



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# KAARIHALLIN KANTAVA TERÄSRUNKO

Pitkän sivun aukotus

Sami Koljonen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017  
Rakennustekniikka  
Talonrakennustekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Talonrakennustekniikka

KOLJONEN, SAMI:  
Kaarihallin kantava teräsrunko  
Pitkän sivun aukotus

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Toukokuu 2017

---

Opinnäytetyössä tutkittiin Kaarirakenne oy:n tilauksesta itsekantavasta teräsvoimulevystä valmistetun kaarihallin aukotuksen mahdollistavia runkoratkaisuja kantavalle seinälinjalle. Asiakkaat ja tilaajat toivoivat kaarihalleja, joissa kulku halliin on mahdollista joka suunnasta. Kaarihallin tuenta on tehty yleensä aina umpinaisilla teräsbetonielementeillä. Opinnäytetyön tekemisessä ja suunnittelussa hyödynnettiin kirjallisuutta.

Opinnäytetyö tehtiin yleisellä tasolla, mikä mahdollistaa ratkaisun hyödyntämisen kaikille kaarille. Työssä suunniteltiin erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja, joilla runko voidaan toteuttaa. Opinnäytetyössä kehiteltiin kaarihallin kantavalle seinälinjalle teräksistä mastopilareista tehty runkoratkaisu. Se jäykistää rakennuksen alapään ja mahdollistaa erikokoisten kulkuaukkojen toteutuksen. Lisäksi tehtiin Excel-laskentaohjelma, jolla rungon rakenneosat ja liitokset voidaan tulevaisuudessa mitoittaa. Myös suunnitelman kustannuksia arvioitiin, mutta niitä ei julkaista.

Aukotuksen runkoratkaisu on toteutuskelpoinen, ja sitä tullaan hyödyntämään Kaarirakenne oy:n tulevilla hankkeilla. Laskentaohjelmalla voidaan mitoittaa nopeasti ja yksinkertaisesti kaarihallin kantava teräsrunko. Tulevaisuudessa voidaan tutkia vaihtoehtoisia runkoratkaisuja, joilla kattorakenteelta tulevaa vaakasuuntaista voimaa saadaan pienennettyä ja sen aiheuttamaa momenttia perustuksille vähennettyä.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

**KOLJONEN, SAMI:**  
Arch hall's load-bearing steel frame  
Longitudinal wall's opening

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 3 pages  
May 2017

---

The purpose of this thesis was to explore opening ideas on arch hall's longitudinal walls. The hall's roofs are made of self-supported steel corrugated sheet. Customers and client had hoped arch halls where is able to go inside from any sides of hall. Supported walls had usually done by using concrete elements without openings. This bachelor thesis was done without a real building project.

Literature and authors knowledge about arch hall, which has multiple entrances, were utilized during this thesis. Different kinds of solutions about frames were designed in this thesis. It was developed for arch hall's load-bearing wall a frame structure that is braced of steeled mast columns. The frame braces the building and creates opportunities to build different sizes of openings. Excel was used for the calculation. All the parts and connections can be designed by this software.

The results are just what were expected. The frame solution is viable and it will surely utilize in Coversteel Ltd coming projects. The calculation software helps to design the frame and connections very fast and simply. In the future could explore alternative frame solutions and how to decrease horizontal load from the roof.

---

Key words: steel, steel structure, arc, arch hall, steel hall

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KAARIHALLI .....	9
	2.1 Käyttökohteet.....	9
	2.2 Toimintatapa .....	10
	2.3 Lähtökohta työlle .....	11
	2.3.1 Kehitystarve .....	12
	2.3.2 Tavoite .....	12
3	TOTEUTUSVAIHTOEHDOT.....	13
	3.1 Hallimallit .....	13
	3.2 Valittu ratkaisu.....	18
	3.2.1 Vaihtoehdon edut .....	18
	3.2.2 Vaihtoehdon haitat .....	18
	3.3 Materiaalit.....	18
	3.3.1 Elementointi .....	19
	3.3.2 Liitokset .....	19
	3.3.3 Asentaminen.....	19
	3.4 Rakennemalli .....	20
	3.4.1 Jäykistys .....	22
4	KUORMITUKSET.....	23
	4.1 Kuormat .....	23
	4.2 Kuormitusyhdistelmät.....	23
	4.3 Paloturvallisuus.....	24
	4.3.1 Paloluokka- ja vaatimukset .....	24
	4.4 Rasitukset.....	25
	4.4.1 Teräs.....	25
	4.4.2 Betoni .....	26
5	RUNKO.....	28
	5.1 Palkki .....	28
	5.1.1 Toiminta .....	28
	5.1.2 Kuormat .....	29
	5.1.3 Mitoitus .....	32
	5.2 Pilari.....	35
	5.2.1 Toiminta .....	36
	5.2.2 Kuormat .....	36
	5.2.3 Mitoitus .....	37
	5.3 Vinoside.....	38

5.3.1	Toiminta .....	39
5.3.2	Kuormat .....	39
5.3.3	Mitoitus .....	40
5.4	Liitokset .....	41
5.4.1	Pilari-palkkiliitos.....	41
5.4.2	Pilarin liitos perustuksiin .....	46
5.4.3	Kaaren liitos runkoon.....	48
5.4.4	Vinositeen liitos pilariin.....	49
5.5	Perustukset .....	52
5.5.1	Routasuojaus .....	53
5.5.2	Sokkelipalkki .....	53
6	KUSTANNUKSET .....	54
7	POHDINTA.....	55
	LÄHTEET.....	56
	LIITTEET .....	57
	Liite 1. Kaarihallin havainnekuva .....	57
	Liite 2. Kaarihallin pitkä sivu.....	58
	Liite 3. Kaarihallin aukko.....	59

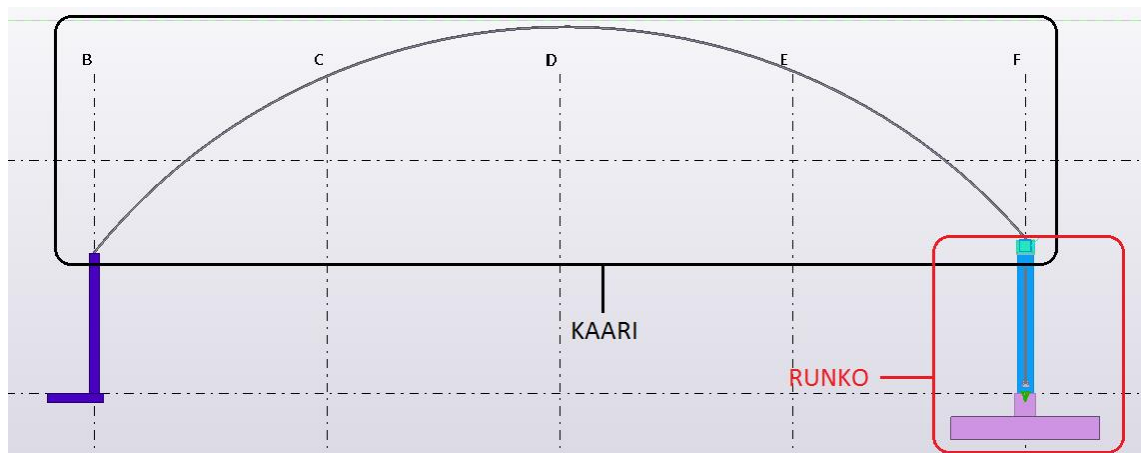
## LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

$A$	kappaleen pinta-ala
$A_s$	pultin jännityspoikkipinta-ala
$A_{net}$	kappaleen nettopoikkipinta-ala
$A_{Nx}$	palamurtumispinta-ala
$A_t$	seinämän keskiviivan rajoittama pinta-ala
$A_v$	leikkauspoikkipinta-ala
$a$	hitsin vahvuus
$\alpha$	epätarkkuustekijä
$b_{eff}$	rakenneaineen tehollinen leveys
$b_i$	profiilin leveys
$\beta_b$	pienennystekijä
$\beta_w$	hitsin korrelaatiokerroin
$d$	pultin halkaisija
$d_o$	reiän halkaisija
$E$	kimmokerroin
$e_i$	pultin reunaetäisyys
$f_u$	teräksen murtolujuus
$f_{ub}$	ruuvien murtolujuus
$f_y$	teräksen myötölujuus
$h_i$	profiilin korkeus
$I$	hitausmomentti
$L_{cr}$	nurjahduspituus
$L_w$	hitsin pituus
$p_i$	pultin keskiöväli
$t_i$	profiilin paksuus
$\tau$	leikkausjännitys
$W_{pl}$	plastinen taivutusvastus
$\chi_i$	pienennystekijä
$\gamma_M$	osavarmuusluku
$\sigma$	normaalijännitys
$\lambda$	rakenneosan hoikkuus

## 1 JOHDANTO

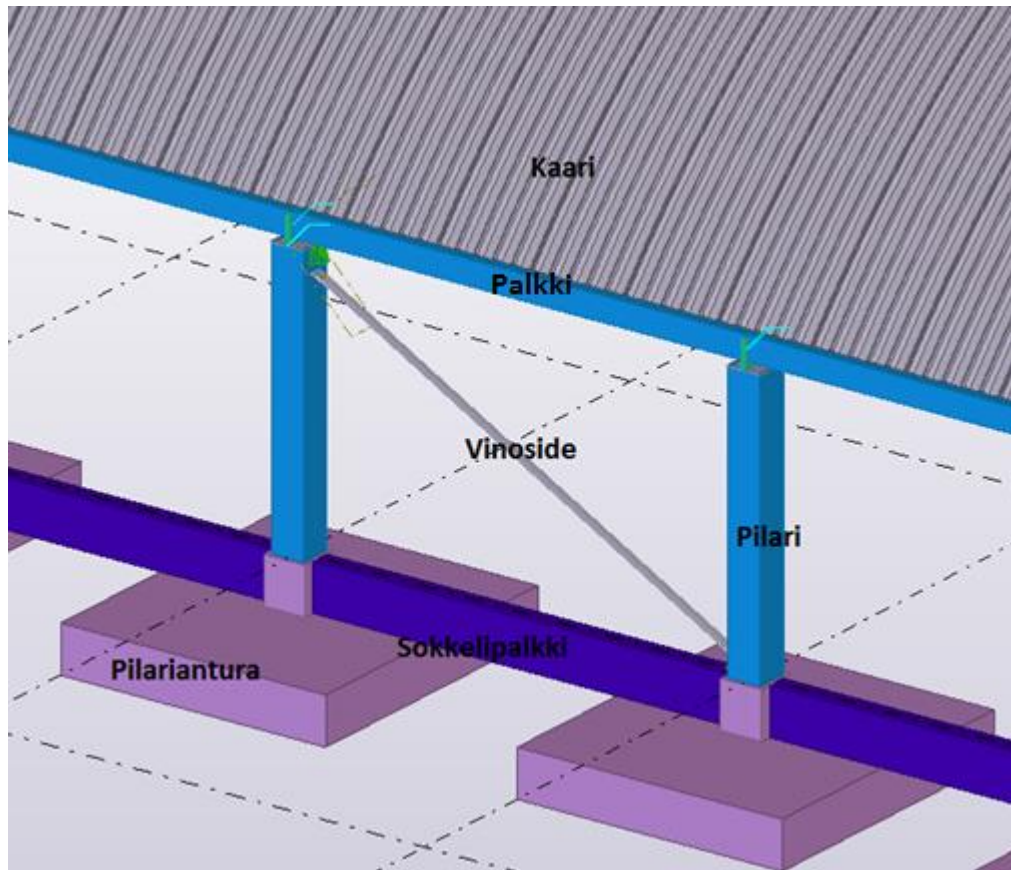
Kaarirakenne oy toimittaa itsekantavasta teräspoimulevystä valmistettuja kaarihalleja erilaisiin maatalouden ja teollisuuden tarpeisiin. Kaarihallien pitkät sivut ovat olleet perinteisesti umpinaisia, joten hallin sisään kulku on tapahtunut päädyn aukkojen kautta. Tämä on rajoittanut kaarihallien käyttöä erityisesti maataloudessa navettoina.

Lisätäkseen kaarihalliensa monipuolisuutta ja käytettävyyttä Kaarirakenne oy tilasi opinnäytetyön, jossa tutkitaan vaihtoehtoja toteuttaa kulku kaarihalliin myös pitkältä sivulta. Tavoitteena oli löytää kustannustehokas runkoratkaisu kaaren alle. Tarkoitus oli, että esimerkiksi navetan ruokintapöytä voidaan täyttää ja huoltaa hallin ulkopuolelta. Runkoratkaisulla tarkoitetaan kuvan 1 mukaisia osia. Mitoitusohjelmasta saadaan voimat kaaren ja rungon liitoskohdassa. Työssä mitoitetaan rakenneosat ja liitokset rungon ja kaaren liitoslevyn hitsistä pilarin pohjalevyn hitsiin.



KUVA 1. Nimityksiä kaarihallin eri osille

Rakenteista (KUVA 2) tuli tehdä yksinkertaiset ja mahdollisimman soveltuvat erilaisiin käyttötarkoituksiin. Rakenteista ja liitoksista tehtiin alustavia piirustuksia ja detaljeja. Runkoratkaisusta laskettiin alustavia kustannuksia, joiden avulla selvitettiin rakenteiden kustannustehokkuutta. Kustannustietojen pohjalta runkoratkaisusta voidaan tehdä tarjouksia asiakkaille.



KUVA 2. Rakenneosat

Tässä opinnäytetyössä ei ollut valmista tai suunniteltavaa kohdetta, jota työssä tutkittaisiin. Tarkoitus oli suunnitella erilaisia vaihtoehtoisia malleja, joilla tavoitteeseen päästäisiin. Malleista valittiin vaihtoehto, jota suunniteltiin tarkemmin ja jonka pohjalle tehtiin Excel-ohjelmistolla laskentatyökalu. Laskentatyökalua voidaan hyödyntää tulevissa kohteissa ja siinä voidaan syöttää laskentaan kaarihallin muuttuvia parametreja, jotka vaikuttavat mitoitukseen. Tässä työssä keskityttiin pelkästään aukotusidean runkoratkaisuun. Hallin itsekantavan poimulevyn mitoittamiseen on olemassa laskentaohjelma ja sitä ei tarkastella tässä työssä. Laskentaohjelmalla siis saadaan kaaren tuella vaikuttavat tukivoimat.



## 2 KAARIHALLI

### 2.1 Käyttökohteet

Teräksiset kaarihallit ovat peräisin Vietnamin sodan ajoilta. Yhdysvaltalaiset käyttivät kaarihalleja varasto- ja lentokonehalleina. Suomessa halleja on rakennettu teräksestä perinteisellä teräskehikolla jo vuosikymmeniä, mutta kaarihallit ovat tulleet markkinoille vasta viime vuosikymmenenä (Koneviesti, 2016).

Kaarihallien käyttömahdollisuudet ovat laajat. Halleja käytetään erityisesti maataloudessa. Kaarihalleja voidaan toimittaa maneeseiksi, varastoiksi, navetoiksi, autosuojiksi, vene-, lentokone-, huolto- sekä konehalleiksi. Itsekantavasta teräs-poimulevystä valmistetun kaarihallin käyttö on helposti muunneltavissa tilaajan toivomusten mukaisiksi tiloiksi (KUVA 3).



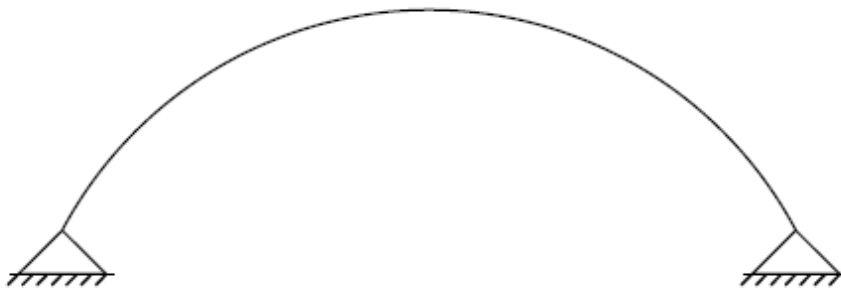
KUVA 3. Kaarihalli säilytystilana ([www.kaarirakenne.fi](http://www.kaarirakenne.fi))

Teräksisestä kaarihallista voidaan tehdä myös lämmin rakennus Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksen C3 (2010) vaatimusten mukaisesti, ruiskuttamalla polyuretaanieriste katteen sisäpintaan. Kaarihallin sisälle voidaan myös rakentaa erillinen runko lämmöneristykselle.

Kaarirakenne Oy lupaa internet-sivuillaan, että se kykenee toteuttamaan 20 metrin jännevälillä 9 metriä korkean hallin. Tämä on mahdollista, kun ei käytetä välitukea. Mikäli kaarihalliin lisätään välituki eli kaaren toimintaperiaate on kaksiaukkoinen, hallin kokoa voidaan kasvattaa sekä pituus- että korkeussuunnassa.

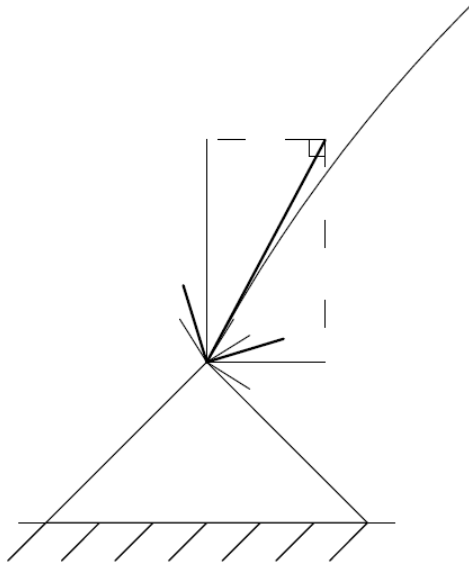
## 2.2 Toimintatapa

Kaarihalli on rakenteelliselta toimintaperiaatteeltaan nivelkantainen kaari (KUVA 4). Teräksisen kaaren omapaino ja katon lumi- sekä tuulikuorma siirtyvät puristuksena kaaren suuntaisesti kaaren nivelkannalle eli tuelle. Kaari voidaan kiinnittää suoraan perustuksiin tai erilliseen runkoon.



