



# **Puuhallin rakenteet**

Esisuunnittelu ja valintaperusteet





# **PUUHALLIN RAKENTEET**

## **Esisuunnittelu ja valintaperusteet**



**Puuhallin rakenteet**

Esisuunnittelu ja valintaperusteet

Pdf-painos helmikuu 2009

Teksti

*Asko Keronen*

Taitto

*Mikko Lahikainen*

Copyright:

*Puuinfo Oy, tekijät*

ISBN

*952-15-0704-7*

Kustantaja

*Puuinfo Oy*



# ALKUSANAT

Suosittu ohje "Puuhallien rakenteet, esisuunnittelu ja valinta-perusteet" on nyt päivitetty. Keskeisimmät muutokset koskevat euroluokkien käyttöönottoa palomääräyksissä.

Toteutettujen kohteiden perusteella puun on todettu olevan kilpailukykyinen vaihtoehto suurissa, pitkien jännevälien hallirakennuksissa. Puu on monipuolinen, joustava materiaali ja se tarjoaa hallirakentamisessa lukemattomia mahdollisuuksia erilaisiin tarpeisiin. Kustannuksiltaan kilpailukykyisen ratkaisun lisäksi puulla saadaan aikaan paloturvallisia ja kestäviä, elinkaareltaan edullisia ratkaisuja.

Puun käyttöön hallirakentamisessa on olemassa pitkälle viedyä osaamista ja teollista tuotetarjontaa. Nyt laaditun ohjeen tarkoituksena on laajentaa yleistä tietoutta puun käyttömahdollisuuksista hallirakentamisessa, edistää rakennusalan puun käyttöön liittyvää osaamista ja antaa käytännöllisiä ohjeita ja välineitä puurakenteisten hallien suunnitteluun.

Ohje on osa kolmiosaista puuhallien rakennuttamis- ja suunnitteluohjekokonaisuutta. Se on tuotettu osana Puuhalliklusterin toimintaa sen jäsenyritysten ja Tekesin rahoittamassa "Asiakastarpeiden määrittely hallirakentamisessa" -projektia.

Alkuperäisen ohjeen on kirjoittanut tekniikan lisensiaatti Asko Keronen. Ohjeen julkaisuasusta on vastannut arkkitehti Mikko Lahikainen Tampereen teknillisestä korkeakoulusta. Ohjeen päivittämisestä on vastannut Asko Keronen ja Puuhalliklusteri.

Esitän kiitokseni kaikille ohjeen tekemiseen osallistuneille.

Petri Heino  
toimitusjohtaja  
Puuinfo Oy

# Sisällys

<b>ALKUSANAT</b> .....	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>8</b>
<b>2 RAKENNESUUNNITTELUN TEHTÄVÄT</b> .....	<b>12</b>
2.1 Tarjousvaiheen rakennesuunnitelmat .....	12
2.2 Tarjousvaiheen rakennustekniset valintaperusteet .....	14
2.2.1 Tarjouspyynnön laadinnassa huomioon otettavat seikat.....	14
2.2.2 Tarjouksien vertailussa huomioon otettavat seikat .....	16
2.3 Toteutussuunnittelu .....	17
<b>3 RUNKOTYYPIT</b> .....	<b>18</b>
3.1 Pilarirungot .....	18
3.1.1 Palkkikannattajat, L < 30 m .....	20
3.1.2 Ristikkokannattajat, L = 25–65 m .....	21
3.1.3 Vetotankokannattajat, L = 15–50 m .....	22
3.2 Kaarirungot, L = 40–100 m .....	24
3.3 Kehärungot, L = 10–30 m .....	26
3.4 Muut rungot.....	27
<b>4 MITTAJÄRJESTELMÄT</b> .....	<b>28</b>
4.1 Moduulilinjat .....	28
<b>5 PERUSTUKSET</b> .....	<b>30</b>
5.1 Perustusten suunnittelu .....	30
5.2 Sokkeli .....	31
5.3 Peruspilarit.....	31
5.4 Pilarin liitos peruspilariin .....	32
5.5 Pilarin tuenta muuhun kantavaan rakenteeseen .....	33

<b>6 RUNGON MITOITUS .....</b>	<b>34</b>
6.1 Kuormitukset .....	34
6.2 Rungon mitoituksen periaatteita .....	35
6.2.1 Pääkannattajat .....	35
6.2.2 Pilarit .....	36
6.2.3 Pilarin liitos pääkannattajaan .....	37
6.3 Rungon jäykistäminen .....	38
6.3.1 Jäykistys hallin poikkisuunnassa .....	39
6.3.2 Jäykistys hallin pituussuunnassa .....	40
6.3.3 Kattorakenteen hyödyntäminen jäykistyksessä .....	42
6.4 Palomitoitus .....	43
6.5 Kosteusmitoitus .....	44
<b>7 SEINÄ- JA KATTORAKENTEET .....</b>	<b>46</b>
7.1 Seinäelementti .....	47
7.2 Kattoelementti .....	48
7.3 Elementtien toimitus ja asennus .....	49
<b>8 ASENNUSSUUNNITELMA .....</b>	<b>50</b>
8.1 Asennuksessa noudatettavia periaatteita .....	50
<b>9 HALLIESIMERKIT .....</b>	<b>52</b>
9.1 Liimapuurunkot .....	52
9.1.1 Pilari-palkkirunko .....	52
9.1.2 Pilari-kaarirunko .....	54
9.1.3 Kaarirunko .....	56
9.2 Kertopuuhalli A-kattokannattajalla .....	58
<b>KIRJALLISUUSLUETTELO .....</b>	<b>60</b>
Esimerkkihallityypit .....	63

# 1 JOHDANTO

*Puuhallilla tarkoitetaan tässä ohjeessa yli 400 neliömetrin laajuista suuren jännemittan rakennusta, jonka runko on toteutettu kerto- tai liimapuusta ja vaipparakenteet puurunkoisina elementteinä.*

## Puusta monipuolisesti

Hallirakentaminen on monipuolinen kokonaisuus, jossa käyttötarkoituksesta riippuen rakennuksille asetetaan hyvinkin erilaisia vaatimuksia. Hyvän toiminnallisuuden lisäksi rakennukselta voidaan odottaa erityisiä kaupunkikuvallisia ja esteettisiä arvoja. Toisaalla tekninen varmuus ja kestävyys koetaan tilan tarkoituksenmukaisuuden lisäksi riittäviksi ominaisuuksiksi. Yhteistä näille kaikille on, että tilan kelpoisuus riippuu lopulta rakennuksen suunnittelun ja toteutuksen onnistumisesta.

Puusta voidaan toteuttaa joustavasti erimuotoisia ja -kokoisia halleja. Lukuisista vaihtoehdoista ja niiden variaatioista voidaan valita kuhunkin toimintaan teknisesti ja taloudellisesti sopivin, on kyseessä sitten näyttävä julkinen rakennus tai nopeasti tarvittava teollisuusrakennus.

## Kilpailukykyä toteutukseen

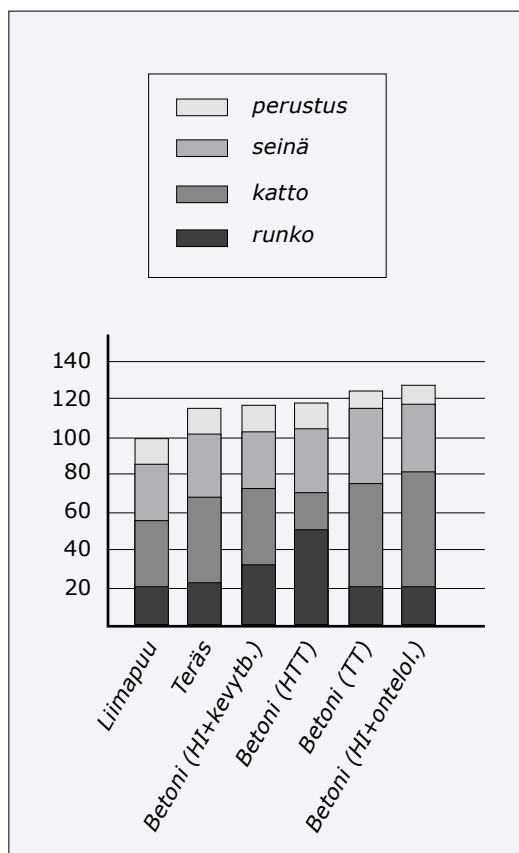
Puu on osoittautunut erilaisissa vertailuissa erittäin kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi hallirakentamisessa niin rakennus- kuin ylläpitokustannuksiltaan. Paras lopputulos saavutetaan, kun puu otetaan huomioon hallin suunnittelussa riittävän varhain. Teknisiä reunaehtoja suunnittelulle on verrattain vähän mutta niiden tunteminen on tärkeää.

Erityisesti puun käytön etu on rakentamisen nopeus. Kuiva rakentaminen yhdistettynä rakennusosien korkeaan esi-valmistusasteeseen ja kehittyneeseen liitostekniikkaan mahdollistavat tilan saamisen hyötykäyttöön nopeasti.

## Ympäristöystävällisyys luonnollisena osana

Puu on luonnon oma, saasteeton ja täysin kierrätettävä rakennusmateriaali. Maamme puuvarat ovat suuret ja metsiä hoidetaan kestävä kehityksen mukaisesti. Metsät kasvavat enemmän kuin niitä käytetään hyödyksi.

Puutuotteiden valmistus tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa. Suurin osa tarvittavasta energiasta tuotetaan uusiutuvilla energiavaroilla.



Taulukko 1.1 Kustannusvertailu eri tyyppisten hallien välillä (Lähde: Kainulainen 1997)





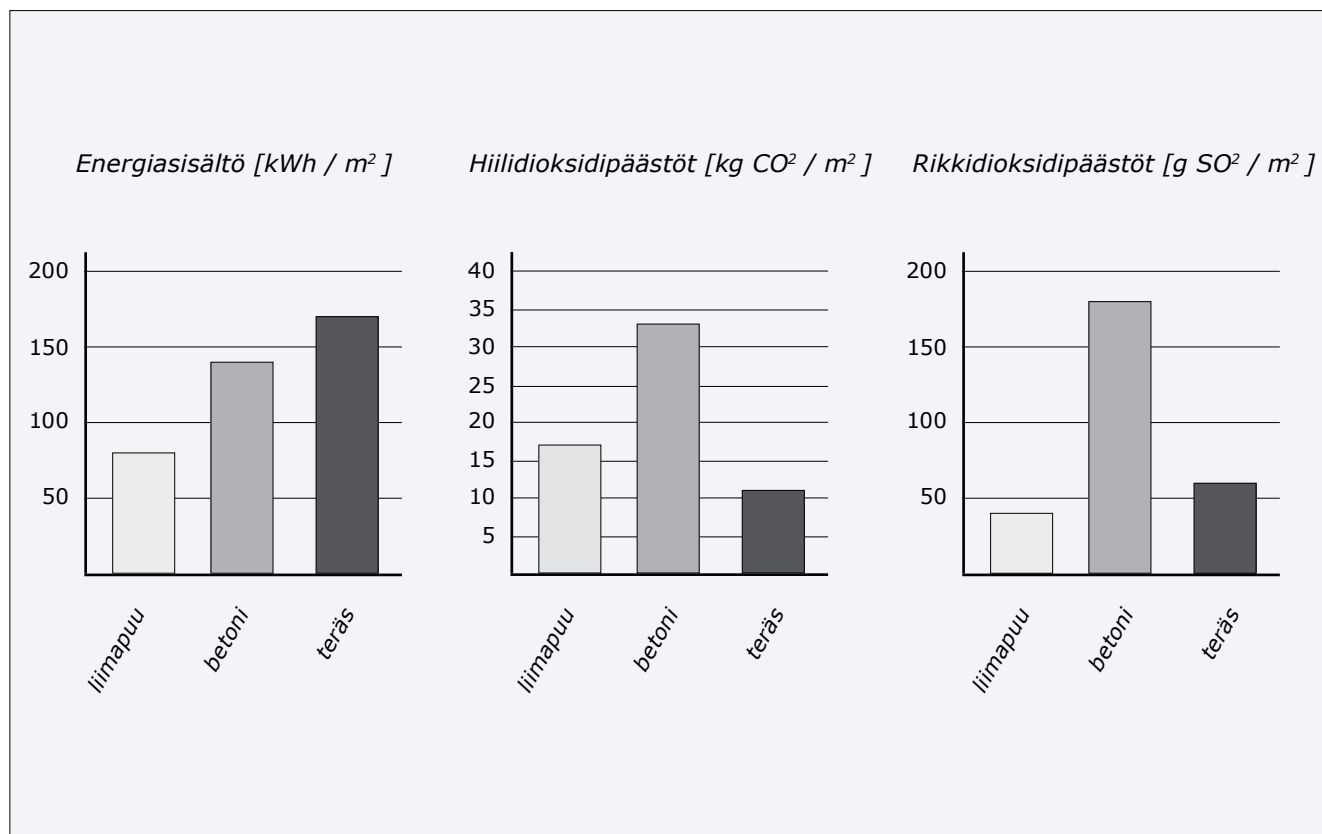
*Kuva 1.1 Puuta puiden keskellä, kaarihallin asennus käynnissä*

Puu toimii hiilinieluna. Puun yhteyttäessä ja kasvaessa ilman sisältämästä hiilidioksidista hiili sitoutuu puuaineen osaksi. Noin puolet puuaineksesta on hiiltä. Käytännössä tämä merkitsee, että yksi tonni puuta sitoo kaksi tonnia hiilidioksidia. Siksi ilmaston lämpenemisen ehkäisemiseksi puun hyötykäyttöä tulisi lisätä.

## **Monipuolinen rakennusmateriaali**

Puu on luonnon oma, kevyt mutta luja rakennusmateriaali. Suuretkin rakenteet on helppo esivalmistaa, kuljettaa ja asentaa. Tarvittavat valmistusvälineet ovat suhteellisen yksinkertaisia ja edullisia. Ne eivät edellytä valtavia investointeja.

Puun materiaalituntemus ja rakennetekninen osaaminen on vahvaa. Puusta osataan suunnitella ja toteuttaa turvallisia, kestäviä rakenteita, jotka ovat myös esteettisesti kauniita.



Taulukko 1.2 Rungon ympäristövertailut. (lähde: VTT.)

## Paloturvallisuus

Puusta osataan toteuttaa terveellisiä, turvallisia ja kestäviä rakenteita. Viimevuosien kehitystyön seurauksena mm palomääräyksiä on uudistettu siten, että puusta voidaan toteuttaa suuriakin kohteita. Paloturvallisuuden osalla puurakenteilla säävutetaan halleissa helposti ilman lisäkustannuksia 30 minuutin palonkesto ja vahventamalla puurakenteita 60 minuutin palonkesto. Toiminnallisella palomitoituksella puuta voidaan käyttää laajemmin kuin mitä materiaalisidonnaiset ohjeet sallivat.

## Elinkaari ja kestävyys

Ylläpitokustannusten osalta tehdyissä selvityksissä ei ole havaittu merkittäviä eroja eri hallityyppien kesken. Suurin osatekijä on lämmityskulut, mihin vaikutetaan keskeisesti vaipan hyvällä lämmöneristävyydellä ja tiiviydellä. Puu ei muodosta rakenteisiin kylmäsiltoja.

Tutkimusten mukaan puuhalli on osoittautunut hyvin kestäväksi vaihtoehdoksi. Esimerkiksi kosteuden aiheuttamia vaurioita on havaittu puuhalleissa huomattavasti vähemmän kuin muissa vastaavissa halleissa. Lahovaurioille alttiimmat paikat on opittu suunnittelemaan ja toteuttamaan oikein niin, että mahdolliset vauriot vältetään jo etukäteen.

Kuten kaikki rakennukset myös puuhalli tarvitsee huoltoa. Rakenteet tulee tarkistaa ja huoltaa säännöllisesti. Puuhallin huoltoväli on normaali. Asianmukainen huolto takaa rakenteiden turvallisuuden ja pitkäikäisyyden. Suurin huoltotarve kohdistuu rakennuksen vesikattoon ja ulkoverhoukseen. Näiden materiaalivalinnat tehdään kuitenkin usein runkomateriaalista riippumatta. Puisten verhousten osalla huoltoon voidaan soveltaa samoja periaatteita kuin muissakin rakennuksissa.

## Ohjeen sisällöstä

Tähän ohjeeseen on koottu puurakenteisiin hallirakennuksiin liittyvät perusratkaisut ja niiden suunnitteluperusteet ja -ohjeet. Ohje on osa kolmiosaista puuhallien rakennuttamis- ja suunnitteluohjekokonaisuutta. Ohje on suunnattu rakennesuunnittelijoille ja se sopii tietolähteeksi myös rakennuttajille, arkkitehteille ja viranomaisille.

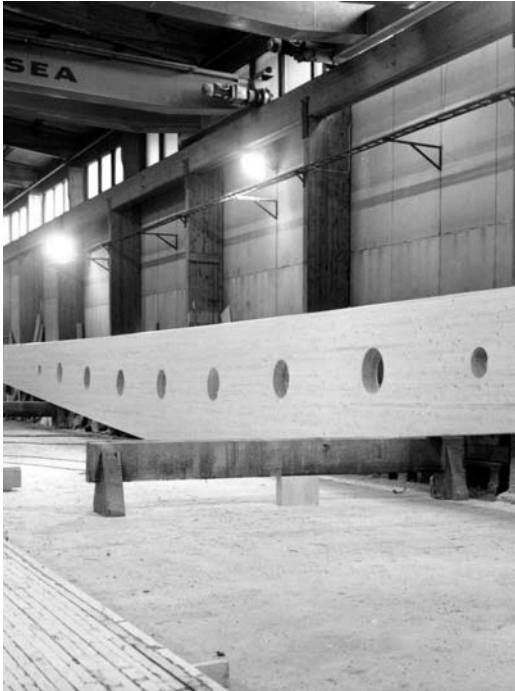
Ohjeen tarkoituksena on antaa suunnittelijalle välttämättömät ohjeet puurakenteisten hallien suunnittelemiseksi rakennuslupapaperustustasolle ja tarjouspyyntöasiakirjojen perustaksi. Esitetyt kuormitukset ja laskelmat ovat RIL 205-1-2007 (EN1995-1-1) ja RIL 205-2-2007 (EN 1995-1-2) mukaisia.

