 13,69 m$$

$$\text{Kehän korkeus } 8,06 m$$

## 5.2 Jäykistys ja staattinen tasapaino

Kehä itsessään jäykistää hallin itsensä suunnassa. Hallin pituussuuntainen jäykistys hoidetaan katon tasossa olevilla päätyjen putkisiteillä, pilarin ja

yläpaarten liitoskohdassa kulkevilla hallin pituussuuntaisilla putkisiteillä sekä pitkän sivun seinien putkivinositein.

## 5.3 Kehän epätarkkuudet

Hallin pituussuunta.

Epätarkkuudet, eli rakenneosien alkuvinoudet määritetään alkuvinouden  $\phi$  avulla seuraavasti:

$$\phi = k_c k_s \phi_0 \quad (5.1)$$

$$\phi_0 = 1/200$$

$$k_c = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_c}} \leq 1,0 \Rightarrow k_c = \sqrt{0,5 + \frac{1}{20}} = 0,74 \leq 1,0 \quad (5.2)$$

$$k_s = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_s}} \leq 1,0 \Rightarrow k_s = \sqrt{0,2 + \frac{1}{1}} = 1,1 > 1,0 \Rightarrow k_s = 1 \quad (5.3)$$

$n_c = 20$  , pilareiden lukumäärä koko tasossa

$n_s = 1$  , kerrosten lukumäärä

$$\phi = k_c k_s \phi_0 = 0,74 \cdot 1 \cdot 1/200 = 0,0037$$

Alkuvinoudet korvataan Ekvivalenteilla vaakavoimilla /6, s. 34/.

Pysyvä kuorma  $\approx 0,5 \text{ kN/m}^2$  . Lasketaan pysyvän kuorman aiheuttama ekvivalentti vaakasuuntainen voima yhtä kehää kohti kehän suunnassa.

Yläpohjassa:

$$N = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot (13,69\text{m}/2 \cdot 5,2\text{m}) = 17,8\text{kN} \quad (5.4)$$

$$\phi N = 0,0037 \cdot 17,8\text{kN} = 0,066\text{kN} \quad (5.5)$$

Tämä kehän suuntainen vaakavoima on niin pieni, että siitä ei muodosteta omaa kuormitustapausta. Tuulen nopeuspaineeksi  $q_k = 0,77 \text{ kN/m}^2$  on otettu tuuli 10 metrin korkeudella, joten 0,06 kN voima tulee huomioiduksi reilusti jo tuulen nopeuspaineen ylityksessä.

Lasketaan pysyvän kuorman aiheuttama ekvivalentti vaakasuuntainen voima rakennuksen pituussuunnassa yhtä pitkää sivua kohti.

Pysyvä kuorma =  $0,66 \text{ kN/m}^2$

Yläpohjassa:

$$N = 0,66 \text{ kN/m}^2 \cdot (13,69\text{m}/2 \cdot 35,88\text{m}) = 162,1\text{kN}$$

$$\phi N = 0,0037 \cdot 162,1\text{kN} = 0,6\text{kN}$$

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

Lasketaan lumikuorman aiheuttama ekvivalentti vaakasuuntainen voima yhtä kehää kohti kehän suunnassa.

Yläpohjassa:

$$N = 2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot (13,69\text{m}/2 \cdot 5,2\text{m}) = 71,2\text{kN}$$

$$\phi N = 0,0037 \cdot 67,44\text{kN} = 0,26\text{kN}$$

Tämä kehän suuntainen vaakavoima on niin pieni, että siitä ei muodosteta omaa kuormitustapausta. Tuulen nopeuspaineeksi  $q_k = 0,77 \text{ kN/m}^2$  on otettu tuuli 10 metrin korkeudella, joten 0,26 kN voima tulee huomioiduksi reilusti jo tuulen nopeuspaineen ylityksessä.

Lasketaan lumikuorman aiheuttama ekvivalentti vaakasuuntainen voima rakennuksen pituussuunnassa yhtä pitkää sivua kohti.

Yläpohjassa:

$$N = 2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot (13,69\text{m}/2 \cdot 35,88\text{m}) = 491,2\text{kN}$$

$$\phi N = 0,0037 \cdot 491,2\text{kN} = 1,82\text{kN}$$

#### 5.4 Paine kertoimien määrittäminen katolle

Kattoon vaikuttavat kertoimet lasketaan euronormien ohjeiden mukaan jakamalla katto eri alueisiin. Katto on jaettu eri vyöhykkeisiin, joilla on omat paine kertoimensa. Paine kertoimet saadaan julkaisun RIL201-1999 sivuilla 63 ja 64 olevasta taulukosta.

Vyöhykkeiden leveyksien laskennassa tarvitaan suuretta  $e$ , joka määritetään hallin mittojen mukaan seuraavasti.

$e = b$  tai  $2h$ , pienempi arvo valitaan.

$b$  = tuulta vastaan kohtisuora mitta

$h$  = rakennuksen viitek korkeus ( $Z_e$ ), joka on rakennuksen korkeus harjalle.

Tuuli lyhyelle sivulle:

$$b = 13692 \text{ mm}$$

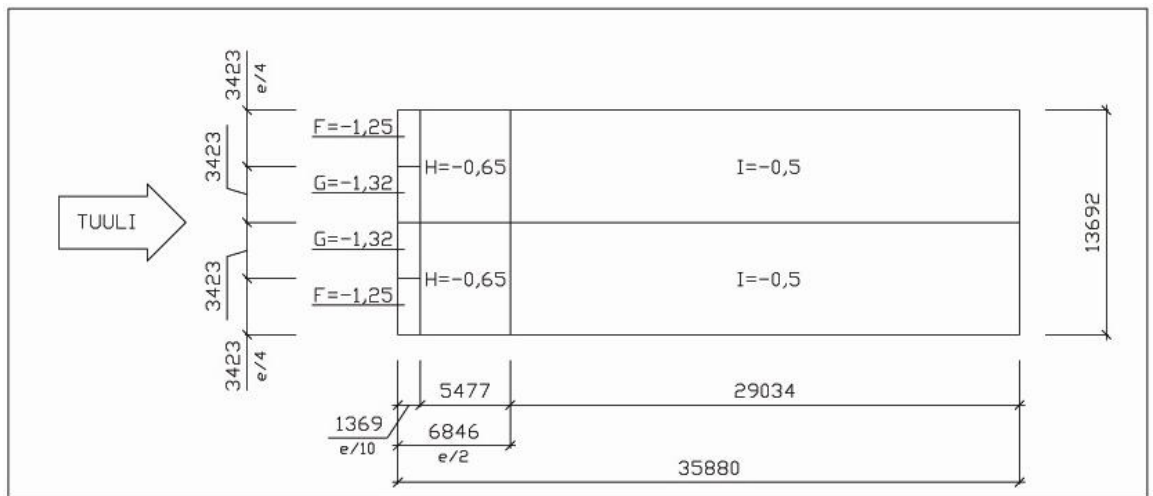
$$2h = 2 \cdot 8057 \text{ mm} = 16114 \text{ mm}$$

Näistä arvoista tulee valita pienempi, joten arvo  $b = 13629 \text{ mm}$  otetaan käyttöön.

$$b < 2h \rightarrow e = 13692 \text{ mm}$$

Tuulta lyhyelle sivulle tarkasteltaessa ensimmäinen kehä osuu H-kertoimen alueelle. Valitaan alueen H kerroin koko katolle. Kertoimet on esitetty kuvassa (kuva 5).

$$C_{pe.10,H} = -0,65$$



**Kuva 5** Tuuli lyhyelle sivulle

Tuuli pitkälle sivulle:

$$b = 35880\text{mm}$$

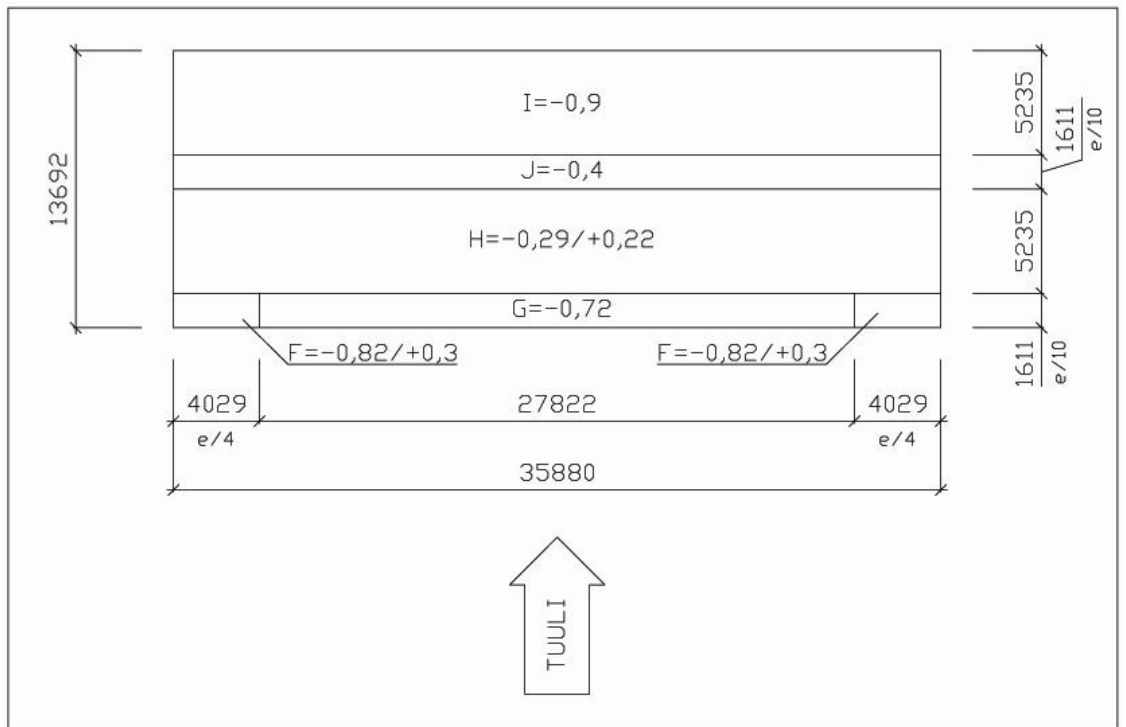
$$2h = 2 \cdot 8057\text{mm} = 16114\text{mm}$$

Näistä arvoista tulee valita pienempi, joten arvo  $2h = 16114\text{ mm}$  otetaan käyttöön.

$$b > 2h \rightarrow e = 16114\text{mm}$$

Valitaan F-G vyöhykkeelle kertoimeksi kertoimien F ja G keskiarvo. Käytetään negatiivisten arvojen ominaisarvoja, koska positiivisten kertoimien arvoihin nähden negatiivisten kertoimien arvot muodostavat paremman tapauksen. Kertoimet on esitetty kuvassa (kuva 6).

$$C_{pe.10,FG} = \frac{F + G}{2} = \frac{0,82 + 0,72}{2} = 0,77 \quad (5.6)$$

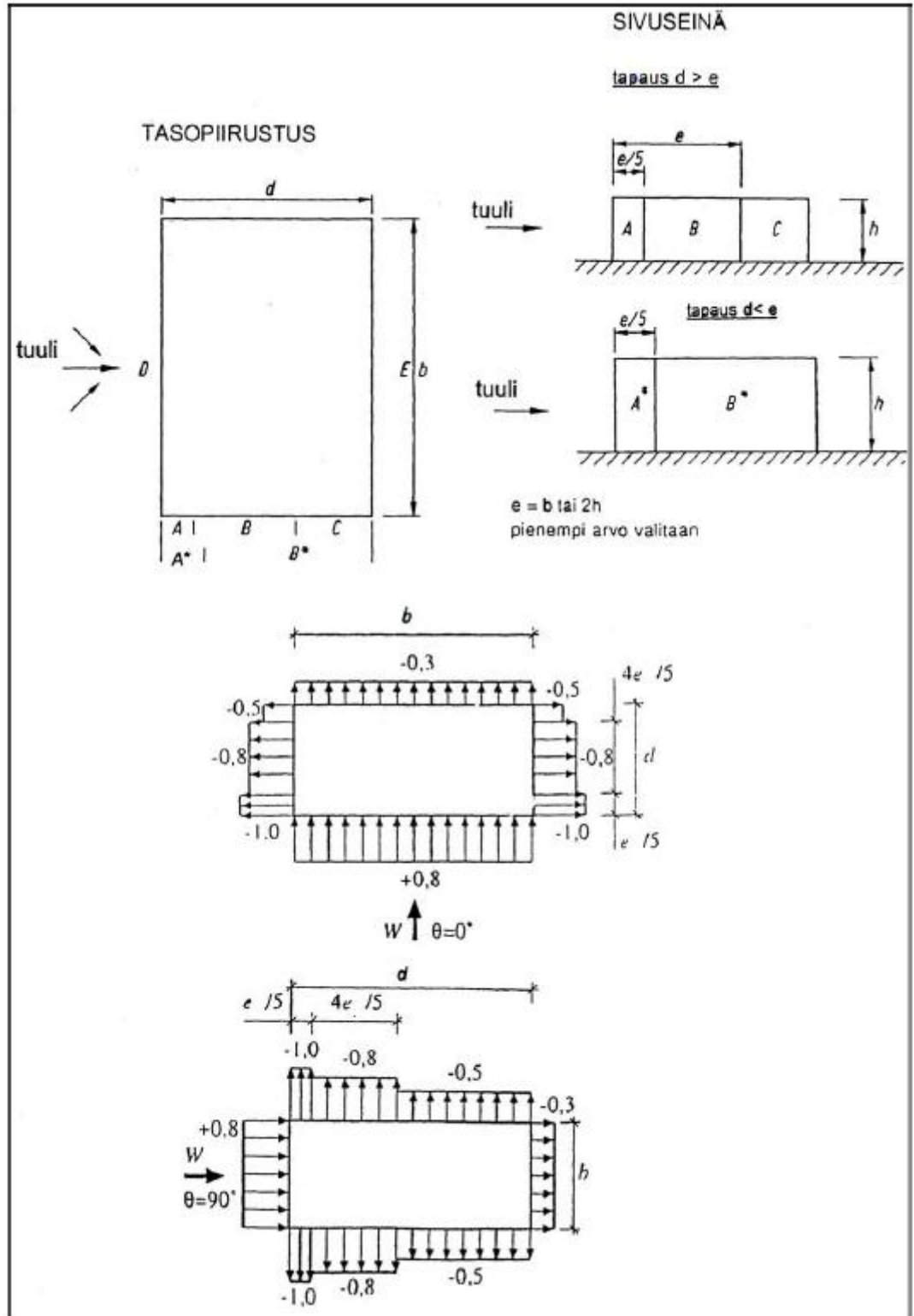


**Kuva 6** Tuuli pitkälle sivulle

### 5.5 Paine kertoimien määrittäminen seinille

Seiniin vaikuttavat kertoimet lasketaan euronormien ohjeiden mukaan. Kuvan 7 avulla saamme laskettua paine kertoimet.





**Kuva 7** Selitys pystysuurille seinille /2, s. 55/

$e = b$  tai  $2h$ , pienempi arvo valitaan

$b$  = tuulta vastaan kohtisuora mitta

$h$  = seinän korkeus. Tässä tapauksessa seinän korkeudeksi valitaan harjakorkeus, näin suuremman paineen alaiseksi jää pidempi pätkä seinää.