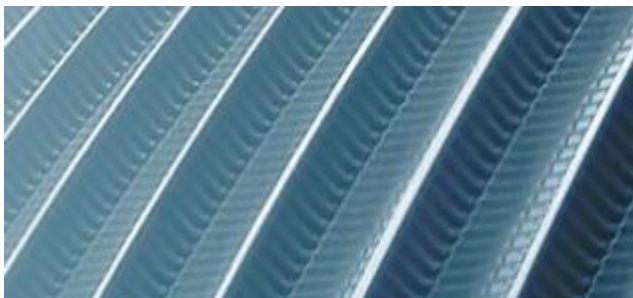
KUVA 4. Kaaren rakennemalli

Kaari välittää tuelle kuorman, jonka suuruus riippuu kaaren muodosta ja ympäristöolosuhteista. Koska tuki on nivel, se ei välitä momenttia. Tuen voima, voidaan jakaa komponenttiperiaatteella vaaka- ja pystysuuntaisiin voimiin (KUVA 5) laskennan helpottamiseksi.



KUVA 5. Voimien jako komponentteihin

Hallin kantavana rakenteena toimii teräksinen itsekantava poimulevy. Poimulevyn paksuus ja profiilin korkeus riippuvat kuormista. Poimulevyjen vahvuudet vaihtelevat 0,7-1,1 millimetriin. Profiilin tyypillinen korkeus on 110mm (KUVA 6).



KUVA 6. Poimukatteen profiilia (www.kaarirakenne.fi)

### 2.3 Lähtökohta työlle

Tilajana opinnäytetyölleni toimii Kaarirakenne oy, jonka toiveena oli saada kantavalle eli pitkälle sivulle aukkoja. Koska kaarihalli tukeutuu pitkän sivun suuntaisiin seiniin ja perustuksiin, Kaarirakenne oy on toteuttanut kuormien viennin perustuksiin T- tai L-teräsbetonelementeillä tai moduuliharkoilla. Tämän takia seinät ovat olleet umpinaisia.

### 2.3.1 Kehitystarve

Käytettyjen ratkaisujen haittana oli ollut, että kulku hallin sisälle täytyi hoitaa päätyjen kautta, joka rajoitti hallien toimintaa ja käytettävyyttä. Aukotus lisää hallin valoisuutta sekä ilmanvaihtuvuutta.

Opinnäytetyön tilaajayritys halusi laajentaa tuotteensa monikäyttöisyyttä ja asiakkaidensa toivomuksesta halliin oli kyettävä kulkemaan joka suunnasta. Erityisesti tarvetta oli ollut pihattonavetoissa, joissa ruokinta hoidetaan ulkopuolelta pitkän sivun suuntaisesti.

### 2.3.2 Tavoite

Tavoitteena oli luoda osien ja ratkaisun kannalta yksinkertainen vaihtoehto, joka tuki Kaarirakenne oy:n toiminta-ajatusta nopeasta pystytysaikataulusta. Rungon tuli myös olla myös muunneltavissa erilaisiin halleihin ja tarpeisiin.



KUVA 7. Verhoseinä aukkojen peittämiseksi ([www.pellon.fi](http://www.pellon.fi))

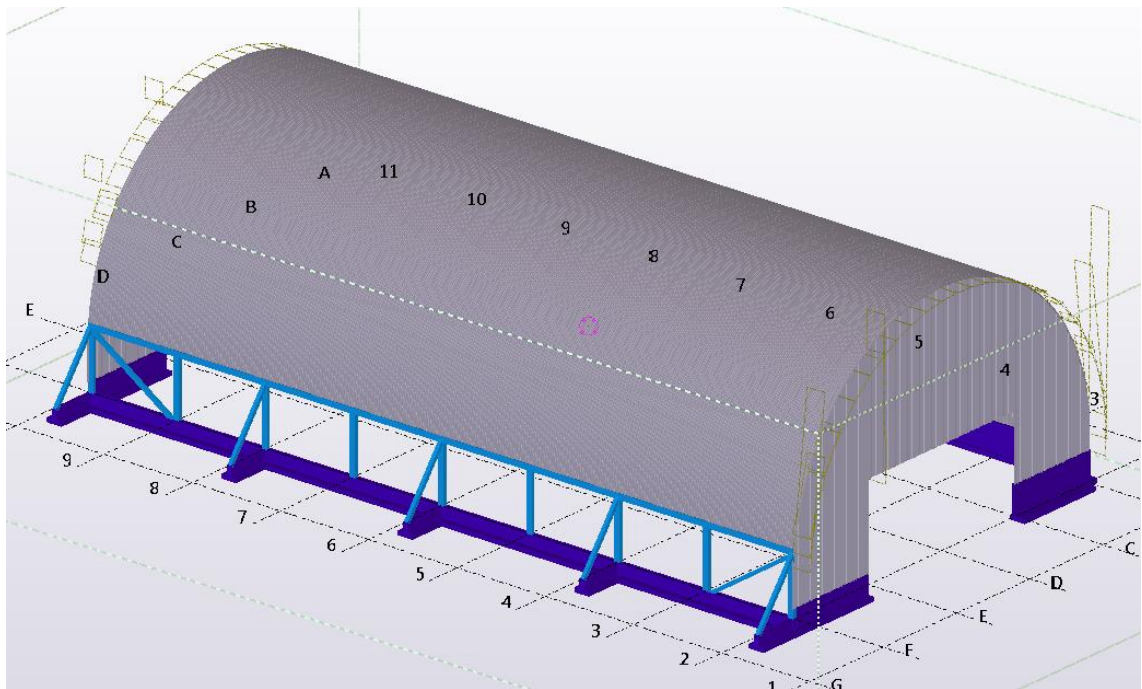
Lähtökohtina käytettiin taloudellisuutta, esteettisyyttä, lujuutta ja toteutettavuutta. Toteutuskelpoisen vaihtoehdon tuli olla helposti muunneltava elementiksi. Vapaan aukon korkeudeksi haluttiin noin kolme metriä ja aukot tuli olla peitettävissä verhoelementeillä (KUVA 7). Ajatus oli, että ideaa käytettäisiin erityisesti eläinsuojissa.

### 3 TOTEUTUSVAIHTOEHDOT

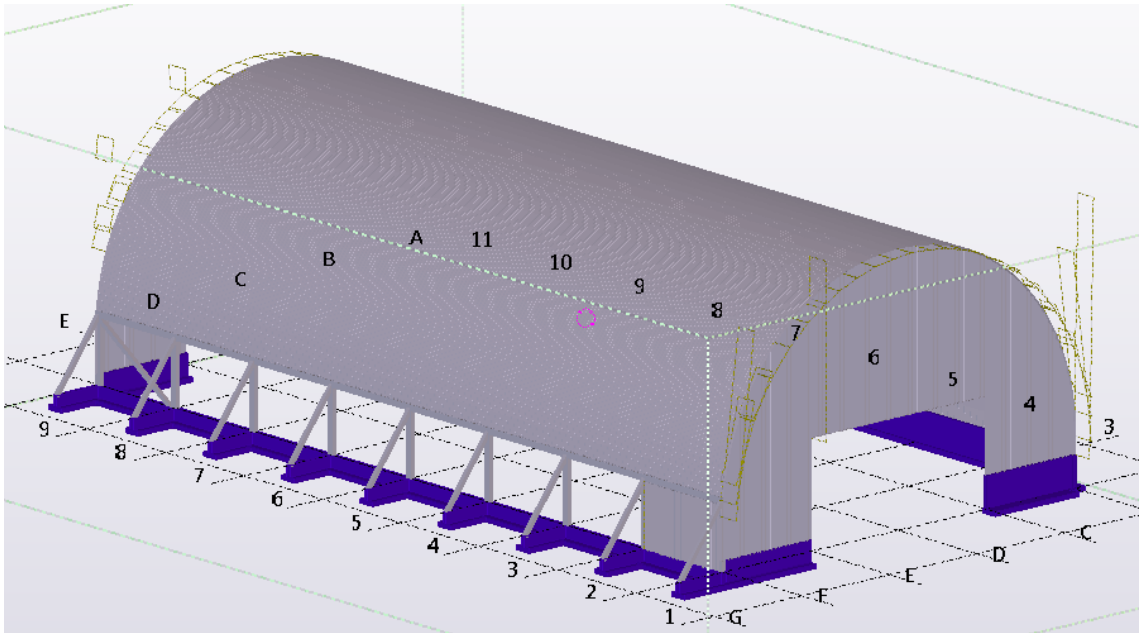
#### 3.1 Hallimallit

Kaarihallin aukotusideoista luotiin erilaisia runkovaihtoehtoja. Vaihtoehtoista piirrettiin Tekla Structures 2016 -ohjelmalla suuntaa antavia malleja. Nämä 3D-mallit eivät olleet tarkkoja eikä liitoksia mallinnettu. Tilaajalle havainnollistettiin rungon rakenteita ja niiden istuvuutta muuhun rakennusosaan. Mallien avulla oli helpompi tehdä päätös kaarihallin kantavan seinälinjan aukotuksesta, jolle tehtäisiin tarkempi suunnittelu ja mitoitus.

Ensimmäisessä mallissa kantavalta poimukatteelta tuleva pystykuorma vietään teräspilareille perustuksiin ja vaakakuorma vinosauvoilla puristuksena. Hallin pilarien, vinositeiden ja perustuksien muodostamien kehien jakoa voidaan muuttella (KUVA 8 & 9).

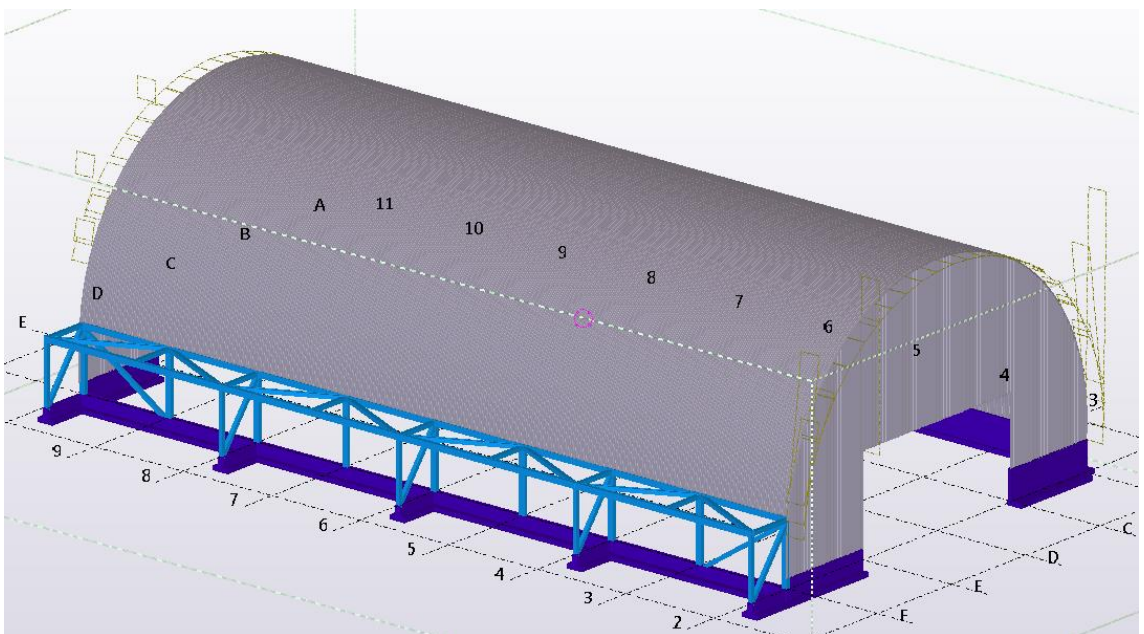


KUVA 8. Ensimmäinen hallivaihtoehto



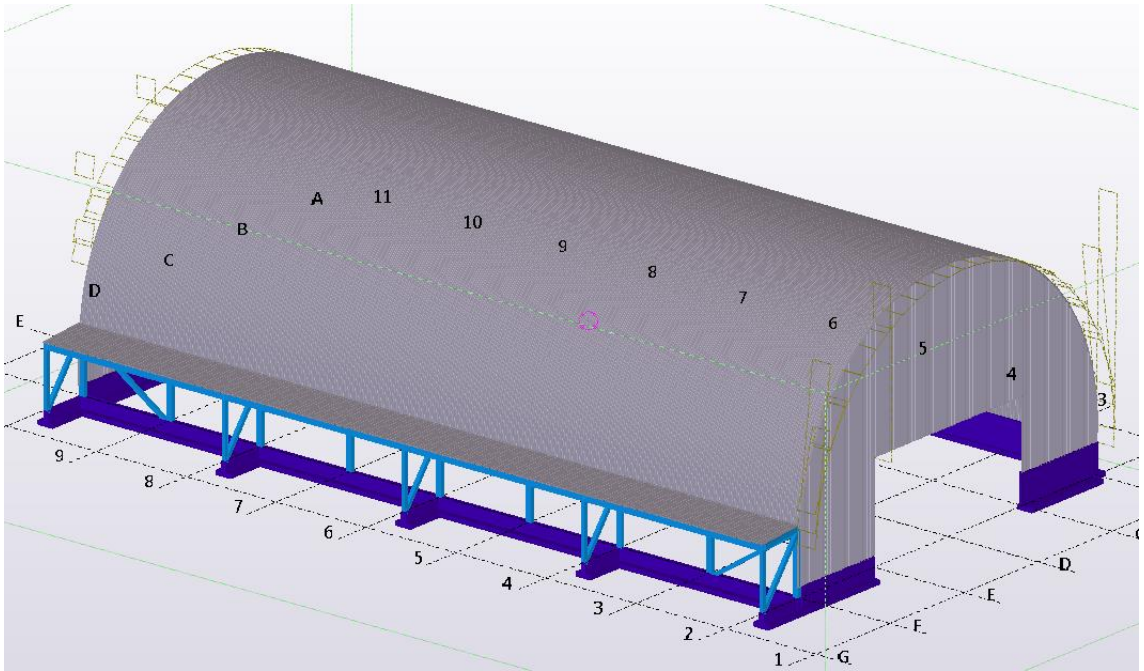
KUVA 9. Ensimmäinen hallivaihtoehto tiheämmällä kehäjaolla

Toisessa vaihtoehdossa kattorakenteelta tuleva vaakakuorma siirretään vaakasuuntaisella ristikkorakenteella vinosauvoille, jotka yhdessä teräspilarien kanssa siirtävät kuormat perustuksille. Ristikkorakenteen etuna oli käytettävien profiilien koon optimointi ja kustannustehokkuus (KUVA 10).



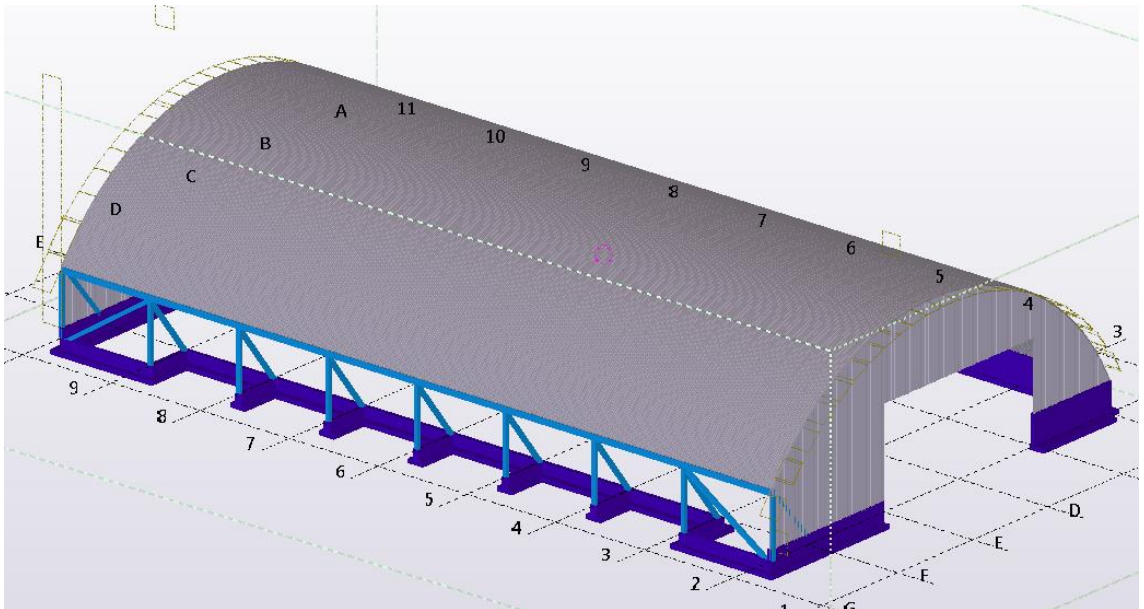
KUVA 10. Toinen hallivaihtoehto

Kolmannessa vaihtoehdossa vaakasuuntaisen ristikon päälle suunniteltiin poimukatteesta katos, joka luo sadesuojan hallin seinustalle sekä antaa auringonsuojaa (KUVA 11). Runkorakenteen toimintaperiaate vastaa vaihtoehtoa kaksi.