Ohje tukeutuu arkkitehtiohjeeseen ja täydentää sitä teknisellä tiedolla, joten suunnittelijalle on hyvä tutustua molempiin ohjeisiin. Samalla ohje muodostaa perustan pidemmälle vietyyn kohdekohtaiseen rakenteelliseen suunnitteluun. Puun käyttöön, kilpailukykyyn ja rakennuttamiseen liittyvät tiedot löytyvät ohjeen rakennuttamisosasta.

Ohjeen tavoitteena on auttaa suunnittelijaa toiminnallisesti ja teknisesti perustellun sekä kilpailukykyisen ratkaisun löytämisessä ja suunnittelussa. Ohjeessa esitetyt ratkaisut ovat testattuja ja käytännössä koeteltuja, joita voidaan käyttää lupaperustus- ja tarjouspyyntötason suunnittelussa sellaisenaan. Esitettyihin ratkaisuihin liittyy hyvä teollinen tuotetarjonta, mikä on tärkeää hankkeen toteuttamismahdollisuuksien kannalta.

Ohjeesta on pyritty tekemään mahdollisimman helppokäyttöinen ja havainnollinen. Ohjeen sisältämä tieto on saatavissa myös digitaalisessa muodossa seuraavasta osoitteesta: [www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi).

## 2 RAKENNESUUNNITTELUN TEHTÄVÄT



Kuva 2.1 Systemirei'itetty harjapalkki ylösalaisin käännettynä tuotantovaiheessa.

Rakentamismääräysten mukaan jokaisella rakennuskohteella on oltava rakenteiden pääsuunnittelija. Rakenteiden pääsuunnittelija vastaa hankkeen rakennesuunnittelusta kokonaisuudessaan ja hyväksyy ja toimittaa edelleen rakennusvalvontaviranomaiselle kohteen muiden mahdollisten rakennesuunnittelijoiden suunnitelmia ja laskelmia.

Hallikohteessa on useita rakennesuunnittelijoita: pohjarakenteilla, perustuksilla, sokkeli-, seinä- ja kattoelementeillä, puurungolla, rungon eräillä liitososilla ja ristikoilla voi olla eri suunnittelija. Yleensä perustusten rakennesuunnittelija valitaan rakenteiden pääsuunnittelijaksi.

Suunnittelutehtäviä on runsaasti, ja siksi onkin tärkeää sopia jo ennen suunnittelun aloittamista suunnittelun rajauksista ja sisällöistä eri toimittajien kesken.

Rakenteiden pääsuunnittelija tarkentaa tai laatii mittajärjestelmän, määrittelee rakenneosia rasittavat kuormitukset, rungon jäykistystavan, jäykisteiden sijainnin ja rakenneosien liitosperiaatteet. Rungon jäykistäminen kuuluu joko runko- tai päärakennesuunnittelijan tehtäviin, samoin osallistuminen rungon asennusohjeen laatimiseen yhdessä asennusurakoitsijan kanssa. Rakenteiden pääsuunnittelija hyväksyy osaltaan asennussuunnitelmat.

Rakenteiden pääsuunnittelijan tehtäviin kuuluu myös sala-oituksen suunnittelu.

### 2.1 Tarjousvaiheen rakennesuunnitelmat

Rakenteiden pääsuunnittelija laatii alustavat rakennesuunnitelmat tarjouskyselyjä varten. Suunnitelmat laaditaan pääpiirustusluonnosten perusteella (arkkitehdin pohja-, julkisivu- ja leikkauspiirrokset 1:100). Tarjousvaiheen rakennesuunnitelmia ovat muun muassa:

- perustuspiirros
- runkokaavio
- väli- ja yläpohjakaaviot.

sekä edellä mainittuihin piirustuksiin liittyvät alustavat leikkauspiirrokset. Sokkeli- ja väliseinäelementtirakenteista esitetään kaavio ja piirrokset elementtityypeistä.



Kuva 2.2 Ristikkorakenteen viimeistelyä tehtaalla.

Tarjousvaiheen rakennesuunnitelmissa esitetään kaikista keskeisistä rakenteista ja rungon jäykistämisestä periaatteellinen ratkaisu. Mikäli ratkaisu on tavanomaisesta poikkeava tai muuten vaativa, on suunnitelmienkin syytä olla jo tarjousvaiheessa tavanomaista tarkempia.

Tarjousvaiheen rakennesuunnittelun tavoitteena on määritellä materiaali- ja työmenekit rakennusosittain, sekä auttaa rungon urakkarajojen muodostamisessa ja rakentamisen aikataulun alustavassa laadinnassa. Suunnitelmien tulisi olla niin yleisiä, että rakennusosien vaihtaminen toiseen, teknisesti vastaavaan tuotteeseen on mahdollista ja vaihtoehtoisten ratkaisujen kustannusvaikutusten selvittäminen helppoa. Toisaalta suunnitelmien tulee olla niin tarkkoja, ettei tarjouksiin jää tarpeettomia riskivarauksia.



Kuva 2.3 Teollisuushalli rakennusvaiheessa.

## 2.2 Tarjousvaiheen rakennustekniset valintaperusteet

### 2.2.1 Tarjouspyynnön laadinnassa huomioon otettavat seikat

Rakennuksen investointiin liittyvät tekijät:

- Ovatko ajatellut urakkarajat selkeät ja työmaan työjärjestyksen kannalta oikeat? Laajat toimituskokonaisuudet vähentävät urakkarajojen epäjatkuvuuskohdista aiheutuvia ongelmia.
- Vastaako kohteen vaativuus tarjoajien osaamista ja laadunvalvontaa?
- Onko perustukset, runko ja vaippa valittu ja optimoitu kokonaisuutena?
- Vastaavatko rungon ja vaipan ominaisuudet kohteen vaatimuksia (esim. mekaaninen rasitus, kosteusrasitus, lämmön-eritys)?
- Onko vaippa saumoineen riittävän ilma- ja vesihöyrytiivis myös kuormitusten aiheuttamien muodonmuutosten aikana?

- Kylmien tilojen (esim. jäähallit) vaipparakenteen tulee toimia rakennusfysikaalisesti molempiin suuntiin; onko rakenteen toiminta riittävän selkeästi määritetty?
- Onko jälkikaiunta-aikavaatimus määritetty?
- Onko paloturvallisuuden vaatimukset määritetty?
- Aiheuttaako rakennusajankohta (talvi) lisävaatimuksia?

Elinkaareen liittyvät tekijät:

- Onko rakenteiden pitkäaikaiskestävyydestä kokemusta kyseisissä olosuhteissa?
- Onko lämmitys-/ jäähditysenergian kulutus selvitetty?
- Onko lämmöneristävyyden ja tiiveyden merkitys energiankulutukseen selvitetty koko rakennuksen oletetulla käyttöiällä?
- Voidaanko rakennuksen käyttötarkoitusta muuttaa myöhemmin?
- Ovatko rakennuksen materiaalivalinnat edullisia koko käyttöönsä ajan? (Rakennuksen elinkaarikustannuksista rakennusinvestoinnin kustannus osuus on n. 30-60%.)
- Onko rakenteiden energiasäilytys selvitetty?



*Kuva 2.4 Käännetyt harjapalkit eli ns. mahapalkit varastohalliratkaisussa.*



Kuva 2.5 Valmis varastohalli käytössä.

## 2.2.2 Tarjouksien vertailussa huomioon otettavat seikat

Investointiin liittyvät tekijät:

- Sisältääkö tarjous kaiken, mitä oli pyydetty? Onko mahdollisesti puuttuvien osuuksien kustannusvaikutus arvioitavissa luotettavasti?
- Sisältävätkö tarjoukset saman määrään suunnittelua ja asennustyötä?
- Onko tarjouksen sisältö teknisesti sille asetettujen vaatimusten mukainen?
- Millaiseen rakennusaikaan tarjottu ratkaisu johtaa? Soveltuuko se aiottuun rakentamisajankohtaan (esimerkiksi talvi) ilman riskiä laadun heikkenemisestä?
- Ovatko tarjotut rakenteet testattuja ja tutkittuja?
- Onko tarjotun ratkaisun lopullinen kustannustaso riittävän tarkasti arvioitavissa? Tuote-osakauppaan ja elementointiin perustuvat ratkaisut pienentävät kustannusriskiä.



Elinkaareen liittyvät tekijät:

- Elinkaarikustannusten vertailu
- Käytönaikaisen energiankulutuksen, kiinteistönhoidon ja kunnossapidon kustannusten vertailu
- Rakenteiden kestävyysominaisuuksien ja toimintavarmuuden vertailu (esimerkiksi materiaalivalinnat, vedeneristys ja -poisto).

## 2.3 Toteutussuunnittelu

Toteutussuunnittelun lähtötietoina ovat laskentavaiheen lähtötietojen lisäksi hyväksytyjen tarjousten niihin aiheuttamat muutokset. Toteutussuunnitteluvaiheessa rakenne- ja elementtisuunnitelmat laaditaan niin tarkoin, että rakentamisen suunnittelu ja rakentaminen on mahdollista. Suunnittelu jakautuu urakka- ja toimitussopimusten mukaisesti pienempiin suunnittelukokonaisuuksiin, joiden rajauksien tulee olla selviä ja aukottomia. Rakenteiden pääsuunnittelija huolehtii siitä, että osasuunnitelmista muodostuu rakenteelliset vaatimukset täyttävä kokonaisuus.

Ennen toteutussuunnittelun aloittamista sovitaan rakennuksen mittajärjestelmä, moduulilinjojen sijainti ja merkintätapa luvun 4 mukaisesti. Samalla sovitaan kaikkien kantavien rakenteiden (myös väliseinät ja -pohjat) ja jäykisteiden sijainti, materiaalit ja mitat. Samoin on sovittava LVIS-laitteiden, -kanavien ja -putkien vaatimien kannakkeiden ja läpimenojen sijainti ja laitteista johtuva kuormitus.

Arkkitehtisuunnittelun osalta tulisi sopia rakennukseen liittyvien katosten ja muiden runkoon liittyvien rakenteiden sijainti ja periaatteellinen rakenneratkaisu.

Lähtökohtien tarkka sopiminen on tärkeää, koska suunnittelu ja jopa rakentaminen etenee monella taholla saman-aikaisesti.



Kuva 2.6 Tehdastilan kattoristikko ja kattoelementit asennettuna.

## 3 RUNKOTYYPIT

### 3.1 Pilarirungot

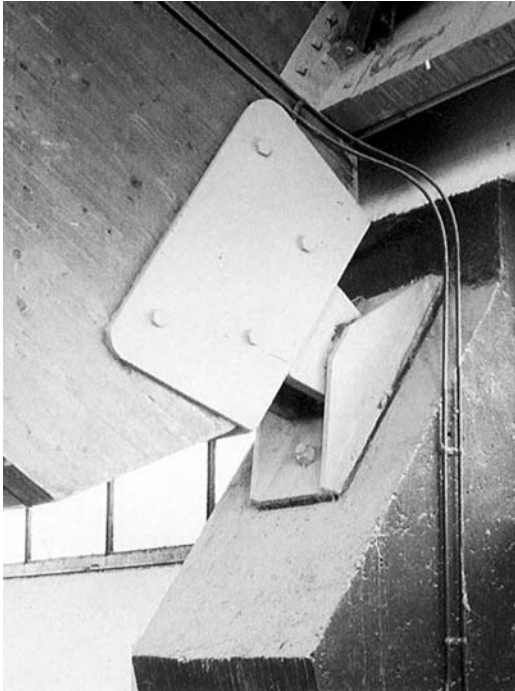
Pilarirungot ovat tyypillisesti ainakin rungon poikkisuunnassa mastojäykistettyjä. Rungon päädyissä ovat ns. tuulipilarit, jotka ovat joko jäykkä- tai nivelkantaisia. Päätyihin kohdistuva tuulikuorma siirretään yläpohjarakenteen tai yläpohjaan rakennettavan erillisen tuuliristikon kautta rungon pääpilareille, jotka jäykistetään rungon pituussuunnassa esimerkiksi tuuliristikoilla.

Pilarirungossa pääpilareiden varaan asennetaan katon kannattaja, joka on tyypillisesti palkki, ristikko tai kaari. Välipohja tuetaan seinillä tai erillisellä pilari-palkkirungolla.

Pilarirungossa pilarit ovat liima- tai kertopuuta. Pilarien alapää liitetään perustuksiin pulteilla tai hitsaamalla. Perustusten yläreuna nostetaan vähintään 100 mm valmiin lattian yläpintaa ylemmäksi. Kertopuiset pilarit voivat olla massiivisia kuten liimapuupilarit tai kotelo- tai I-pilareita.

Pilari liitetään kattokannattajaan pilarin kylkiin kiinnitettävillä hankolaudoilla tai laattateräksillä. Katon kannattajaa kallistamalla hallin vastakkaisille sivuille muodostuu erilainen vapaa korkeus.

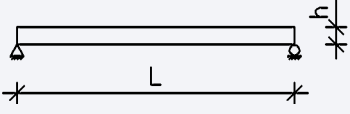
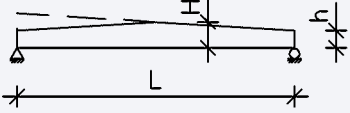
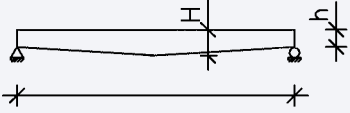
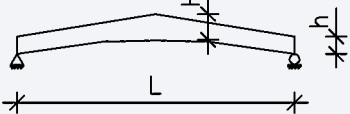

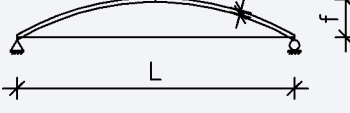
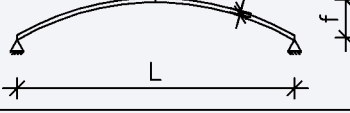
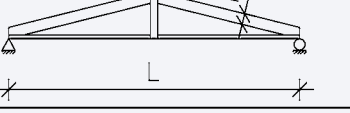
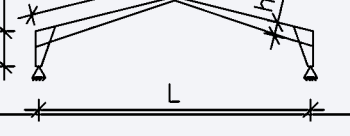

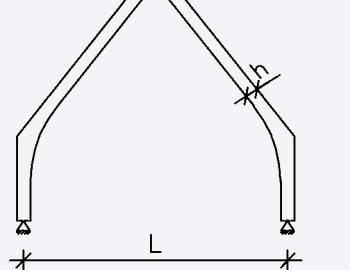
Ulkoseinien ja katon elementoinnin vuoksi pilarirungon tehokas k-jako on 6–8 m ja päätypilareiden 5–8 m. Pääpilarivälejä tulisi olla kolmella jaollinen määrä ja päätypilarivälejä kahdella jaollinen määrä.



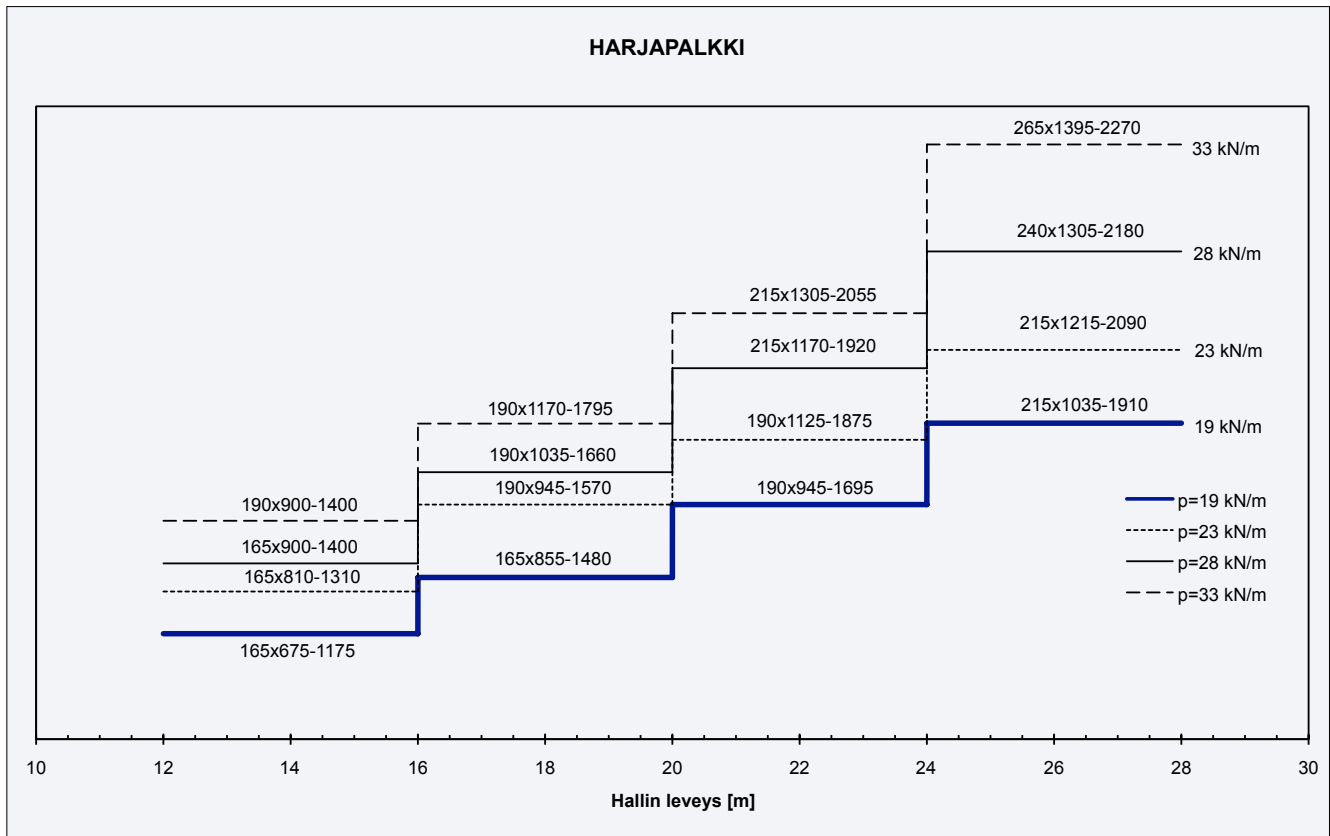
Kuva 3.1 Kaaren nivelliitos perustuksiin.