Tuuli lyhyelle sivulle:

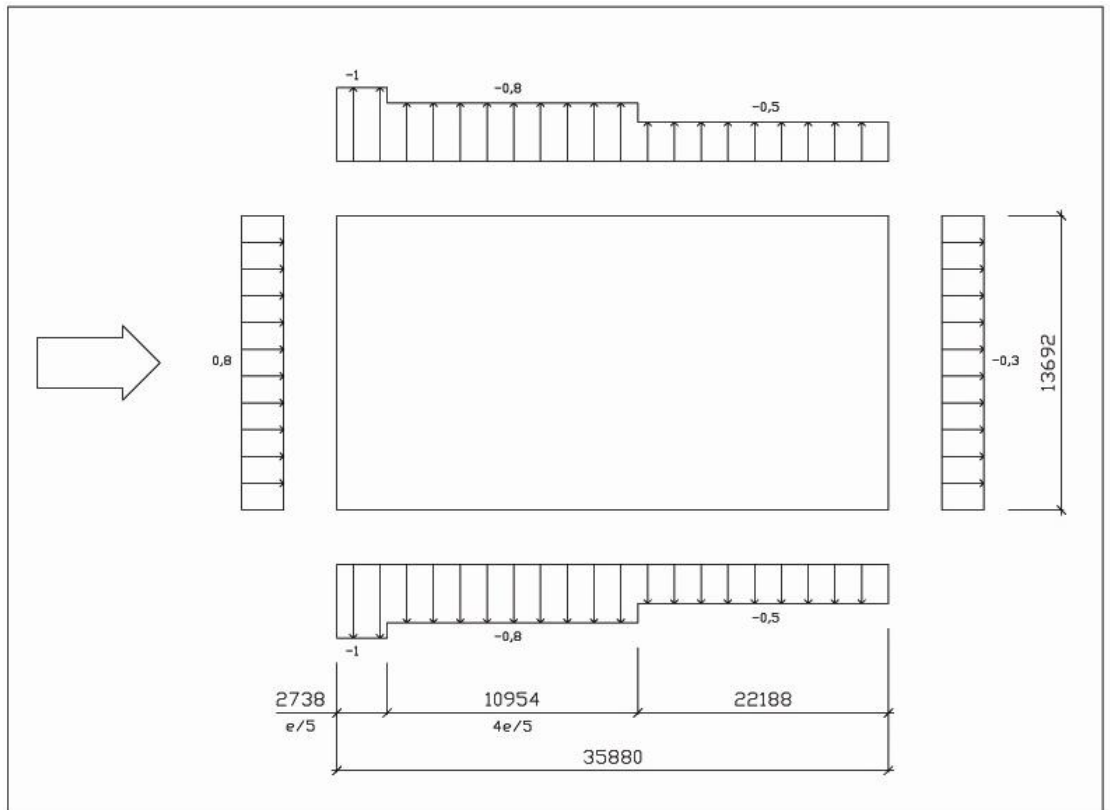
$$b = 13692\text{mm}$$

$$2h = 2 \cdot 8057\text{mm} = 16114\text{mm}$$

Näistä arvoista tulee valita pienempi, joten arvo  $b=13692\text{ mm}$  otetaan käyttöön.

$$b < 2h \rightarrow e = 13692\text{mm}$$

Lasketaan kuvan 7 ohjeiden avulla seinien painekertoimien vyöhykkeiden leveydet. Kuvassa 8 on esitetty lasketut vyöhykkeiden leveydet ja painekertoimien suuruudet.



**Kuva 8** Ulkoinen paine, tuuli lyhyelle sivulle

Tuuli pitkälle sivulle:

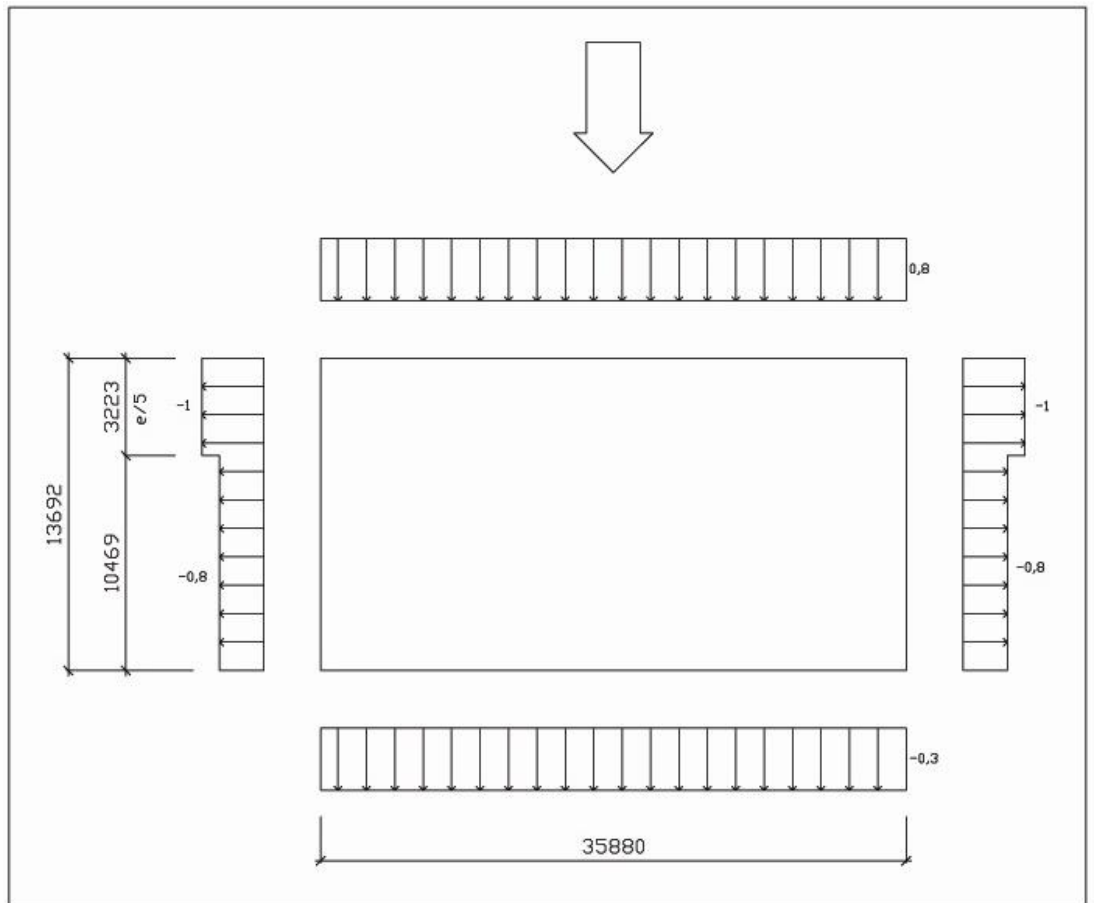
$$b = 35880\text{mm}$$

$$2h = 2 \cdot 8057\text{mm} = 16114\text{mm}$$

Näistä arvoista tulee valita pienempi, joten arvo  $2h=16114\text{ mm}$  otetaan käyttöön.

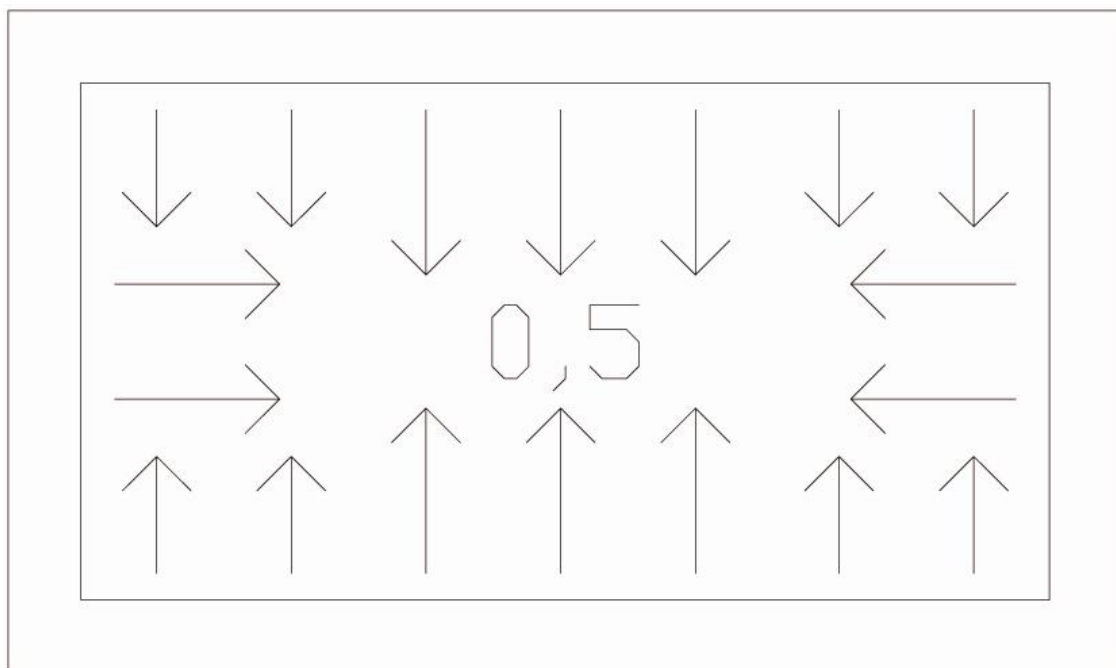
$$b > 2h \rightarrow e = 16114\text{mm}$$

Lasketaan kuvan 7 ohjeiden avulla seinien painekertoimien vyöhykkeiden leveydet. Kuvassa 9 on esitetty lasketut vyöhykkeiden leveydet ja painekertoimien suuruudet.

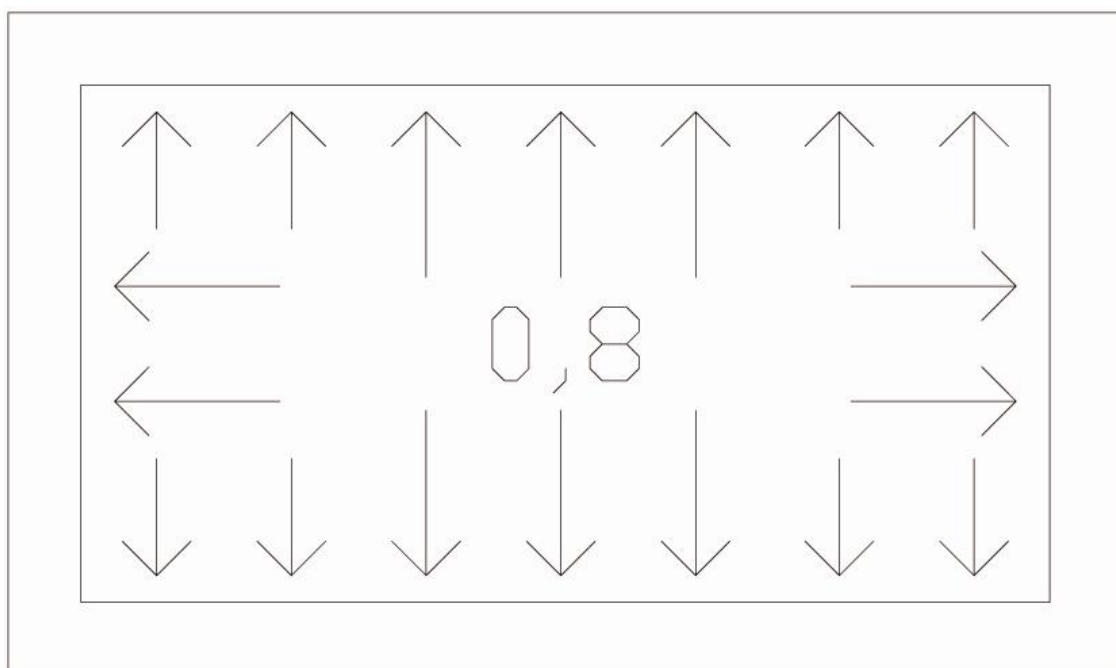


**Kuva 9** Ulkoinen paine Tuuli pitkälle sivulle

Sisäisen paineen kertoimina voidaan käyttää kertoimia  $C_{pi} = 0,8$  ja  $C_{pi} = -0,5$  /2, s. 71/. Kuvissa 10 ja 11 on esitetty sisäisten paineiden painekertoimien suuruudet.