KUVA 11. Kolmas hallivaihtoehto

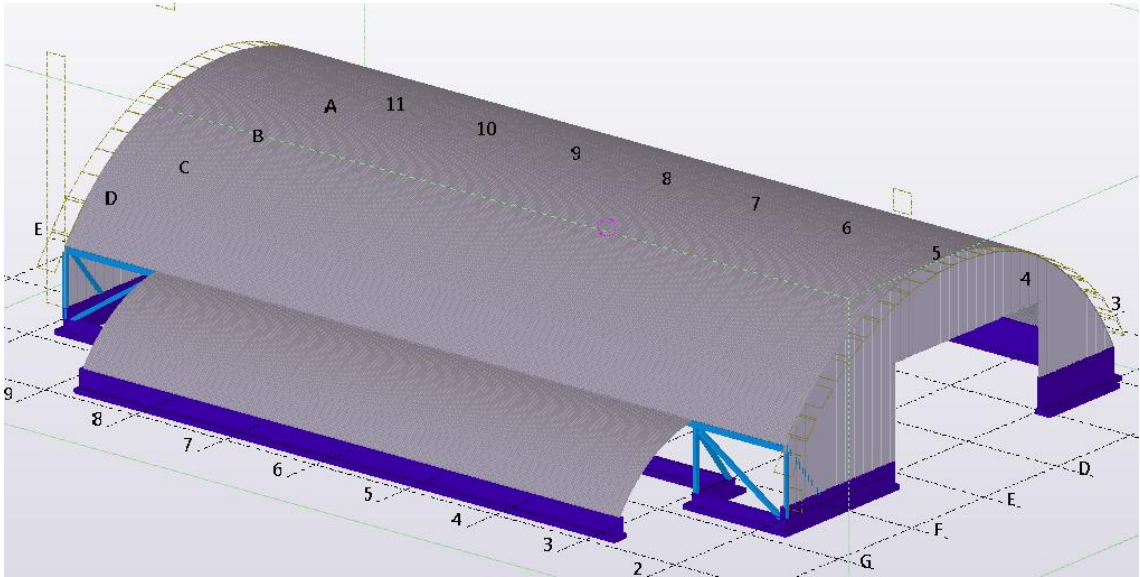
Neljännessä mallinnetussa vaihtoehdossa (KUVA 12) katoilta tuleva pystykuorma siirtyy pilareille ja vaakakuorma vinosauvoille, jotka olivat sisäänpäin. Näin sauvoihin tulee vetoa ja niiden asemat eivät häiritse ulkopuolista kulkua. Kaarihallin sisällä sijaitsevat rakenteet rajoittavat hallin tilojen käyttöä ja muunneltavuutta.



KUVA 12. Neljäs hallivaihtoehto

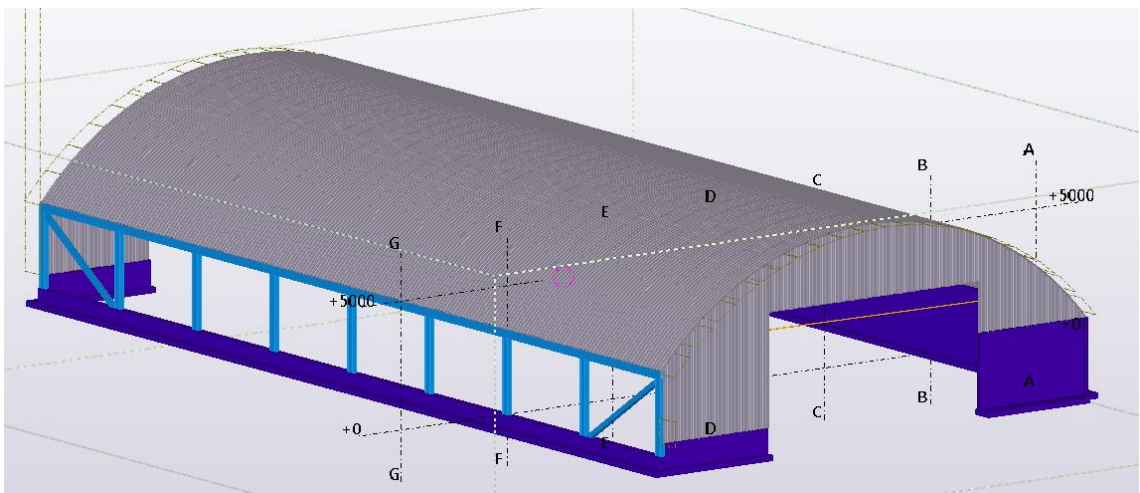
Viidennessä mallissa hallin seinän eteen rakennettaisiin puolikaari suojaaksi. Tämä suojaisi avointa sivua tuulelta, sateelta ja auringolta. Kuormat viedään katolta pilareille ja

vinosauvoille. Pitkän sivun eteen kulkeminen olisi hankalaa työkoneilla, mutta esimerkiksi ihmisen on mahdollista liikkua suojan alla (KUVA 13).



KUVA 13. Viides hallivaihtoehto

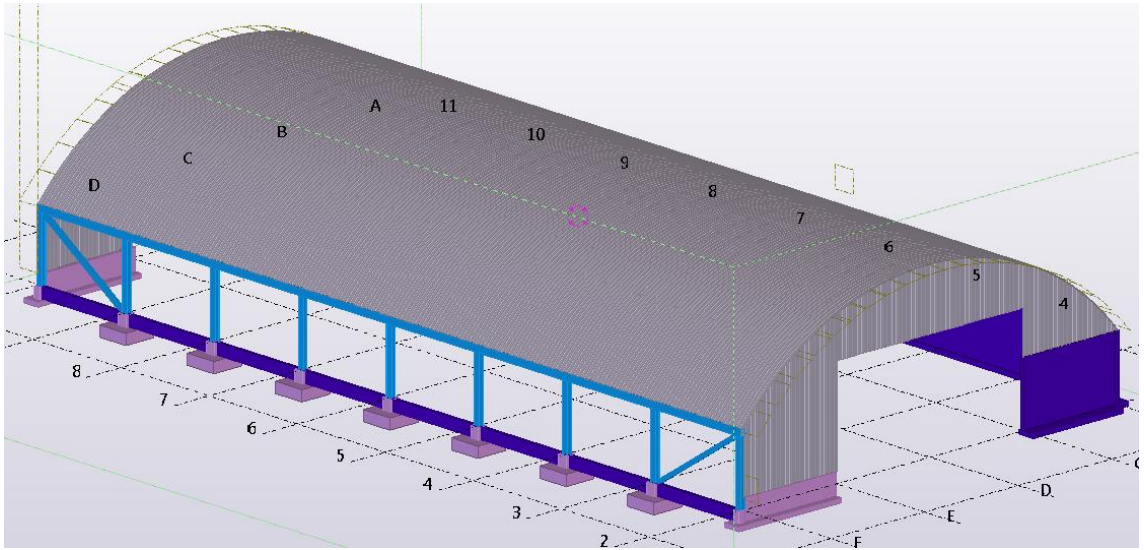
Kuudennessa mallissa kaarihallin pystykuormat siirretään perustuksiin teräspilareilla. Vaakavoimat siirtyvät vetotangoille, jotka on jännitetty pitkien sivujen eli kaaren tukien välille. Tässä vaihtoehdossa etuna on, että kaaren tukivoiman vaakakomponentti ei aiheuta momenttia perutuksiin. Pilarin profiilin koon määräävä kuormitus tulee pystysuuntaisesta kuormituksesta sekä tuulesta. Tämä pienentää käytettäviä profiileja sekä perustuksien kokoa merkittävästi (KUVA 14).



KUVA 14. Kuudes hallivaihtoehto

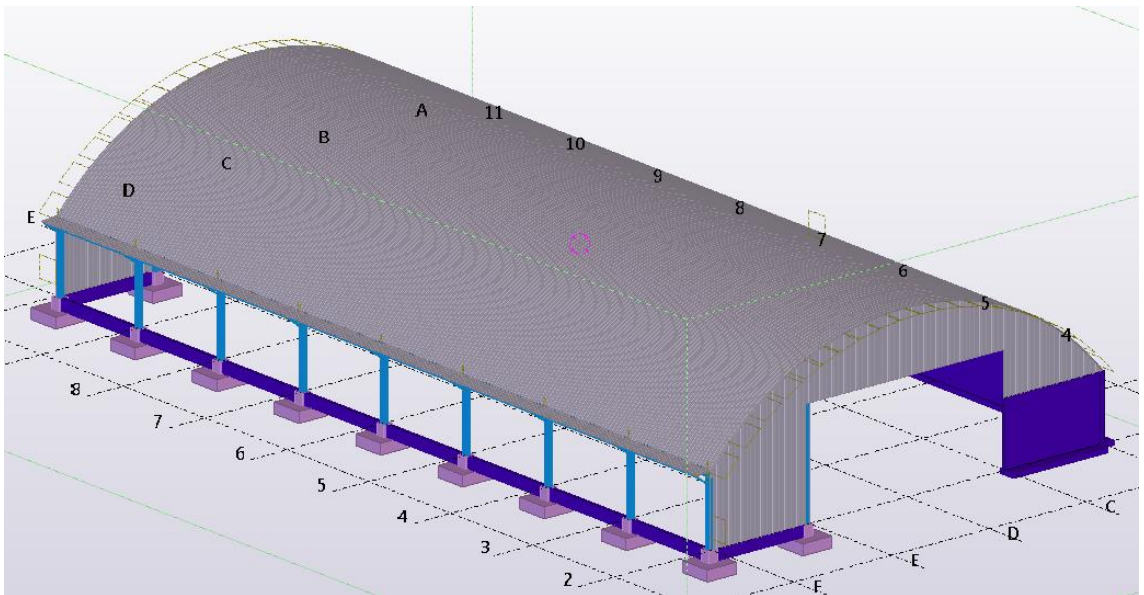


Seitsemännessä vaihtoehdossa kaarihallin poikkisuuntainen jäykistys hoidetaan mastopilareilla, jotka siirtävät kaikki kuormat perustuksiin (KUVA 15).



KUVA 15. Seitsemäs hallivaihtoehto

Kahdeksas malliehdotus (KUVA 16) oli ideasta, jossa hallin jäykistys on myös mastopilareilla, jonka avulla kaikki kuormat siirtyvät perustuksiin. Lisäksi avonaisen seinusta ylälaitaan tehtiin pieni räystääs, jotta auringon ja sateen kuormitusta saadaan pienennettyä. Tällaiselle räystäälle tulisi melko suuri lumikuorma, kun kaarikatolta valuva lumi pyrkii kinostumaan sen päälle ilman erillisiä lumiesteitä.



KUVA 16. Kahdeksas hallivaihtoehto

## **3.2 Valittu ratkaisu**

Vaihtoehtoja esiteltiin Kaarirakenne oy:n työntekijöille ja yhteisesti päätettiin mallin tai niiden yhdistelmän, jonka pohjalta opinnäytetyön tekeminen jatkui. Valinta kohdistui seitsemänteen vaihtoehtoon eli mastopilareilla jäykistettyyn kaarihalliin, jota päätettiin ryhtyä mitoittamaan ja jatkokehittämään.

### **3.2.1 Vaihtoehdon edut**

Mastopilarijäykisteiseen halliin päädyttiin, jotta runkorakenteet eivät ole hallin sisällä tai sen ulkopuolella tapahtuvan liikenteen ja toiminnan esteenä. Kaikissa muissa vaihtoehtoisissa runkorakenteet olivat kaarihallin ulko- tai sisäpuolella esteenä.

Valitun vaihtoehdon selkeänä etuna on muunneltavuus moneen eri käyttötarkoitukseen sekä vähäinen tilanvienti. Mastopilarin ylälaitaan tulee palkki, jonka päälle kaarihallin poimukatelevy kiinnittyy. Hallin pituussuuntainen jäykistys hoidetaan poimukatteella ja vinosauvoilla.

### **3.2.2 Vaihtoehdon haitat**

Mastopilarille tulevat kuormat ovat suuria, minkä takia myös pilarin profiili muodostuu suureksi. Mastopilareiden ongelmana on suurista kuormista johtuvat momentit ja niiden takia perustusten kasvaminen. Anturoiden koot kasvavat helposti suuriksi ja ne joudutaan usein tekemään paikallavaluina. Suuri koko lisää myös kustannuksia.

## **3.3 Materiaalit**

Valitun hallivaihtoehdon runko päätettiin toteuttaa teräksestä, koska kuormat kaarihallin vaipparakenteelta eli kaarelta ovat suuria. Teräs myös kestää puuta paremmin maatalouden vaihtelevat ja kosteat olosuhteet.

### **3.3.1 Elementointi**

Teräsosat on helppo toimittaa osina. Konepajalla tehdyt runko-osat toimitetaan työmaalle, jossa työvaiheet vähenevät olennaisesti valmiiden osien takia. Elementoinnilla pyritään rakennusajan lyhytkestoisuuteen. Rakennusosien tekeminen elementeiksi lisää hieman suunnittelua, koska lähtömallien ja -tietojen on oltava tarkkoja. Etukäteen tehtyjen osien täytyy olla oikean kokoisia ja sopia paikalleen.

### **3.3.2 Liitokset**

Pilari-palkkityyppisessä runkorakenteessa liitokset ovat yksinkertaisia ja osat pieniä. Pulttiliitokset ovat yksinkertaisia asentaa ja asennusvirheiden mahdollisuus on pieni. Konepajalla valmiiksi tehdyt pulttien reiät lisäävät todennäköisyyttä, että oikea määrä ja oikean kokoisia pultteja tulee asennettua.

Hitsiliitokset toteutetaan konepajalla, jossa niiden laatua ja vahvuutta voidaan paremmin tarkkailla ja varmentaa.

Perustusliitos toteutetaan peruspulttiliitoksella. Anturavaluun asennetaan Peikon harjateräspultit. Pulttien asema huolehditaan tarkasti oikeaan kohtaan, jotta pultit osuvat pilarin pohjalevyn reikiin. Kun pilari on saatu oikeaan asemaan ja pultit kiristetty, perustusliitos valetaan jälkivaluna umpeen, jotta liitoksesta tulee jäykkä.

### **3.3.3 Asentaminen**

Työmaalla runko kasataan asennussuunnitelman ja piirustusten mukaisesti. Yksinkertaisten ja helppojen pulttiliitosten takia työ on nopeaa. Valmiit hitsiliitokset vähentävät tulityövaiheita työmaalla ja näin edesauttavat työturvallisuutta.

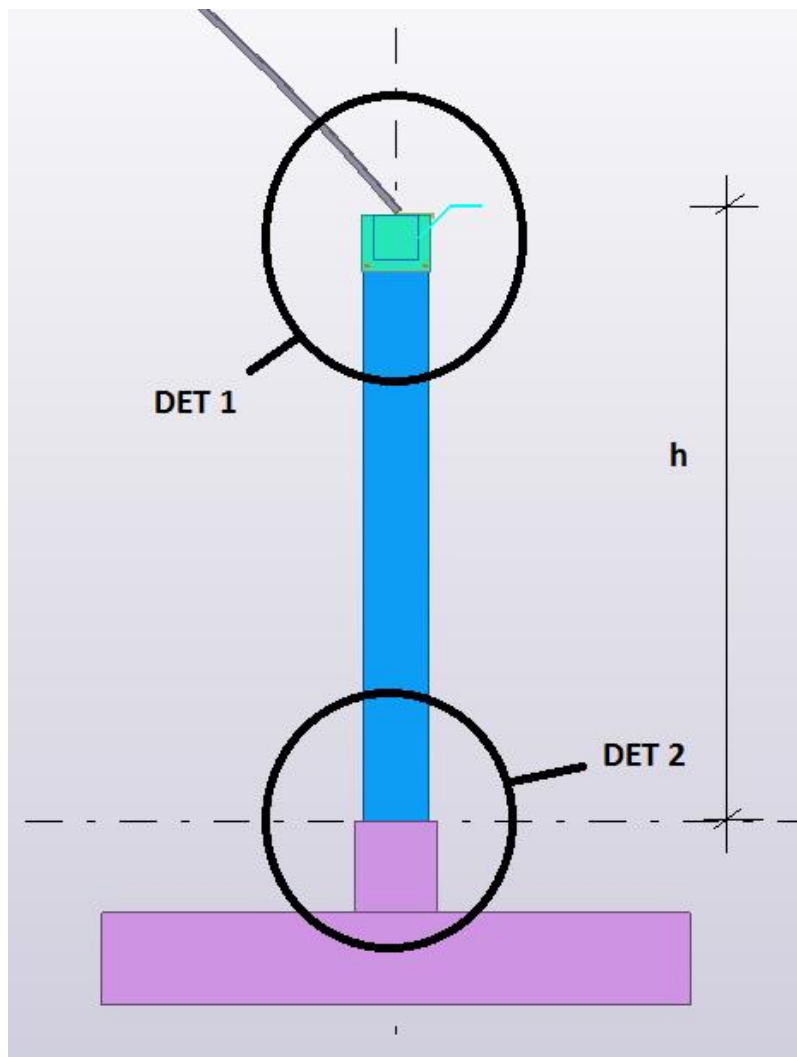
Asennustyössä tulevien virheiden määrä on minimoitu, kun rungon osat on valmiiksi tehty ja liitosten kiinnitysreiät valmiiksi porattu.

### 3.4 Rakennemalli

Itsekantavasta poimulevystä tehty kaarihalli on rakenteelliselta malliltaan nivelkantainen kaarirakenne. Kaari ei siis välitä liitoskohdassaan momenttia vaan ainoastaan tukivoimia.