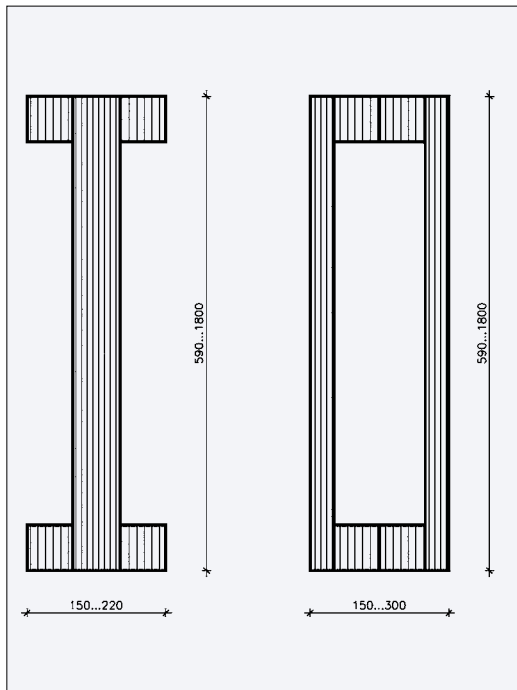
Kuva 3.2 Rungon jäykkä liitos perustuksiin.

Kannattaja, k/k 6...8 m	Kuvaus	Katon kallistus	Suositt. jänneväli [m]	Korkeus h
	Suora palkki, yksiaukkoinen	>1:16	<20	$h \sim \frac{L}{15}$
	Harjapalkki (pulpettipalkki), yksiaukkoinen	1:16 ...1:6	10-30	$h \sim \frac{L}{25}$ $H \sim \frac{L}{13}$
	Mahapalkki, yksiaukkoinen	1:16 ...1:6	10-30	$h \sim \frac{L}{25}$ $H \sim \frac{L}{13}$
	Bumerangipalkki, yksiaukkoinen	1:16 ...1:4	10-20	$h \sim \frac{L}{25}$ $H \sim \frac{L}{13}$
	Vetotangollinen ansaspalkki-kannattaja	>1:4	25-50	$h \sim \frac{L}{40}$
	Vetotangollinen kaarikannattaja	$\frac{f}{L} > 0,144$	25-50	$h \sim \frac{L}{35}$
	Kaari	$\frac{f}{L} > 0,144$	40-100	$h \sim \frac{L}{35}$
	Vetotangollinen palkkikannattaja (A-kattokannat.)	>1:4	15-30	$h \sim \frac{L}{30}$
	Terävänurkkainen kolminivelkehä	>1:4	15-25	$h \sim \frac{S1+S2}{13}$
	Ristikko	>1:16	25...65	$h \sim \frac{L}{9}$
	Terävänurkkainen korkea kolminivelkehä	1:1 ...2:1	10-30	$h \sim \frac{L}{20}$

Taulukko 3.1 Erilaisia kannatintyyppiä ja niiden suositusmittoja



Taulukko 3.2 Liimapuisen kannattajan mitat [(leveys)x(päätykorkeus)-(harjakorkeus)] jännevälillä 12–28 m, kun kuormitus on 19–33 kN/m ( $p_d$ ). Palkin yläreunan kaltevuus 1:16. Samoilla äärimitoilla voidaan arvioida kertopuisen kannattajan tilatarvetta.



Kuva 3.3 Kertopuisia I- ja kotelopoikkileikkauksia.

### 3.1.1 Palkkikannattajat, $L < 30$ m

Palkkikannattajia ovat:

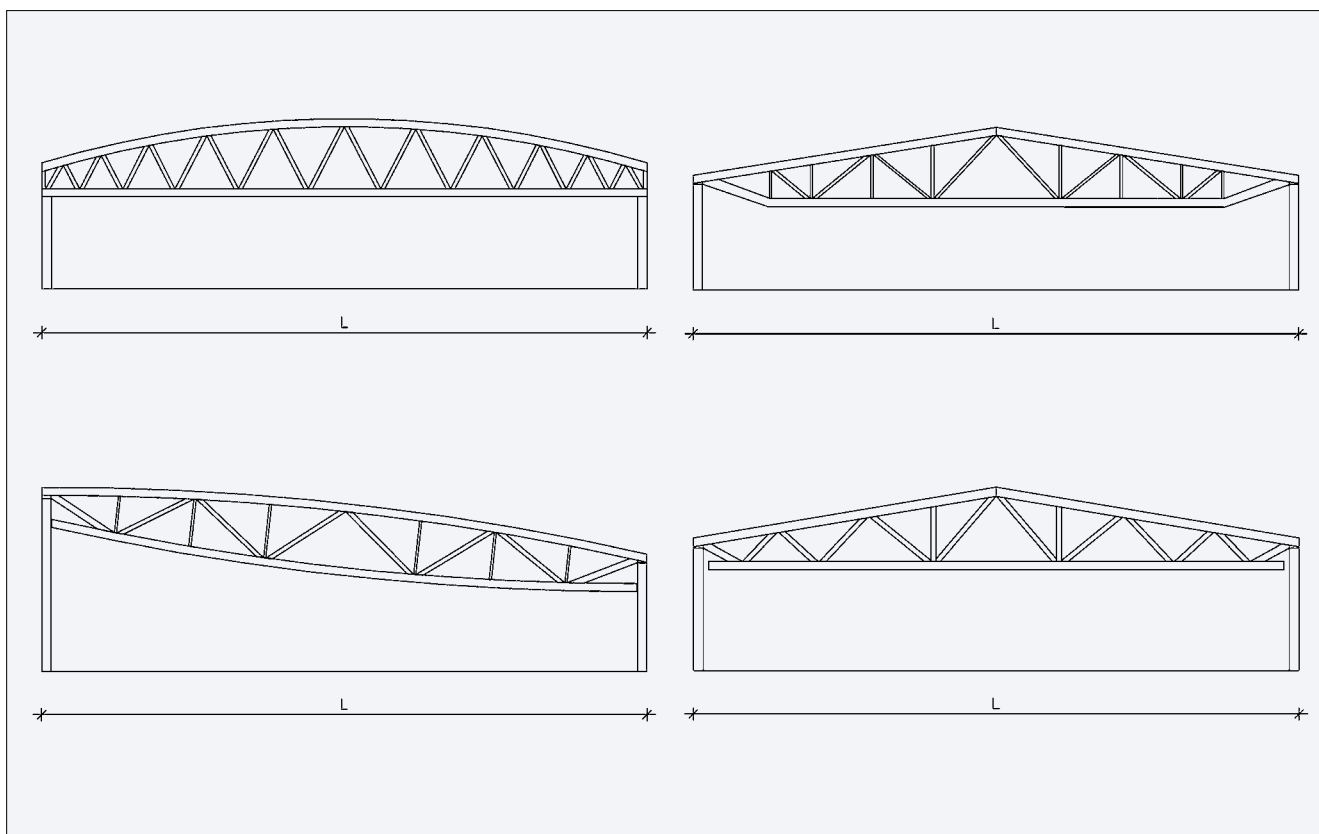
- suorapalkki
- harja-, maha- ja pulpettipalkki
- bumerangipalkki.

Suoran ja harjapalkin suurin jänneväli johtuu tuotannollisista syistä: palkkien suurin mahdollinen korkeus on noin kaksi metriä, jolloin palkin suurin jänneväli on kuormituksesta johtuen noin 26–30 m.

Massiivipalkin palonkestävyys on luontaisesti hyvä, ja sen lisääminen palkin leveyttä suurentamalla on helppoa.

Kertopuiset palkit voivat olla joko massiivisia tai I- tai kotelopoikkileikkauksia.

Erityisesti harjapalkki on suositeltava ratkaisu yksinkertaisen rakenteensa vuoksi yksi- tai useampilaivaisen hallin kannattajaksi, kun palkin jänneväli on noin 15–30 m. Monilaivaisessa hallissa katon kallistus voidaan tehdä myös suorilla palkeilla kallistamalla ne kattolappeittain.



Kuva 3.4 Esimerkkejä ristikkokannattajista.

### 3.1.2 Ristikkokannattajat, L = 25–65 m

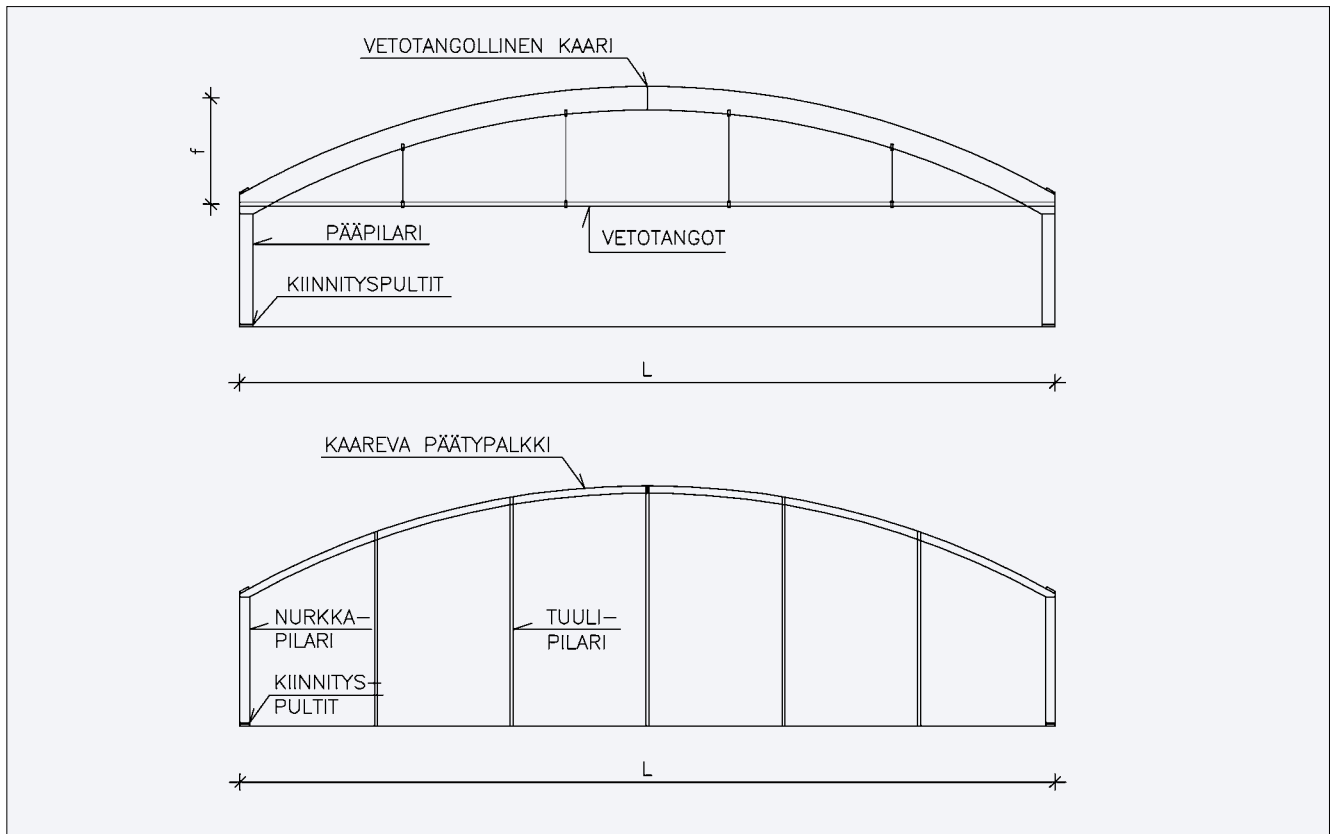
Ristikkokannattaja valmistetaan joko liima- tai kertopuusta. Sauvojen liitoksissa käytetään kaksi-, neljä- tai kuusileikkeisiä teräslevyjä ja -tappivaarvoja. Ristikön tukireaktio välitetään pilarille teräsosien välityksellä. Liitososat jäävät puurakenteen sisäpuolelle, jolloin rakenteen paloluokka on yleensä R30. Paloluokka R60 saavutetaan sauvojen sivumittoja suurentamalla kohdan 6.4 mukaisesti.

Ristikön yläpaarre voi olla kaareva tai muodostaa murtoviivan. Alapaarre voi olla suora tai kaareva. Ristikko tuetaan pilariin yleensä yläpaarteella.

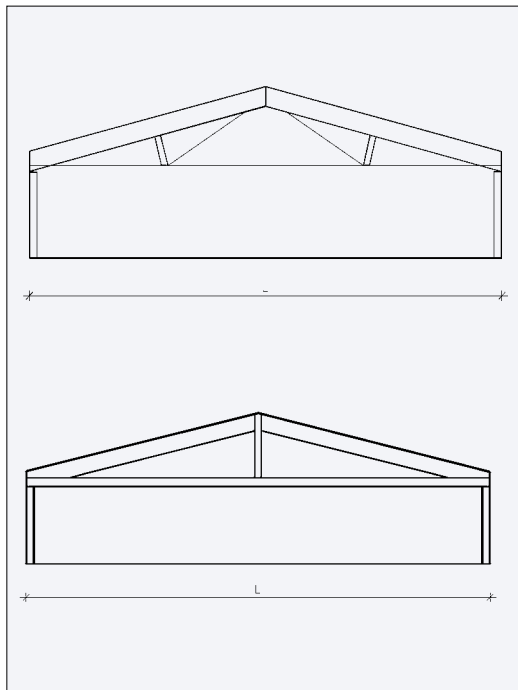
Ristikko voidaan koota osittain työmaalla, jolloin kuljetus ei aseta rajoituksia ristikön koolle.



Kuva 3.5 Kurikan jäähallin ristikkokannattajat.



Kuva 3.6 Pääkannattajana vetotangollinen kaari, hallin poikkileikkaus keskeltä ja päädyistä.



Kuva 3.7 Teräs- ja puuvetotangollinen palkkikannattaja

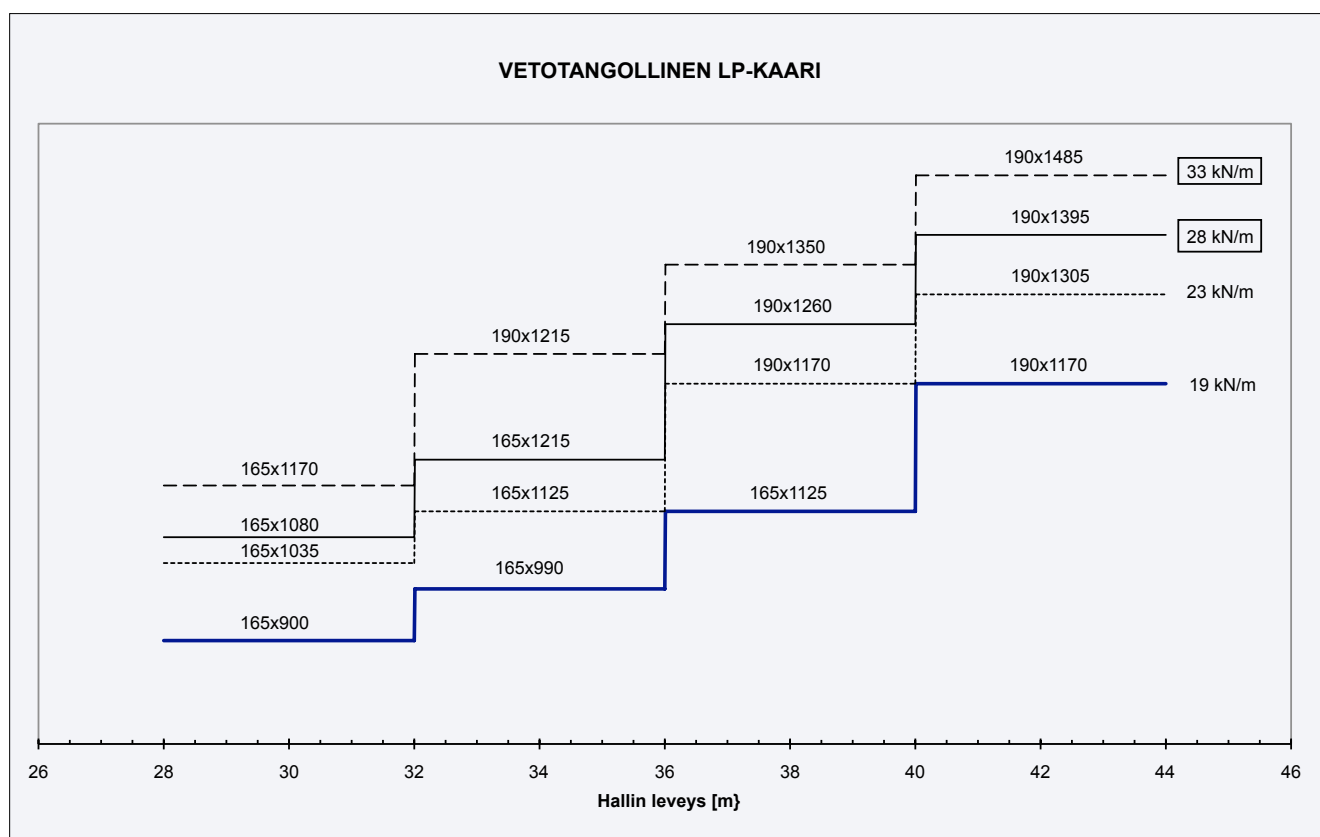
### 3.1.3 Vetotankokannattajat, L = 15–50 m

Vetotangollinen kannattaja on kannatintyyppi, jonka yläpaarre on jatkuva ja jossa alapaarteena on vetotanko ilman varsinaisia diagonaalisauvoja. Yläpaarre mitoitetaan sekä normaali-voimalle että taivutusmomentille. Yläpaarre voi olla kaari tai muodostua palkeista. Kaaren yläpinta voidaan muotoilla myös murtoviivaksi.

Vetotankokannattajia ovat:

- vetotangollinen palkkikannattaja
- vetotangollinen ansaspalkkikannattaja
- vetotangollinen kaarikannattaja.

Kaari tehdään liimapuusta ja se voi olla yksi tai kaksiosainen ja palkit joko vahvistamattomia tai terästangoilla vahvistettuja. Vetotankokannattaja voidaan valmistaa liima- tai kertopuusta; kannattaja kootaan sen suuren koon vuoksi työmaalla.



Taulukko 3.3 Vetotangollisen liimapuukaaren mitat [(leveys)x(korkeus)] jänneväliillä 28–44 m, kun kuormitus on 19–33 kN/m ( $p_d$ ).