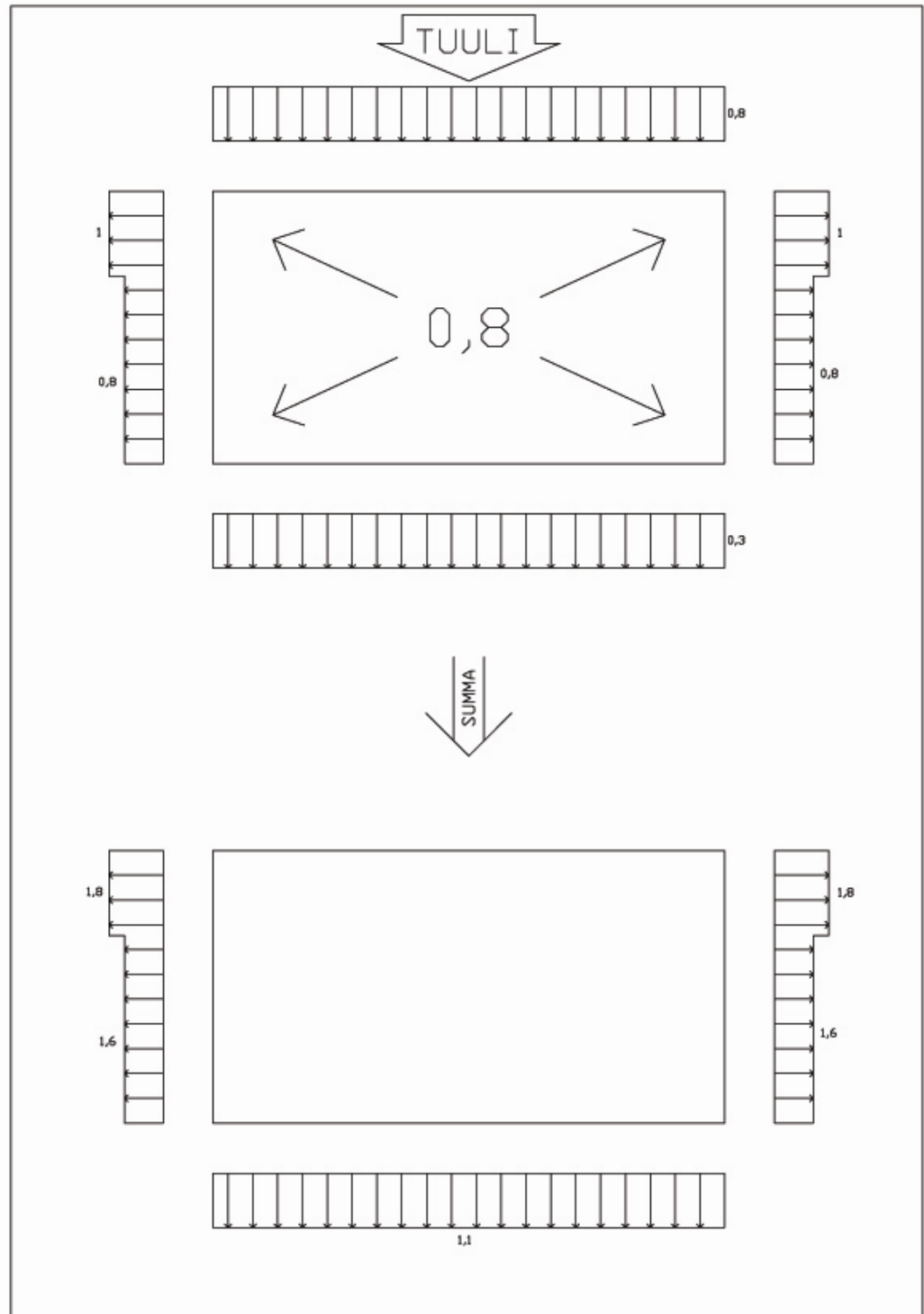
**Kuva 10** Sisäinen paine, alipaine



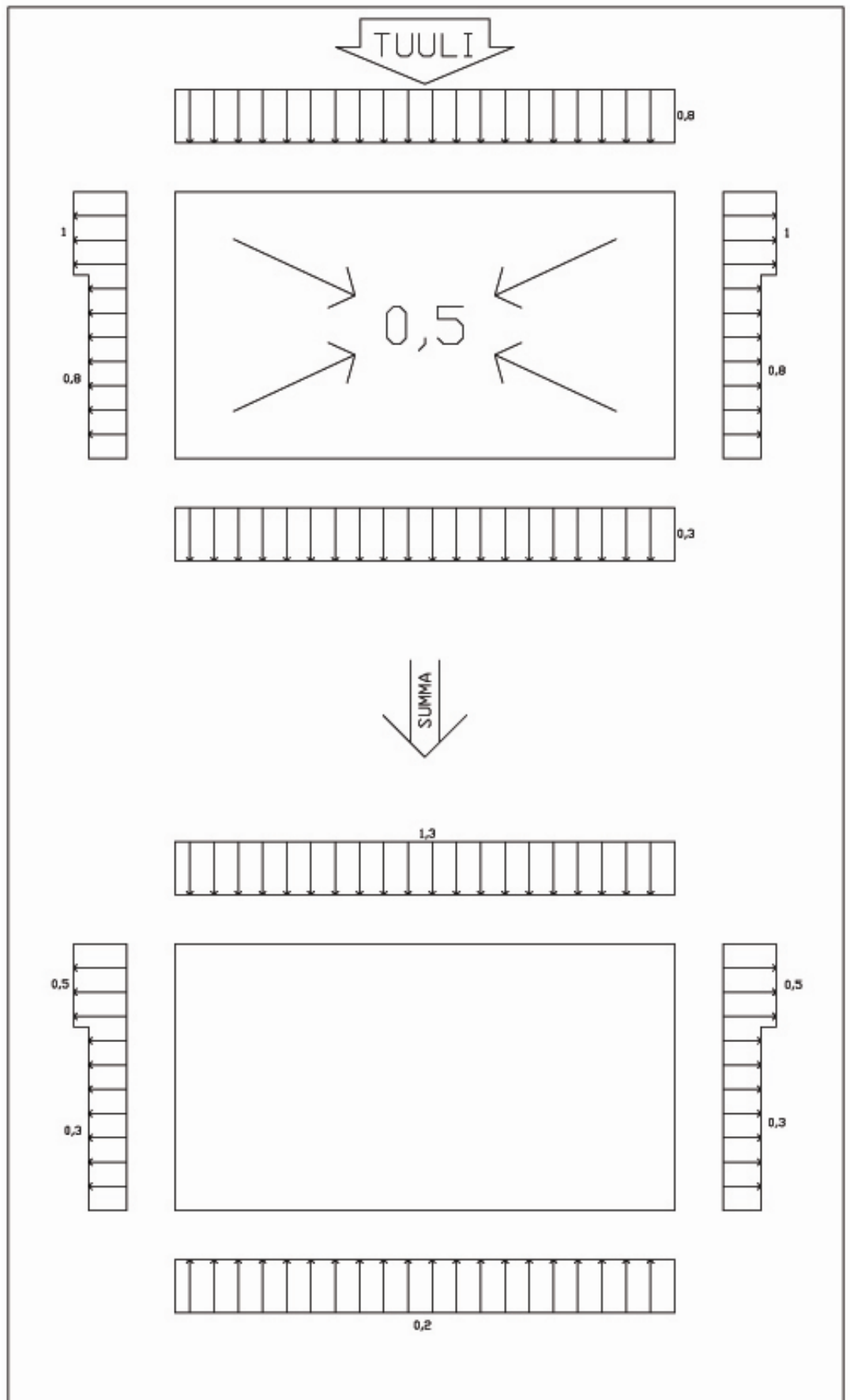
**Kuva 11** Sisäinen paine, ylipaine

### Nettopaineet seinille

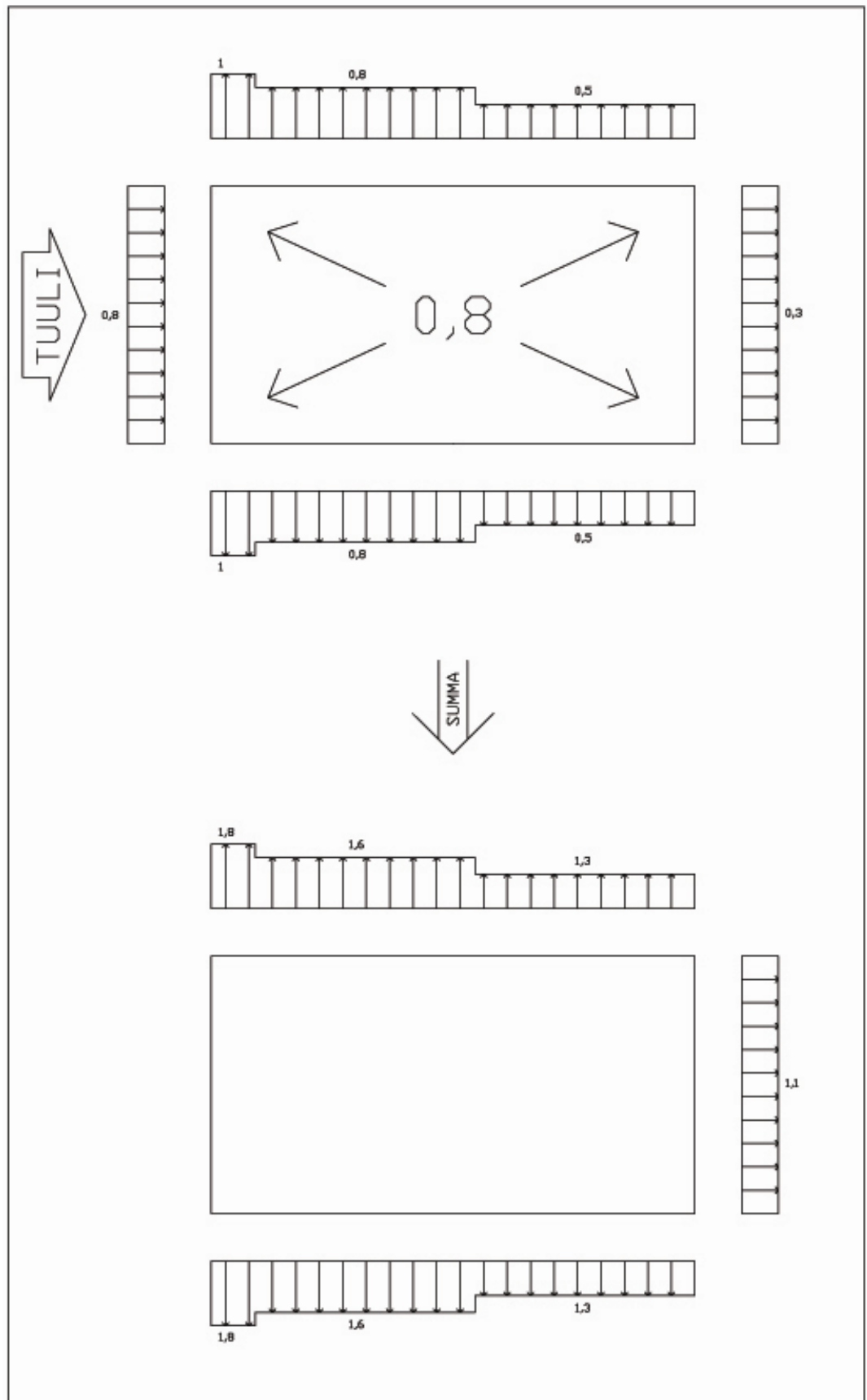
Nettopaineet seinille saadaan yhdistämällä sisäiset ja ulkoiset paineet etumerkit huomioon ottaen. Kuvissa 12 - 15 on esitetty painekertoimien summaukset.



**Kuva 12** Tuuli pitkälle sivulle ja ylipaine

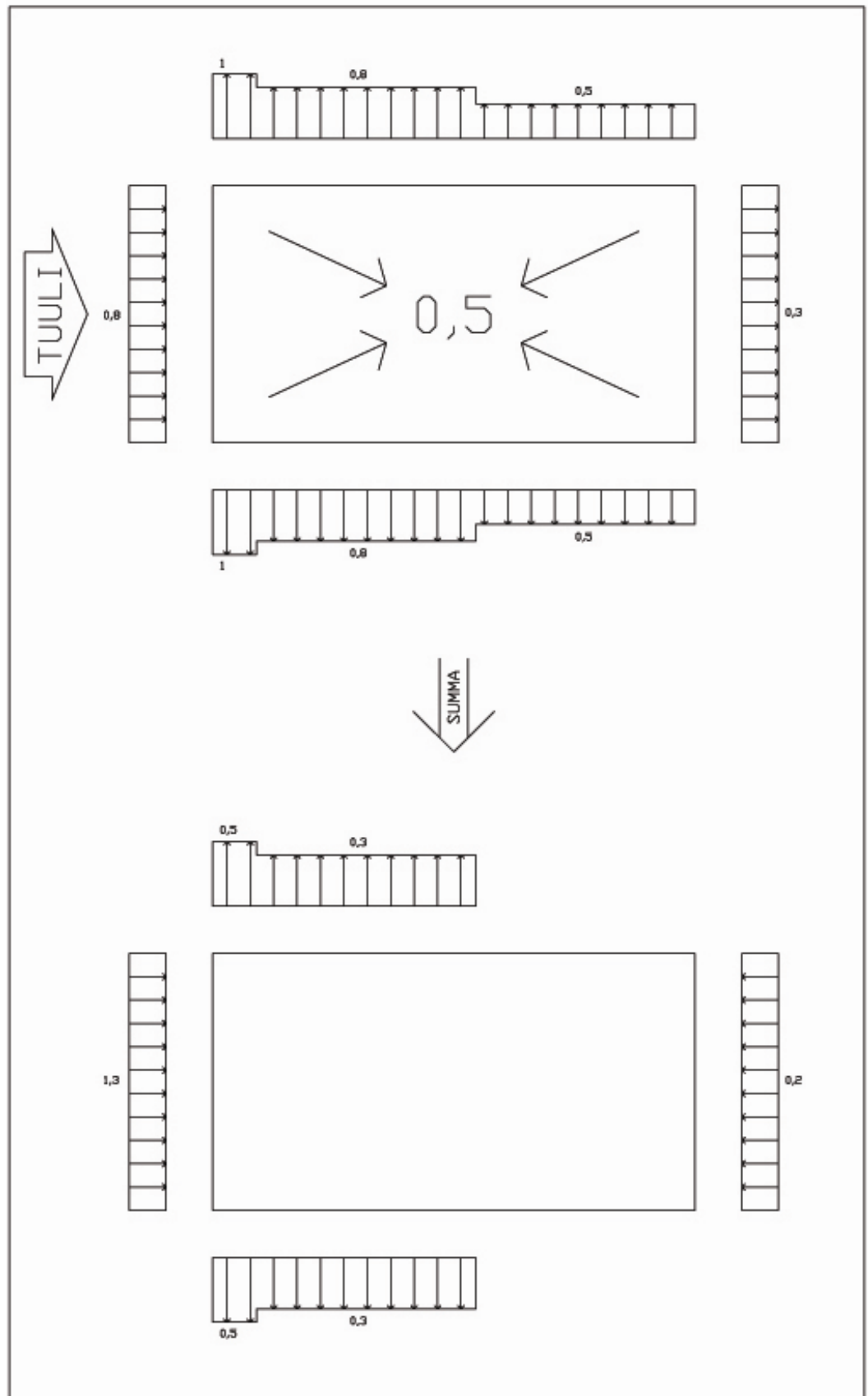


**Kuva 13** Tuuli pitkälle sivulle ja alipaine



**Kuva 14** Tuuli lyhyelle sivulle ja ylipaine





**Kuva 15** Tuuli lyhyelle sivulle ja alipaine

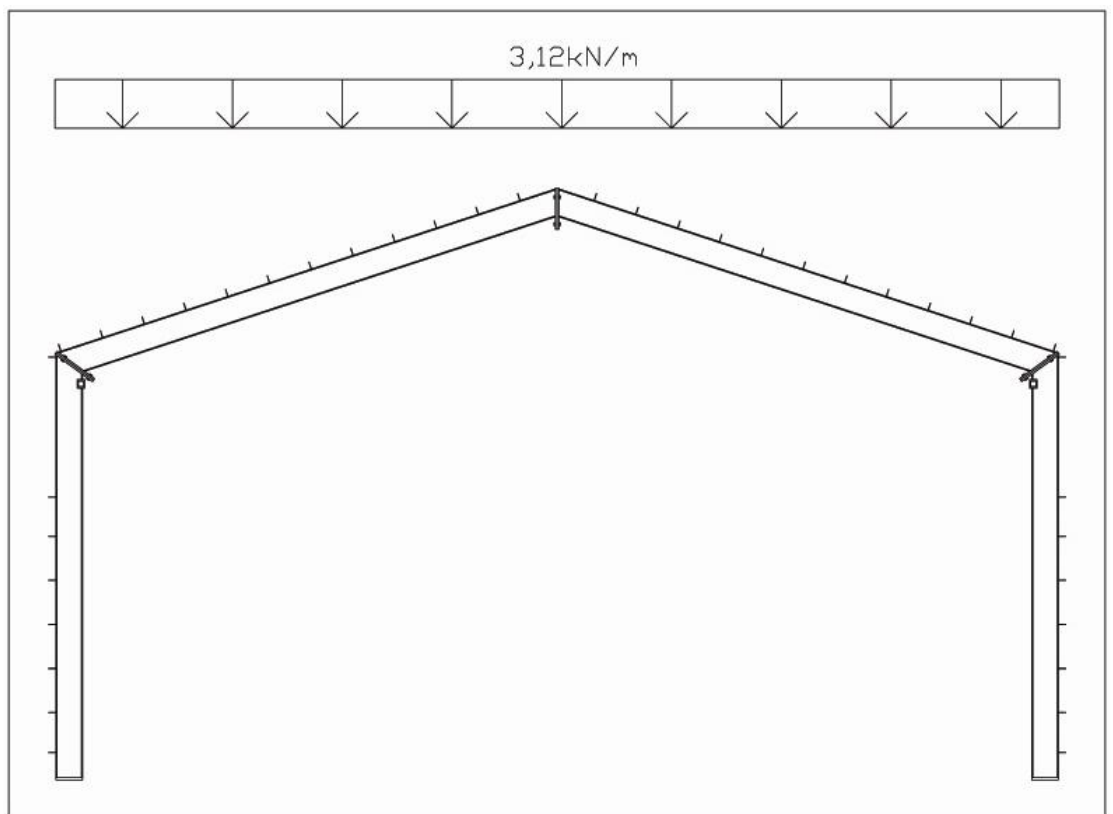
## 5.6 Kuormitustapaukset

Lasketaan kehää rasittavat kuormat suuremman moduulivälin, 5,2 m, mukaan. Kuormitusyhdistelmien kuormia ei ole kerrottu varmuuskertoimella, koska kehäohjelma WinStatic ottaa laskennassa huomioon varmuuskertoimet.