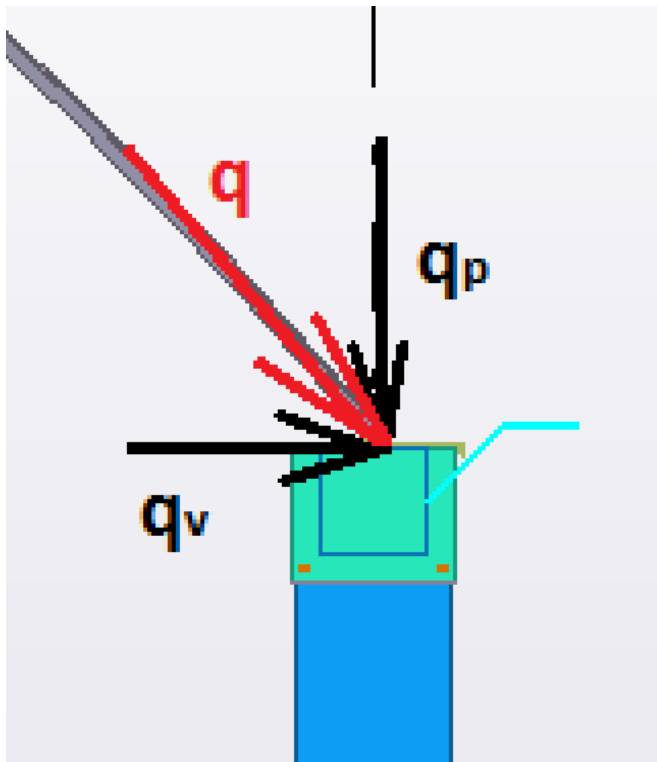
Kaaren poimulevy kiinnittyy pilarien välisiin palkkeihin kulmaraudalla (KUVA 22). Palkit ovat yksiaukkoisia ja nivelisesti tuettuja. Palkki välittää kuormat pilarille, joka siirtää kuormat perustuksiin (KUVA 17).

Tässä opinnäytetyössä halliin suunnitellun runkoratkaisun pilari kiinnittyy jäykästi perustuksiin. Pilari on yläpäästään kiinni palkeissa mutta yksinkertaistuksena pilari oletetaan ulokkeeksi eli mastopilariksi, jonka korkeus on  $h$ .



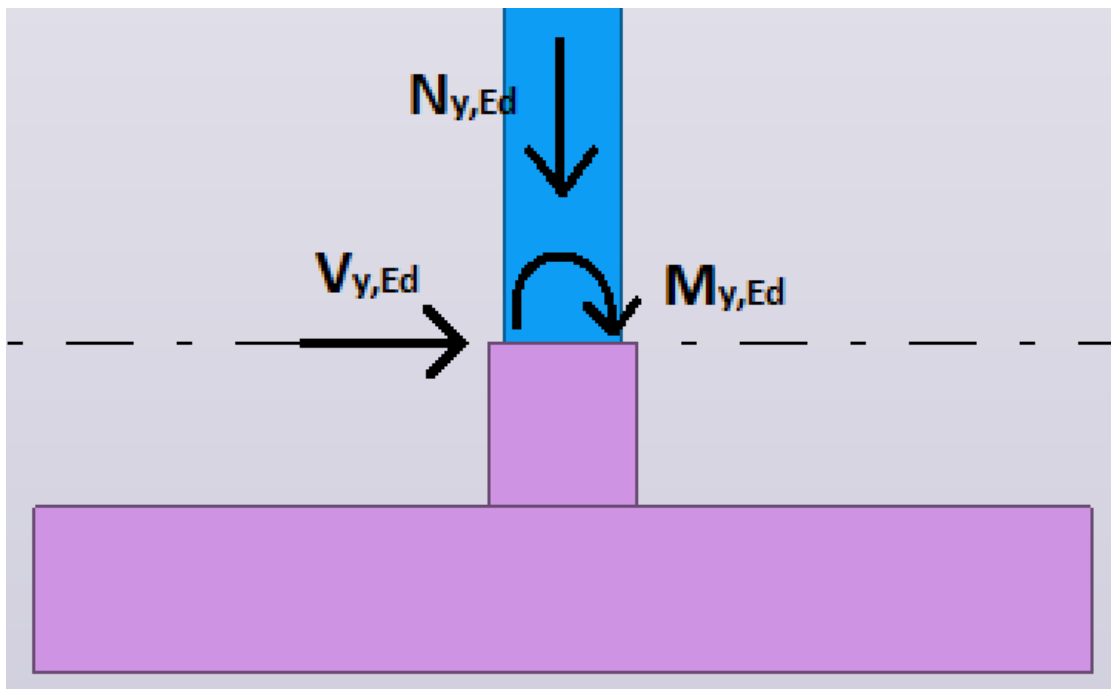
KUVA 17. Tilannepiirustus

Kaaren välittämät kuormat runkoon on esitetty kuvassa 18.



KUVA 18. DET 1

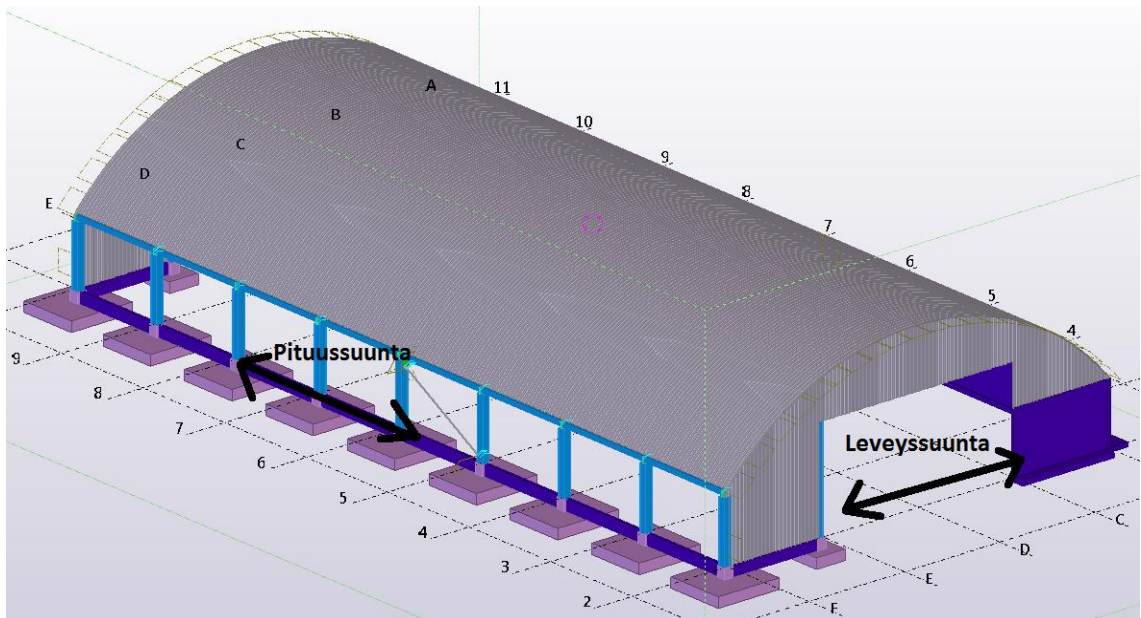
Detaljin kaksi kuormien (KUVA 19) määräytyminen on selitetty kappaleessa 5.2.2.



KUVA 19. DET 2

### 3.4.1 Jäykistys

Hallin pituussuuntainen jäykistys toteutetaan ratkaisuvaihtoehdossa katon poimulevyillä ja kantavan sivun suuntaisilla vinosauvoilla. Hallin pituussuuntaiset kuormat välittyvät kaaren välityksellä tuelle, koska kaari on jäykistävä levykenttä. Kattotason kuormat siirtyvät pilarien välisille palkeille niiden suuntaisesti, mistä kuormat siirretään vinosi-teillä eli jäykistys-sauvoilla perustuksiin. Päädyt suunnitellaan niin, että kuormat välittyvät päädyn runkorakenteelta suoraan perustuksiin tai kattotasolle. Päätyä ei tarvitse jäykistää mastopilareilla.



KUVA 20. Jäykistys-suunnat

Leveys-suunnassa vaikuttavat kuormat johdetaan mastopilareilla perustuksiin. Kaarirakenteen tuella kaarihallin vaipparakenteen leveys-suuntaiset pysyvät ja muuttuvat kuormat siirtyvät palkkien välityksellä pilarien yläpäähän. Työssä valitun runkovaihtoehdon mastopilarit jäykistävät kaarihallin leveys-suunnassa. Kaikissa runkoratkaisuvaihtoehdoissa jouduttiin miettimään kaarihallin kokonaisjäykistystä.

## 4 KUORMITUKSET

### 4.1 Kuormat

Tässä opinnäytetyössä ei tarvinnut laskea poimukatteen kuormia, vaan ne suoritettiin JFPA-ohjelmistolla, joka myös antoi kuormien suuruudet kaaren tuella. Kaarirakennetta kuormittavat tuuli-, lumi-, ripustus- ja pysyvä kuorma. Hallin kuormien suuruuteen vaikuttavat hallin sijainti, jänneväli, kaaren muoto ja koko.

Pitkän sivun aukotus päätettiin toteuttaa mastopilareilla ilman katosta. Tällöin ainoat pilariin vaikuttavat kuormat ovat kaarirakenteelta tulevien kuormien lisäksi tuuli sekä mahdolliset pilareihin kiinnitettävät osat tai elementit. Hallin pitkä sivu voidaan tarvittaessa sulkea verhoelementeillä, jotka kiinnitetään pilareihin.

Palkkeihin vaikuttaa katolta tulevat kuormat sekä hallin leveys- että pituussuunnassa. Palkkeja rasittaa kuormat kahdessa suunnassa, koska kaaren voimaresultantti voidaan jakaa pysty- ja vaakasuuntaiseen komponenttiin (KUVA 5). Komponenttivoimien suuruus toisiinsa nähden riippuu kaareen kulmasta tuella.

### 4.2 Kuormitusyhdistelmät

Kuormitusyhdistelmissä pyritään tarkastelemaan rakennuksen staattista tasapainoa ja rakenteiden kestävyyttä. Kuormitusyhdistelmät tehtiin ohjeiden (EN-1990, suunnittelu- perusteet) mukaisesti, missä huomioidaan eri kuormien yhdenaikainen vaikuttaminen. JFPA-ohjelmistolla huomioidaan eri kuormitusyhdistelmät ja saadaan erisuuruisia kuormia kaaren tuelle. Näistä kuormista haetaan rasittavimmat kuormitukset kullekin rungon rakenneosalle.

Suurimmat kuormat tulevat katto- eli kaarirakenteesta ja tässä opinnäytetyössä ne laskettiin kaarirakenteen mitoitusohjelmalla, joka otti huomioon eri kuormitusyhdistelmät. Excel-laskelmissa haettiin yhdistelmiä, joilla saatiin pilarille, palkille, vinosauvalla ja näiden liitoksille suurimpia mahdollisia rasituksia.

### 4.3 Paloturvallisuus

Usein rakenteiden vahvuuteen ja rakennuksen kokoon vaikuttaa palonaikainen kestävyys. Palomääräyksiä luetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman asetuksesta E1 (2011). Rakennuksille on annettu tietyt vaatimukset, kuinka kauan ja millä tavalla rakenteiden tulee kestää palotilannetta sekä miten rakennus jaetaan eri palo-osastoihin.

Rakenteiden ja rakenneosien palokestävyyttä mitataan eristävytydessä (I), kestävytydessä (R) ja tiiveydyssä (E). Asetuksessa (E1) määritellään tietyt ajankestot, jolloin rakenteet tai sen osan tulee täyttää vaatimukset. Näillä vaatimuksilla huolehditaan, että palotilanteissa tiloista voidaan poistua ja pelastusviranomaiset voivat suorittaa pelastus- ja sammutustöitä turvallisesti tietyn ajanjakson.

Palonaikaiset kuormitukset ovat pienempiä, kuin murtorajatilassa, sillä laskelmissa huomioidaan esimerkiksi, että rakennus ei ole täynnä ihmisiä tulipalon aikana, vaan he ovat poistuneet. Palotilanteen kuormien laskemiseen ja kuormitusyhdistelmiin on ohjeet Ruukin Rakenneputket –käsikirjassa.

#### 4.3.1 Paloluokka- ja vaatimukset

Opinnäytetyössäni rakennus oletettiin maatalousrakennukseksi, esimerkiksi pihattonavetaksi, jossa rakennuksen sivumitat ovat noin 20 ja 40 metriä. Suomen rakentamismääräyskokoelman E1 mukaan maatalouden tuotantorakennus luetaan tuotanto ja varastotilaksi, joista löytyy erilliset ohjeet Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeesta E2 (2005).

Tuotanto ja varastorakennuksissa, jotka ovat yksikerroksisia sekä alle 14 metriä korkeita, ei kerrosalaa ole rajattu P3-luokassa. E2:sta luettuna maatalousrakennukset kuuluvat palovaarallisuusluokkaan 1 ja koska toimintoihin liittyy vähäinen tai kohtuullinen palovaara.

Suojaustaso kertoo, millä pelastus- ja sammutustyötä helpottavilla varusteilla tilat on varustettava. Mikäli rakennus oletetaan heikosti varustelluksi, pienentää se palo-osaston suurinta sallittua pinta-alaa. Oletetaan rakennus heikosti varustelluksi eli suojaustason 1



kaltaiseksi, jossa tavallinen tai tehostettu alkusammutuskalusto. Suojaustasolla 1 sekä palovaarallisuusluokassa 1 pinta-alan maksimi on 2000m<sup>2</sup>.

Palovaarallisuusluokan 1 ja suojaustason 1 osastoivien rakennusosien luokka pinta-ala osastoinneissa tulee olla EI-M 90. E1:en mukaan kantaville rakenteille ei paloluokassa P3 ole määritelty palonkestovaatimuksia. Rakennuksen rakenteita ei siis tarvitse suojata palon takia. Pintojen ulko- ja sisäpuoliset luokkavaatimukset ovat D-s2, d2.

#### **4.4 Rasitukset**

Maatalousrakennuksissa ympäristöolosuhteista johtuvat rasitukset ovat usein kohtalaiset tai kovat ja ne pitää huomioida rakenteiden suojauksena tai pinnoittamisena. Näillä estetään tai vähennetään rakenteiden haurastumista, lahoamista tai teräskorroosiota.

Opinnäyteyössäni seinälinjaa ajatellaan avoimena ulkotilana, koska seinustat ovat ilman räystäitä. Rakenteet ovat UV-säteilyn, viistosateen, maakosteuden ja sisätilan toiminnasta tulevien rasitusten altistamana. Navetassa on kemiallisia rasituksia ja sisätilat ovat toistuvasti kosteana.

##### **4.4.1 Teräs**

Tuotantotilat kuuluvat kohtalaiseen eli C3 tai ankaraan eli C4 rasitusluokkaan, joissa on korkea kosteuspitoisuus ja jossain määrin epäpuhtauksia tai kemiallisia rasituksia. (Ilmastorasitusluokat). Korroosion estämiseksi teräksiset rakenneosat tulee suojata. Rasitusluokka valitaan kohdekohtaisesti hankkeen erityispiirteiden mukaan.

Teräs voidaan suojata maalauksella tai sinkityksellä. Käytettävä maalipinnoite on oltava vähintään epoksi- tai uretaanipohjainen, joka suojaa hyvin ja kestää UV-säteilyä (Lilja, R. 2013). Käytettävä maalipinnoite valitaan tapauskohtaisesti ja varmistetaan kelpaavuus tuotteen toimittajalta. Teräs voidaan myös suojata sinkityksellä Z275, joka suojaa rakennetta ja on kestävä. Kaarirakenne oy:n henkilöstön kanssa päätettiin, että käytettävä teräksen suojaus työssä on sinkitys. Perustusliitoksessa teräspultit jäävät lisäksi jälki-valun sisään, mikä lisää niiden kestävyyttä.

#### 4.4.2 Betoni

Rasitukset vaikuttavat käytettävään betonilaatuun sekä suojabetonietäisyyteen. Betonin rasitusluokka valitaan taulukon 1 mukaisesti. Betonin suojapeitteellä pyritään vaikuttamaan teräskorroosioon, kun betonin karbonatisoituminen ei pääse vaikuttamaan raudoituksiin ennen suunnitellun käyttöiän päättymistä. Tässä opinnäytetyössä betonirakenteita ovat perustukset, sokkelipalkit ja lattiavalut.

Betonin lujuus vaikuttaa betonin suurimpiin vaurioitumistapoihin eli raudoitusten korroosioon ja pakkasrapautumiseen, koska ominaislujuudeltaan vahvempi betoni on tiiviimpi. Rakennetta suunniteltaessa on myös huomioitava tapauskohtaisesti betonin kiviaineksen raekoko, vesi-sementtisuhde, muiden betonin ominaisuuksien ja lisäaineiden tarve. (Anttila, V.)

## TAULUKKO 1. Betonin rasitusluokat (by210. 2008)

Taulukko 7. Ympäristöolosuhteista riippuvat rasitusluokat.