Vetotanko voi olla terästä tai puuta; puun etuna on hyvä palonkestävyys (R30) ja kannattajan helpompi käsiteltävyys asennusvaiheessa. Puisen vetotangon jatkokset ja liitokset tehdään tappivaarnaliitoksina. Vetotanko ripustetaan yläpaarteeseen puu- tai terästangoilla, joiden tehtävänä on välittää vetotangon oma massa ja mahdolliset ripustuskuormat edelleen.

Vetotangon venymä otetaan huomioon rakenteen mitoituksessa. Yleensä vetotanko esikiristetään vähintään pysyvästä kuormasta aiheutuvan vetovoiman verran; puuvetotanko kiristetään kannattajaa esikorottamalla.



Kuva 3.8 Vetotankokannattajat asennettuna varastohalliin.



Kuva 3.9 Kaarirunkoisen urheiluhallin asennus käynnissä.



Kuva 3.10 Ristikkokaarien asentaminen käynnissä.

### 3.2 Kaarirungot, $L = 40-100$ m

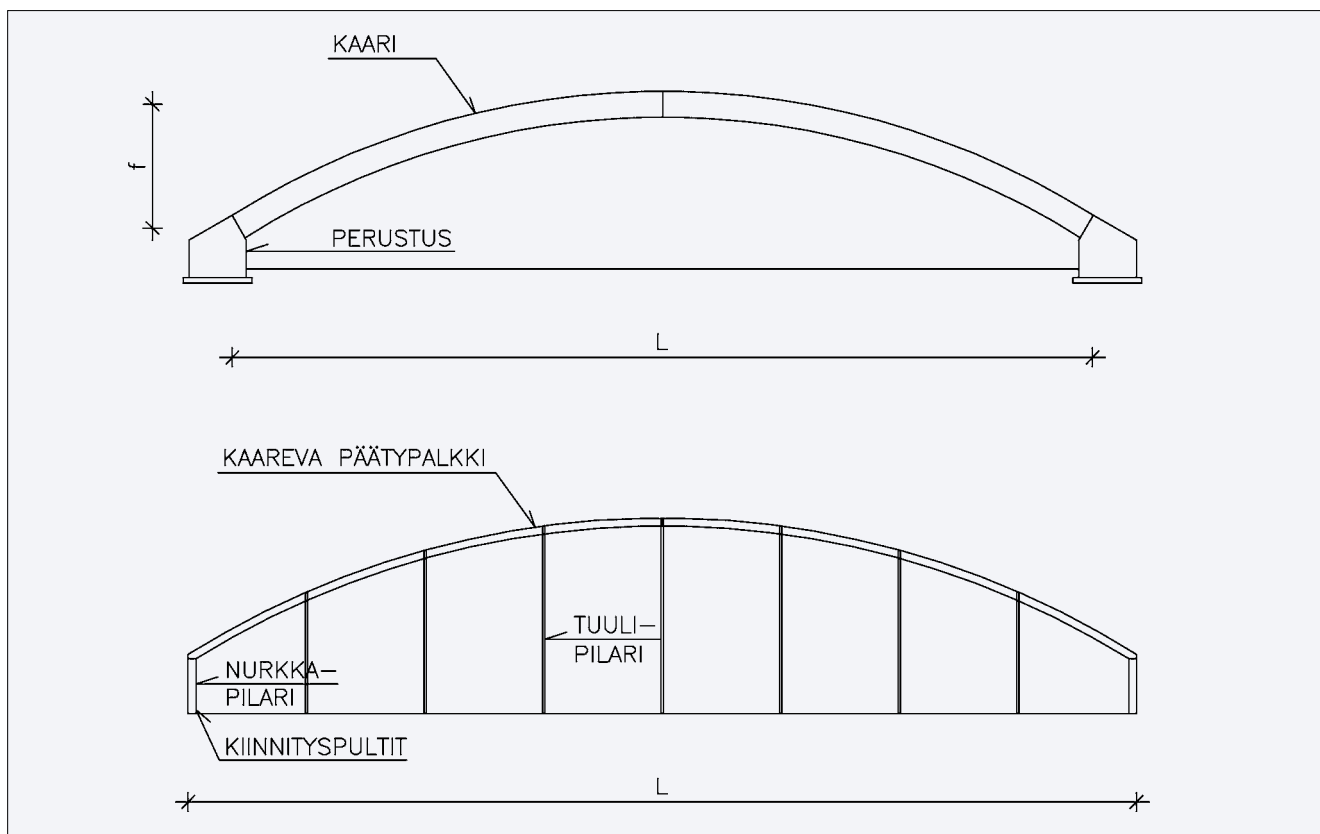
Kaarirunko on rakenne, joka tukeutuu suoraan vaakasuunnassa tuettuihin perustuksiin. Perustukset tuetaan joko vetotangoilla toisiinsa, suoraan peruskallioon tai vinopaaluilla. Vaakasuuntaisen tuennan jäykkyys vaikuttaa kaaren mitoitukseen. Vetotankoja käytettäessä on suositeltavaa käyttää esikiristystä, joka vastaa vähintään pysyvän kuorman aiheuttamaa rasiusta.

Kaari voidaan rakentaa massiiviliimapuusta tai ristikkona. Kaareen suunnitellaan yleensä kaksi tai kolme niveltä. Kantanivelet konstruoidaan teräsosista; lakipisteen nivel voidaan rakentaa kuormituksesta johtuen myös puusta.

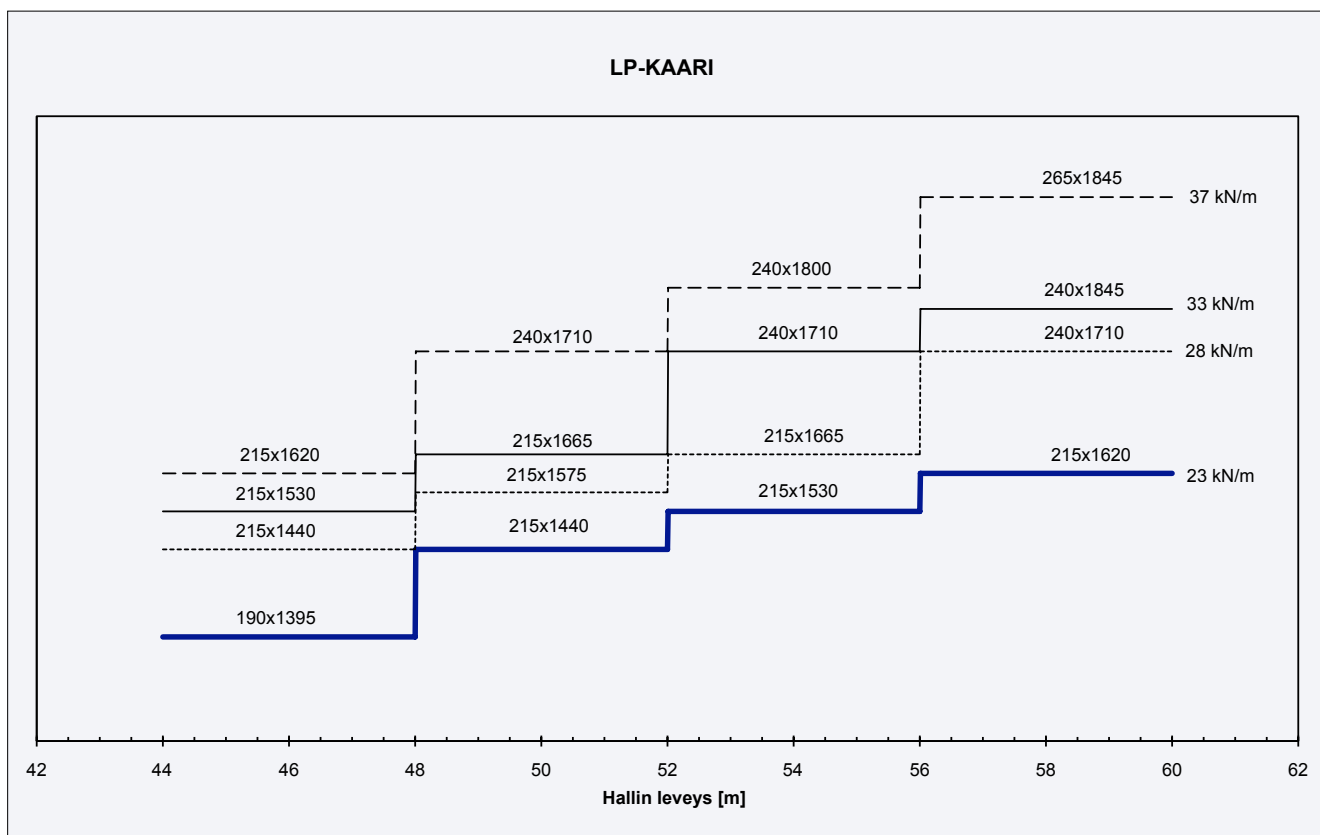
Kaari tuetaan suoraan peruspilarin varaan. Peruspilarin suuren koosta johtuen se ulottuu usein hallin sisäpuolelta sokkelin ulkopuolelle ja on siksi lämpöeristettävä ulkopuolelta. Kaaren kantanivel tulisi sijoittaa rakennuksen sisäpuolelle.

Kaarirungon päätypalkit tehdään moniaukkoisina kaarevina palkkeina, jotka tuetaan tuulipilareilla. Kaarirunko jäykistetään rakentamalla ristikko tai muu jäykkä rakenne yhteen tai kahteen kaariväliin.





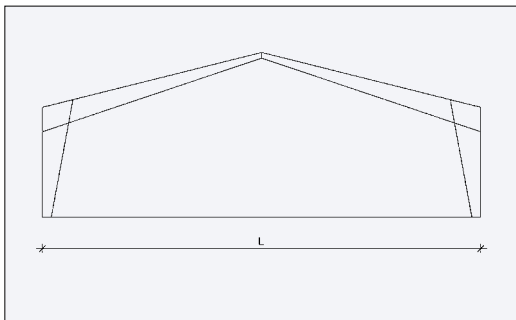
Kuva 3.11 Kaarirunkoinen halli, poikkileikkaus keskeltä ja päädystä.



Taulukko 3.4 Liimapuukaaren mitat [(leveys)x(korkeus)] jännevälillä 44–60 m, kun kuormitus on 23–37 kN/m ( $p_d$ ).



Kuva 3.12 Kehärunkoinen maneesi rakennusvaiheessa.



Kuva 3.13 Terävänurkkainen 3-nivelkehä.

### 3.3 Kehärungot, $L = 10\text{--}30\text{ m}$

Kehärunko on rakenne, jossa katon ja seinän runko on yhdistetty toisiinsa jäykkänurkkaisesti siten, että perustuksiin syntyy vaakavoima myös pystykuormasta. Vaakavoima otetaan vastaan sitomalla vastakkaiset anturat vetotangolla toisiinsa, tai tukemalla perustukset suoraan peruskallioon tai vinopaaluille.

Kehärunkotyyppejä ovat:

- käyränurkkainen kolminivelkehä
- terävänurkkainen kolminivelkehä
- ristikkonurkkainen kolminivelkehä.

Käyränurkkainen kehä rakennetaan taivutetusta liimapuusta, jonka nurkka voidaan tehdä erikseen teräväksi liimapuusta tai sahatavarasta.

Terävänurkkaisen kertopuukehän palkki liitetään pilariin tappivaarnaliitoksella.

Ristikkonurkkainen kehä rakennetaan puupalkista, puisesta vinotuesta ja vetotangosta, joka on terästä tai puuta. Kehä kootaan yleensä työmaalla.



Kuva 3.14 Kupolirakenne.

### 3.4 Muut rungot

Arinakupolin kantava rakenne muodostuu esimerkiksi teräsoilla toisiinsa liitetyistä, verkkomaisesti sijoitetuista puristus-sauvoista. Sauvat tehdään kerto- tai liimapuusta.

Puristetuissa kuorirakenteissa katon kuormitus siirretään kuorena toimivan katon kautta sitä tukevalle rengasrakenteelle, josta kuormitus siirretään edelleen pystyrakenteelle. Kuori voi muodostua levyistä tai sahatavarakerroksista ja siinä voi olla ripamaisia vahvistuksia, joilla momenttipinnan vaihtelut epäsymmetrisissä kuormitustapauksissa otetaan huomioon.

Kuorirakenteissa on kiinnitettävä huomiota puun kosteuspitoisuuden vaihtelusta aiheutuviin jännityksiin ja muodonmuutoksiin.

Rungon konstruktio voi muodostua myös esimerkiksi hajauteista pilarien yläpäistä, jotka tukevat ristiin kannatettua katon arinamaista palkistoa.

## 4 MITTAJÄRJESTELMÄT

Rakennuksen osien paikantamisen helpottamiseksi laaditaan moduulijärjestelmä. Moduulilinjat laatii ja nimeää ensisijaisesti pääsuunnittelija, toissijaisesti rakenteiden pääsuunnittelija. Muut rakennesuunnittelijat voivat täydentää moduulijärjestelmää suunnittelun edetessä.

Moduulilinjat sijoitetaan kaikkien kantavien rakenteiden kohdille siten, että rakenteet ovat kohdennettavissa ja paikannettavissa. Moduulilinjat esitetään pohja-, leikkaus- ja detailjapiirroksissa, joissa mitoitus sidotaan poikkeuksetta linjoihin. Mittoja ei tule ketjuttaa, vaan rakenteiden sijainti sidotaan aina lähimpään moduulilinjaan.

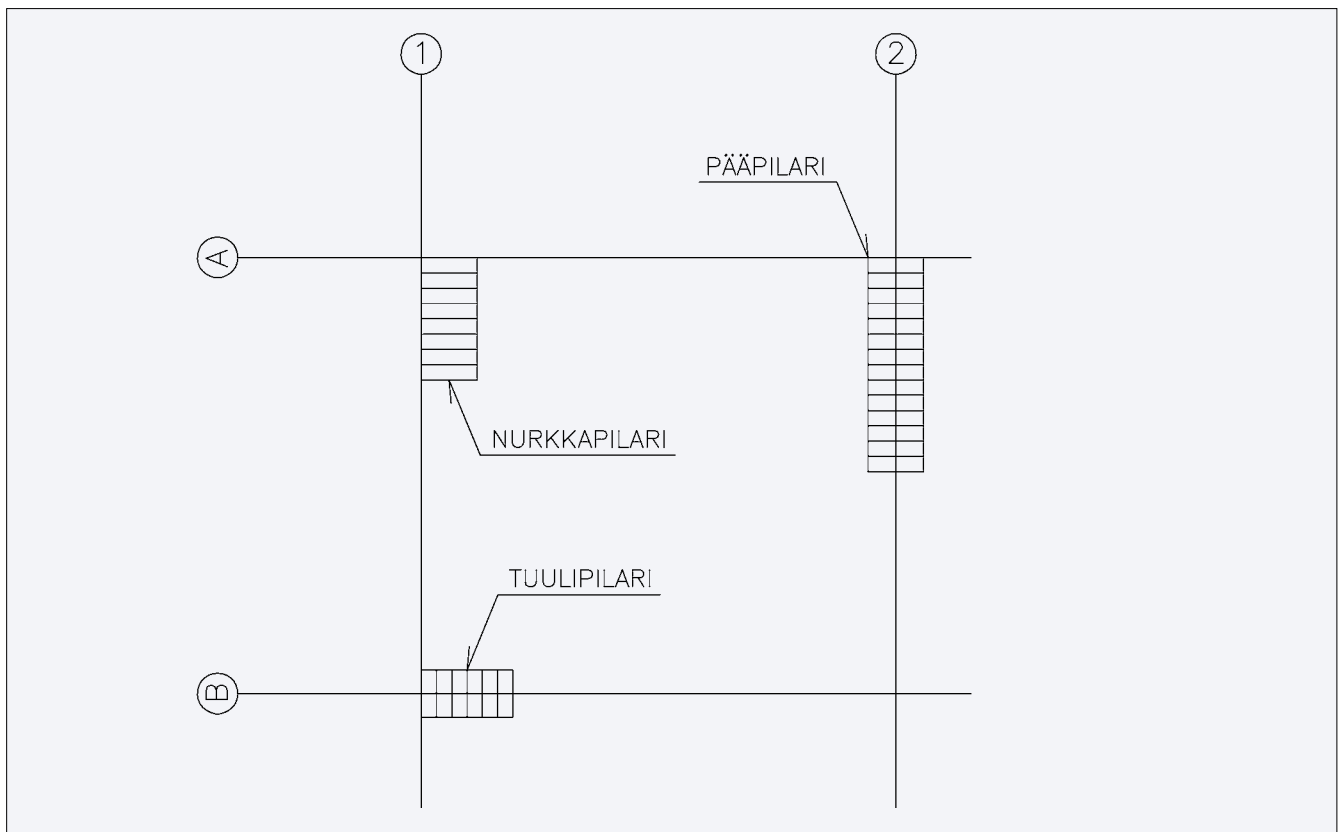
Moduulilinjojen mitoituksessa otetaan huomioon katon ja ulkoseinien rakenne. Yleensä pääkannattajien k/k-jaon tulisi olla noin 6–8 m rakenteen jännevälillä, pääkannattajan tyypistä ja perusratkaisusta johtuen. Moduulilinjojen tulisi sijaita 3M jaolla.

Kattoelementtien ja -orsien tulisi olla kolmiaukkoisia, jotta rakenteen käyttöaste saataisiin mahdollisimman suureksi. Kaksiaukkoisia kannattajia tulee välttää, koska keskituella kuormitus suurenee silloin jopa 25 % (taipumattomat tuet) verrattuna tasaisesti jakautuneeseen kuormitukseen. Myös yksiaukkoisia kannattajia tulisi välttää niiden moniaukkoisia rakenteita suuremman materiaalimenekin vuoksi.

### 4.1 Moduulilinjat

Moduulilinjat nimetään rakennuksen pohjapiirroksen poikisuunnassa (tavallisesti lyhyemmässä suunnassa) aakkosin ja pituussuunnassa numeerisesti. Nimeäminen aloitetaan rakennuksen pohjapiirroksen vasemmasta yläkulmasta. Moduulimitoituksessa noudatetaan rakennuksen ulkoseinillä viereisperiaatetta ja muualla keskeisperiaatetta.

Rakennuksen ulkoseinillä käytetään viereisperiaatetta. Viereisperiaatteen etuna on se, että päätypalkkien ja pilareiden kokoa ei tarvitse päättää eikä tietää vielä pääpiirustuksia laadittaessa. Moduuliviivat sijoitetaan puurungon ulkopintaan.