KT1

Pysyvä kuorma (kuva 16).

$$5,2m \cdot 0,6kN/m^2 = 3,12kN/m$$

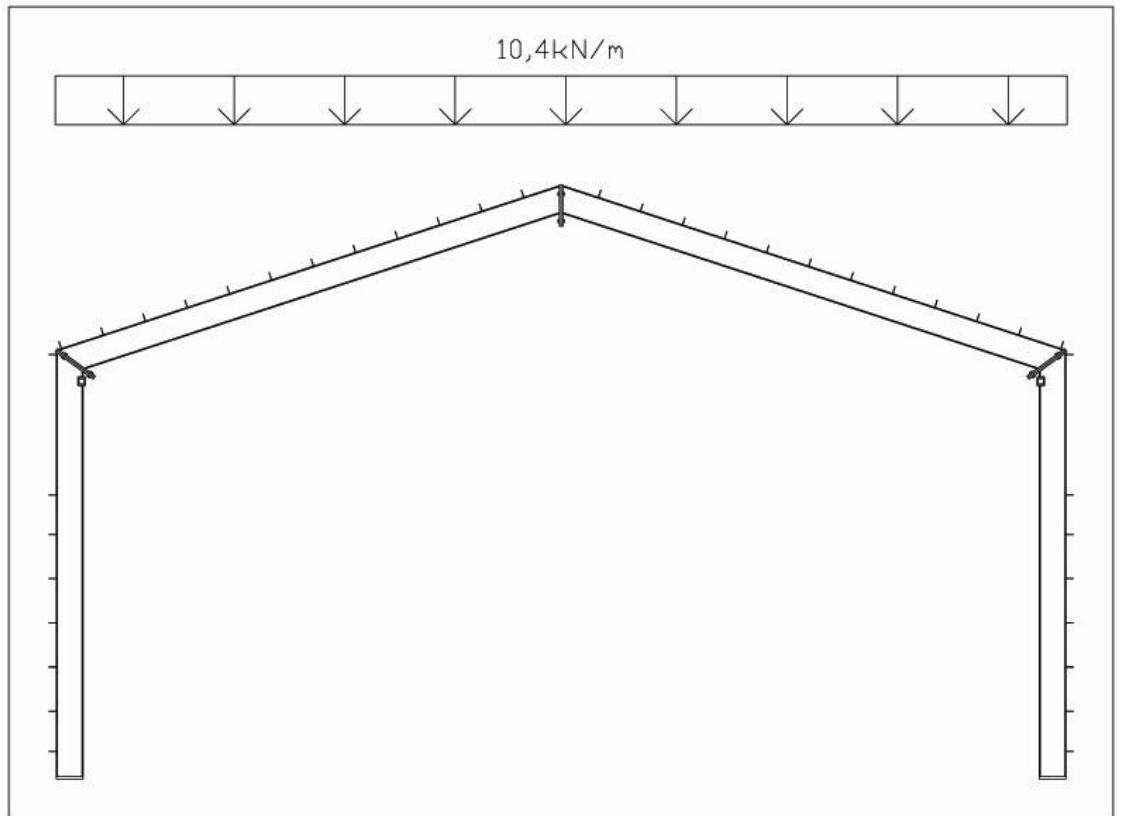


**Kuva 16** KT1

KT2

Kokonaislumikuorma (kuva 17).

$$5,2m \cdot 2kN/m^2 = 10,4kN/m$$



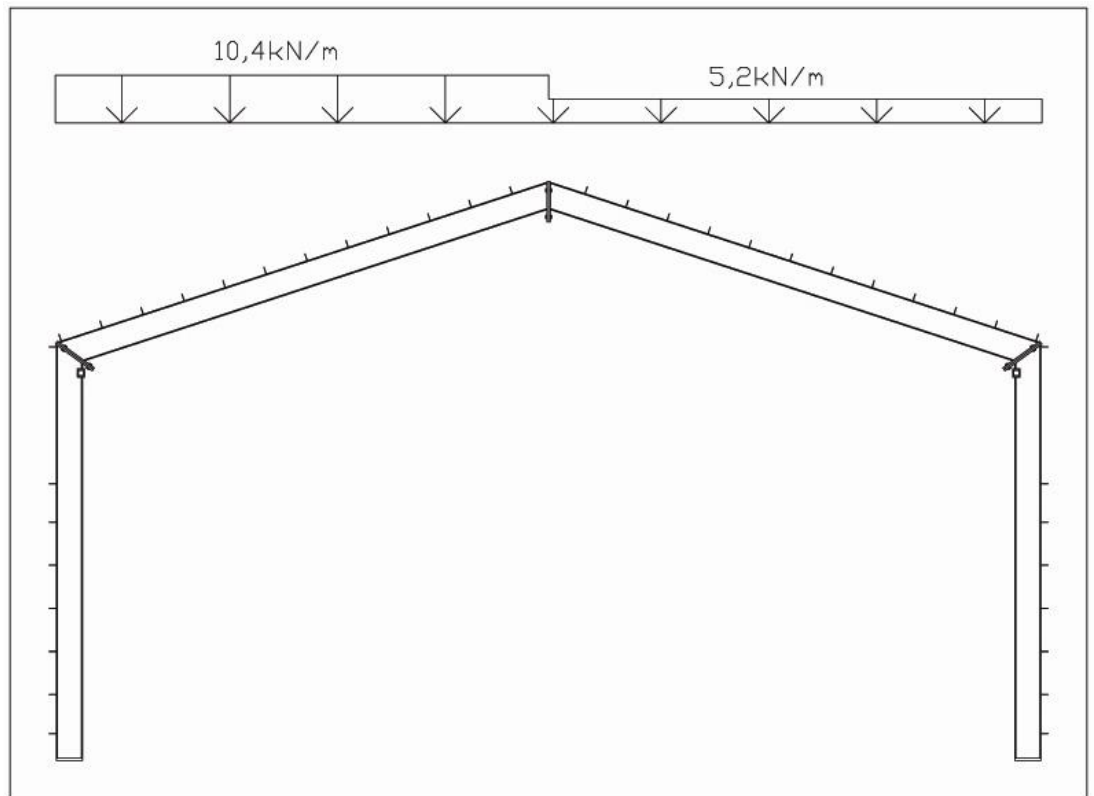
**Kuva 17** KT2

KT3

Toisella lappeella on täysi lumikuorma, toisella puolet lumikuormasta (kuva18).

$$5,2m \cdot 2kN/m^2 = 10,4kN/m$$

$$0,5 \cdot (5,2m \cdot 2kN/m^2) = 5,2kN/m$$



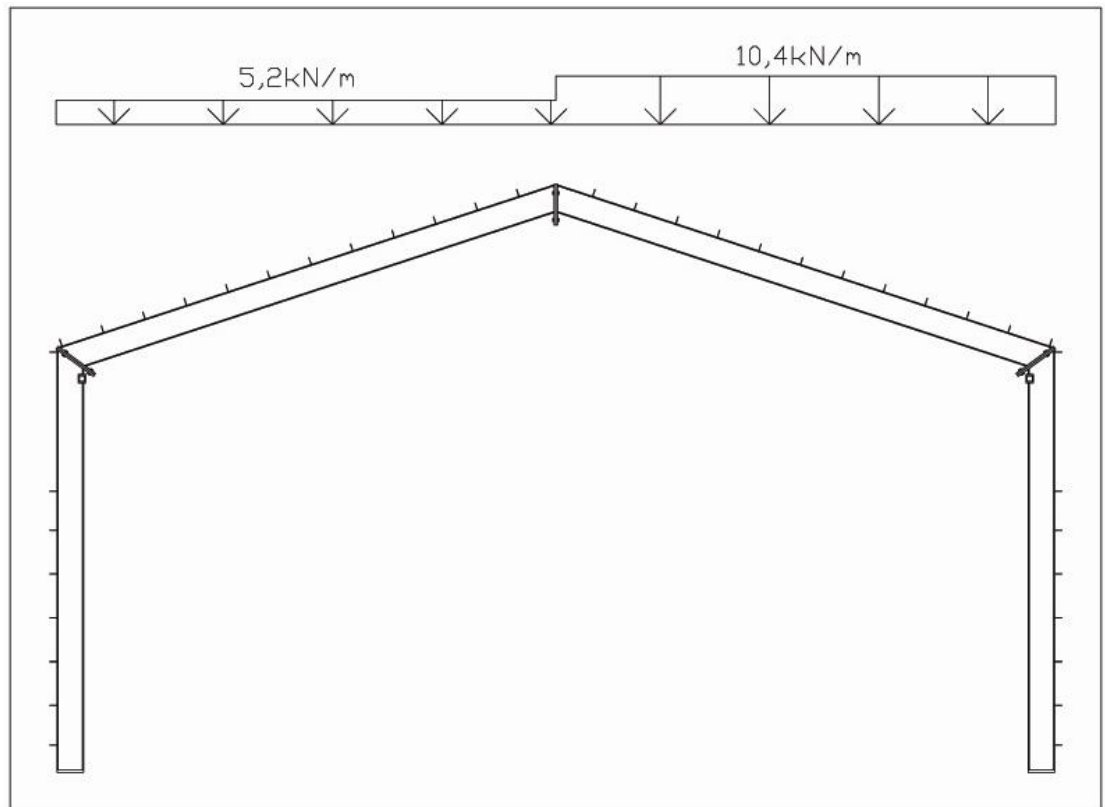
**Kuva 18** KT3

KT4

Toisella lappeella on täysi lumikuorma, toisella puolet lumikuormasta (kuva 19).

$$5,2m \cdot 2 \text{ kN/m}^2 = 10,4 \text{ kN/m}$$

$$0,5 \cdot (5,2m \cdot 2 \text{ kN/m}^2) = 5,2 \text{ kN/m}$$



**Kuva 19** KT4

KT5

Tuuli pitkälle sivulle ja ylipaine (kuva 20).

Seinien painekertoimissa on huomioitu sisäiset ja ulkoiset paineet. Seuraavissa kaavoissa seinien osalta painekertoimet sisältävät sekä sisäisen, että ulkoisen paineen kertoimet. Tämä yhdistely on nähtävissä otsikon ”Nettopaineet seinille” alla olevista kuvista. Katon osalta tätä yhdistelyä ei ole tehty, joten katon kuormituksia laskettaessa kaavoissa on nähtävissä painekertoimien summaus.

Tuulen nopeuspaine  $q_{(ze)} = 0,77 \text{ kN/m}^2$  .

Modulivälinä käytetään 5,2 metriä.

Seinä:

$$C_{p10,seinä} = -1,1$$

$$W_{seinä,KT5} = C_{p10,seinä} \cdot q_{(ze)} \cdot 5,2m \quad (5.7)$$

$$= -1,1 \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2m = -4,4 \text{ kN/m}$$

Katto:

$$C_{pi} = -0,8$$

$$C_{p10,FG} = -0,77$$

$$C_{p10,H} = -0,29$$

$$C_{p10,J} = -0,4$$

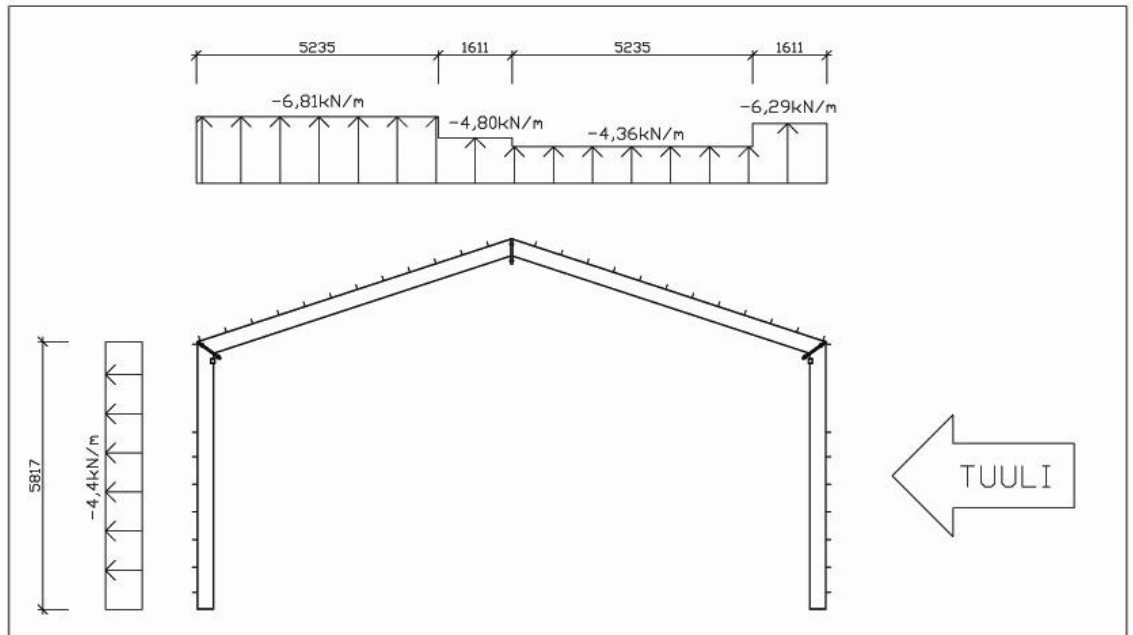
$$C_{p10,I} = -0,9$$

$$W_{katto,FG\_5} = (-0,8 - 0,77) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2m = -6,29 \text{ kN/m}$$

$$W_{katto,H\_5} = (-0,8 - 0,29) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2m = -4,36 \text{ kN/m}$$

$$W_{katto,J\_5} = (-0,8 - 0,4) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2m = -4,80 \text{ kN/m}$$

$$W_{katto,I\_5} = (-0,8 - 0,9) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2m = -6,81 \text{ kN/m}$$



**Kuva 20** KT5

KT6

Tuuli pitkälle sivulle ja alipaine (kuva 21).

Seinä:

$$C_{p10,seinä} = 1,3 \text{ ja } 0,2$$

$$W_{seinä,KT6\_1} = 1,3 \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2\text{m} = 5,21 \text{ kN/m}$$

$$W_{seinä,KT6\_2} = 0,2 \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2\text{m} = 0,8 \text{ kN/m}$$

Katto:

Tässä kuormitustapauksessa painekertoimet ovat samat kuin KT5:ssä.