Luokka	Ympäristö	Esimerkki
1 Ei korroosiota tai rasituksen riskiä		
X0	Raudoittamaton betoni kaikkiiin ympäristöihin. Raudoitettu betoni hyvin kuivassa ympäristössä. Ei jäädytys/sulatus rasitusta	Kuiva sisätila
2 Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio		
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä	Sisätilat tai pysyvästi vedenalainen betoni
XC2	Märkä, harvoin kuiva	Pitkään kosketuksissa veden kanssa, esim. perustukset
XC3	Kohtalaisen kostea	Sisätila, jossa korkea ilmankosteus tai ulkona sateelta suojassa
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Kosketuksissa veden kanssa
3 Muu kloridien kuin meriveden aiheuttama korroosio		
XD1	Kohtalaisen kostea	Alttiina ilman klorideille
XD2	Märkä, harvoin kuiva	Uima-altaat, alttiina kloridipitoiselle teollisuusvedelle
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Sillat/parkkitalot, alttiina kloridipitoisille roiskeille
4 Meriveden kloridien aiheuttama korroosio		
XS1	Kosketuksissa ilman kuljettaman suolan kanssa	Rannikolla olevat rakenteet
XS2	Pysyvästi veden alla	Merirakenteet
XS3	Vuorovesi ja roiskeet	Merirakenteet
5 Jäädytys/sulatusrasitus		
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästymisen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystypinnat
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästymisen ja jäänsulatusaineet	Tierakenteiden pystysuorat betonipinnat
XF3	Suuri vedellä kyllästymisen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakapinnat
XF4	Suuri vedellä kyllästymisen ja jäänsulatusaineet tai merivesi	Siltojen kannet, roiskevesivyöhykkeellä olevat jäätymiselle alttiit merirakenteet
6 Kemiallinen rasitus		
XA1	Standardin EN 206-1 mukainen vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA2	Standardin EN 206-1 mukainen kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA3	Standardin EN 206-1 mukainen hyvin aggressiivinen kemiallinen rasitus	Luonnon maaperä ja pohjavesi

## 5 RUNKO

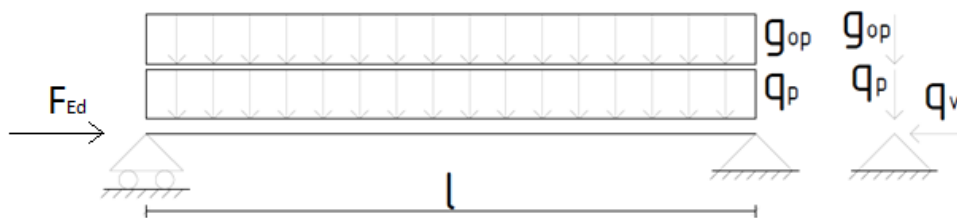
Opinnäytetyössä rungon teräksiset rakenneosat mitoitettiin manuaalisesti. Laskuista tehtiin Excel-ohjelmalla mitoitustyökalu, jolla pystyy hakemaan, kuormitukseen vaikuttavia parametreja muuttamalla, aukotukseen sopivia teräksisiä rakenneputkien kokoja. Excel-laskennan yksinkertaistamiseksi opinnäytetyön ratkaisuvaihtoehdossa valittiin poikkileikkausluokkien yksi ja kaksi profiileja, jotka ovat neliön tai suorakaiteen muotoisia. Myös liitoksista tehtiin Excel-laskennat, joiden avulla liitokset voidaan mitoittaa kestäviksi. Liitteissä 1-3 on havainnollistettu kaarihallin aukon runkoratkaisua.

### 5.1 Palkki

Hallin kaari kiinnittyy liitoslevyn kautta palkkiin, joka siirtää tukiansa kautta kuormat pilareille. Palkin pituus on käytännössä sama kuin pilarien jako. Palkit ovat neliö- tai suorakaidepoikkileikkauksisia teräsrakenneputkia.

#### 5.1.1 Toiminta

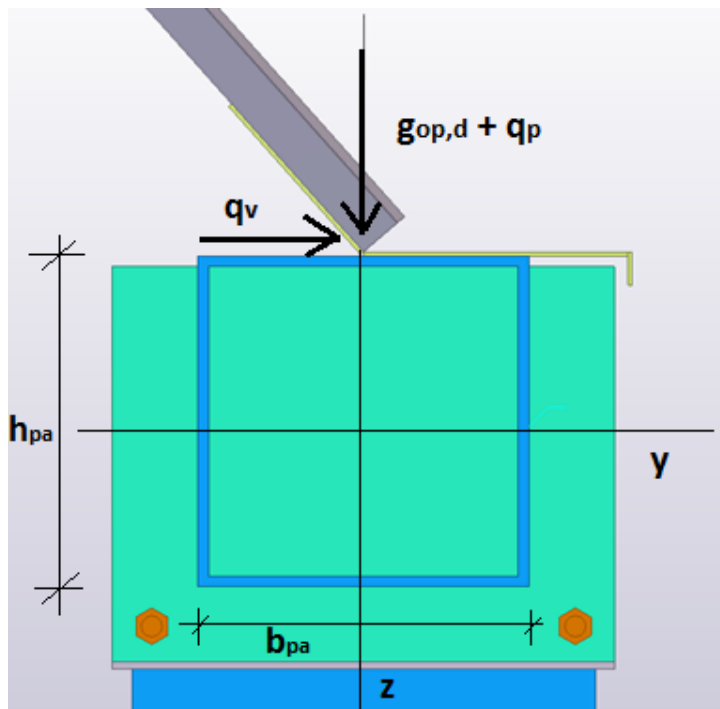
Palkki on kiinnitetty molemmista päistään nivelisesti pilarin yläpään kiinni (KUVA 21). Palkin ideana on olla yksiaukkoisena sauvana kiinnitysalusta kaaren poimulevyille ja välittää kuormat aukon yläpuoliselta osalta mastopilareille.



KUVA 21. Palkin rakennemalli

### 5.1.2 Kuormat

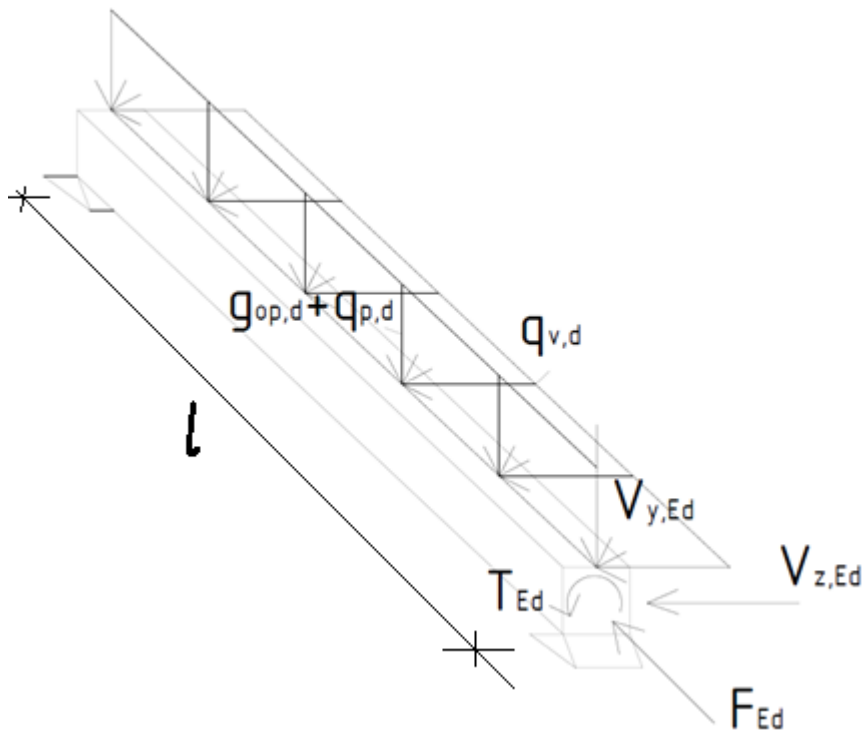
Palkkia kuormittavat kahden akselin suhteen kattotason kuormat, oma paino ja hallin pituussuuntaan vaikuttava tuulikuorma, joka siirretään päädyiltä sekä katon poimulevykentältä palkkien kautta vinositeille. Kaaren tukivoiman resultantti voidaan jakaa pysty- ja vaakasuuntaisiin komponentteihin (KUVA 5). Mitä pystympi kaaren liitos on, sitä pienempi on vaakasuuntainen voima. Palkkia rasittaa leikkausvoima, taivutusmomentti, puristusvoima ja vääntö, koska liitoskohta on epäkeskisesti vaakasuunnan voimalle palkin yläpinnassa (KUVA 22). Kuormat saadaan kaaren mitoitusohjelmasta.



KUVA 22. Palkin ja poimulevyn liitos

$g_{op,d}$	Palkin omapaino
$q_{p,d}$	Kaaren pystysuuntainen kuormakomponentti
$q_{v,d}$	Kaaren vaakasuuntainen kuormakomponentti
$h_{pa}$	Palkin profiilin korkeus
$b_{pa}$	Palkin profiilin leveys

Palkin rasitukset voidaan laskea kuvan 23 rakennemallista, jossa kuormat on esitetty. Kattorakenteelta palkkia kuormittaa vaaka- ja pystysuuntainen kuorma. Näiden lisäksi palkkia kuormittaa pystysuunnassa oma paino.



KUVA 23. Palkissa vaikuttavat rasitukset

Palkin maksimi momentti

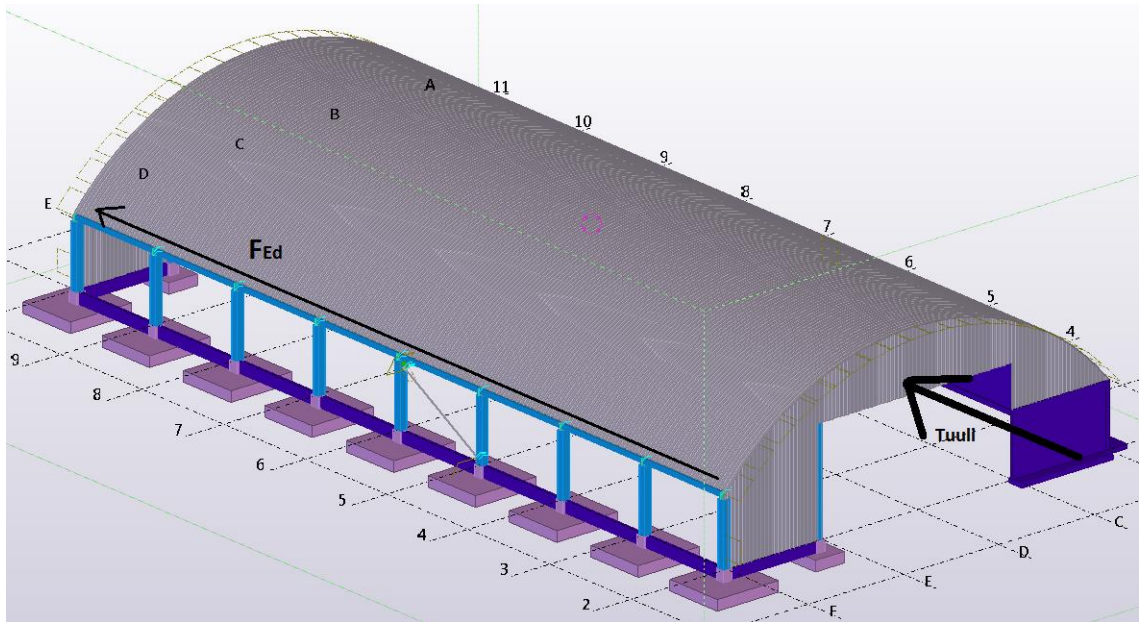
pysty- ja

$$M_{y,Ed} = \frac{(g_{op,d} + q_{p,d}) * l^2}{8} \quad (1)$$

vaakasuunnassa

$$M_{z,Ed} = \frac{g_{v,p} * l^2}{8} \quad (2)$$

Palkin normaalivoima on  $F_{Ed}$ , joka aiheutuu kaaren tukivoimista, kun kattotaso pituus-suunnassa jäykistävä levykenttä (KUVA 24).



KUVA 24. Tuulesta aiheutuvat tukivoima kaaren tuella

Palkin leikkausvoima tuella  
pysty-

$$V_{Ed,y} = \frac{(g_{op,d} + q_{p,d}) * l}{2} \quad (3)$$

ja vaakasuunnassa

$$V_{Ed,z} = \frac{q_{v,d} * l}{2} \quad (4)$$

Palkin vääntömomentti tuella

$$T_{Ed} = q_{v,d} * \frac{h_{pa}}{2} * \frac{l}{2} \quad (5)$$

### 5.1.3 Mitoitus

Palkki mitoitetaan molemmissa suunnissa. Koska taivutusmomentti vaikuttaa palkin kahden akselin suunnassa, tuli määrääväksi rasitukseksi murtorajatilassa taivutuksen ja aksiaalisen puristuksen yhteisvaikutus.

Palkin todellisen koon ja vahvuuden määrittelee käyttörajatilassa tapahtuva taipumatar- kastelu. Mikäli hallin koko on pieni ja kuorman resultantti lähes pystysuuntainen, voi- daan palkin profiileissa päästä pieniin ja suorakaiteen muotoisiin rakenneputkiin.

Teräspalkki mitoitettiin Ruukin Rakenneputket -käsikirjan ja Eurokoodin 3 mukaisesti kaikille huomioitaville rasituksille akselinsa molemmissa suunnissa.

Taivutuskestävyys

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6)$$

Leikkauskestävyys

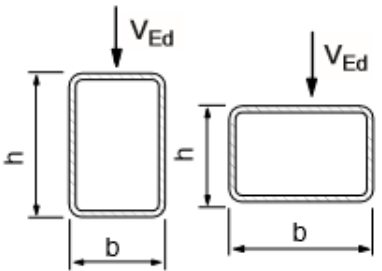
$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \quad (7)$$

Leikkauslommahduskestävyys tulee määrääväksi, jos uuman hoikkuus ylittää taulukos- sa 2 valitulle teräslaadulle annetun raja-arvon.



TAULUKKO 2. Uuman rajajoikkuudet (Ruukin Rakenneputket -käsikirja, 2012)

**Taulukko 2.19** Raja-arvot uuman hoikkuudelle, jonka ylittyessä leikkauslommahduskestävyys tulee määräväksi

	$\frac{h}{t}$				
	S235	S275	S355	S420	S460
	75,0	69,6	61,6	56,9	54,5

Taulukon arvot on määritetty käyttäen  $\eta$ -tekijälle rakenneputkilla arvoa  $\eta = 1,0$ [3,4,5].

Väännön ja leikkausvoiman yhteisvaikutus

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{\left(1 - \frac{\tau_{Ed}}{f_y} \frac{\sqrt{3}}{\gamma_{M1}}\right)} * V_{pl,Rd} \quad (8)$$

Vääntökestävyys, plastisen vääntö- tai vääntölommahduskestävyyden kaavalla.

$$M_{pl,x,Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3}/\gamma_{M1}} * 2 * A_t * t \quad (9a)$$

$$M_{b,x,Rd} = \frac{\chi_t * f_y}{\sqrt{3}/\gamma_{M1}} * 2 * A_t * t \quad (9b)$$

Taivutuksen ja leikkauskestävyyden yhteisvaikutus. Ei tarvitse huomioida, jos kaavan 11 ehto toteutuu.

$$M_{V,Rd} = \left[ W_{pl} - \frac{\rho * A_V^2}{8 * t} \right] * \left( \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \leq M_{c,Rd} \quad (10)$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 * V_{pl,Rd} \quad (11)$$

Taivutuksen, leikkausvoiman ja aksiaalisen voiman yhteisvaikutus. Ei tarvitse huomioida, jos kaavan 11 ehto toteutuu.

$$M_{N,V,Rd} = M_{V,Rd}, \text{ kun } N_{Ed} \leq \frac{0,5 * A_{w,red} * f_y}{\gamma_{M0}} \text{ ja } N_{Ed} \leq 0,25 * N_{V,Rd} \quad (12a)$$

muulloin

$$M_{N,V,Rd} = M_{V,Rd} * \frac{1 - n_V}{1 - 0,5 * a_V} \leq M_{V,Rd} \quad (12b)$$

Koska palkkia kuormitetaan kahden akselin suhteen, tulee tarkastaa kaavan 13 ehto.

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,V,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,V,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0 \quad (13)$$

Taivutuksen, leikkausvoiman ja vääntömomentin yhteisvaikutus lasketaan kaavalla 12. Ei tarvitse huomioida, jos kaavan 14 ehto toteutuu.

$$V_{Ed} \leq 0,5 * V_{pl,T,Rd} \quad (14)$$

Taivutuksen, normaalivoiman, vääntömomentin ja leikkauskestävyyden yhteisvaikutus lasketaan kaavalla 12. Ei tarvitse huomioida, jos kaavan 14 ehto toteutuu.

Taivutus ja aksiaalinen voima

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_x} \leq M_{pl,Rd} \quad (15)$$

Puristuskestävyys

$$N_{pl,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} \quad (16)$$

Nurjahduskestävyys

$$N_{pl,Rd} = \frac{\chi^* A^* f_y}{\gamma_{M1}} \quad (17)$$

Taivutuksen ja aksiaalisen puristuksen yhteisvaikutus lasketaan kaavoilla 18 ja 19.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y^* \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT}^* \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (18)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z^* \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT}^* \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (19)$$

Palkin taipuma tarkastetaan käyttörajatilan kuormilla kaikissa rasitetuissa suunnissa. pystysuunnassa

$$w = \frac{5}{384} * \frac{(q_{p,k} + g_{op,k}) * l^4}{E * I} \quad (20)$$

vaakasuunnassa

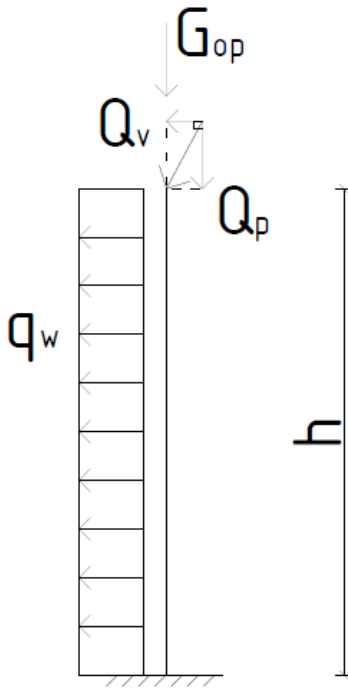
$$w = \frac{5}{384} * \frac{q_{v,k} * l^4}{E * I} \quad (21)$$

## 5.2 Pilari

Kattotason kuormat siirretään pilareilla perustuksiin. Hallin rungon jäykistys tapahtuu mastopilareilla leveysuunnassa. Pilari on teräksestä, jonka vahvuuteen ja kokoon vaikuttaa tilaajan toiveet sekä kaarihallin koko ja muoto. Pilari tehdään neliö- tai suorakaidepoikkileikkauksisesta rakenneputkesta.