Kuva 4.1 Moduulilinjojen sijainti ja merkintä: hallin ulkonurkka.

Etuna on myös, että perustusten, sokkelielementtien, vaipparakenteen ja puurungon suunnittelu voidaan aloittaa toisistaan riippumatta ja erikseen, koska mittamaailma on kaikille suunnitteliijaosapuolille selvä. Näin säästetään aikaa, kun suunnittelu voi edetä monella taholla samanaikaisesti.

Keskeisperiaatteen käyttö ulkoseinillä johtaa helposti hankaliin mittoihin (esimerkiksi 82,5 mm) ja toisaalta myös mahdollisesti epäloogisuuteen päädyn osalta, mikäli keskeiseksi oletettu moduulilinjan sijoitus ei olekaan keskellä päädyn palkkia (päätypalkin /-pilarin paksuus on eri kuin pääpilarin paksuus) tai nurkkapilaria, tai jos nurkkapilarin paksuus poikkeaa päätypalkin paksuudesta.

Pääpilareiden ja päätyjen tuulipilareiden kohdilla moduulilinjat sijoitetaan keskeisesti.

Yksittäisten, muista moduulilinjoista vähäisesti poikkeavien kantavien rakenteiden kohdalla moduulilinja voidaan merkitä viereisen linjan tunnuksella ja heittomerkillä (esimerkiksi 1' tai A').

## 5 PERUSTUKSET



Kuva 5.1 Katsomorakenteiden liittyminen perustuksiin.

Pilari-palkkirunkoinen rakennus perustetaan yleensä joko maanvaraisille tai paaluilla tuetuille pilarianturoille. Anturat peruspilareineen voidaan korvata eräissä tapauksissa myös reunavahvistetulla laatalalla.

Rakennus perustetaan toisinaan myös joko kokonaan tai osittain betonirungon varaan (esim VSS). Pilareiden liitostapa voi olla tällöin sama kuin suoraan perustuksille tuettaessa. Betonirungolle tuettaessa on kuitenkin edullista käyttää vähän tilaa vieviä liitostyyppejä.

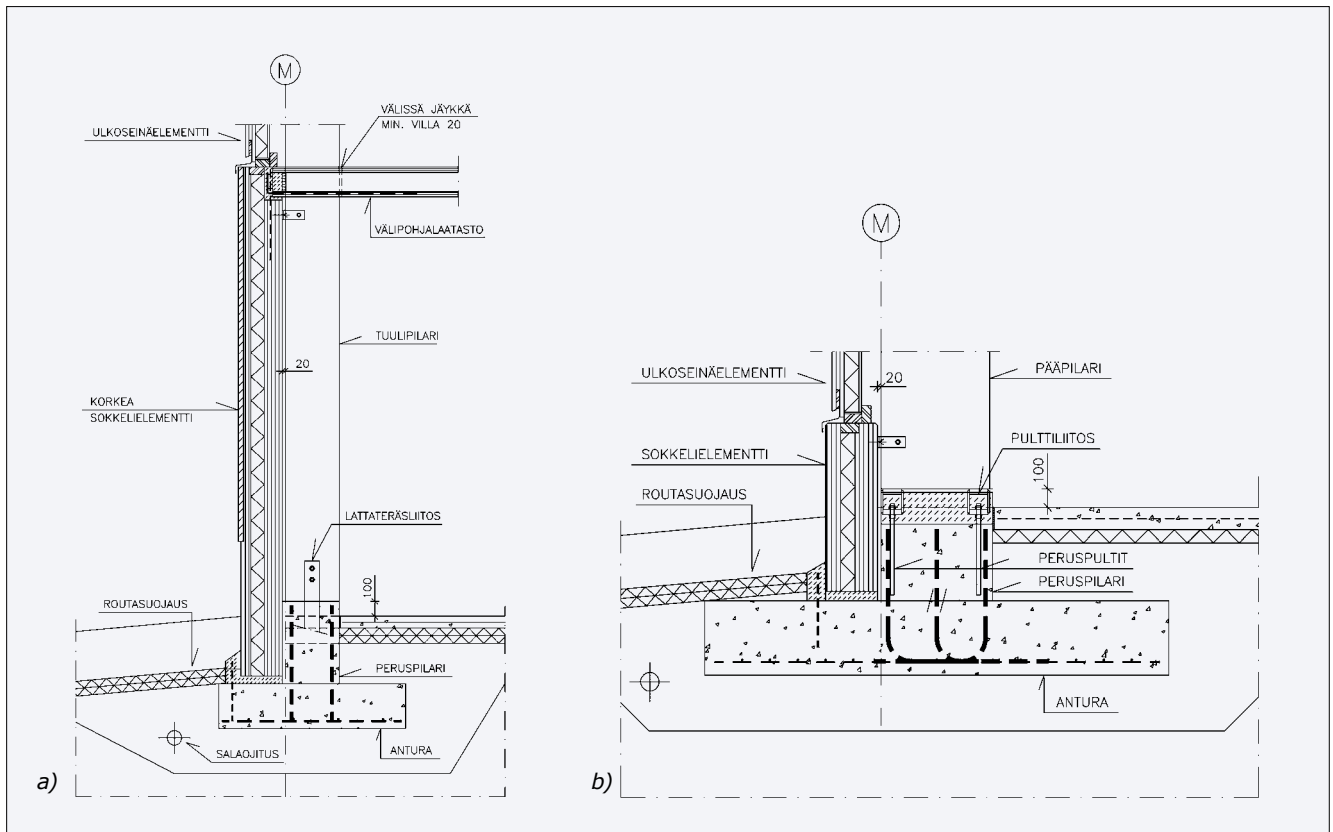
### 5.1 Perustusten suunnittelu

Perustukset suunnittelee rakenteiden pääsuunnittelija. Suunnittelun lähtötiedoksi tarvitaan lupasarja, mitoitettu pohjapiirros sekä pohjatutkimus. Pohjatutkimuksessa esitetään muun muassa rakennuksen ja alapohjan perustamistapa, sallittu pohjapaine/paalukuorma, tarvittavat maanrakennustoimenpiteet sekä todetaan salaojituksen ja routasuojauksen tarve.

Rakennesuunnittelija laatii perustuksista tasopiirroksen, jossa esitetään muun muassa anturoiden, peruspilarien ja kantavien seinien sijainti ja koko, routasuojaus ja mahdollisten paalujen sijainti (ellei laadita erillistä piirrosta). Perustusten tasopiirros on rakennepiirustus numero 1.

Leikkauspiirroksissa esitetään anturoiden, peruspilarin ja sokkelin rakenne ja liitokset. Detaljipiirroksissa tai erillisessä kaaviossa esitetään peruspilariin asennettavat pilareiden kiinnitysosat (pultit ja kiinnityslevyt) sijainteineen.

Salaojituksesta laaditaan erillinen suunnitelma, jonka lähtötiedoksi rakennesuunnittelija tarvitsee salaojituksen purkupaikan (perusvesikaivon) sijainnin ja purkukoron.



Kuva 5.2 a) Korkean sokkelielementin liitos runkoon ja perustuksiin hallin päädyssä b) matalan sokkelielementin liitos runkoon ja perustuksiin.

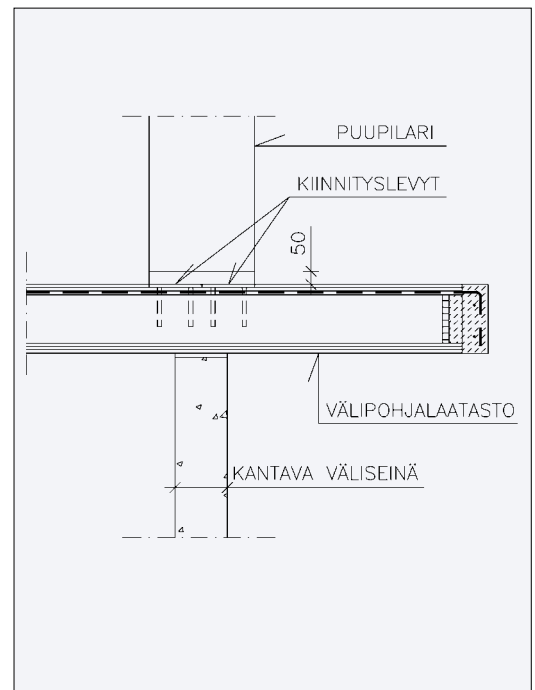
## 5.2 Sokkeli

Pilarirunkoisen rakennuksen sokkeli tehdään esimerkiksi lämpöeristetyillä teräsbetonielementeillä. Sokkeli voidaan tehdä myös paikalla esiraidoitettuihin elementtimuotteihin valamalla tai muuraamalla lämpöeristetyistä harkoista (kevytsora- tai betoniharkot). Muurattava sokkeli tarvitsee oman, jatkuvan anturan.

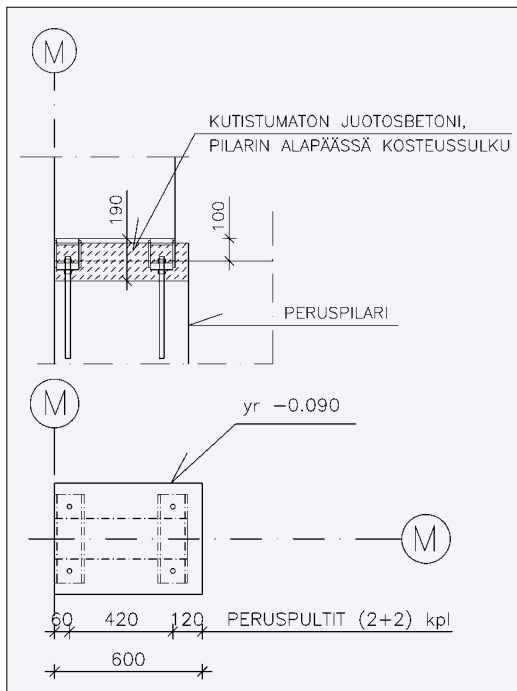
Sokkelielementeistä laaditaan erikseen valmistuspiirroksat ja sijaintikaavio.

## 5.3 Peruspilarit

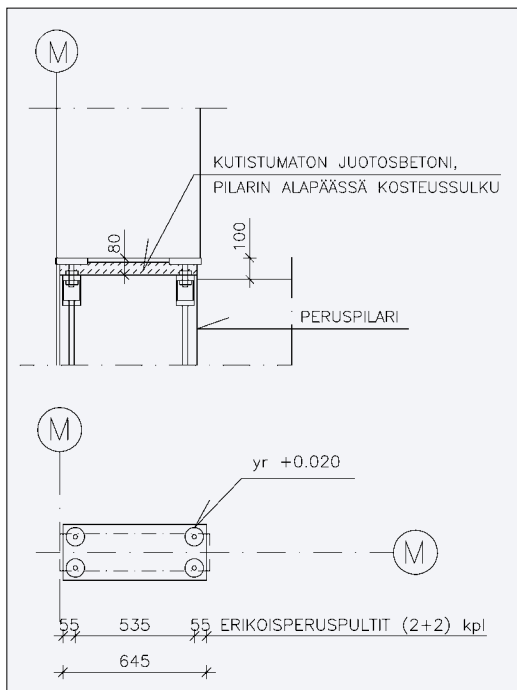
Pilarit perustetaan anturoille peruspilarin välityksellä. Peruspilari tehdään paikalla valamalla ja se raudoitetaan pilarina. Pääteräkset ankkuroidaan anturaan. Peruspilariin asennetaan pilarin tuentaan vaadittavat teräsosat (peruspultit, kiinnityslevyt tai laattateräkset), sekä liitoksen vaatima lisäraudoitus (haat, pystylenkit). Peruspilari mitoitetetaan käytännössä asennusterästen tilantarpeen mukaan sekä pysty- että vaakasuunnassa.



Kuva 5.3 Pilarin tuenta ontelolaataston välityksellä kantavan väliseinän varaan. Pilarin kiinnityslevyt ankkuroidaan ontelolaataston onteloon.



Kuva 5.4 Pilarin liitos peruspilariin: pulttiliitos tavallisilla peruspulteilla.



Kuva 5.5 Pilarin liitos peruspilariin: pulttiliitos erikoisperuspulteilla.

Peruspilarin yläreunan ja pilarin alareunan väliin jätetään asennusvaraus. Varauksen mitta johtuu pilarin ja peruspilarin välisen liitoksen tyypistä: hitsiliitoksissa varauksen korkeus on noin 50 mm, pulttiliitoksessa noin 80 tai noin 190 mm liitoksen tyypistä johtuen. Pulttiliitoksen vaatima asennusvaraus on aina selvästi suurempi kuin hitsiliitoksessa.

Peruspilarin yläreunan ja pilarin alareunan välinen tila valetaan asennuksen jälkeen kutistumattomalla juotosbetonilla. Valu jätetään noin 20 mm pilarin alareunasta irti tai pilarin ja peruspilarin väliin asennetaan kosteuden kulun katkaiseva kerros, jotta peruspilaria pitkin kapillaarisesti nouseva kosteus ei siirry puupilariin. Lisäksi pilarin alapintaan sivellään kosteussulku tehtaalla.

Peruspilarin yläreuna suunnitellaan siten, että pilarin alareuna on vähintään 100 mm valmiin lattian yläpintaa korkeammalla.

## 5.4 Pilarin liitos peruspilariin

Pilari liitetään peruspilariin joko pultti- tai hitsiliitoksella. Molemmilla kiinnitystavoilla saadaan aikaan jäykkä liitos pilarin ja perustuksen välille. Jäykässä liitoksessa pilarin tukivoimat välitetään pilarilta ensin liimaruuveilla teräsosalle, josta voimat välitetään edelleen joko hitsaus- tai pulttiliitoksella peruspilarille. Hitsiliitos johtaa aina jäykkään liitokseen, pulttiliitos voidaan tehdä myös niveleksi.

Pulttiliitoksen etuna on pilarin asennon ja korkeusaseman säätömahdollisuus sekä asennusvaiheen nopeus ja helppous. Pulttiliitoksen haittana on peruspulttien viemä tila perustuksissa sekä vaaka- että pystysuunnassa. Usein peruspilarin korkeuden määrääkin peruspultin pituus. Myös nurkkapilarin ulompien peruspulttien sijainti vaatii usein erikoisjärjestelyjä sokkelin liittymässä.

Pilarin pulttiliitos voidaan tehdä joko käyttäen tavanomaisia peruspultteja, jolloin pilarin alapäässä tarvitaan erityinen teräслиitososa, tai erityisesti puupilareille suunniteltuja pilarikenkiä, jolloin pilarin alapäässä tarvitaan vain pilarin pohjalevyyn hitsatut kiinnityspultit. Teräслиitososa vaatii korkeamman liitosvarauksen ja siksi myös hieman korkeamman peruspilarin anturaan.



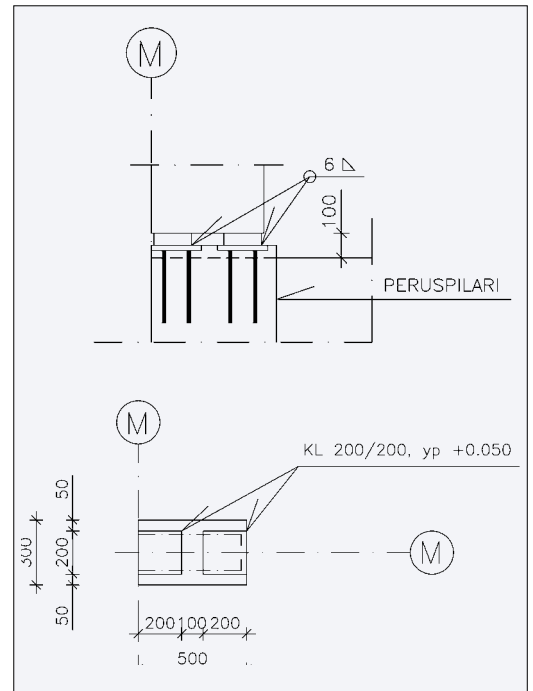
Etenkin tuulipilareiden liitos perustuksiin suunnitellaan toisi-  
naan niveleksi. Pilari liitetään silloin peruspilariin esim kahdella  
laattateräksellä ja pulteilla. Liitoksen etuna on sen edullisuus:  
pilarin alapäässä ei tarvita muita teräsosia ja pilariantura voi-  
daan mitoittaa pelkälle normaalivoimalle. Tästä on huomattava  
etu silloin, kun pilarin pystykuormitus on pieni, kuten tuulipila-  
reilla yleensä. Laattateräslitoksen haittana on se, että pilarit  
joudutaan tukemaan vinotuilla kunnes rakennus on jäykistetty.  
Lisäksi tällainen rakenne lisää rakennuksen jäykistyksen kuor-  
mitusta yli 30 % verrattuna jäykkäkantaiseen tuulipilariin.

## 5.5 Pilarin tuenta muuhun kantavaan rakenteeseen

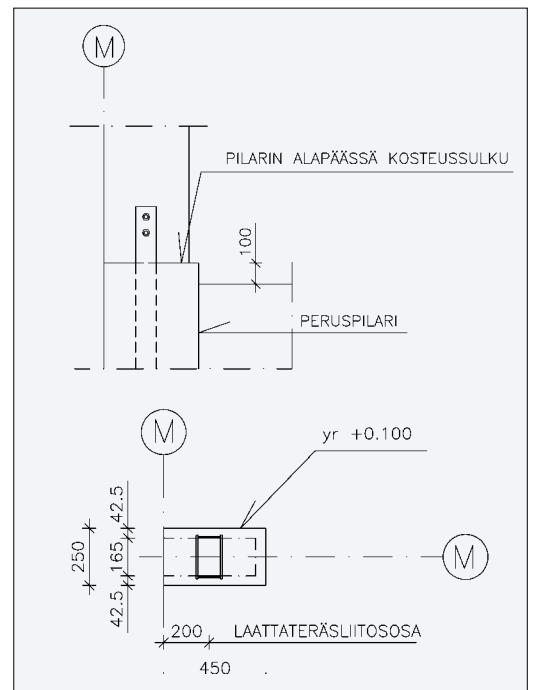
Pilarit voidaan tukea myös muun kantavaan rakenteen, kuten  
välipohjan tai väestönsuojan varaan peruspilarin sijasta. Pää-  
pilarin tukeminen välipohjalla edellyttää kuitenkin usein väli-  
pohjan vahvistamista esimerkiksi alapuolisella pilasterilla. Siksi  
ainakin pääpilarin kohdalla on suositeltavaa, että pilari tuetaan  
välipohjan sijasta suoraan peruspilarin varaan, jolloin välipohjan  
ja pilarin väliin jätetään joustava sauma.