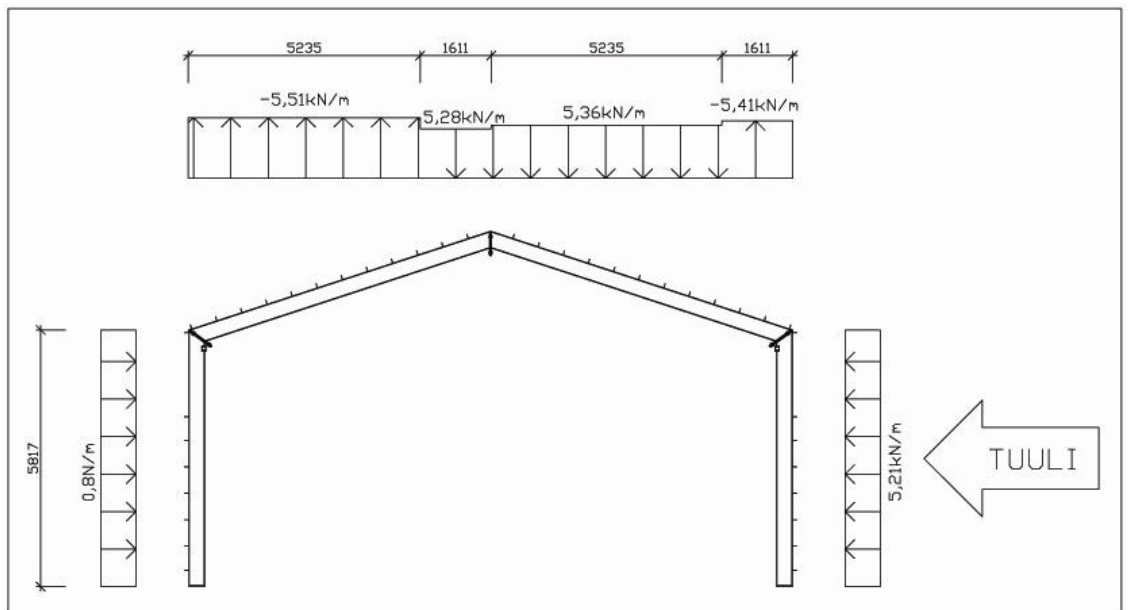
$$C_{pi} = 0,5$$

$$W_{katto,FG\_6} = (0,5 - 0,77) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2\text{m} = -5,41 \text{ kN/m}$$

$$W_{katto,H\_6} = (0,5 - 0,29) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2\text{m} = 5,36 \text{ kN/m}$$

$$W_{katto,J\_6} = (0,5 - 0,4) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2\text{m} = 5,28 \text{ kN/m}$$

$$W_{katto,I\_6} = (0,5 - 0,9) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2\text{m} = -5,51 \text{ kN/m}$$



**Kuva 21** KT6

KT7

Tuuli lyhyelle sivulle ja ylipaine (kuva 22).

Seinä:

Ensimmäinen kehä osuu kertoimen  $C_{p10,seinä} = -1,6$  kohdalle, joten kyseinen kerroin on käytössä laskennassa tämän kuormitusyhdistelmän kohdalla.

$$C_{p10,seinä} = -1,6$$

$$W_{seinä,KT7} = -1,6 \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2\text{m} = -6,41 \text{ kN/m}$$



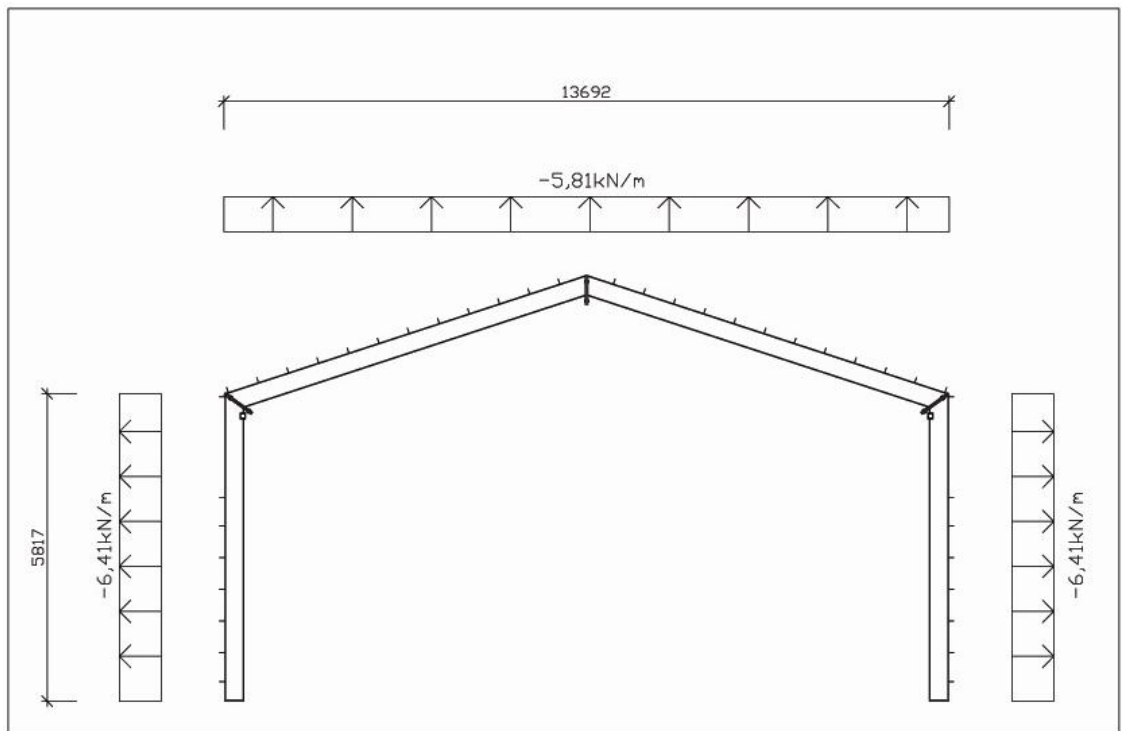
Katto:

Ensimmäinen kehä osuu kertoimen  $C_{p10,H} = -0,65$  kohdalle, joten kyseinen kerroin on käytössä laskennassa tämän kuormitusyhdistelmän kohdalla.

$$C_{pi} = -0,8$$

$$C_{p10,H} = -0,65$$

$$W_{katto,FG\_6} = (-0,8 - 0,65) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2 \text{ m} = -5,81 \text{ kN/m}$$



**Kuva 22** KT7

KT8

Tuuli lyhyelle sivulle ja alipaine (kuva23).

Seinä:

Ensimmäinen kehä osuu kertoimen  $C_{p10,seinä} = -0,3$  kohdalle, joten kyseinen kerroin on käytössä laskennassa tämän kuormitusyhdistelmän kohdalla.

$$C_{p10,seinä} = -0,3$$

$$W_{seinä,KT7} = -0,3 \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2 \text{ m} = -1,2 \text{ kN/m}$$

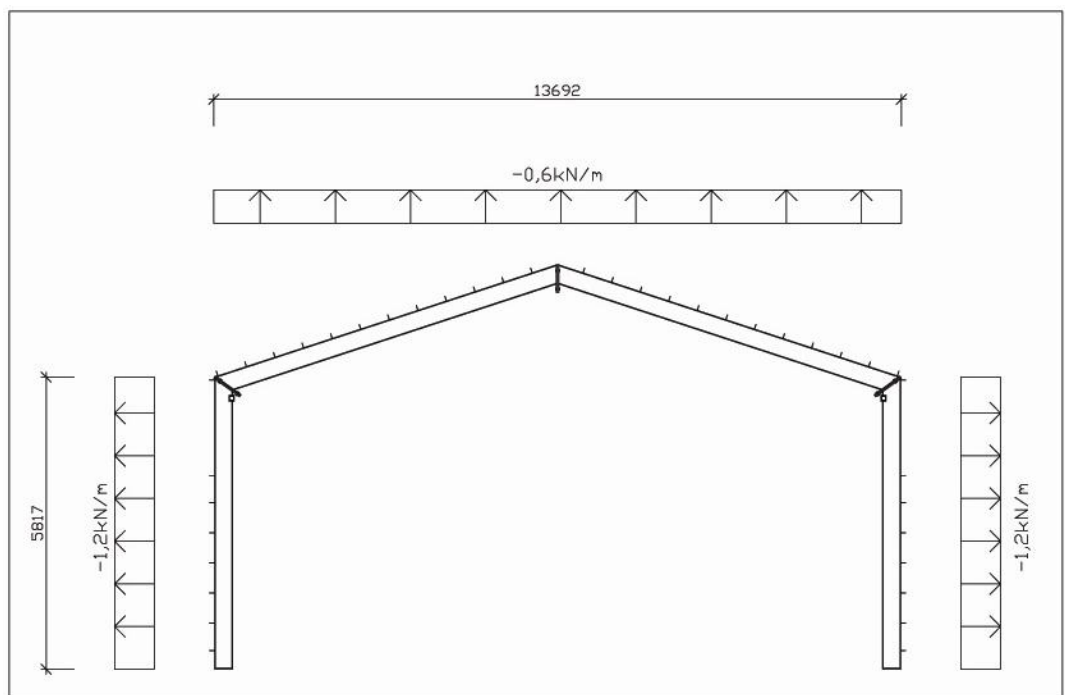
Katto:

Ensimmäinen kehä osuu kertoimen  $C_{p10,H} = -0,65$  kohdalle, joten kyseinen kerroin on käytössä laskennassa tämän kuormitusyhdistelmän kohdalla.

$$C_{pi} = 0,5$$

$$C_{p10,H} = -0,65$$

$$W_{katto,FG_6} = (0,5 - 0,65) \cdot 0,77 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,2 \text{ m} = -0,6 \text{ kN/m}$$



**Kuva 23** KT8

## 5.7 Kuormitusyhdistelmät

Taulukkoon 1 on listattu kuormitustapauksia.

**Taulukko 1** Kuormitustapaukset kehän suunnassa

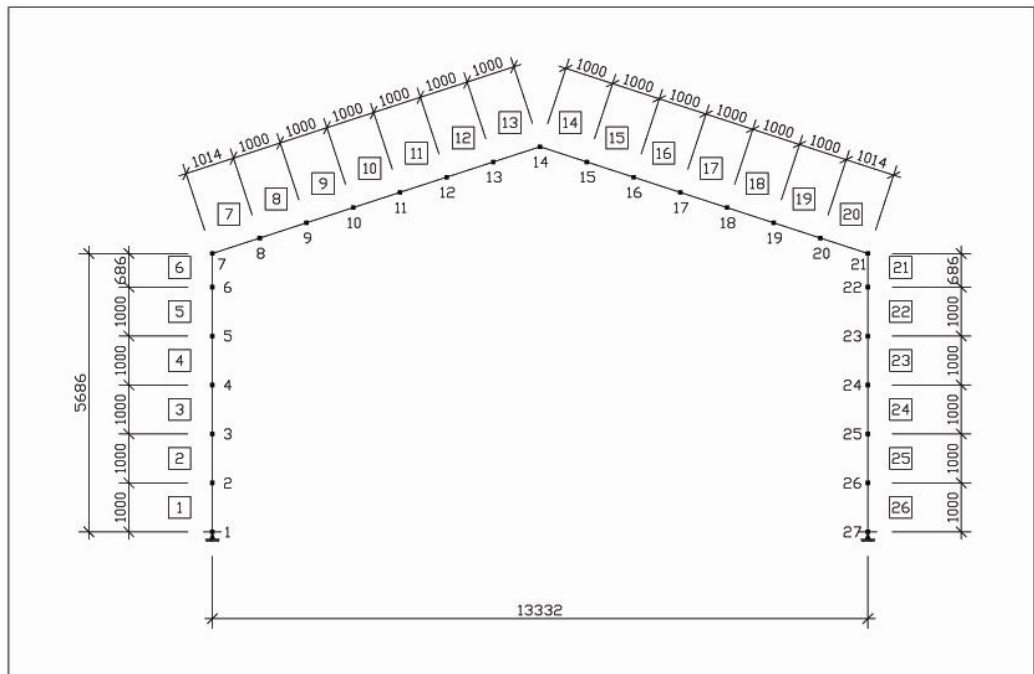
Kuormitustapaukset kehän suunnassa	
KT1	Pysyvä kuorma
KT2	Lumikuorma, koko
KT3	Lumikuorma, vasen
KT4	Lumikuorma, oikea
KT5	Tuuli pitkälle sivulle + sisäinen positiivinen paine
KT6	Tuuli pitkälle sivulle + sisäinen negatiivinen paine
KT7	Tuuli lyhyelle sivulle + sisäinen positiivinen paine
KT8	Tuuli lyhyelle sivulle + sisäinen negatiivinen paine

Kuormitusyhdistelmät löytyvät taulukosta 2.

**Taulukko 2** Kuormitusyhdistelmät

KUORMITUSYHDISTELMÄT KEHÄN SUUNNASSA		
Haetaan kehän maksimi ja minimi rasituksia		
	Suurin mahdollinen paine alaspäin	
KY1	Pysyvä+koko lumi+tuuli vasempaan	1,2-KT01+1,5-KT2+1,5-0,5-KT6
	Suurin mahdollinen noste ylöspäin	
KY2	Pysyvä+tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen ylipaine	1,0-KT1+1,5-KT5
Haetaan pilarin maksimi puristusta ja sitä vastaavaa taivutusmomenttia		
	Määräävä: lumi, muu muuttuva: tuuli	
KY3	Pysyvä+koko lumi+tuuli lyhyelle sivulle	1,2-KT1+1,5-KT2+1,5-0,5-KT8
KY4	Pysyvä+koko lumi+tuuli pitkälle sivulle	1,2-KT1+1,5-KT2+1,5-0,5-KT6
Haetaan pilarin maksimi taivutusmomenttia ja sitä vastaavaa normaalivoimaa		
	Määräävä: tuuli, muita muuttuvia ei ole	
KY5	Pysyvä+tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen	1,2-KT1+1,5-KT6
KY6	Pysyvä+tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen	1,2-KT1+1,5-KT6+1,5-0,7-KT2
KUORMITUSYHDISTELMÄT KEHÄN SUUNNASSA STAATTISEN TASAPAINON KANNALTA		
Haetaan suurinta nostetta		
KY7	Pysyvä+tuuli lyhyelle sivulle ja sisäinen	0,9-KT1+1,5-KT7
Haetaan suurinta kaatavaa tilannetta		
KY8	Pysyvä+tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen	0,9-KT1+1,5-KT5
KUORMITUSYHDISTELMÄT KEHÄN SUUNNASSA KÄYTTÖRAJATILASSA		
Haetaan kehän suurinta taipumaa		
KY9	Pysyvä+koko lumi+tuuli pitkälle sivulle	1,0-KT1+KT2+0,5-KT6
Haetaan kehän nurkan suurinta sivusiirtymää		
KY10	Pysyvä+tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen	1,0-KT1+0,3-KT6
KY11	Pysyvä+tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen	1,0-KT1+0,3-KT5
PALOTILANTEEN KUORMITUSYHDISTELMÄT		
Haetaan suurinta mahdollista puristusta pilareille ja kehäpaarteiden suurinta		
KY12	Pysyvä+koko lumi+tuuli lyhyelle sivulle	1,0-KT1+0,5-KT2+0,5-KT8
Haetaan suurinta momenttia pilarille		
KY13	Pysyvä+tuuli pitkälle sivulle ja sisäinen	1,0-KT1+0,3-KT6+0,2-KT2

## 5.8 Alustavat profiilikoot



**Kuva 24** Kehä, lyhyet sauvat

Valitaan pilarin profiiliksi alustavasti IPE 360. Kehän leveydestä vähennetään molemmilta puolilta puolet valitun profiilin leveydestä, jolloin jänneväliksi jää  $13692\text{mm} - 360\text{mm} = 13332\text{mm}$  (kuva 24).