### 5.2.1 Toiminta

Pilari on yksinkertaistettuna mastopilari (KUVA 25). Pilari jäykistää kaaren toisen puolen pilarijaon välisellä alueella. Kaaren molemmat pitkät sivut voidaan toteuttaa runkoratkaisulla tai vain toinen sivu.



KUVA 25. Pilarin rakennemalli

### 5.2.2 Kuormat

Pilaria kuormittaa suuri momentti, leikkausvoima ja normaalivoima. Pilarille tulevat kuormat aiheutuvat itsekantavasta teräspoimulevystä ja sen kuormituksesta, pilarin sekä palkin omasta painosta ja pitkää sivua rasittavasta tuulikuormasta. Kuormien suuruuteen vaikuttaa kaaren koko, kaaren muoto, maasto-olosuhteet, pilarijako ja rakenneputkien koko. Momentti ja leikkausvoima pienenevät, mikäli kaaren liitos on melkein pilarin suuntainen. Tämä vähentää merkittävästi materiaalikustannuksia, koska pilarin ja perustusten kokoa voidaan pienentää.

Pilarin kuormat voidaan laskea kuvan 25 rakennemallista, jossa kuormat on esitetty. Kattorakenteelta pilaria kuormittaa vaaka- ja pystysuuntainen kuorma. Pilaria myös kuormittaa palkin ja pilarin oma paino. Tuulenimun kuormavaikutus on samansuuntai-

nen kuin kaaren tuesta aiheutuva vaakasuunnan kuorma. Tuulikuorman vaikutus riippuu siitä, onko aukot suljettu vai auki.

$G_{op,d}$	Palkin ja pilarin omapaino
$Q_{p,d}$	Kaaren pystysuuntainen kuormakomponentti
$Q_{v,d}$	Kaaren vaakasuuntainen kuormakomponentti
$q_{w,d}$	Tuulikuorma

Pilarin maksimi momentti pilarin juuressa

$$M_{Ed} = Q_{v,d} * h + \frac{q_{w,d} * h^2}{2} \quad (22)$$

Pilarin normaalivoima

$$N_{Ed} = G_{op,d} + Q_{p,d} \quad (23)$$

Pilarin leikkausvoima sen alapäässä

$$V_{Ed} = Q_{v,d} + q_{w,d} * h \quad (24)$$

### 5.2.3 Mitoitus

Pilarin todellisen koon määrittelee käyttörajatila eli pilarin yläpään siirtymä. Mitoitettavaksi kestävyystarkasteluksi murtorajatilassa muodostui taivutuskestävyys. Pilarin korkeuden madaltaminen vähentää taivutusmomenttia, mutta koska vapaan aukon korkeudeksi oli sovittu opinnäytetyön aloituspalaverissa noin kolme metriä, niin pilarin madaltaminen ei ollut mahdollista.

Mitoituksessa huomioitiin Eurokoodin 3 mukaisesti kaikki pilariin liittyvät rasitukset.

Taivutuskestävyys pilarille lasketaan kaavalla 6.

Leikkauskestävyys pilarille saadaan kaavasta 7.

Taivutuksen ja leikkauskestävyyden yhteisvaikutus lasketaan kaavalla 10. Ei tarvitse tarkastaa, jos kaavan 11 ehto toteutuu.

Leikkauslommahduskestävyys tulee määrääväksi, jos pilarin uuman hoikkuus ylittää taulukon 2 raja-arvon.

Puristuskestävyys pilarille saadaan kaavasta 16.

Taivutusnurjahduskestävyys lasketaan kaavalla 17.

Taivutuksen ja aksiaalisen voiman yhteisvaikutus lasketaan kaavalla 15.

Taivutuksen, leikkausvoiman ja aksiaalisen voiman yhteisvaikutus pilarille lasketaan kaavalla 12. Ei tarvitse tarkastaa, jos ehto toteutuu kaavassa 11.

Taivutuksen ja leikkauskestävyyden yhteisvaikutus lasketaan kaavalla 10. Ei tarvitse tarkastaa, jos ehto toteutuu kaavassa 11.

Vaakasiirtymä käyttörajatilan kuormilla pilarin yläpäälle

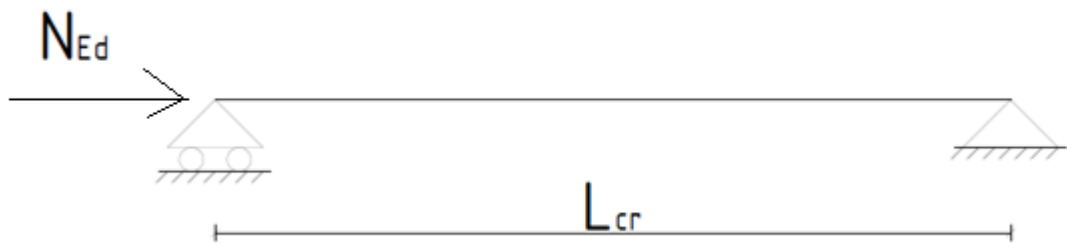
$$\theta = \frac{Q_{v,k} * h^3}{3 * E * I} + \frac{q_{w,k} * h^4}{8 * E * I} \quad (25)$$

### 5.3 Vinoside

Vinosauvoilla hallin pituussuuntaiset kuormat siirtyvät perustuksiin. Vinositeet toteutetaan teräksisellä neliöputkiprofiililla. Vinositeet eli jäykistysiteet kuormat siirretään pitkän sivun suunnassa perustuksiin. Sauvat toimivat puristus- tai vetosauvoina.

### 5.3.1 Toiminta

Vinoside on kiinnitetty nivelisesti viereisten pilarien ylä- ja alapäähän. Sauva on aina yksiaukkoinen (KUVA 26). Tässä opinnäytetyössä aukon koko oli niin pieni, että sauvan nurjahduspituus ei muodostunut kovin suureksi. Kattotason kuormat pyrkivät siirtämään palkkia ja sitä kautta pilaria. Vinoside estää pilaria liikkumasta sen sivusuunnassa ja siirtää kuorman perustuksiin.

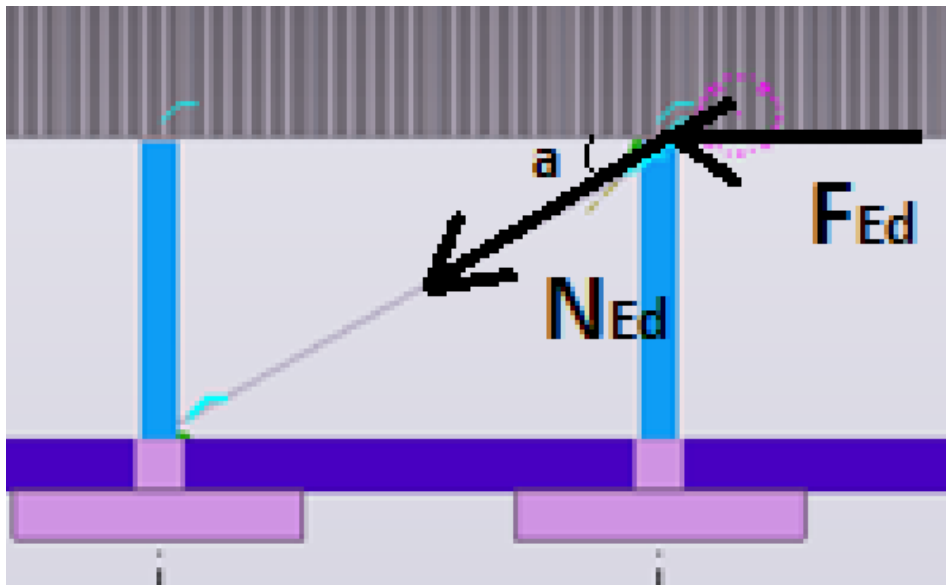


KUVA 26. Vinositeen rakennemalli

### 5.3.2 Kuormat

Vinositeelle tulevat kuormat johtuvat päätyjen tuulenpaineesta sekä seinien että kattojen tuulen kitkakuormasta, jotka lasketaan Excel-laskentatyökalulla. Koska kaaren poimukatelevyt toimivat jäykistävinä levyinä kaarihallin pituussuunnassa, niin kattotason jäykistyskuormat siirtyvät tukien kautta palkkien suuntaisiksi.

Vinoside kuormittuu joko puristavalla tai vetävällä voimalla riippuen tuulen suunnasta suhteessa vinositeen asentoon (KUVA27). Palkin suuntainen voima  $F_{Ed}$  oletetaan kuorman vaakasuuntaiseksi komponentiksi. Vinositeen suuntakulman perusteella saadaan kuorman resultantti, joka on sauvan suuntainen. Jäykistyssauva mitoitetaan kuormare-sultantille.



KUVA 27. Vinositeen kuormat

Vinositeen kuormitus havaitaan kuvasta 17, jossa on rakenneosan rakennemalli. Normaalivoima, jossa suuntakulma  $\alpha$  on palkin ja vinositeen välinen kulma.

$$N_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{\cos(\alpha)} \quad (26)$$

### 5.3.3 Mitoitus

Jäykistävää sauvaa kuormittaa tuulen suunnasta riippuen, joko puristus- tai vetovoima. Tarkasteluissa sauva siis oletetaan aina puristussauvaksi, joka on mitoittava. Koska sauva on kuormaresultantin suuntainen, murtorajatilassa määrääväksi kestävyystarkasteluksi tuli nurjahduskestävyys. Sauvassa ei esiinny taipumaa eikä siirtymää, koska ainoa vaikuttava voima on sauvan pituusakselin suuntainen.

Sauvan profiiliin kestävyteen vaikuttaa kuorman lisäksi nurjahduspituus, joka on riippuvainen aukon suuruudesta. Mikäli pilari on korkea ja palkki pitkä, niin nurjahduspituus kasvaa.

Nurjahduskestävyys vinositeelle lasketaan kaavalla 17.



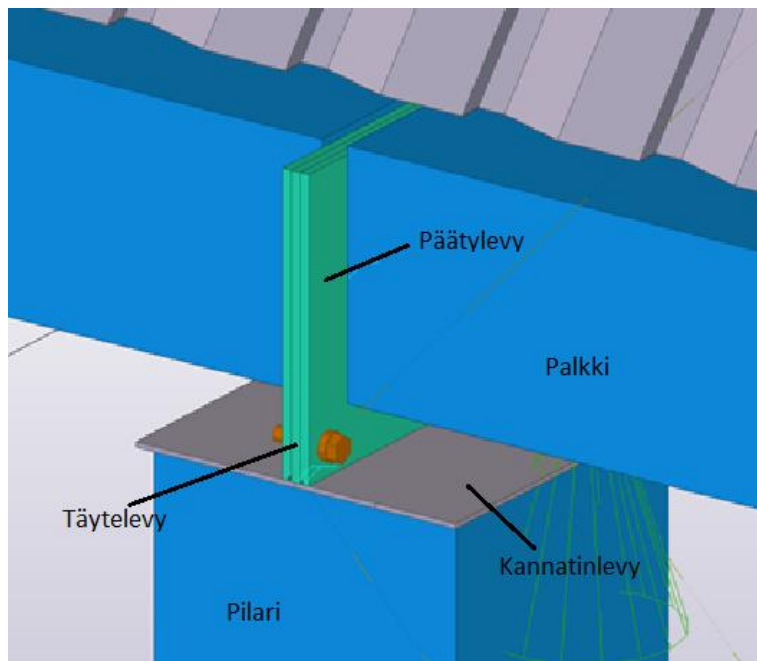
## 5.4 Liitokset

Liitokset suunniteltiin niin, että ne ovat rakennemallien mukaisia, jolloin rakenteiden toiminta vastaa laskentaa. Kun rakenteet ovat toteutettu rakennemallien mukaisesti ne kestävät niihin kohdistuvat rasitukset ja välittävät kuormia toiselle rakenneosalle suunnitellusti.

Liitokset suunniteltiin yksinkertaisiksi toteuttaa työmaalla. Hitsaus tapahtuu konepajalla ja rakenneosien liittäminen tapahtuu pulttiliitoksin. Liitoksien yksinkertaisuudella pyrittiin asennusnopeuteen, työturvallisuuteen ja virheiden minimointiin. Selkeät liitokset ovat kustannustehokkaita. Liitokset ovat siis helppoja valmistaa ja asentaa niin teräsosien tekijälle konepajalla kuin rakentajalle työmaalla.

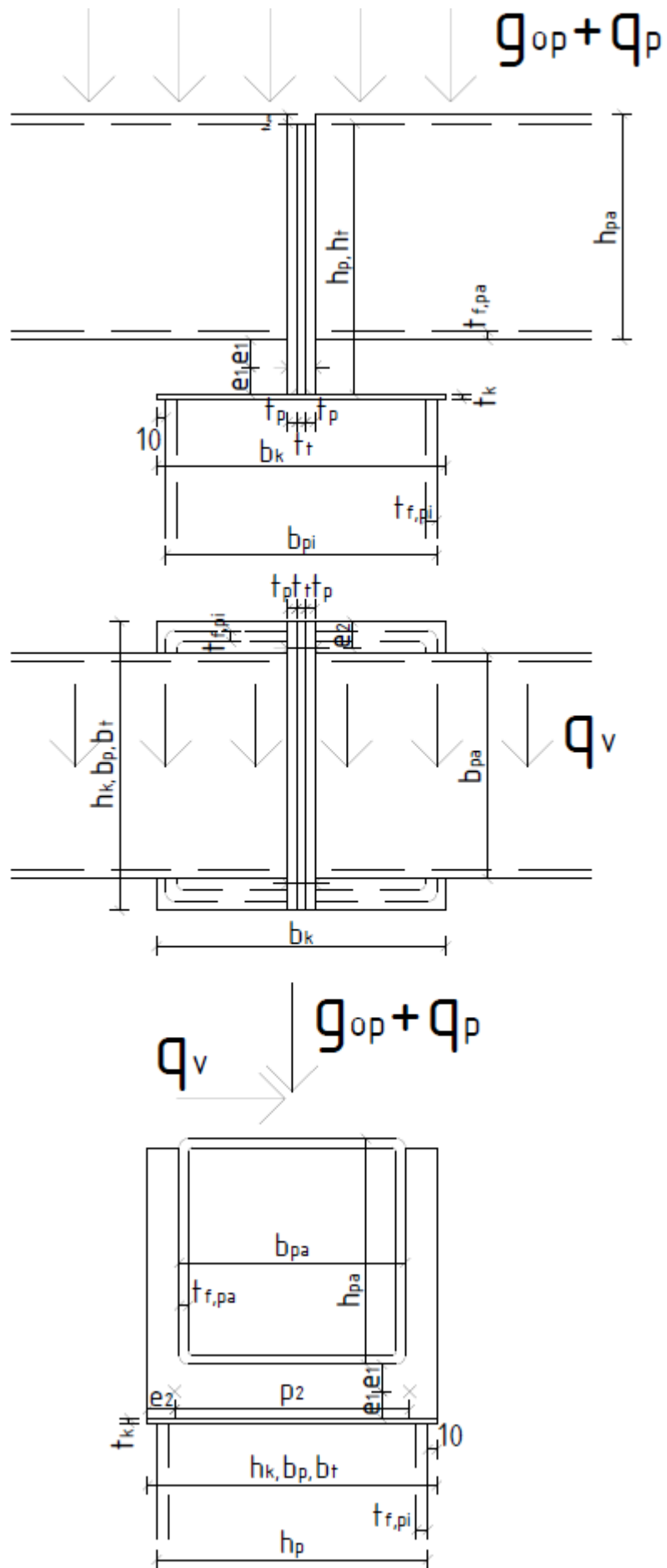
### 5.4.1 Pilari-palkkiliitos

Pilarin ja palkkien välinen liitos on nivel. Liitos välittää palkkien tukivoimat pilarille, mutta ei momenttia. Liitoksessa palkki on tuettuna pilarin päälle levyllä, josta välittyy pystysuuntainen kuorma. Pilarin päällä on kannatinlevy ikään kuin hattuna, joka suojaa rakenneputken sisäpintaa ja jonka päälle palkit tukeutuvat. Palkeissa olevat päätylevyt kiinnitetään pulteilla pilarissa pystyssä olevaan täytelevyyn, joka on sijoitettu keskeisesti pilarin päälle. Pultit välittävät vaakasuunnan kuormat ja estävät palkkia putoamasta. Pulttien sijainti levyissä on mahdollisimman keskellä ja alhaalla, millä varmistetaan liitoksen toiminta nivelenä. Kuvissa 28, 29 ja 30 selkeytetään liitoksen rakennetta.



KUVA 28. Pilari-palkkiliitos

Liitos voidaan laskea tässä opinnäytetyössä tehdyllä Excel-laskentatyökalulla. Laskennassa huomioidaan liitoksen eri kuormitustapauksia ja materiaaleja. Mitoituksessa haetaan mm. sopivat pulttikoot, levyjen paksuudet ja koot, reunaetäisyydet ja hitsien vahvuudet. Excel-pohjan hyödyntäminen nopeuttaa liitoksen suunnittelua.



KUVA 29. Pileri-palkkiliitoksen liitospirustukset eri suunnista



Ruuvissa vaikuttava leikkausvoima vaakasuunnassa

$$V_v = \frac{M_v}{p_2 + e_2} - (g_{op} + g_p) * \frac{l}{2} \quad (28)$$

Ruuvissa vaikuttava leikkausvoima pystysuunnassa

$$V_p = q_v * \frac{l}{2} * (h_{pa} + 2 * e_1) \quad (29)$$

Ruuvissa vaikuttava leikkausvoima

$$V = \sqrt{V_v^2 + V_p^2} \quad (30)$$

Ruuvien leikkauskestävyys, jossa pienennystekijä  $\beta_b$ , kun täytelevyn paksuus  $t > 1/3*d$ .