Sen sijaan esimerkiksi tuulipilarin tukeminen ontelolaataston ja  
sitä tukevan kantavan seinän kohdalla onnistuu usein varsin pie-  
nillä vahvistustoimenpiteillä. Samoin väestönsuojalla tukeminen  
aiheuttaa harvoin lisävahvistuksia pääpilarinkaan kohdalla.

Kun pilari tuetaan muulla betonirakenteella, jonka kohdalle ei  
rakenneta peruspilaria vastaavaa teräsbetonista pilasteria tai  
pilaria, on pilarin liitoksessa suositeltavaa käyttää hitsausliitos-  
ta. Betonirakenteen yläpintaan asennetaan vakiokiinnityslevyt,  
joihin pilarin pohjalevy hitsataan.



Kuva 5.6 Pilarin liitos peruspilariin: hitsiliitos.



Kuva 5.7 Pilarin liitos peruspilariin.

## 6 RUNGON MITOITUS

Runkosuunnittelija suunnittelee rungon peruspilarin tai puurunkoa tukevan betonirakenteen yläpinnasta ylöspäin ja antaa lähtötietona perustusten suunnittelijalle pilareiden välittämät kuormat betonirakenteiden yläpinnan tasossa.

Runkosuunnittelija mitoittaa myös rungon jäykistyksen ja osallistuu rungon asennusohjeen laatimiseen yhdessä asennusurakoitsijan kanssa.

Rakennesuunnittelun lähtötiedoiksi tarvitaan lupasarja sekä mitoitettu pohjapiirros.

### 6.1 Kuormitukset

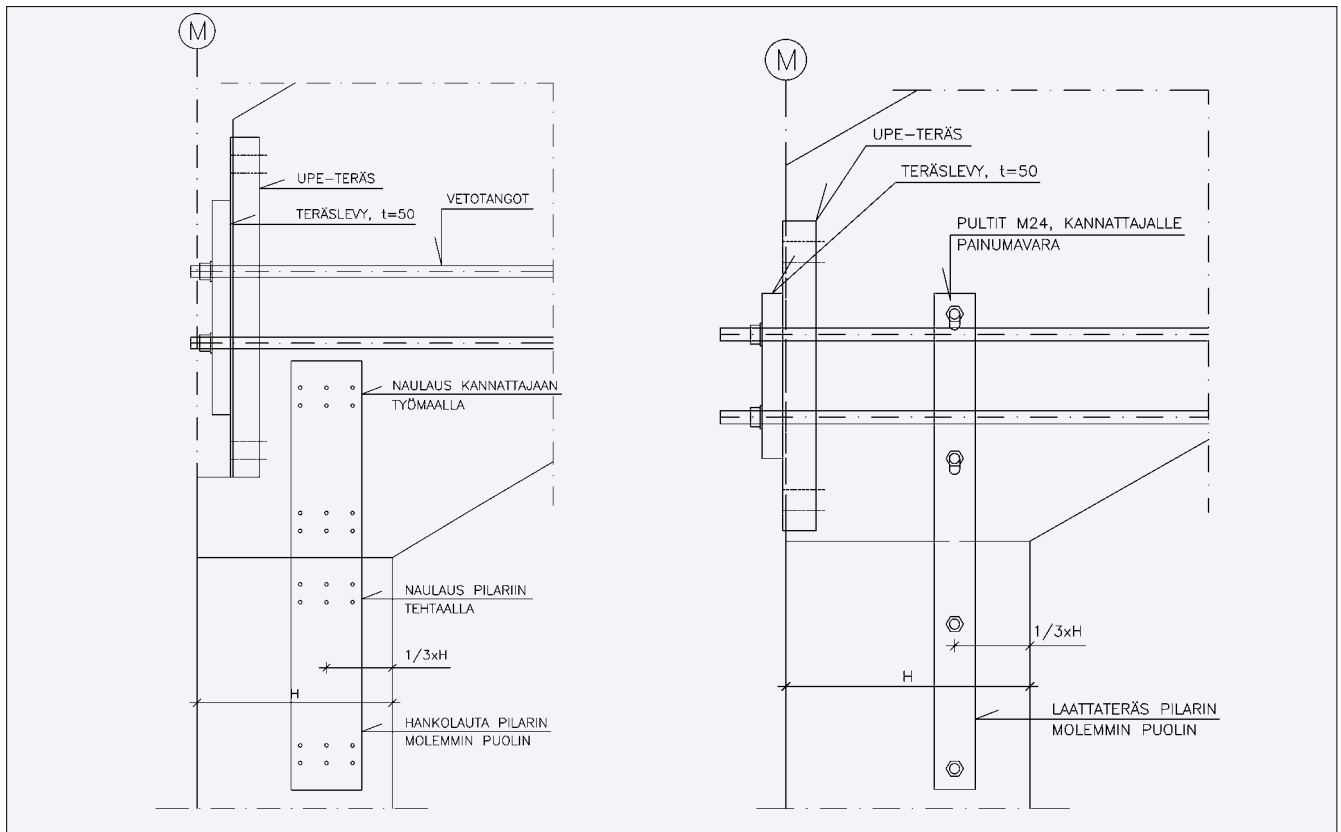
Runko mitoitetaan pystysuunnassa lumikuormalle, katon omalle massalle ja mahdollisille ripustuskuormille, ja vaakasuunnassa tuulikuormalle.

Katon oma massa muodostuu pääkannattajan massasta (tavallisesti noin  $0,1 \text{ kN/m}^2$ ) ja kattorakenteen massasta (eristeet, vasat, laudoitukset, tavallisesti noin  $0,4 \text{ kN/m}^2$ ), eli yhteensä noin  $0,5 \text{ kN/m}^2$ .

Ripustuskuorma johtuu esimerkiksi kattoon kiinnitettävistä valaistus- ja ilmastointilinjoista sekä äänentoistolaitteista ja johdinlinjoista. Yleensä tekniikan ripustuskuormaksi riittää  $0,1 \text{ kN/m}^2$ .

Kattojen ominaislumikuorma vaihtelee paikkakunnittain välillä  $1,6\text{--}2,8 \text{ kN/m}^2$ . Lumikuormalle rakenteita mitoitettaessa otetaan lisäksi huomioon katon muodosta (kaari- ja sisätaitekatot) tai katon korkeuseroista johtuva kinostuminen tai lumen liukuminen. Katon muotokerroin saattaa suurentaa esimerkiksi kaarikaton lumikuormaa paikallisesti jopa 2,5-kertaiseksi.

Tuulikuorma johtuu rakennuksen korkeudesta ja rakennuspaikan maastoluokasta. Puuskanopeuspaineen ominaisarvo on noin  $0,5\text{--}0,7 \text{ kN/m}^2$  puuhallille. Tuulikuormamitoituksessa otetaan lisäksi huomioon sekä ulko- että sisäpuolisen paineen kertoimet, jolloin tavalliseksi tuulenpaineeksi saadaan  $0,5\text{--}0,7 \text{ kN/m}^2$  ja imupaineeksi suojan puoleiselle seinälle  $0,25\text{--}0,35 \text{ kN/m}^2$ . On huomattava, että katon ja seinien reuna-alueille määritetyt painekertoimet ovat yleensä huomattavasti keskimääräisiä kertoimia suurempia. Asennusaikaiseksi tuulenpaineeksi oletetaan 75 % mitoitusarvosta.



Kuva 6.1 Kaaren liitos pilariin: hankolautaliitos ja laattateräslitos.

## 6.2 Rungon mitoituksen periaatteita

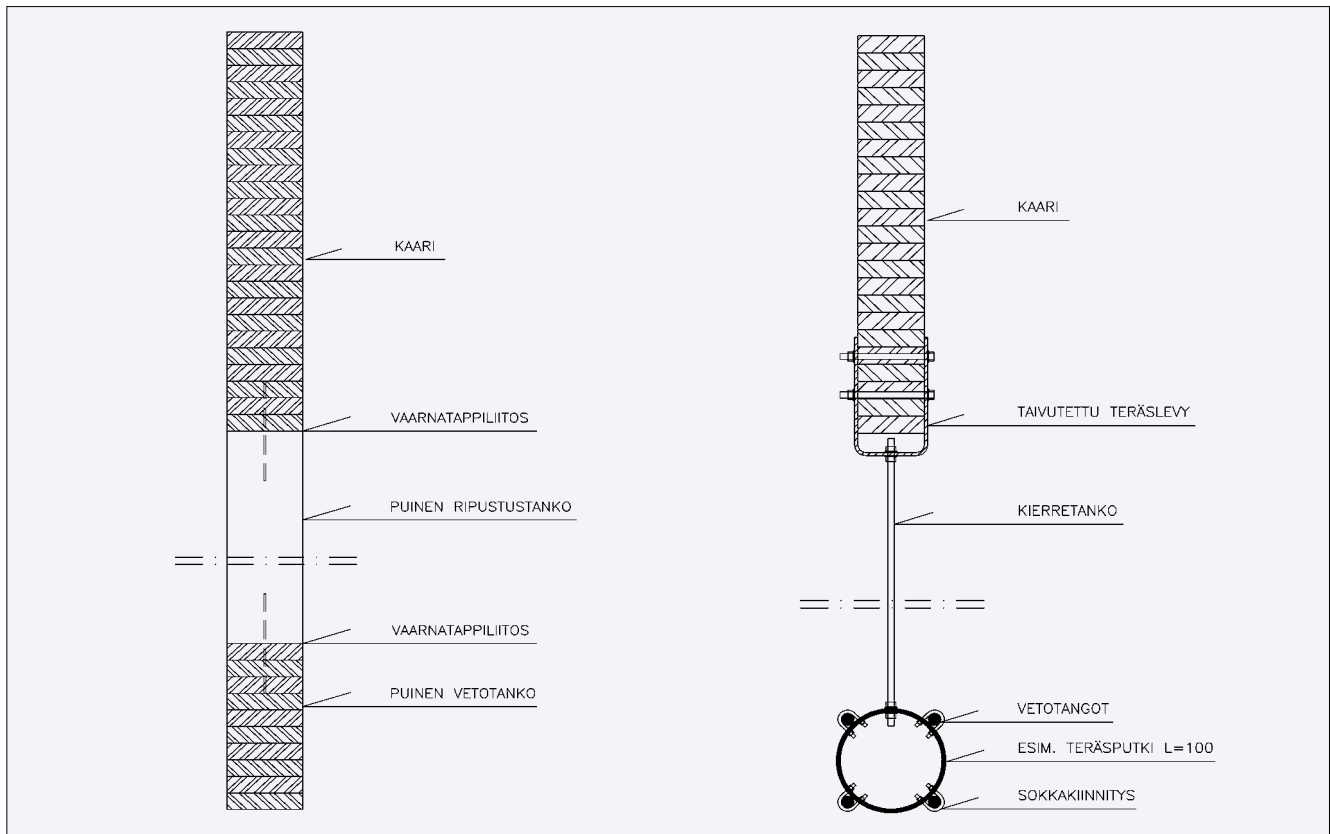
### 6.2.1 Pääkannattajat

Pääkannattajien mitoituksessa otetaan huomioon kattorakenteiden mahdollinen jatkuvuus. Jos kattorakenne toimii kaksiaukkoisesti, on pääkannattajan kuormituksen lisäys elementin keskituella 25-25 %, kolmiaukkoisella kattorakenteella lisäys on pienempi, noin 5-10 % kattokannattajan jäykkyydestä johtuen.

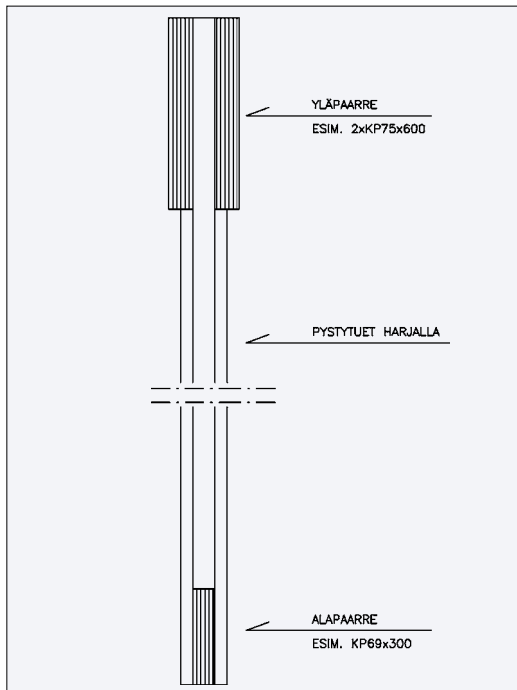
Pääkannattajan riittävä tuenta kiepahdusta vastaan tarkistetaan aina erikseen. Poikittaistuennan on kestettävä vähintään määritetyn palonkestoajan.

Kun pääkannattajana on palkki, tarkistetaan mitoituksessa reunajännitys, taipuma, leikkausvoima ja tuella tukipaine. Tarvittaessa tukipintaa levitetään paikallisesti tai käytetään tukireaktion välittävää teräsosaa, joka ankkuroidaan palkin alapintaan.

Ristikossa tarkistetaan osasauvojen liitokset, jatkokset ja yhdistetyt rasiukset ristikon taipuman ja tuen tukipaineen lisäksi. Lisäksi tarkistetaan ripustuskuormien vaikutus alapaarteeseen.



Kuva 6.2 Puisen ja teräksisen vetotangon ripustus kaareen.



Kuva 6.3 Kertopuinen vetotankokannattaja.

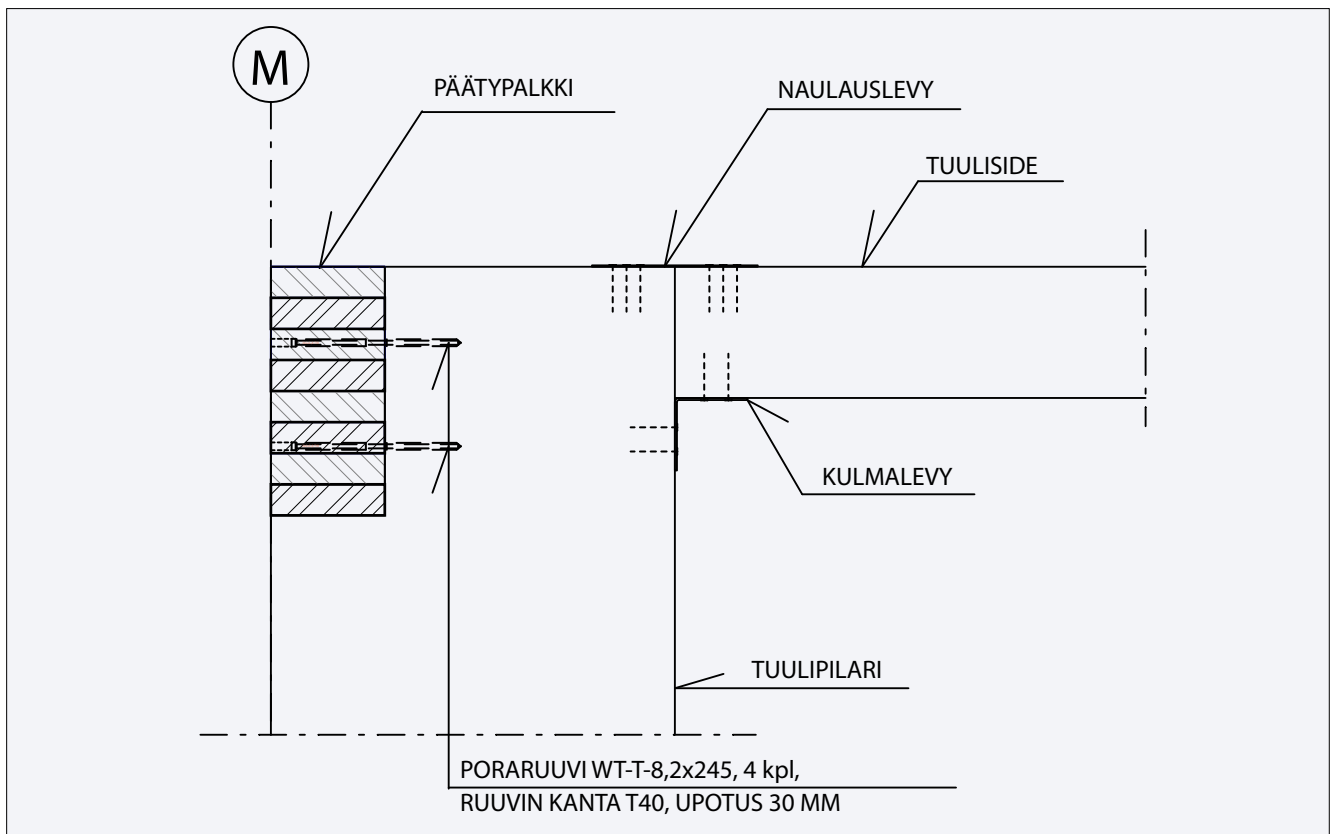
Kaarikannattajien vetotankojen venymä määritetään ja liitosten vetolujuus ja ankkurointiteräsosan tukipaine ja taivutusmomentti tarkistetaan. Kaarikaton kattorakenteen jäykkyys ja tuenta tarkistetaan katon tangentin suunnassa. Tarvittaessa kattorakenne tuetaan esimerkiksi vetotankojen ankkurointikappaleen jatkeella.

### 6.2.2 Pilarit

Pilarin mitoituksessa tarkistetaan pystykuorman ja momentin yhteisvaikutus. Lisäksi tarkistetaan tukimomenttia vastaavan liimaruuvimäärän mahtuminen pilarin poikkileikkaukseen.

Tuulikuormalle mitoitettaessa kattokannattajan voidaan olettaa välittävän noin puolet kattoon kohdistuvasta tuulikuormasta suojan puoleiselle pilarille.