Valitaan myös kehän muiksi profiileiksi IPE 360.

Tässä vaiheessa laskentaa käytettävä yhdelle kehälle kohdistuva kuorma muodostuu palkkien omasta painosta, kattorakenteen painosta sekä lumikuormasta. Kuormat kerrotaan kehien jakovälillä, jolloin saadaan selville kehää kuormittavan viivakuorman, kN/m. IPE 360 -palkin paino on ilmoitettu valmiiksi viivakuormana, joten sitä ei tarvitse kertoa jännevälillä 5,2 m.

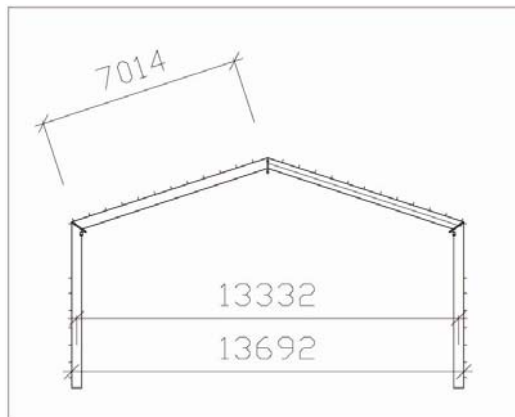
Kattorakenteita kannattelevan IPE kehäpalkin omapaino on:

$$57,1\text{kg}/\text{m} = 0,571\text{kN}/\text{m}$$

Kuormat yhteensä:

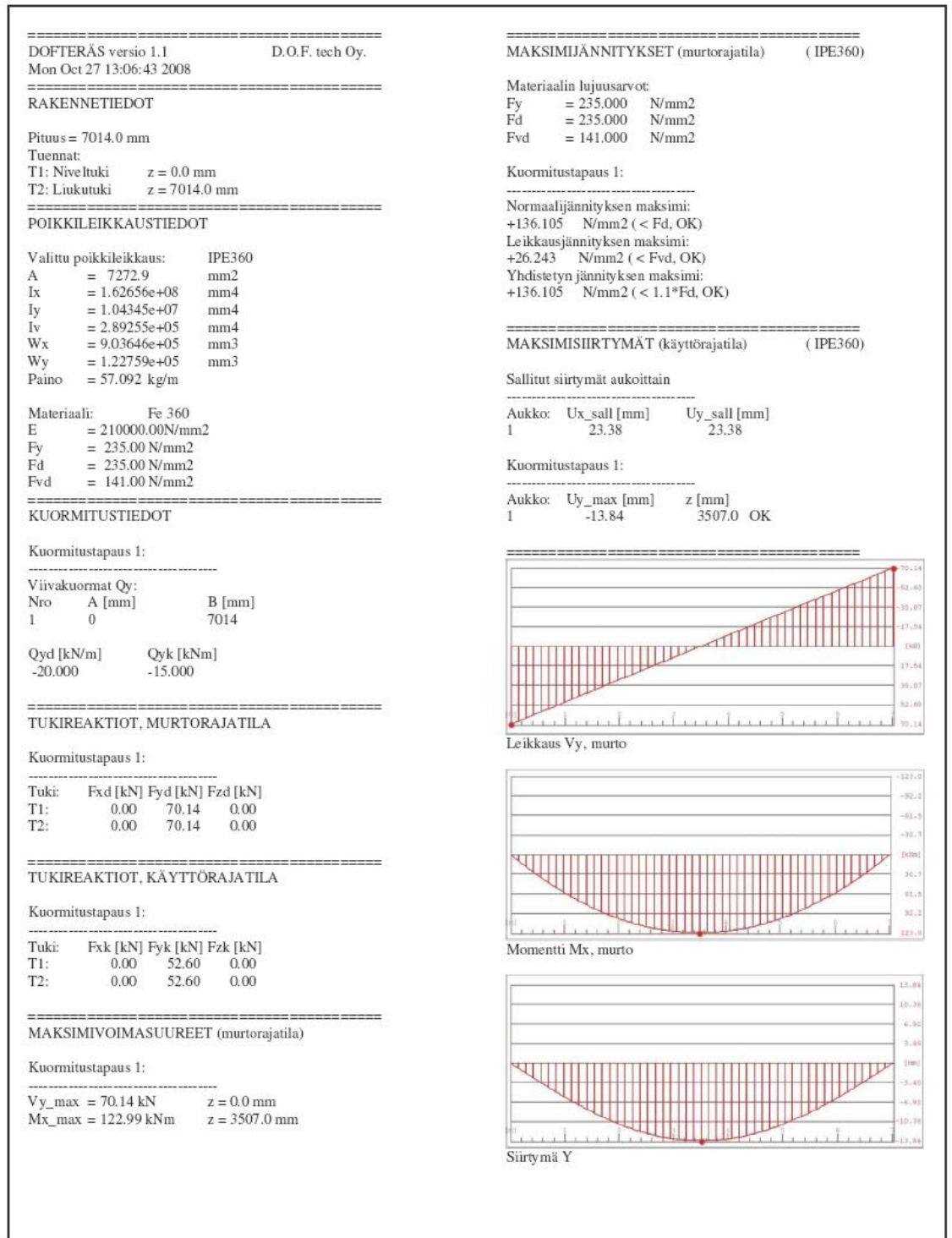
$$5,2m \cdot (1,2 \cdot 0,6 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) + 1,2 \cdot 0,571 \text{ kN/m} \quad (5.8) \\ = 20,0 \text{ kN/m}$$

IPE 360 palkki mitoitetaan tälle kuormalle Dof-teräs ohjelmalla. Palkin jänneväliksi saamme 7014 mm. Kuvassa 25 on esitetty IPE 360 palkin laskennassa käytettyjä mittoja.



**Kuva 25** Kehän mittoja

Laskentaohjelmasta saatujen tulosten perusteella voidaan todeta kehäpalkin IPE 360 kestävän annetut kuormitukset. Laskentatulokset on esitetty kuvassa 26.



**Kuva 26** Kattoa kannattelevan IPE 360 -palkin mitoitus

## 5.9 Kehän stabiilius

Tutkitaan, onko kehä sivusiirtävä vai sivusiirtymätön. Tämän laskennan tulokset vaikuttavat puristettujen osien nurjahduspituuksiin ja taivutusmomenttien suuruuksiin.

Jos  $V_{sd}/V_{cr} \leq 0,1 \Rightarrow$  *sivuriistymätön*.

$V_{sd}$  = pilarin maksimipuristusrasitus, eli pystysuuntaisen kokonaiskuorman mitoitusarvo. Saadaan laskentaohjelmasta.

$V_{cr}$  = kehän kimmoteorian mukainen kriittinen arvo sivusiirtyvän muodon mukaisessa tilanteessa.

$$V_{sd} = 140,9kN$$

$$I_y = 16270 \cdot 10^4 mm^4$$

$$L = 5817mm$$

$$K_c = \frac{I}{L} = \frac{16270 \cdot 10^4 mm^4}{5817mm} = 27969,7mm^3 \quad (5.9)$$

$$K_{11} = 0,5 \cdot \frac{I}{L} = 0,5 \cdot \frac{16270 \cdot 10^4 mm^4}{13692mm} = 5941,4mm^3 \quad (5.10)$$

$$\eta_1 = \frac{K_c}{K_c + K_{11}} = \frac{27969,7}{27969,7 + 5941,4} = 0,825 \quad (5.11)$$

$$\eta_2 = 0$$



Jakaantumistekijöiden  $\eta_1$  ja  $\eta_2$  avulla saadaan asiakirjassa SFS-NEV 1993-1-1 olevasta kuvasta E2.2 selville pilarin nurjahduspituussuhteen  $L_{eff}/L = 3,8$ .

Tällöin kehän pilarin nurjahduspituudeksi tulee:

$$L_{eff} = 3,8 \cdot 5817 = 22104,6$$

Kun taivutusta tarkastellaan vahvempaan suuntaan  $i_y = 150\text{mm}$ .

$$\lambda = \frac{L_{eff}}{i} = \frac{22104,6\text{mm}}{150\text{mm}} = 147,5\text{mm} \quad (5.12)$$

$$\begin{aligned} V_{cr} &= \frac{\pi^2 \cdot EA}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000\text{ N/mm} \cdot 7273\text{mm}^2}{147,5^2} \\ &= 692864,9\text{N} = 692,9\text{kN} \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$V_{sd}/V_{cr} \leq 0,1 \Rightarrow 140,9/692,9 = 0,2 > 0,1 \quad \Rightarrow \quad \text{sivusiirtävä}$$

Korotetaan kehäpalkkien normaalivoimia ja momentteja kertoimella, joka saadaan kaavasta:

$$\frac{1,0}{1 - \frac{V_{sd}}{V_{cr}}} = 1,25 \quad (5.14)$$

## 5.10 Staattinen tasapaino

Stabiloivien kuormien vaikutus on oltava suurempi tai yhtä suuri kuin ei-stabiloivien kuormien vaikutus. Suurin noste, eli suurin kaatava kuorma staattisen tasapainon kannalta on suuruudeltaan 40,8 kN.

Antura ja sokkelielementit muodostavat riittävän stabiloivan voiman kun niiden yhteenlaskettu paino  $\geq 40,8$  kN.

Esim.

sokkelielementti  $5,2m \cdot 0,1m \cdot 0,5m \cdot 25kN/m^3 = 6,5kN$  ja

antura  $1,5m \cdot 1,2m \cdot 0,8m \cdot 25kN/m^3 = 36kN$

muodostavat yhdessä riittävän stabiloivan voiman  $6,5kN + 36kN = 42,5kN$ .

## 6 KEHÄN KATTOA KANNATTELEVAT RAKENTEET

### 6.1 Kehäpalkki

Aksiaalisesti kuormitetut ja taivutetut sauvat

WinStatik ohjelmalla tehdyistä laskelmista saadaan selville kehäpalkin maksimiveto ja maksimipuristus joita tarvitaan seuraavissa laskelmissa. Nämä kuormat kerrotaan aikaisemmin lasketulla kehäpalkkien normaalivoimien ja momenttien korotuskertoimella 1,25.

Maksimiveto syntyy kuormitusyhdistelmän 7 mukaisten kuormien rasittaessa rakennetta. Kuormitusyhdistelmä antaa maksimivedon arvoksi 48,4 kN.

Veto:  $1,25 \cdot 48,4kN = 60,5kN$

Maksimipuristus syntyy kuormitusyhdistelmien 1 ja 4 mukaisten kuormien rasittaessa rakennetta. Molemmat kuormitusyhdistelmät antavat maksimipuristuksen arvoksi -90,3 kN.

$$\text{Puristus: } 1,25 \cdot (-90,3kN) = -112,9kN$$

Kehänurkat ovat jäykkiä, joten kehäpalkki on kiinnitetty jäykästi molemmista päistään. Voidaan kuitenkin olettaa jommankumman pään olevan sivusiirtävä. Tästä johtuen nurjahduspituuden kerroin  $\gamma = 1/5$ , *keskisesti puristettu pilari*.

$$L_{eff} = 7014$$

$$M_{max} = -261,4kNm$$

## 6.2 Profiilikoot

Profiili: IPE 360

Poikkileikkausluokka 1

Taivutuskestävyys:

$$\begin{aligned} M_{pl.Rd} &= \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1019000mm^3 \cdot 355N/mm^2}{1,1} & (6.1) \\ &= 328859090,9Nmm = 328,9kNm \end{aligned}$$

$$> 261,4kNm \Rightarrow \text{OK!}$$

Leikkauskestävyys:

Suurin IPE -palkkiin kohdistuva leikkausrasitus syntyy kuormitusyhdistelmien 1 ja 4 mukaisten kuormien rasittaessa rakennetta. Kuormitusyhdistelmät antavat maksimileikkauksen arvoksi  $V_{S,d} = -121kN$ . Seuraavilla laskelmilla osoitetaan, että valittu profiili kestää tämän rasituksen. Mitoitusehto:  $V_{S,d} \leq V_{pl.Rd}$ .

Lasketaan plastisuusteorian mukainen leikkauskestävyyden mitoitusarvo kaavalla (6.2).

$$V_{pl.Rd} = A_v \frac{f_y}{\gamma_{MO} \cdot \sqrt{3}} \quad (6.2)$$

Valssatuilla I -poikkileikkauksilla, joissa kuormitus on uuman suuntainen, leikkauspinta-ala  $A_v$  lasketaan kaavalla (6.3).

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \quad (6.3)$$

Profililla IPE 360 kaavassa (6.3) tarvittavat arvot ovat:

$$A = 7273mm^2$$

$$b = 170mm$$

$$t_f = 12,7mm$$

$$t_w = 8mm$$

$$r = 18mm$$

$$\begin{aligned} A_v &= 7273mm^2 - 2 \cdot 170mm \cdot 12,7mm + (8mm + 2 \cdot 18mm) \cdot 12,7mm \\ &= 3513,8mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{pl.Rd} &= A_v \frac{f_y}{\gamma_{MO} \cdot \sqrt{3}} = 3513,8mm^2 \frac{355N/mm^2}{1,1 \cdot \sqrt{3}} \\ &= 654714,7N = 654,7kN \end{aligned}$$

$$> V_{S,d} = 121kN \Rightarrow \text{OK!}$$

Profilille ei suoriteta kiepahdustarkastelua koska kattopelti estää kiepahduksen.

Taivutus + leikkaus:

”Jos leikkausvoiman mitoitusarvo  $V_{S,d} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ , ei taivutuskestävyyttä tarvitse pienentää.” /6, s. 57/

$$V_{Sd} \leq 0,5 V_{pl.Rd} \quad (6.4)$$

$$121 \leq 0,5 \cdot 654,7 = 327,4 \Rightarrow \text{OK!}$$

Lommahdus:

Profiilin leikkauslommahduskestävyys on kunnossa mikäli ehto  $d/t_w > 69\varepsilon$  täyttyy, eli tarkistetaan leikkauslommahduskestävyys jäykistämättömälle uumalle.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81 \quad (6.5)$$

$$d/t_w > 69\varepsilon \quad (6.6)$$

$$298,6/8,0 < 69 \cdot 0,81 \Rightarrow 37,3 < 55,9 \Rightarrow \text{Ehto täyttyy, profiili ei lommahda.}$$

Laipan taipumisesta johtuvaa lommahdusta ei tarvitse tarkastella.

Kestävyyttä paikalliselle lommahdukselle ei tarvitse tarkastella.

Taivutuksen, leikkausvoiman ja aksiaalisen voiman yhteisvaikutus:

Aikaisemmin laskettu ehto  $V_{Sd} (121 \text{ kN}) \leq 0,5 V_{pl,Rd} (327,4 \text{ kN})$  täyttyy, joten kaikki on tältäkin osin kunnossa.

Yläpaarteen yhdistetty puristus ja taivutus:

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} A f_d} + \frac{k_y M_{y,sd}}{W_{pl,y} f_d} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{pl,z} f_d} \leq 1 \quad (6.7)$$

Koska momenttia Z-akselin ympäri ei synny  $\frac{k_z M_{z,sd}}{W_{pl,z} f_d} = 0$ .

Valitaan tarkasteltavaksi kuormitusyhdistelmä 4.