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} * \beta_b \geq V \quad (31)$$

Päätylevyn ja palkin välinen hitsi

vaakasuunnassa

$$a = \frac{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2} * (q_{v,d} * l / 2) / 2}{h * f_u} \quad (32)$$

pystysuunnassa

$$a = \frac{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2} * ((q_{p,d} + g_{op,d}) * l / 2) / 2}{b * f_u} \quad (33)$$

Reunapuristuskestävyys pääty- ja täytelevylle

$$F_{b,Rd} = k_1 * \alpha_b * d * t / \gamma_{M2} \geq V \quad (34)$$

Täyte- ja kannatinlevyn välinen hitsi

$$a = \frac{\beta_w * \gamma_{M2} * Q_{v,d} * \sqrt{3}}{2 * L_w * f_u} \quad (35)$$

Päätylevyn puristuskestävyys, kun alareunaa on viistetty hitsin vaatiman tilan takia.

$$N_{p,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}} \geq (q_{p,d} + g_{op,d}) * \frac{l}{2} \quad (36)$$

Kannatinlevyn ja pilarin välinen hitsi

pilarin korkeussuunnassa

$$a = \frac{Q_{v,d} * \beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}}{2 * L_w * f_u} \quad (37)$$

pilarin leveysuunnassa, missä  $F_{Ed}$  on palkin suuntainen kuorma

$$a = \frac{F_{Ed} * \beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}}{2 * L_w * f_u} \quad (38)$$

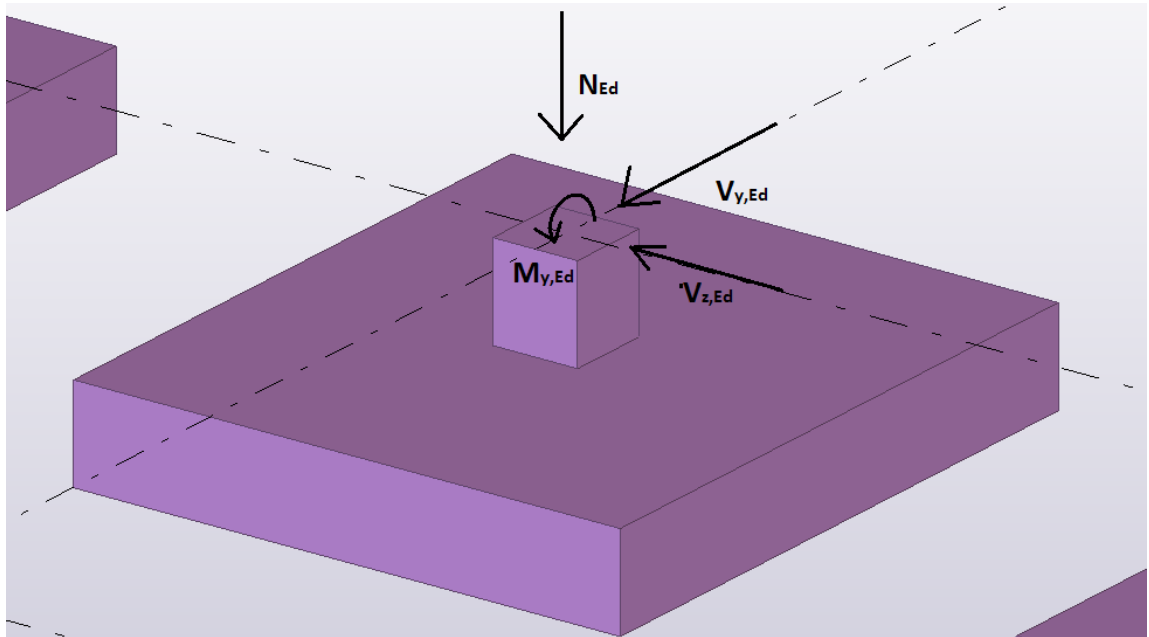
#### 5.4.2 Pilarin liitos perustuksiin

Rakennemallin mukaisesti pilarin liitos perustuksiin on jäykkä. Mastopilari kiinnitetään pilari-anturaan peruspulteilla. Pilari kiinnittyy hitsillä pohjalevyyn, johon perustuspultit kiinnitetään ja kiristetään joka reunalta niin, että pilarin asema ja asento ovat oikeat. Liitos voidaan ajatella jäykäksi vain mastopilarin pääkuormien vaikutussuunnassa, jossa tehollinen pituus riittävä.

Pilarin ja perustuksen liitos valetaan lopuksi jälkivaluna betonilla täyteen riittävän jäykkyyden ja kestävyuden takaamiseksi. Jälkivalun betoni toimii puristuspuolella, kun peruspultti on vetopuolen teräs. Pultin kokoon vaikuttaa momentista aiheutuva vedon lisäksi leikkausvoima.

Perustusliitos mitoitetaan pohjalevyn hitsiä lukuun ottamatta Peikko Designer -ohjelmalla. Ohjelmisto on ilmainen ja se ottaa huomioon lukuisia eri rasituksia. Koska toteutuvissa kohteissa on tarkoitus käyttää Peikon tuotteita, niin myös mitoitus on hyvä tehdä heidän ohjelmallaan, jotta mitoitus on tehty oikein ja riittävän tarkasti. Ohjelma laskee liitoksen kestävyuden. Ohjelma myös ilmoittaa perustuksiin tarvittavista lisäraudoituksista ja ottaa huomioon pulttien muodoista ja koosta johtuvia erityisvaatimuksia sekä -rasituksia, kuten peruspilarin kartiomurto.

Perustusliitoksen kuormat ovat samat kuin pilarin rasitukset sen juuressa. Kuormat on esitetty kuvassa 31. Kuormien suuruudet ja määräytminen on selitetty kappaleessa 5.2.2.



KUVA 32. Perustusliitoksen kuormat, missä  $V_{z,Ed} = F_{Ed}$

Pilarin ja pohjalevyn välinen hitsi  
pilarin korkeussuunnassa

$$a = \frac{\beta_w * \gamma_{M2} * t}{2 * f_u} * \sqrt{2 * \delta_V^2 + 3 * \delta_N^2} \quad (39)$$

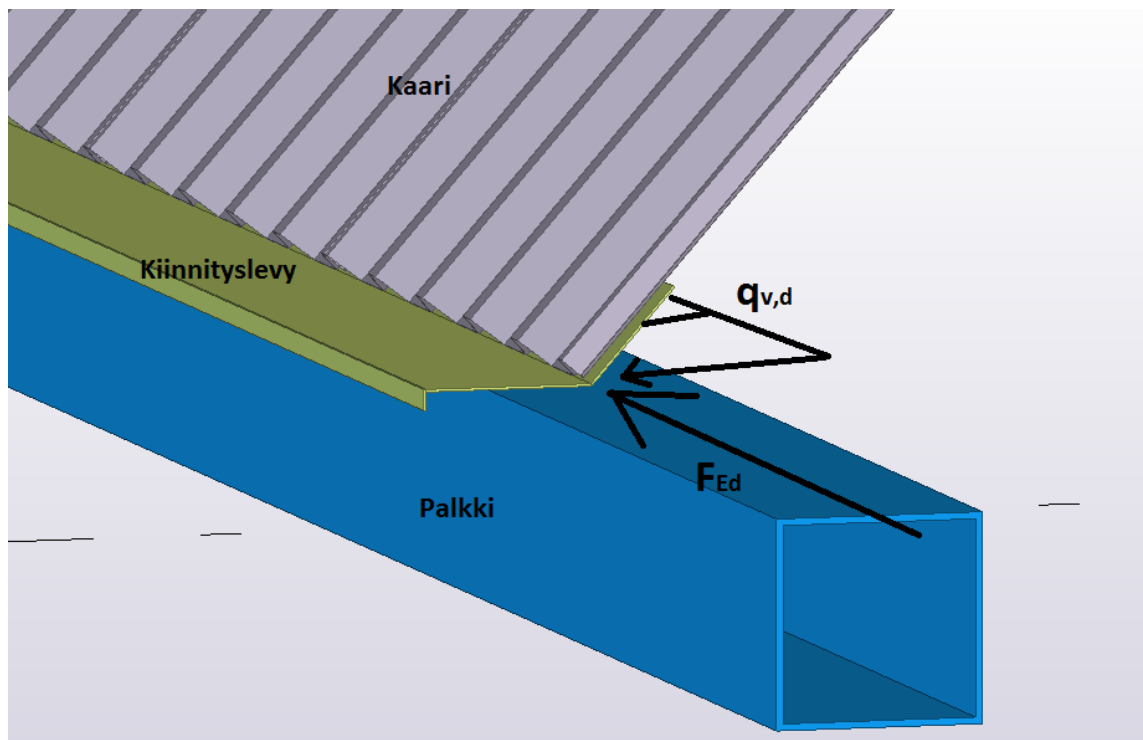
pilarin leveyssuunnassa

$$a = \frac{\beta_w * \gamma_{M2} * t * \delta}{\sqrt{2} * f_u} \quad (40)$$

### 5.4.3 Kaaren liitos runkoon

Hallin kaari liittyy palkin päälle teräksisellä kulmalistalla, joka on koko palkin matkalla. Kulmalista on hitsattu palkin päälle niin, että kattorakenteen kuormat välittyvät palkin ylälaipan keskelle. Hitsi mitoitetaan opinnäytetyössä tehdyllä laskentatyökalulla. Lista välittää kaikki kattotason kuormat teräksiselle runkorakenteelle. Kulmalista voidaan asentaa jo konepajalla palkkiin kiinni.

Kaarihallin poimulevy kiinnitetään kulmalistaan jokaisen poimun pohjalta neljällä kate-ruuvilla. Ruuvien vahvuuden määrittelee kaaren koko. Kulmalista toimii samalla vesipeltinä, mikä vähentää hieman viistosateen rasitusta palkille.



KUVA 33. Kaaren kiinnitys



Palkin ja kaaren kiinnityslevyn välinen hitsi.  
palkin suuntaiselle voimalle

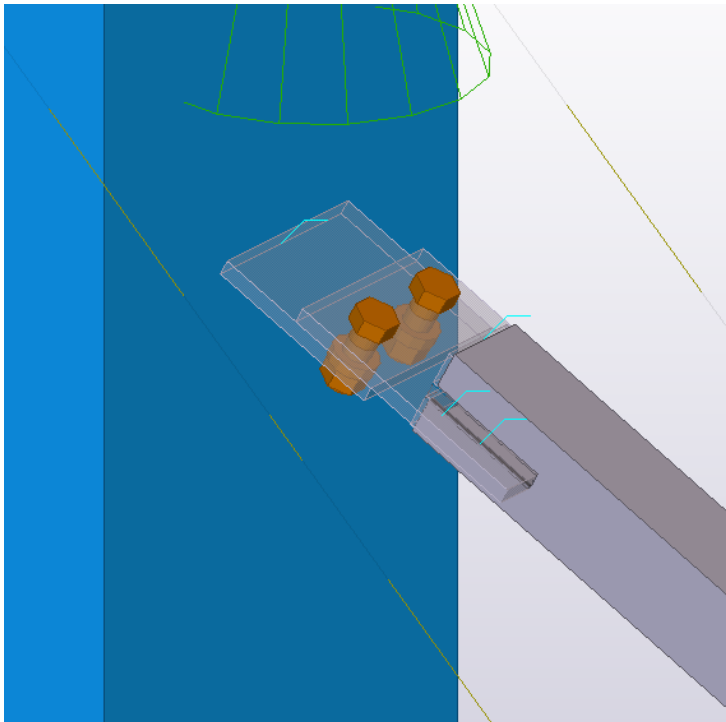
$$a = \frac{2 * F_{Ed} * \beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}}{L_w * f_u} \quad (41)$$

kattorakenteen vaakasuuntaiselle voimalle

$$a = \frac{q_{v,d} * \beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{2}}{L_w * f_u} \quad (42)$$

#### 5.4.4 Vinositeen liitos pilariin

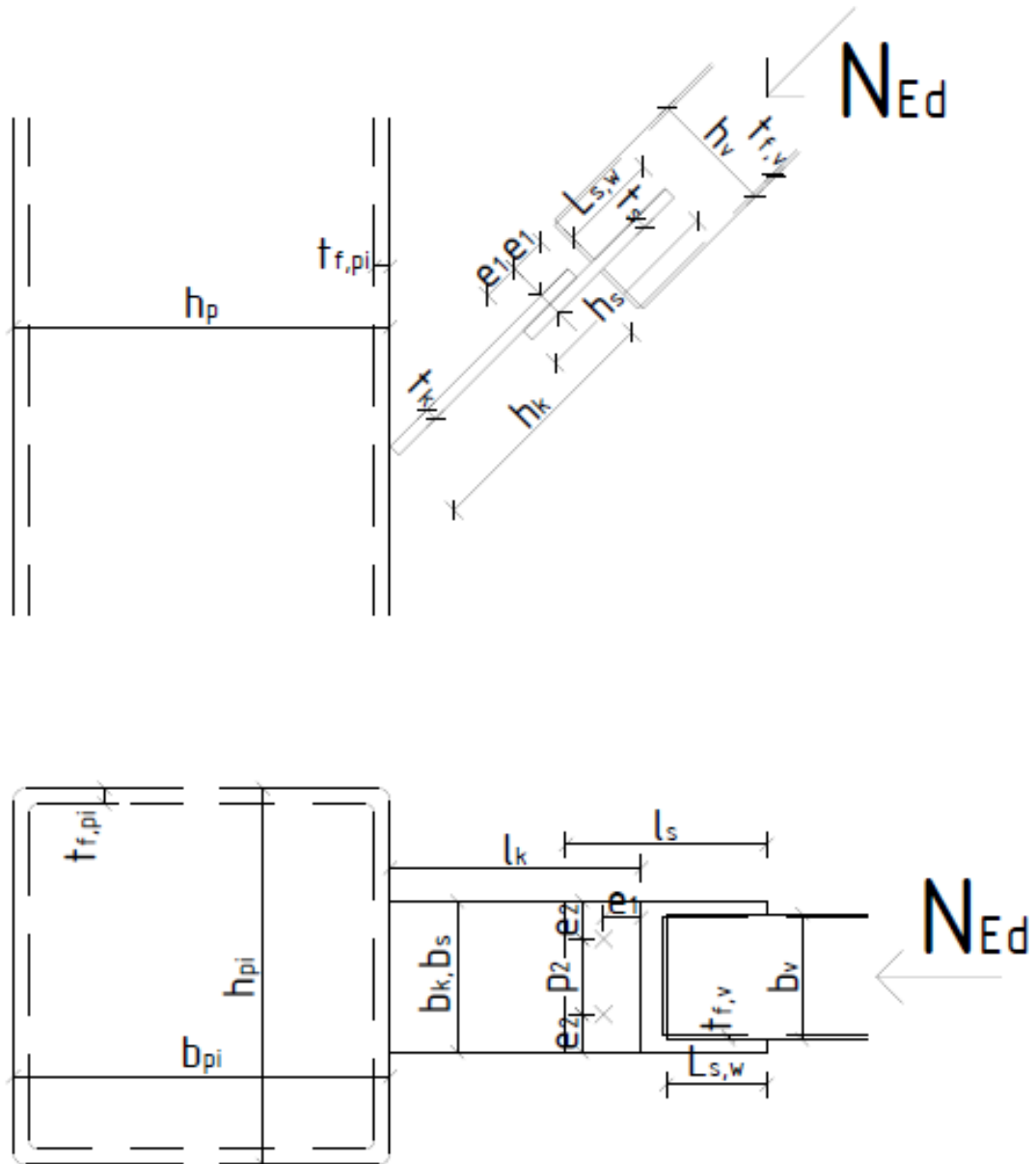
Vinoside liittyy nivelisesti pilariin. Liitos välittää vinositeen suuntaista kuormaa. Voima voidaan jakaa normaali- ja leikkausjännitykseksi. Liitos pyritään toteuttamaan mahdollisimman lähelle pilarin ylä- ja alapäätä, jotta momenttivaikutus jäisi olemattomaksi. Momentin suuruus on riippuvainen voiman etäisyydestä.



KUVA 34. Vinosideliitos

Pilariin hitsataan kiinnityslevy, johon vinositeen kiinnityslevy kiinnittyy pulteilla (KUVA 34). Pultit välittävät voiman pilarin ja vinositeen levyjen välillä. Vinositeen levy kiinnitetään siteeseen hitsillä sitä varten tehtyyn polttoleikkauskohtaan. Jäykistysiteen päät tulpataan levyn palasella, jotta putkea ei tarvitse pinnoittaa sisäpuolelta.

Liitoksen mitoitus tehtiin Excel-laskentatyökalulla, joka tehtiin tämän opinnäytetyön ohessa. Laskennassa huomioidaan eri kuormitukset ja sillä saadaan sopivat liitoksen teräsosien ja pulttien arvot. Työkalu nopeuttaa ja helpottaa suunnittelua. Laskennassa huomioidaan myös pilarin kestävyys liitoskohdassa lävistymiselle ja pinnan murtumiselle.



KUVA 35. Vinosideliitoksen piirustukset

Liitoslevyn hitsi siteeseen

$$a = \frac{2 * N_{Ed} * \beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}}{4 * L_w * f_u} \quad (43)$$

Vinositeen kestävyys polttoleikkauksen kohdalla tarkastetaan kahdella kaavalla

$$F_{pl,Rd} = \frac{A_{net} * f_y}{\gamma_{M1}} \geq N_{Ed} \quad (44)$$

$$F_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} \geq N_{Ed} \quad (45)$$

Ehjän levyn kestävyys lasketaan kaavalla 32.

Levyn kestävyys ruuvien kohdalla lasketaan kaavoilla 40 ja 41 missä pinta-alaa pienennetään ruuvien reikien muodostamilla aloilla.

Reunapuristuskestävyys lasketaan kaavan 29 mukaisesti.