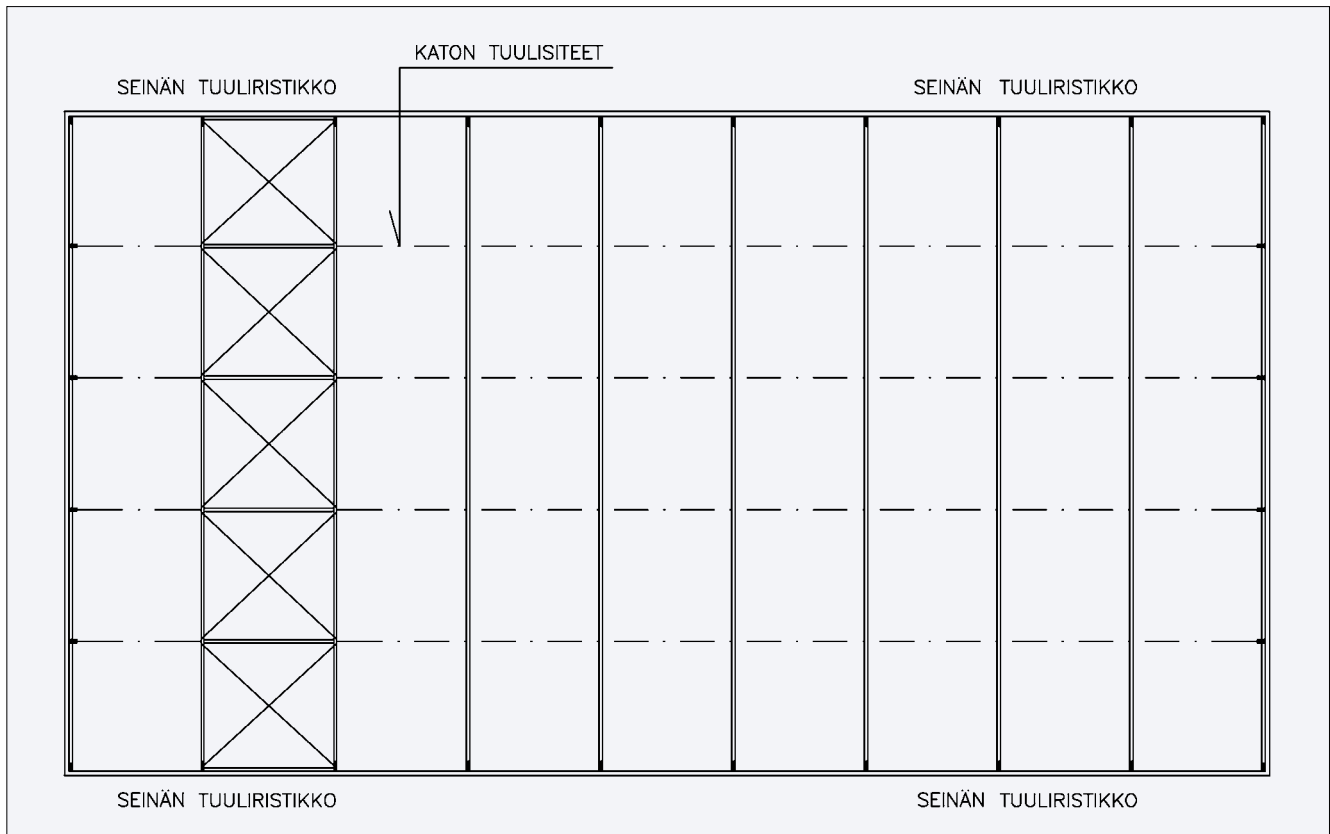
Pilarin ja pääkannattajan liitoksessa tarkistetaan tukipaine. Pilarin poikkileikkausta suurennetaan koko pilarin mitalla tai käytetään kannattajan alapintaan ankkuroitavaa teräsosaa, mikäli se kannattajan tukipaineen alentamiseksi on tarpeen. Vaihtoehtoisesti pilarin yläpäähän voidaan liimata ylimääräisiä lamelleja tarpeellinen määrä. Lamellit viistetään alapäästään esim 45 asteen kulmaan. Kaarikannattajan etuna on se, että syyn suuntaa kohtisuoraa tukipainetta voidaan korottaa kaaren lähtökulman mukaan: lähtökulmalla 30 astetta korotus on 27 % (GL32c).



Kuva 6.4 Päädyn tuulikuorman siirtäminen katon tuulisiteelle, pystyleikkaus. Tarvittaessa tuulisiteen putoaminen palotilanteessa estetään siteen alapuolisella puuklossilla.

### 6.2.3 Pilarin liitos pääkannattajaan

Pilari liitetään pääkannattajaan joko laattateräksillä tai nk. hankolaudoilla. Laattateräs on kooltaan esimerkiksi 100x8 mm ja hankolauta 45x195 mm liitoksen välittämistä voimista johtuen. Liitososat asennetaan liitoksen molemmin puolin siten, että liitoksella on riittävä kiertymäkyky. Liitososat ja kiinnikkeet mitoitetaan pilarin ja pääkannattajan väliselle vaakavoimalle. Liitos palonsuojataan tarvittaessa puuverhoilulla. Laattateräслиitoksessa kannattajan puoleisten reikien tulee olla soikeita ja kiinnityspulttien sijaita reiän yläreunassa kannattajan pään kutistumisen vuoksi. Painumavaran tulee olla aina vähintään 10 mm jo asennusvaran vuoksi.



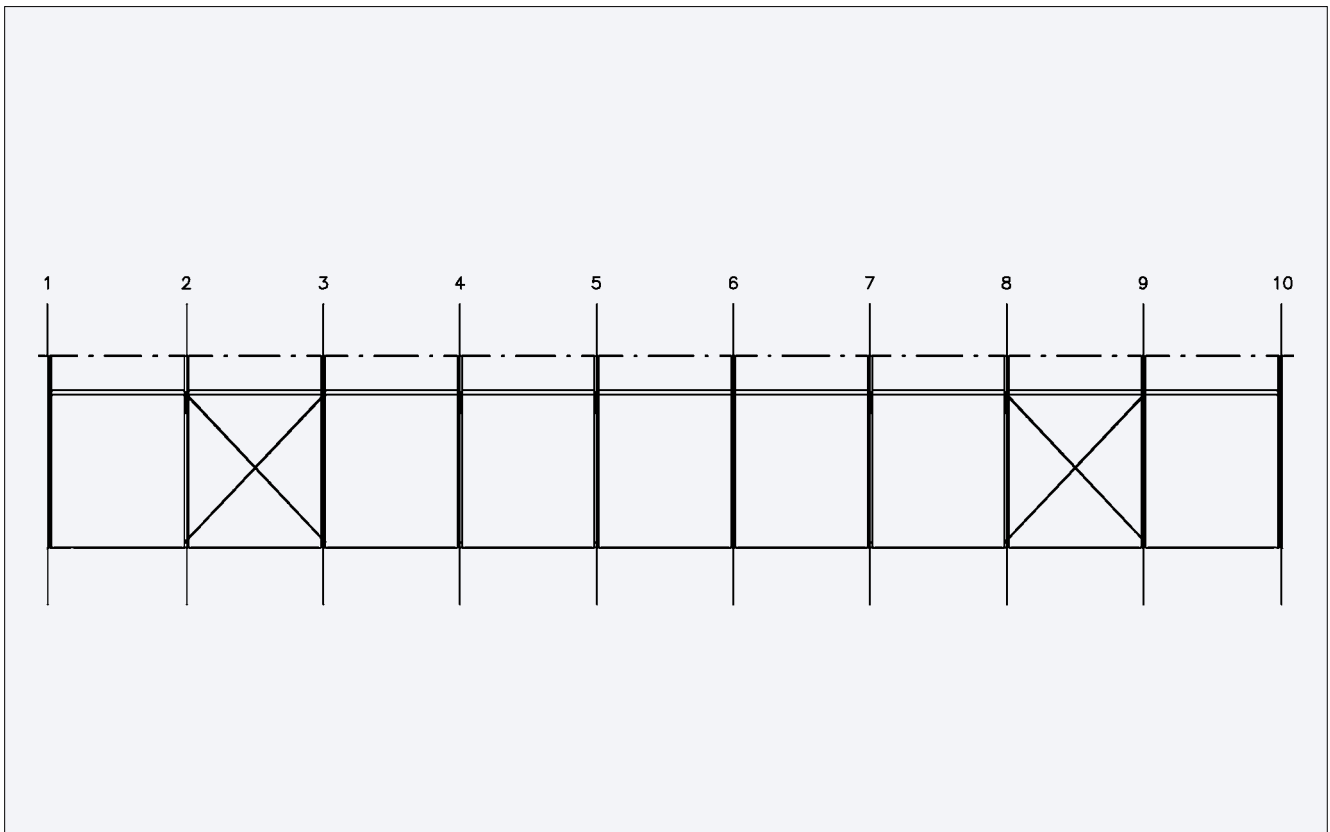
Kuva 6.5 Katon jäykistäminen ristikolla. Hallin päätyihin kohdistuva tuulikuorma siirretään katon tuuliristikolle joko kattorakenteen tai erillisten siteiden välityksellä. Siteet sijoitetaan samaan linjaan kuin ristikon puristussauvat. Puurunko voidaan jäykistää siten, että rungon toisessa päässä on katossa ja seinillä jäykistysristikot. Rungon toisessa päässä on vain seinissä pystyristikot, jotka estävät rungon sortumisen onnettomuustilanteessa, jossa varsinainen jäykistysristikko on menettänyt toimintakykynsä. Kattoelementtejä käytettäessä jäykistys voidaan hoitaa myös niin että vain hallin toisessa päädyssä on tuuliristikko ja toisen päädyn jäykistys hoidetaan kattoelementeillä.

### 6.3 Rungon jäykistäminen

Rungon jäykistyksen tehtävänä on siirtää runkoon kohdistuvat vaakavoimat perustuksille. Tällaisia vaakavoimia ovat tyypillisesti tuulikuormat ja esimerkiksi nosturiradan jarruvoimista aiheutuvat kuormat. Runko jäykistetään erikseen sen pituus- ja poikkisuunnassa. Vaakavoimat johdetaan suoraan mastopilareilla perustuksille tai siirretään ensin tasossa toimiville ristikko- tai levyrakenteille, josta kuormitus siirretään edelleen jäykistävälle pystyrakenteelle, joka on tyypillisesti tuuliristikko tai levyrakente (esimerkiksi vanerista).

Hallin jäykistyksessä voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi muita runkoon liittyviä betonirakenteita. Tällaisia ovat tyypillisesti betonirakenteiset välipohjat ja väliseinät sekä väestönsuojat. Jäykistyksen suunnittelussa on aina otettava huomioon myös rungon asennusaikainen jäykistys. Rungon jäykisteet tulisi sijoittaa rungon asennussuunnassa alkupäähän, jotta niillä voisi korvata ainakin osan asennusaikaisesta tuennasta. Asennusaikaisesta tuennasta laaditaan erillinen suunnitelma.

Kannattajien nurjahdus- ja kiepahdustuentavoimat tarkistetaan erikseen; näitä voimia ei viedä rakennuksen pystyjäykistykselle. Nurjahdus- ja kiepahdustuentavoimat määrittää kannattajan suunnittelija, tuentasysteemin suunnittelemisesta vastaa päärakennesuunnittelija.



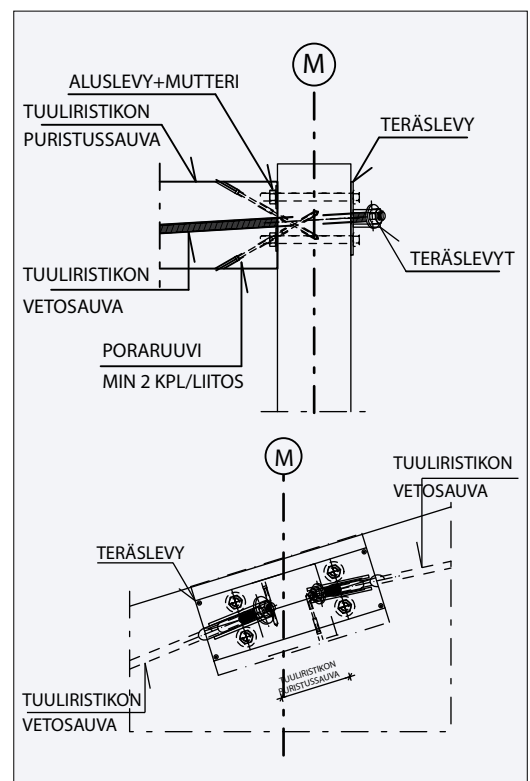
Kuva 6.6 Hallin pitkän sivun jäykistäminen ristikoilla. Ristikko voi olla terästä tai puuta tai puulla palosuojattua terästä.

### 6.3.1 Jäykistys hallin poikkisuunnassa

Poikkisuunnassa halli jäykistetään mastona toimivilla pääpilareilla. Tuulikuorma siirretään pääpilareille ulkoseinän ja katon rakenteilla. Menetelmän etuna on yksinkertaisuus ja selkeys sekä se, että jäykistys on heti valmis pilareiden asentamisen jälkeen. Haittana on mastopilareiden suurehko sivumitta. Toisaalta sivumitan merkittävä pienentäminen ei useinkaan ole mahdollista pääkannattajan tukipaineen vuoksi.

Vaihtoehtoisesti suurissa halleissa jäykistys voidaan tehdä pystysuuntaisilla tuuliristikoilla tai vinotuilla, jotka sijoitetaan sopiviin paikkoihin esimerkiksi noin 30–40 m välein. Menetelmän etuna on puumenekin minimoituminen ja hoikat, optimoidut pilarit. Haittana on ratkaisussa vaadittava katon jäykistäminen ja rungon asennusaikainen tuentatarve. Menetelmä on liitostekniikaltaan ja mitoitukseltaan mastojäykistystä selvästi vaativampi.

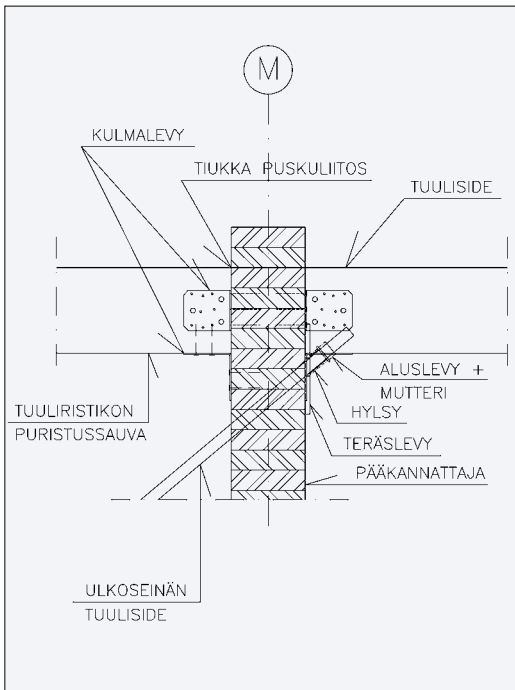
Hallin päädyt jäykistetään joko mastopilareiksi mitoitettavilla nurkkapilareilla tai pilareiden väliin asennettavilla vinotuilla.



Kuva 6.7 Katon tuuliristikon puristus- ja veto-sauvojen liitos pääkannattajaan, tasopiiirros.



Kuva 6.8 Kaarihallin katon tuuliristikon asennus käynnissä



Kuva 6.9 Seinän tuuliristikon siteen liitos pääkannattajaan, pystyleikkaus.

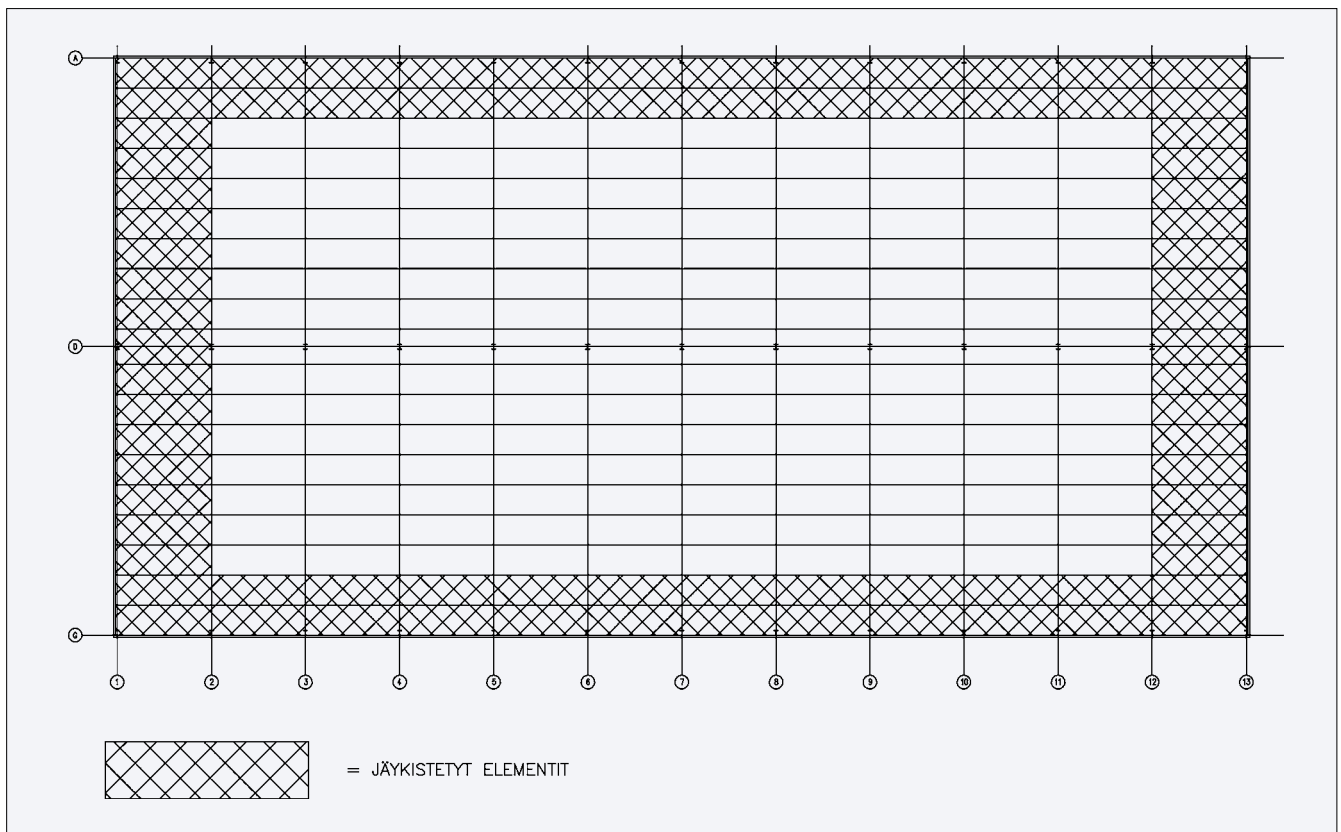
### 6.3.2 Jäykistys hallin pituussuunnassa

Hallin pituussuunnassa runko jäykistetään ulkoseinille sijoitettavilla tuuliristikkoilla, vinotuilla tai levyjäykistyksellä. Rakennuksen päätyihin kohdistuva tuulikuorma siirretään ensin palkkeina toimivilla tuulipilareilla katon päätypalkille ja perustuksille. Päätypalkilta kuormitus siirretään tuulisiteiden välityksellä esimerkiksi päädyistä lukien toisen kehäväliin kattoon sijoitetulle tuuliristikolle. Tuuliristikko välittää kuorman edelleen sivuseinille sijoitetuille pystyristikkoille. Palolta suojaamattomat pystytuet tulisi suunnitella ja asentaa hallin molempiin päihin.