Max pur. -90,1 kN

Max mom. -262,2 kNm

Profiili: IPE 360

Teräslaatu: S355

Seuraavaksi selvitetään yläpaarteen yhdistetyn puristuksen ja taivutuksen laskennan kaavassa tarvittavat arvot.

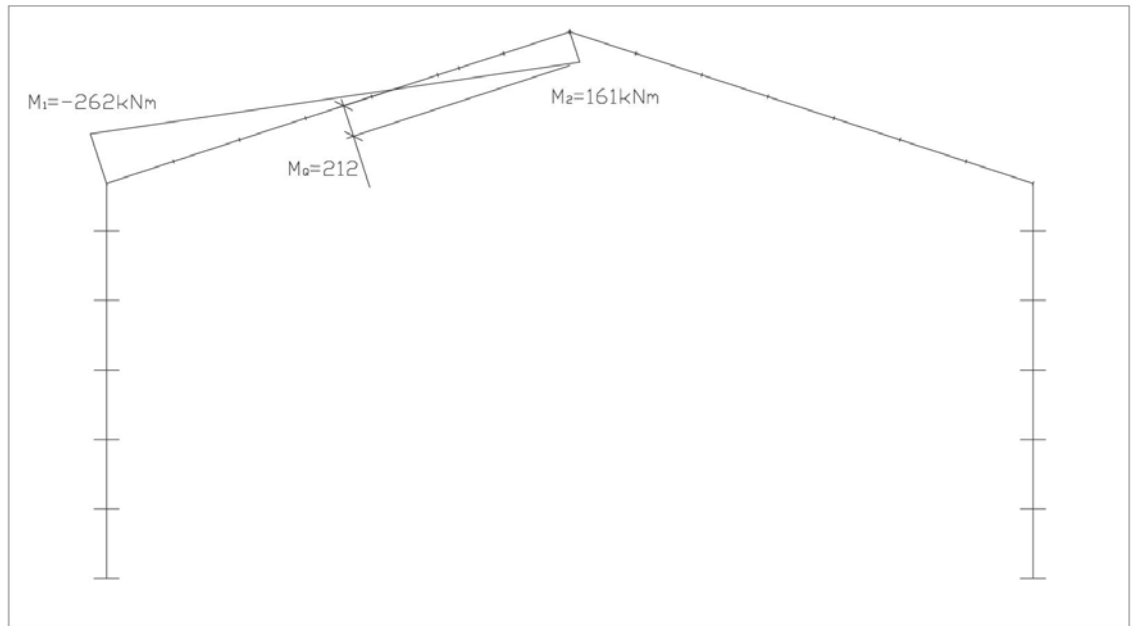
Arvo  $\psi$  saadaan kun tarkasteltavan palkin tai sauvan pienin ja suurin momentti jaetaan keskenään käyttäen itseisarvoja.  $M_Q$  -arvo on saatu kuvan 27 esittämällä tavalla.

$$\psi = \frac{161,3}{262,2} = 0,62$$

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi = 1,8 - 0,7 \cdot 0,62 = 1,366$$

$$\beta_{M,Q} = 1,3$$

$$M_Q = 212$$



**Kuva 27**  $M_Q$  -arvo

$\Delta M = |\max M| + |\min M|$  momenttikuvioille, jonka merkki muuttuu /6/.

$$\Delta M = 161,3 + 262,2 = 423,5 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \beta_M &= \beta_{M,\Psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} \cdot (\beta_{M_Q} - \beta_{M,\Psi}) \\ &= 1,366 + \frac{212}{423,5} \cdot (1,3 - 1,366) = 1,33 \approx 1,3 \end{aligned} \quad (6.8)$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{eff}}{i \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\beta_A \cdot f_y}{E}} = \frac{7014}{150 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 355}{210000}} = 0,61 \quad (6.9)$$

$$\mu_y = \bar{\lambda} \cdot (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} \leq 0,9 \quad (6.10)$$

$$= 0,61 \cdot (2 \cdot 1,366 - 4) + \frac{1019000 - 903600}{903600} = -0,65 < 0,9 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] \quad (6.11)$$

$\alpha = 0,21$ , koska käytössä on poikkileikkausluokka 1 ja nurjahduskäyrä  
a. /5, keskisesti puristettu pilari/

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,61 - 0,2) + 0,61^2] = 0,73$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_y^2}} < 1 \quad (6.12)$$

$$\chi = \frac{1}{0,73 + \sqrt{0,73^2 - 0,61^2}} = 0,74 < 1 \Rightarrow \text{OK}$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{\chi_y A_{fy}} \leq 1,5 \Rightarrow 1 - \frac{-0,65 \cdot 90100}{0,74 \cdot 7273 \cdot 355} = 1,03 < 1,5 \Rightarrow \text{OK!} \quad (6.13)$$

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{355}{1,1} = 323 \quad (6.14)$$

Nyt kun kaikki tarvittavat arvot on selvitetty, voidaan ne sijoittaa yläpaarteen yhdistetyn puristuksen ja taivutuksen kaavaan.

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} A f_d} + \frac{k_y M_{y, sd}}{W_{pl, y} f_d} = \frac{90100}{0,74 \cdot 7273 \cdot 355} + \frac{1,03 \cdot 262000000}{1019000 \cdot 323} = 0,87 < 1$$

$\Rightarrow$  Laskennan perusteella voidaan todeta, että IPE360 kestää.



## 7 PÄÄPILARI

### 7.1 Aksiaalisesti kuormitetut ja taivutetut sauvat

Pilarin pahimpia kuormitusyhdistelmiä on esitetty taulukossa 3:

**Taulukko 3** Pilarin kuormitusyhdistelmiä

	Puristus [kN]	Momentti [kNm]	
		Yläpää	Alapää
KY 01	-140,3	-262,2	0
KY 03	-141,1	-223,4	0
KY 04	-140,3	-262,2	0

Korotuskerroin 1,25

Kuormitusyhdistelmä KY01 valitaan tarkastelun kohteeksi.

$$M_{sd} = 1,25 \cdot 262,2 \text{ kNm} = 327,75 \text{ kNm}$$

### 7.2 Profiilikoot

Valitaan pilariksi IPE profiili IPE360

Taivutuskestävyys:

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1019 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,1} \\ &= 328859090 \text{ Nmm} = 328,9 \text{ kNm} > 327,75 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.1)$$

Leikkauskestävyys:

$$d = h - 3t_f = 360\text{mm} - 3 \cdot 12,7\text{mm} = 321,9\text{mm} \quad (7.2)$$

$$A_v = d \cdot t_w = 321,9\text{mm} \cdot 8,0\text{mm} = 2575,2\text{mm}^2 \quad (7.3)$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\gamma_{MO} \cdot \sqrt{3}} = 2575,9\text{mm}^2 \frac{355\text{N/mm}^2}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 479958,9\text{N} = 480\text{kN} \quad (7.4)$$

⇒ suurin leikkausrasitus pilarille muodostuu kuormitusyhdistelmän 4 kuormittaessa rakennetta. Maksimileikkausrasitus on tällöin

$V_{sd} = 1,25 \cdot -47,8\text{kN} = -59,75\text{kN}$ . Profiili IPE360 kestää tämän leikkausrasituksen.

Taivutus ja leikkaus:

$$V_{sd} \leq 0,5 V_{pl,Rd} \quad \Rightarrow \quad \text{Ehto toteutuu}$$

Pilarin yhdistetty puristus ja taivutus:

Kuormitusyhdistelmä: KY01

Profiili: IPE360

Teräslaatu: S355

Nurjahduspituus  $L_{eff} = 0,7 \cdot 5817\text{mm} = 4072\text{mm}$  /5, keskisesti puristettu pilari/

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} A f_d} + \frac{k_y M_{y,sd}}{W_{pl,y} f_d} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{pl,z} f_d} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{pl,z} f_d} = 0 \quad (7.5)$$

Seuraavaksi selvitetään pilarin yhdistetyn puristuksen ja taivutuksen laskennan kaavassa tarvittavat arvot.

$$\psi = \frac{0}{262,2} = 0,0$$

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \cdot 0,0 = 1,8$$

$$\beta_{M_Q} = 1,4$$

$$M_Q = 131,1 \text{ kNm}$$

$$\Delta M = 262,2$$

$$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} \cdot (\beta_{M_Q} - \beta_{M,\psi}) = 1,8 + \frac{131,1}{262,2} \cdot (1,4 - 1,8) = 1,6 \quad (7.6)$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{eff}}{i \cdot \pi} \sqrt{\frac{\beta_A \cdot f_y}{E}} = \frac{4072}{150 \cdot \pi} \sqrt{\frac{1 \cdot 355}{210000}} = 0,36 \quad (7.7)$$

$$\begin{aligned} \mu &= \bar{\lambda} \cdot (2\beta_{M_y} - 4) + \frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} \\ &= 0,36 \cdot (2 \cdot 1,6 - 4) + \frac{1019000 - 903600}{903600} = -0,16 < 0,9 \end{aligned} \quad (7.8)$$

$$\Phi = 0,5 [1 + \alpha(\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] \quad (7.9)$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,36 - 0,2) + 0,36^2] = 0,58$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} < 1 \quad (7.10)$$

$$\chi = \frac{1}{0,58 + \sqrt{0,58^2 - 0,36^2}} = 0,97 < 1 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{sd}}{\chi_y A_{fy}} \leq 1,5 \Rightarrow 1 - \frac{-0,16 \cdot 175375}{0,97 \cdot 2575,2 \cdot 355} = 1,03 < 1,5 \Rightarrow \text{OK!} \quad (7.11)$$

$$f_d = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{355}{1,1} = 323 \quad (7.12)$$

Nyt kun kaikki tarvittavat arvot on selvitetty, voidaan ne sijoittaa pilarin yhdistetyn puristuksen ja taivutuksen kaavaan.

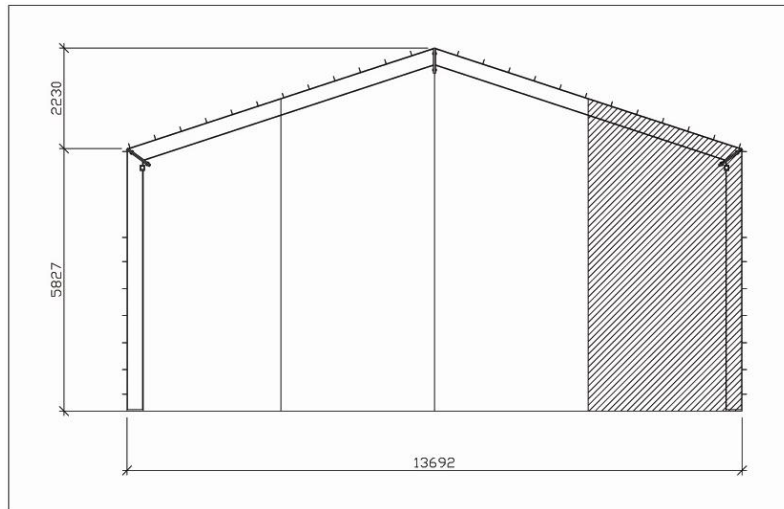
$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} A f_d} + \frac{k_y M_{y,sd}}{W_{pl,y} f_d} = \frac{140300}{0,97 \cdot 2575,2 \cdot 323} + \frac{1,03 \cdot 262200000}{1019000 \cdot 323} = 0,99 < 1$$

Laskennan perusteella voidaan todeta pilarin kestävän.

## 8 HALLIN TOIMINTA PITUUSSUUNTAAN

### 8.1 Jäykistys ja staattinen tasapaino

Vinositeet mitoitetaan päätyyn kohdistuvaa tuulta vastaan. Näistä laskelmista saatuja tuloksia voidaan käyttää myös muissa jäykistys-sauvoissa, koska katolla voimat ovat pienemmät. Neljäsosa päädyn pinta-alaa rasittavasta kuormituksesta kohdistuu pitkän sivun seinän vinositeelle. Vinosidettä rasittamaan lisätään myös lisävaakavoima. Kuormat haetaan ”kehän epätarkkuudet” – kohdasta.



**Kuva 28** Neljännes päädyn pinta-alasta

Lasketaan neljännes hallin päädyn pinta-alasta A (kuva 28).

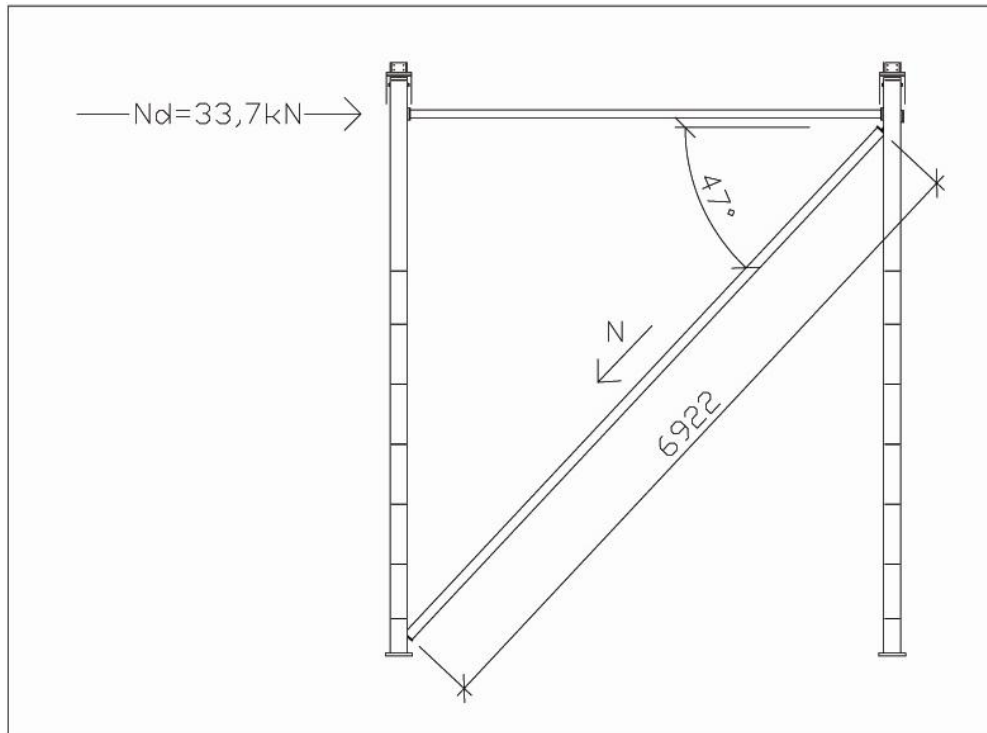
$$A = 0,25 \cdot \left( 13,692m \cdot 5,827m + 13,692m \cdot \frac{2,23m}{2} \right) = 23,76m^2 \quad (8.1)$$

$$\Phi N_d = 1,2 \cdot 0,66kN + 1,5 \cdot 1,82kN = 3,52kN \quad (8.2)$$

$$W = 1,1 \cdot 0,77kN/m^2 \cdot 23,76m^2 = 20,12kN \quad (8.3)$$

$$W_d = 1,5 \cdot 20,12kN = 30,2kN \quad (8.4)$$

$$N_d = \Phi N_d + W_d = 3,52kN + 30,2kN = 33,7kN \quad (8.5)$$



**Kuva 29** Puristussauva

$$\cos 47^\circ = \frac{33,7 \text{ kN}}{N} \quad (8.6)$$

$$N = \frac{33,7 \text{ kN}}{\cos 47^\circ} = 45,6 \text{ kN} \quad (8.7)$$

⇒ Valitaan CFRHS 100 x 100 x 4, kestää 71,1 kN 7 m pitkänä (kuva 29).