Kiinnityslevyn hitsi pilariin

$$a = \frac{\beta_w * \gamma_{M2} * t}{2 * f_u} * \sqrt{2 * \delta^2} \quad (46)$$

Ruuvien leikkauskestävyys

$$\sum F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} \geq N_{Ed} \quad (47)$$

Palamurtumiskestävyys levyille, kun ruuvirivi päädysssä

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u * A_{Nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y * A_{Nv}}{\gamma_{M0} / \sqrt{3}} \geq N_{Ed} \quad (48)$$

Kun vinoside pyrkii ”repimään” pilarin pintaa niin täytyy tarkastaa myös

Pilarin pinnan vetokestävyys

$$N_{1,Rd} = \frac{f_y * t * b_{eff}}{\gamma_{M5}} \geq N_{Ed} \quad (49)$$

Pilarin pinnan murtuminen

$$N_{1,Rd} = \frac{f_y * t_f * (2 * t + 10 * t_f)}{\gamma_{M5}} \geq N_{Ed} \quad (50)$$

Lävistysleikkautuminen

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_y * t_f}{\sqrt{3}} * (2 * t + 2 * b_{ep})}{\gamma_{M5}} \geq N_{Ed} \quad (51)$$

## 5.5 Perustukset

Perustukset toteutetaan mastopilarille pilarianturalla. Peruspilarin koko riippuu perustussyvyydestä sekä pilarin koosta. Perustussyvyys päätetään kohteen erityispiirteiden ja pohjaolosuhteiden mukaan. Koska kaarihalli jäykistetään poikkisuunnassa mastopilareilla, niin anturoiden koko on suuri. Pilariin vaikuttaa suuri momenttikuormitus, joka pienentää antura tehollista pinta-alaa. Heikoissa pohjaolosuhteissa perustukset voidaan joutua paaluttamaan. Lähtökohtaisesti perustukset kuitenkin tehdään maanvaraisena valuna kapillaarikatkon päälle.

Suurien perustusten haittana ovat korkeat kustannukset. Anturoita ei voida valmistaa etukäteen elementtitehtaalla, koska suuri koko tuo rahtikustannuksia ja niiden siirtäminen on hankalaa painon ja koon takia. Pienemmissä halleissa ja hyvissä pohjaolosuhteissa elementointia voidaan miettiä uudestaan.

Perustusten raudoitus ja lävistyskestävyys mitoitetaan Pupax-ohjelmistolla. Alustavissa laskelmissa anturoiden koko saattaa tulla erittäin suureksi. Tulevaisuudessa voidaan

mieltä vetotangon asentamista pilarien yläpäiden välille, jotta momentti voitaisiin lähestulkoon poistaa kokonaan. Tämä mahdollistaisi perustusten ja myös pilarin koon pienentämisen.

### **5.5.1 Routasuojaus**

Tässä opinnäytetyössä rakennus ajatellaan kylmäksi tilaksi. Kylmän rakennuksen routasuojaus asennetaan anturan alle, koska peruspilari muodostaa kylmäsillan anturan alapintaa, eikä tässä tapauksessa ole lämmintä sisätilaa lämmitettävässä alapohjassa.

Routasuojauksen määrään vaikuttaa ilmasto. Routasuojauksen kestävyys joudutaan myös tarkistamaan anturan välittämälle pohjapaineelle. Koska perustukset tehdään mastopilarianturana, niin kuormat ovat suuria. Huolehditaan suunniteltavissa kohteissa, ettei routasuojaus pääse murtumaan ja anturat tämän takia kallistumaan tai painumaan.

### **5.5.2 Sokkelipalkki**

Rakennuksen perustukset toteutetaan pilarianturalla, joten pilarien välinen perusmuuri tehdään sokkelipalkeilla, jotka tuetaan päistään pilarianturan päälle. Sokkelipalkit toimivat rakenteellisesti yksi- tai useampiauukkoisina teräsbetonipalkkeina. Tässä työssä ne suunniteltiin yksiauukkoisiksi. Palkkien ainoa kuorma on oma paino. Sokkelipalkit mitoitetaan ja suunnitellaan aina tapauskohtaisesti yhteistyössä elementtivalmistajan ja heidän ohjeiden mukaisesti.

Sokkelipalkit ovat elementtejä, jotka muodostavat yhtenäisen pinnan ja rajaavat ulkotilan sisätilasta. Niitä voidaan eristää, mutta kylmässä rakennuksessa se on tarpeetonta. Sokkelipalkin tyypillinen rakenne on kantava sisäkuori teräsbetonista, kova eriste ja ohut ulkokuori teräsbetonista. Tässä opinnäytetyössä kylmän kaarihallin sokkelipalkiksi riitti pelkkä teräsbetonista valmistettu palkki, jonka korkeus riippuu halutusta perusmuurin korkeudesta ja perustussyvyydestä.

## 6 KUSTANNUKSET

Opinnäytetyön runkoratkaisusta tehtiin alustava kustannusarvio työn tilaajalle eli Kaari-rakenne oy:lle, missä kaarihallin pitkän sivun hintaa arvioitiin. Laskelmat tehtiin, jotta mallia voidaan tarjota asiakkaille ja tarjoushinta olisi lähellä totuutta. Excel-mitointityökalusta tehtiin yksinkertainen, jotta sitä voitaisiin hyödyntää helposti myös myyntipuolella. Laskentatyökalu laskee automaattisesti alustavia kustannuksia ratkaisun pohjalta.

Kustannukset laskettiin materiaaleille. Hintoja etsittiin valmistajilta ja oppaista. Hinnat eriteltiin teräsosiin, perustuksiin ja muihin tarvittaviin materiaaleihin. Runkoratkaisun hinnoista havaittiin kohdat, joihin tarvitsee panostaa ja suunnitella kustannustehokkaampia ratkaisuja, jos hintaa halutaan saada alemmaksi.

Vertailu muihin vastaaviin ratkaisuihin osoitti, että tuote on kilpailukykyinen ja kustannukset pysyvät kohtuullisina. Jo etukäteen tiedettiin, että mastopilarijäykistys ei ole halvin vaihtoehto, mutta sen monipuolisuus ja muunneltavuus eri kohteille puolsi sen valitsemista aukotusratkaisuksi.

## 7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda toteutuskelpoinen idea Kaarirakenne oy:n kaarihallien kantavien sivujen aukottamiseksi. Opinnäytetyössä suunniteltiin teräsrakenteinen runkoratkaisu, jolla päästään tavoitteeseen. Ratkaisua voidaan tarjota asiakkaille ja sen muunneltavissa asiakkaiden tarpeiden mukaiseksi. Monista vaihtoehtoisista ideoista löydettiin ratkaisu, jolle luotiin laskentatyökalu ja jonka kustannuksia määriteltiin.

Mikäli käytössä olisi ollut mitoitusohjelma, niin työssä olisi voinut vertailla useiden erilaisten ratkaisujen kustannuksia. Koska työssä jouduttiin itse luomaan laskentatyökalu, niin tässä opinnäytetyössä tarkastellaan vain yhtä valittua runkoratkaisua eli mastopilarijäykisteistä kaarihallia. Ratkaisun kustannuksiin vaikuttaa erittäin paljon katolta tulevan vaakasuuntaisen kuorman suuruus, joka aiheuttaa suurta momenttia pilarin alapäähän ja kasvattaa perustusten kokoa.

Tulevaisuudessa voidaan miettiä keinoa, jolla kaarihallin vaipparakenteelta tulevaa vaakakuormaa saadaan pienennyttä tai mille rakenteelle se voitaisiin johtaa. Vetotangolla, joka kiertäisi kaarihallin katon suuntaisesti ja olisi tuettuna vaipparakenteeseen, voitaisiin vaakavoima saada jännitettyä pilarien yläpäiden väliseksi voimaksi. Tämä vaatisi suunnittelua, kuinka tangon tuet olisivat kiinni hallin kattorakenteissa, ettei syntyvä jännitys tuella aiheuttaisi poimulevyn repeämistä.

Työ toteutettiin Kaarirakenne oy:n ohjauksessa ja yrityksen henkilöstö oli tyytyväinen opinnäytetyössä saatuihin tuloksiin, joten tätä insinöörityötä voidaan pitää onnistuneena. Työn tekijä tutustui paljon teräsrakenteiseen, määräyksiin ja mitoitusohjeisiin., mikä on suurena apuna tulevaisuudessa myös muussa kuin teräsrakentamisessa.

## LÄHTEET

Koneviesti. 2016. Teräs taipuu kaarihalliksi. Luettu 4.5.2017  
[http://www2.koneviesti.fi/lehti/1510/fi\\_FI/kaarihalli/\\_print/](http://www2.koneviesti.fi/lehti/1510/fi_FI/kaarihalli/_print/)

Kaarirakenne Oy. 2017. Tuoteinfo. Luettu 3.5.2017  
<http://www.kaarirakenne.fi/tuoteinfo/>

Suomen betoniyhdistys r.y. 2008. by210. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus.

Teräsrakenneyhdistys ry. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3 -oppikirja. Helsinki: Forssan Kirjapaino Oy.

Suomen standarsoimisliitto. 2015. SFS-1992-1-1 + A1 + AC. Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.

Backman, J. 2008. Teräsrakenteisten siteiden liitokset. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Niemi, J. 2013. Teräsbetonirakenteiden mitoitus Eurokoodien mukaan, opetusmateriaali Tampereen ammattikorkeakoulun käyttöön. Tampere.

Rautaruukki Oyj. 2012. Rakenneputket EN-1993 -käsikirja. Hämeenlinna.

Lilja, R. 2013. Teräsrakenne CD-rom oppimisympäristö. Luettu 29.3.2017. [file:///F:/Koulu/Ter%C3%A4srakenteiden%20jatkokurssi/Ter%C3%A4srakenteet\\_2013\\_oppimater\\_versio\\_3.0/opiskeluohjeet/index1.htm](file:///F:/Koulu/Ter%C3%A4srakenteiden%20jatkokurssi/Ter%C3%A4srakenteet_2013_oppimater_versio_3.0/opiskeluohjeet/index1.htm)

Suomen standarsoimisliitto. 2010. SFS-EN 1993-1-1. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.

Suomen standarsoimisliitto. 2010. SFS-EN 1990 + A1 + AC. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet.

Ympäristöministeriö. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma. E1. Helsinki.

Ahonen, P. 2010. Mastokehähallin teräsrungon mitoitus. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Ilmastorastusluokat. Oppimateriaali. Luettu 2.5.2017.  
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalaus/lm8.html>

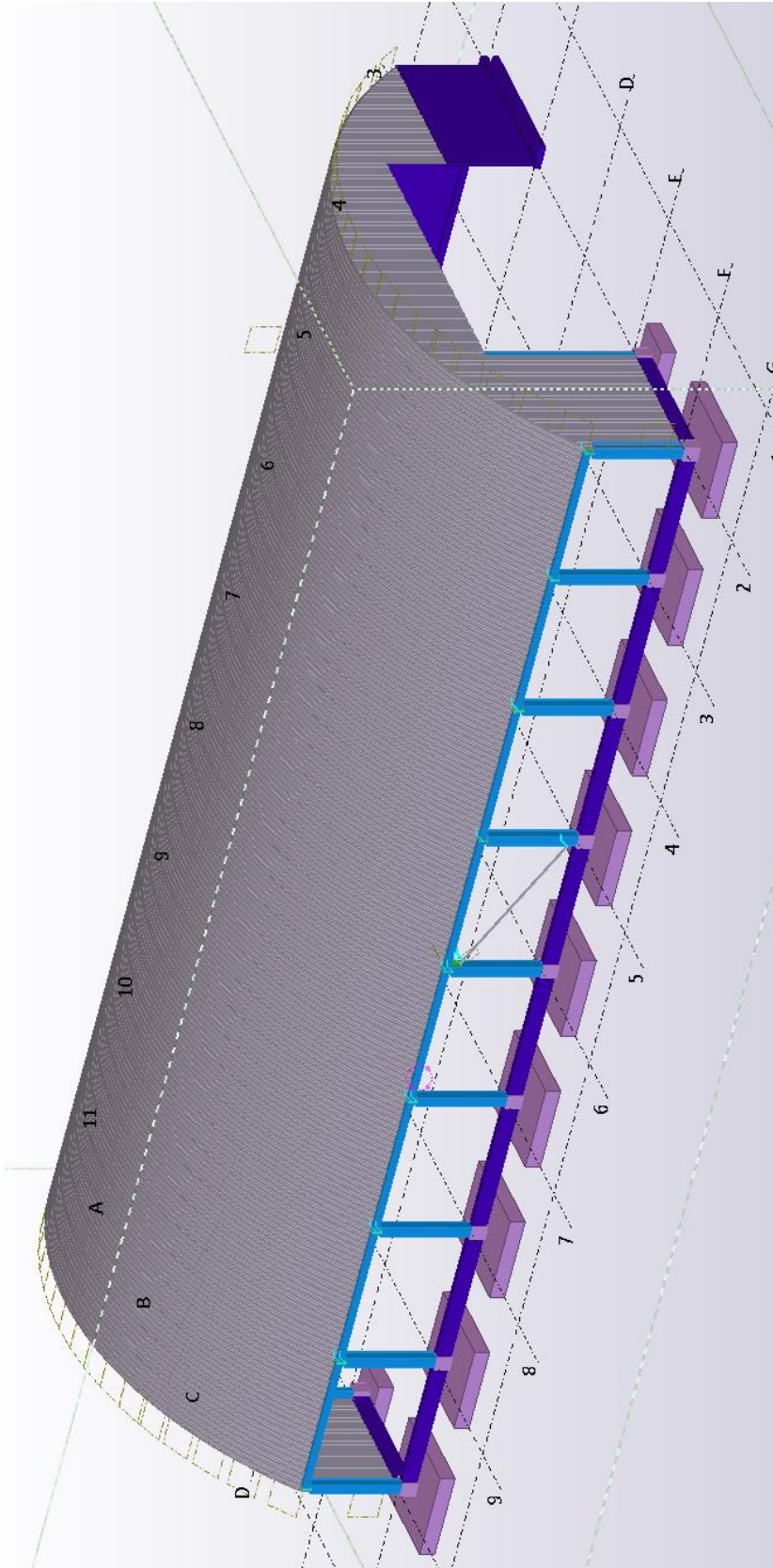
Anttila, V. Betonin valinta. Luettu 2.5.2017.  
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090403.pdf>

Peikko Group. Ankkurointipultit. Luettu 22.4.2017  
<http://www.peikko.fi/product-group-fi/group=Ankkurointipultit>

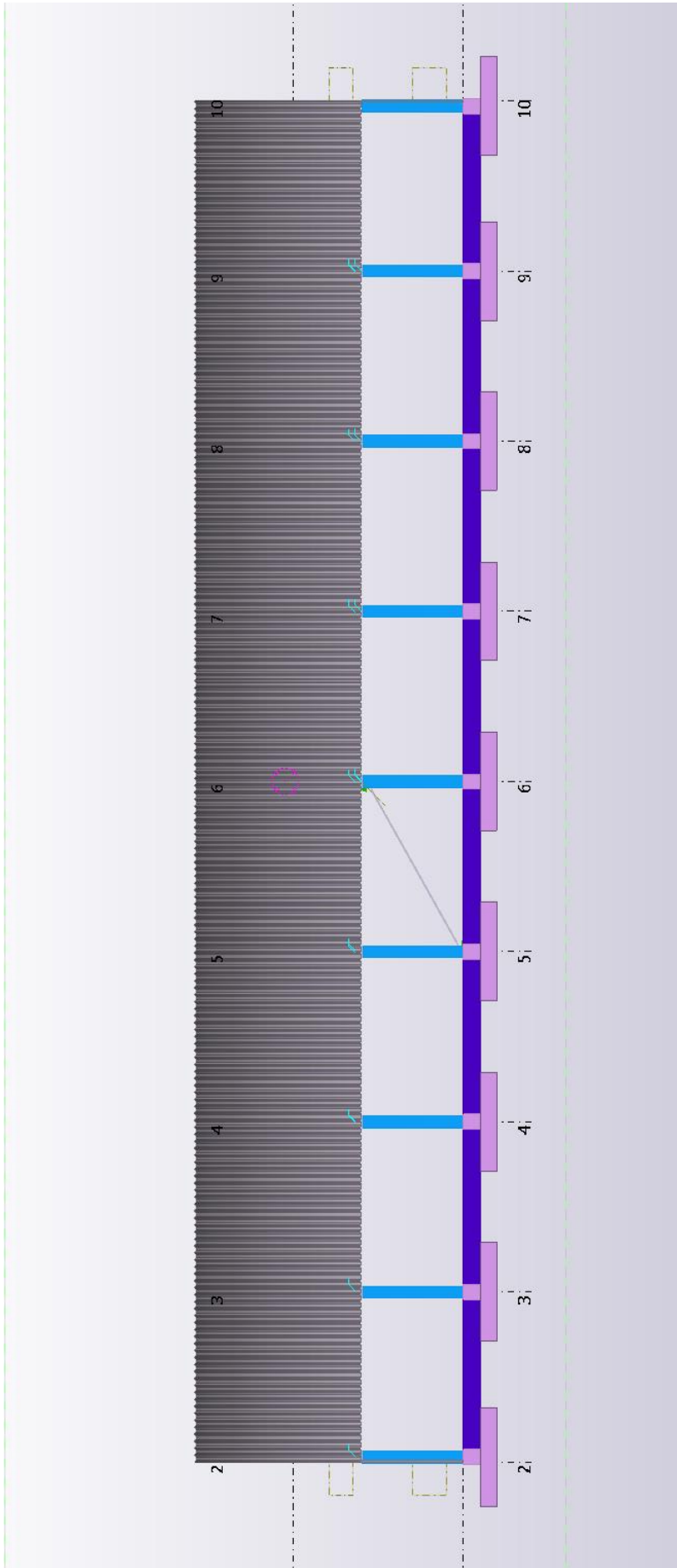


**LIITTEET**

Liite 1. Kaarihallin havainnekuva



## Liite 2. Kaarihallin pitkä sivu



Liite 3. Kaarihallin aukko