## 8.2 Liitostyypit

Seuraavaksi on mitoitettu kehänurkka-liitoksen hitsejä referenssiksi Robot Structural Analysis –ohjelmalla tehdyille laskelmille. Käsien laskennasta saadut tulokset ovat yhdensuuntaisia tietokoneella tehtyjen laskelmien kanssa. Näin voidaan varmistaa tulosten paikkansapitävyys.

Kehänurkan hitsisaumat IPE –profiilin ja päätylevyn välille:

Suurin tukivoima  $R_d$  tulee kuormitusyhdistelmästä KY3.

$$\begin{aligned} \text{Sauva 7} \quad V_d = R_d &= 118,9kN \cdot \sin 54^\circ - 36,6kN \cdot \sin 54^\circ \\ &= 61,7kN \end{aligned} \quad (8.8)$$

Pystyhitsit

Mitoitusehto:

$$F_{t,Sd} \leq F_{w,Rd}$$

Rasitus:

$$F_{t,Sd} = V_d = R_d = 61,7 \text{ kN}$$

Kestävyys:

$$F_{w,Rd} = f_{vw} \cdot a \cdot L_w = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} \cdot a \cdot L_w \quad (8.9)$$

$$a \geq \frac{F_{t,Sd}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} \cdot L_w} = \frac{61700N}{\frac{510 \frac{N}{mm^2}}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} \cdot 2 \cdot 334,6mm} = 0,14mm$$

Vaakahitsit:

Vetovoima levyn yläreunassa:

$$F_{t,Sd} = \frac{M_d}{h_k} = \frac{216,39kN}{0,17m} = 1272,9kN \quad (8.10)$$

Kestävyys:

$$F_{w,Rd} = f_{vw} \cdot a \cdot L_w = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} \cdot a \cdot L_w \quad (8.11)$$

=>

$$a \geq \frac{F_{t,Sd}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} \cdot L_w} = \frac{1272900N}{\frac{510 \frac{N}{mm^2}}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} \cdot 2 \cdot 170mm} = 14mm \quad (8.12)$$

Valitaan laipoille  $a = 7$  mm pienahitsi molemmin puolin ja uumalle  $a = 4$  mm pienahitsi molemmin puolin.

Yleensä hitsejä mitoitettaessa nyrkkisääntönä voidaan pitää  $a = 1 \cdot t$ , jossa  $t$  on hitsattavan osan seinämän vahvuus. Laskennan perusteella saadut tulokset osoittavat tämän periaatteen paikkansapitävyyden tässä tapauksessa.

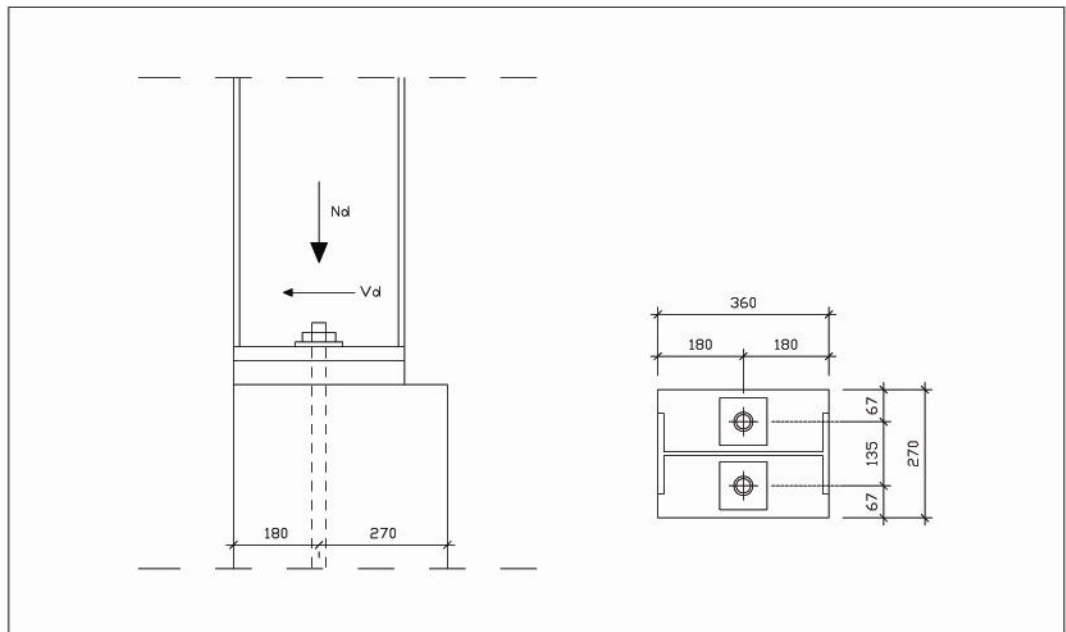
Kehänurkan liitoksen sekä harjaliitoksen tarkat Robot Structural Analysis – ohjelmalla tehdyt laskelmat löytyvät liitteistä nimillä ”Kehänurkka” sekä ”Harjaliitos”. Seuraavaksi lyhyt yhteenveto laskennan tuloksista.

- Valitut pultit, kehänurkka: 6M24
- valittu päätylevy, kehänurkka: 250 · 595 · 25
- valitut pultit, harjaliitos: 6M24
- valittu päätylevy, harjaliitos: 250 · 506 · 25
- valitut hitsit, harjaliitos:
  - uuma,  $a = 4$  mm penahitsi
  - laipat,  $a = 7$  mm pienahitsi.



### 8.3 Pilarin liittyminen perustuksiin

Kuvassa 30 on esitetty pilarin liittyminen perustuksiin.



**Kuva 30** Pilarin liittyminen perustukseen

Kuormitustapaus a:

Puristuksen maksimiarvo  $N_d$  max löytyy kuormitusyhdistelmästä 07 :

$$N_d = 43,1 \text{ kN}$$

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

$$V_d = 36,8 \text{ kN}$$

Kuormitustapaus b:

Puristuksen minimiarvo  $N_d$  min löytyy kuormitusyhdistelmästä 04 :

$$N_d = -147,1 \text{ kN}$$

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

$$V_d = -44,3 \text{ kN}$$

#### 8.4 Pohjalevy

Pilarissa vaikuttavat sekä veto- että puristusjäännitykset siirtyvät pohjalevyn kautta peruspulteille ja betonille. Voimat, jotka siirretään perustuksiin pilarin puristettujen osien kautta, oletetaan jakaantuneeksi tasaisesti pohjalevyn avulla.

Pohjalevyyn kohdistuvien maksimi veto-, puristus- ja leikkausvoimien ollessa hyvin pieniä, valittu pohjalevy ja hitsisauma kestävät rasitukset.

Valitaan pohjalevyn paksuudeksi 30 mm ja hitsisaumaksi a=3 mm pienahitsi. Robot Structural Analysis –ohjelmalla tehdyt tarkat laskelmat löytyvät liitteistä nimellä ”Pilarin liittyminen perustuksiin”.

#### 8.5 Peruspulttien mitoitus

Itseisarvoiltaan suurimmat arvot maksimivedolle ja maksimipuristukselle  $N_d|_{\max}$  ja  $V_d|_{\max}$  löytyvät kuormitusyhdistelmästä 04:

$$N_d = -147,1 \text{ kN}$$

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

$$V_d = -44,3 \text{ kN}$$

Yhden pultin vetokestävyys on:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (8.13)$$

$$f_{ub} = 510 \frac{N}{mm^2}$$

$$A_s = \pi \cdot 15^2 = 707 mm^2 \quad (8.14)$$

$$\gamma_{Mb} = 1,25$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 510 \frac{N}{mm^2} \cdot 707 mm^2}{1,25} = 259610,4 N \approx 260 kN > 147,1 kN$$

Yhden pultin leikkauskestävyys on:

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\gamma_{MO} \cdot \sqrt{3}} \quad (8.15)$$

$$A_s = \pi \cdot 15^2 = 707 mm^2$$

$$f_y = 510 \frac{N}{mm^2}$$

$$\gamma_{MO} = 1,1$$

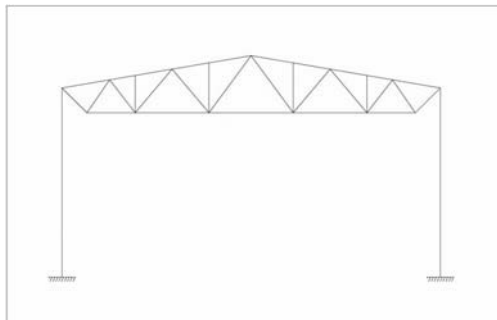
$$V_{pl,Rd} = 707 mm^2 \frac{355 N / mm^2}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 189250 N \approx 189 kN > 44,3 kN \quad (8.16)$$

Valitut peruspultit 2M30 kestävät kuormitusyhdistelmästä 04 aiheutuvan maksimivedon sekä maksimileikkauksen. Liitos ei ota vastaan momenttia, koska se on nivelinen. Robot Structural Analysis –ohjelmalla tehdyt tarkemmat laskelmat löytyvät liitteistä nimellä ”Pilarin liittyminen perustuksiin”.

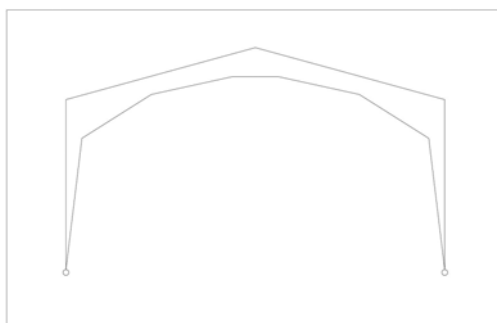
## 9 VAIHTOEHTOISET KEHÄRAKENTEET

Lähdettäessä suunnittelemaan kyseisen hallin kantavia rakenteita lähtökohtana oli arkkitehdiltä saadut kuvat. Yksi tärkeä suunnitteluun ja valittavaan kehärakenteeseen vaikuttava asia oli sisäkorkeuden pitäminen mahdollisimman korkeana. Arkkitehdin piirtämä hallin poikkileikkauskuva, kuva 33, sulki esimerkiksi kuvan 31 kaltaiset ristikkorakenteet pois laskuista. Sisätila oli pidettävä korkeana hallin käyttötarkoituksen takia. Korkeiden ja korkeamastoisten veneiden oli mahduttava halliin. Kuvan 32 kaltainen kehä olisi soveltunut kohteeseen puurakenteisena, mutta tilaus hallista oli tehty teräsosastolle, joten oli luonnollista, että hallin kehä valmistettiin teräksestä.

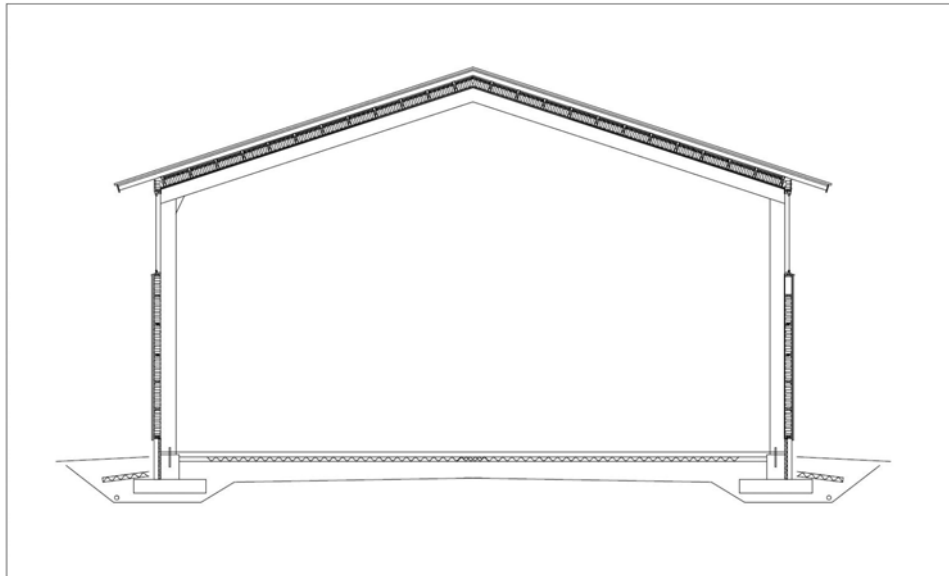
Valmiiden IPE –profiilien valinta käyttöön sopi mainiosti tarkoitukseen halutun lopputuloksen saavuttamiseksi mahdollistaen toimivan rakenteen ja pitkät jännevälit. Rakenteet eivät muodostuneet turhan monimutkaisiksi ja haluttu lopputulos saavutettiin kivuttomasti.



**Kuva 31** Vaihtoehtoinen kehä rakenne 1.



**Kuva 32** Vaihtoehtoinen kehä rakenne 2.



**Kuva 33** Arkkitehdin poikkileikkaus

## 10 YHTEENVETO

Piirustusten teon loppuvaiheessa KPM:lle lähetettiin uusia arkkitehtikuvia joiden perusteella hallin dimensiot ja julkisivut olisivat muuttuneet niin paljon, että halli olisi pitänyt käytännössä laskea uudestaan. Myös kaikki piirustukset olisi pitänyt tämän myötä piirtää uudestaan. KPM:ltä ilmoitettiin tilaajalle, että halli on suunniteltu arkkitehdiltä saatujen kuvien ja mittojen mukaan. Mikäli tilaaja jostain syystä haluaakin uuden hallin, tulee siitä luonnollisesti lisälasku. Asia jäi tähän ja halli valmistettiin alkuperäisten kuvien mukaan.

Työmaalla ilmeni sokkelielementtien kiinnityksessä ongelma. Hallin päädyissä nurkka- ja päätypilareiden alapuoliset, anturoiden ylemmät osat eivät olleet samassa tasossa. Urakoitsija teki omin päin hätäratkaisun korjatakseen virheen. Urakoitsijan ratkaisu osoittautui niin kalliiksi, että KPM ei suostunut korvaamaan korjauksesta aiheutuneista lisäkuluista kuin noin neljänneksen. Samoilla kuvilla, tosin edellä mainitusta virheestä korjatuilla, tehdään toista vastaavaa hallia tontille.

## LÄHTEET

1. RT-kortisto, RT-21355. Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy 2008. 4 s.
2. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, RIL 201-1999. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 93 s.
3. RT-kortisto, RT 07-10598. Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy 2008. 2 s.
4. Rakenteiden kuormitusohjeet, RIL 144-1997, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki 1997, 185 s.
5. Teräs Cd-rom, Suomen Teräsrakenneyhdistys r.y. ja Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampere 2005
6. Teräsrakenteiden suunnittelu SFS-EN 1993-1-1, Suomen Standardisoimisliitto SFS, Helsinki 2005, 99 s.

## LIITTEET

1. Kaksi WinStatik Frame Analysis ohjelman mallia ”pitkät sauvat” ja ”lyhyet sauvat”
2. TS-malli
3. Konepaja- ja asennuspiirustukset
4. Arkkitehdin kuvat
5. Piirustus- ja pulttiluettelo
6. Robot Structural Analysis –ohjelmalla tehdyt liitoslaskelmat
  - Harjaliitos
  - Kehänurkka
  - Pilarin liittyminen perustuksiin
7. Markku Laurilan referenssilaskelmat