Päädyn tuulipilarit on suositeltavaa mitoittaa jäykkäkantaisiksi rungon asennusaikaisen tuennan vuoksi. Jäykkäkantaisuus myös pienentää tuulipilarin yläpään tukireaktiota yli 30 %.

Monilaivaisessa hallissa pystysuuntainen tuuliristikko tai vinotuenta joudutaan asentamaan myös sisäpilarilijnjoille. Vaihtoehtoisesti sisäpilarilinjän ulkoseinään liittyvät pilarit suunnitellaan mastoksi tässä suunnassa.



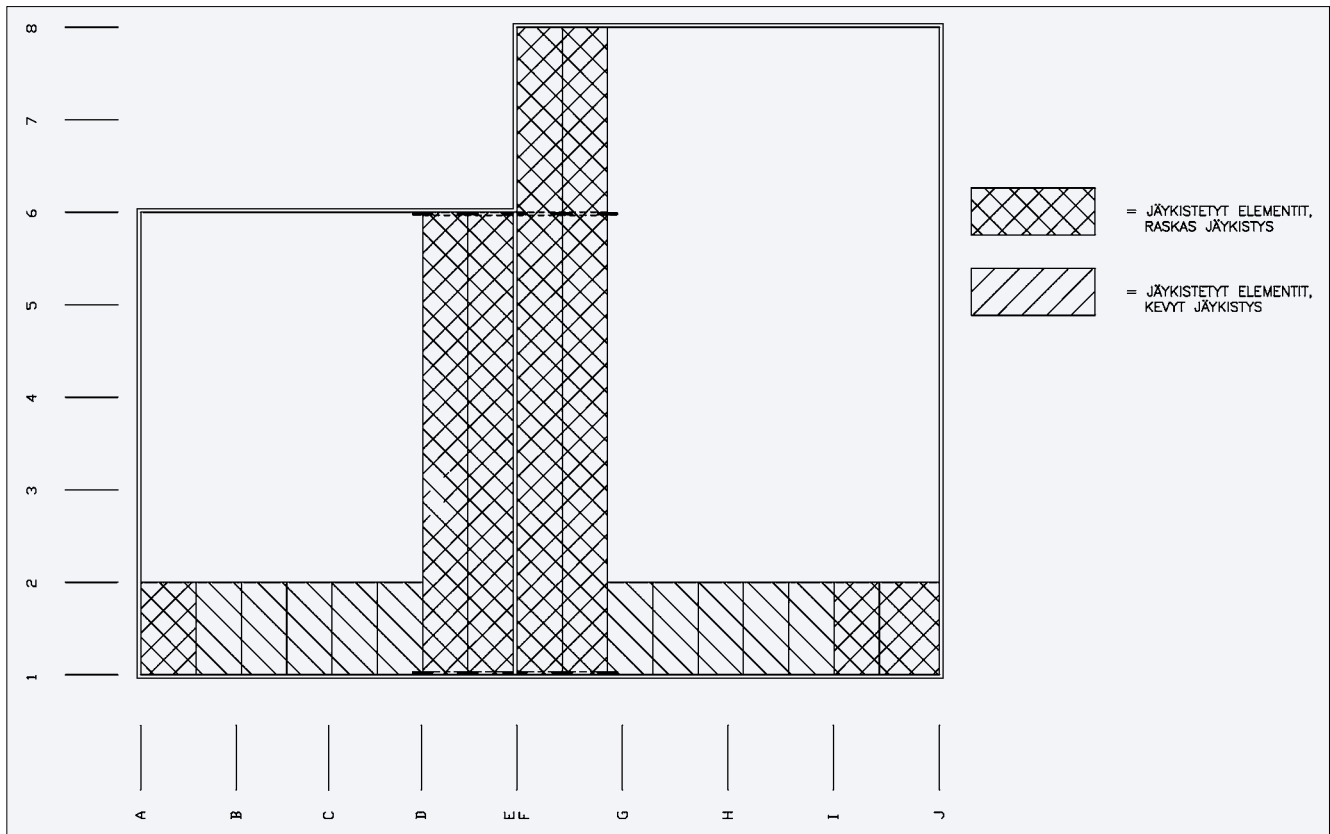


Kuva 6.10 Esimerkki suurehkon hallikohteen rungon jäykistämisestä kattoelementeillä.

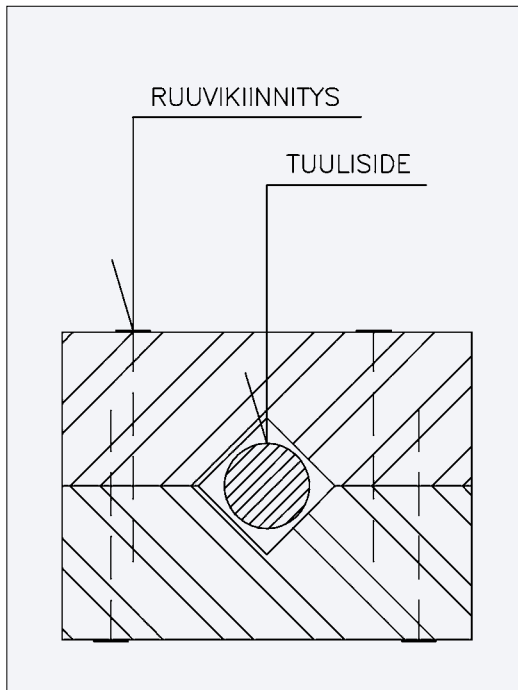
Matalat hallit voidaan jäykistää myös päätyjen tuulipilareilla, jotka mitoitetaan mastoiksi. Menetelmän etuna on helppous ja selkeys, haittana helposti suuri pilarin tukimomentti, joka vaatii suurehkon anturan pystykuorman ollessa tyypillisesti pieni. Haittana on myös se, että tuulipilarit vain harvoin voivat toimia aitoina mastoina, koska pääsääntöisesti niiden yläpään vaakasiirtymä on estetty. Tästä seuraa se, että tuulipilarit välittävät osan tuulikuormasta joka tapauksessa pääty-palkin kautta yläpohjarakenteelle, jonka on se jollakin tavoin siirrettävä edelleen. Ongelmaa voidaan pienentää tuulipilarin ylimitoituksella.



Kuva 6.11 Vinolaudoitusjäykistys



Kuva 6.12 Esimerkki eri tasoissa olevien kattojen jäykistämisestä kattoelementeillä.



Kuva 6.13 Teräksisen tuulisiteen palonsuojaus puulla, paloluokka R30.

### 6.3.3 Kattorakenteen hyödyntäminen jäykistyksessä

Katon rakennetta voi käyttää tuulikuormien siirtämiseen sekä rungon suunnassa että rungon poikkisuunnassa.

Rungon suunnassa kattorakenteelta edellytetään normaalivoimakestävyyttä ja katon liitoksilta leikkausvoimakestävyyttä. Yleensä puurunkoisissa kattorakenteissa tällaista kestävyyttä on riittävästi, koska tuulikuorman yhteydessä materiaalin ominaislujuus kerrotaan hetkellisen aikaluokan muunnoskerroimella  $k_{mod}$ , joka on esimerkiksi keskipitkään aikaluokkaan (lumi yms.) verrattuna 38 % suurempi rakennepuulle.

Rungon poikkisuunnassa tuulikuorman siirtäminen edellyttää katolta levyominaisuuksia. Katto tai sen osa voidaan mitoittaa levyksi vinolaudoituksella tai vanerilla.

Katon hyödyntäminen jäykistyksessä on edullista silloin, kun jäykistykseksi asetetaan palonkestovaatimus. Tavanomaisilla rakenteilla jäykistykseksi saadaan helposti vähintään R30-paloluokka. Jäykistyskuormia välittävät liitososat palonsuojataan tarvittaessa esimerkiksi puulla.

## 6.4 Palomitoitus

Suojaamattoman puurakenteen palomitoitus voidaan tehdä ns tehollisen poikkileikkauksen menetelmällä, jossa määritetään vaaditun palonkestoajan jälkeinen rakenteen kantava poikkileikkaus. Kaikkien palolta suojaamattomien pintojen oletetaan hiiltävän puumateriaalin mukaisella hiiltymisnopeudella. Ehjää poikkileikkauksesta poistetaan ensin tämä hiiltynyt osuus lisättyinä mitalla 7 mm. Jälkimmäinen mitta kuvaa hiiltyneen kerroksen viereistä puukerrosta, jolla ei oleteta olevan lujuutta eikä jäykkyyttä.

Tehollinen poikkileikkaus mitoitetaan palotilanteen mukaisille ominaiskuormille käyttäen materiaalille osavarmuusluvun ja muunnoskerroimen arvoa 1,0. Lisäksi materiaalin ominaislujuutena voidaan käyttää kertoimella  $k_{fi}$  korotettuja arvoja. Kerroin  $k_{fi}$  on sahatavaralla 1,25, liimapuulla 1,15 ja kertopuulla 1,1.

Hiiltymisnopeustarkastelua käytetään myös palolta suojaavan puun paksuuden mitoittamisessa. Koska esimerkiksi sahatavaran hiiltymisnopeudeksi oletetaan 0,8 mm/min, saadaan suojaavan rakenteen paksuudeksi eri palonkestoluokissa:

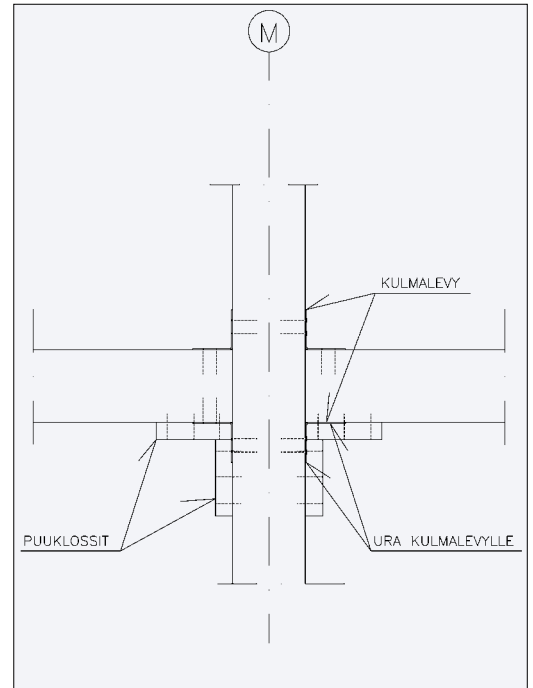
- EI15 => 12 mm
- EI30 => 24 mm
- EI60 => 48 mm
- EI90 => 72 mm
- EI120 => 96 mm jne.

Kerto- ja liimapuun hiiltymisnopeudeksi oletetaan 0,7 mm/min.

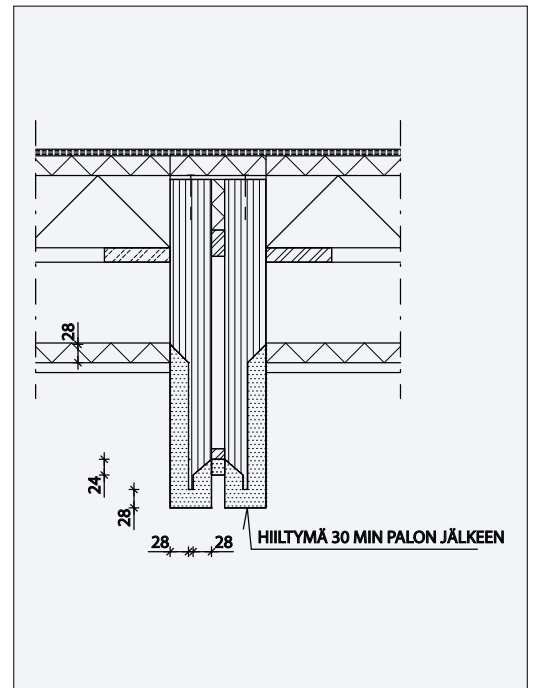
Palotilanteessa käytetään mm seuraavia mitoituskuormia:

- Asuintilat 0,6 kN/m<sup>2</sup>
- Toimistotilat 0,75 kN/m<sup>2</sup>
- Kokoontumistilat 0,75- 1,8 kN/m<sup>2</sup>
- Lumikuorma 40 % ominaiskuormasta, kun  $s_k < 2,75$  kN/m<sup>2</sup>, muulloin 50 % (toissijaisena kuormana 20 % ominaiskuormasta).
- Tuulikuorma 20 % ominaiskuormasta (vain määrävänä kuormana, muulloin 0)

Puurungon ja tarvittaessa muiden puurakenteiden palomitoitus tehdään siis hiiltymisnopeustarkasteluna. Tavanomaisissa ratkaisuisa puurakenne kestää hyvin R30-luokan mukaisen rasituksen ilman eristystoimenpiteitä.



Kuva 6.14 Korkean pilarin nurjahdussiteen liitoksen palonsuojaus puulla.



Kuva 6.15 Puuelementin kertopuisten vasojen palonkestävyyden mitoitus tehollisen poikkileikkauksen menetelmällä, paloluokka R30.

R30-luokkaa suuremmat paloluokkavaatimukset täytetään puurakenteen mittoja suurentamalla. Rungon palomitoituksessa tarkistetaan mahdollisen epäkeskisen hiiltymisen vaikutus puristetun sauvan mitoitukseen ja taivutetun rakenteen kiepahdustuennan palonkestävyys. Rungon jäykistys mitoitetaan rungon palonkestovaatimuksen mukaan

Liitososat palonsuojataan pääsääntöisesti puuverhouksilla. Selkeät, suurimittaiset teräspinnat (kuten vetotangot) voidaan myös palonsuojamaalata.

Liitoksissa voi myös hyödyntää rst-liitosten parempaa palonkestävyyttä, jolloin säästytään ylimääräisiltä liitosteräksien palonsuojauksilta. *VTT:n julkaisu: Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitosten palonkestävyys ISBN 951-38-6589-4 (2005).*

## 6.5 Kosteusmitoitus

Puurakenne suunnitellaan ja rakennetaan siten, että puuta ympäröivän ilman kosteuspitoisuus on aina enintään 85 %, eli puu on kastumiselta suojattu. Tällöin puun kosteuspitoisuuden vaihtelu ei käytännössä vaikuta puun lujuusarvoihin eikä puun pituuden tai paksuuden muutoksia tarvitse ottaa huomioon.

Puurakenne suojataan kosteudelta ensisijassa rakenteellisesti: puun kastuminen estetään erottamalla puu esimerkiksi perusrakenteista kosteuden kulun katkaisevalla materiaalilla (esimerkiksi kumibitumikermikaista) tai rakentamalla puurakenteen ja muun rakenteen väliin tuulettuva ilmarako. Puurakenteen liittymät suunnitellaan siten, että puun kuivuminen on mahdollista kaikissa tilanteissa. Mikäli on olemassa riski, ettei kuivuminen ole aina mahdollista, käytetään sellaisissa kohdissa kyseessä olevan riskiluokan mukaan käsiteltyä puuta.

Puun rakenteellisessa mitoituksessa säältä suojaus otetaan huomioon käyttöluokkien muodossa. Puurakenne jaetaan kolmeen käyttöluokkaan: 1 (sisäkuiva, RH<65 %), 2 (ulkokuiva, RH<85 %) ja 3 (kosteaa/märkä tai märkä (RH>85 %) puuta ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden perusteella. Suojauksella – tai sen puutteella – on käytännössä merkitystä vain, kun rakenne on kostea tai märkä, RH>85%, eli rakenne on ulkona ilman suojausta tai veden välittömän vaikutuksen alaisena. Puun pintäkäsittely on tarpeen, vaikka olosuhteilla ei olisikaan vaikutusta rakenteelliseen mitoitukseen.



Kuva 6.16 Pirkkahallin rungon ja katon asennus käynnissä

Ulkona säälle alttiiden rakenteiden mitoituksessa otetaan huomioon kosteusluokan mukaiset kertoimet ja puun kosteusliikkeet. Puun kosteuspitoisuudesta johtuva muodonmuutos (turpoaminen – kutistuminen) on kosteuspitoisuuden (p-%) muutoksen yksikköä kohti keskimäärin:

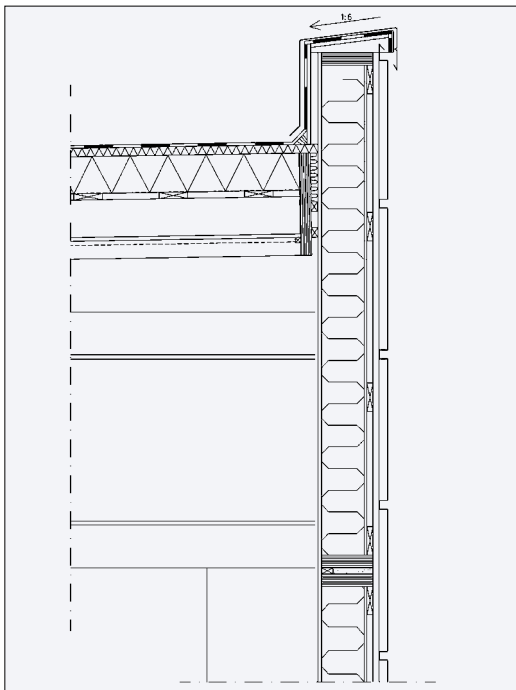
- syyn poikkisuunnassa noin 0,133 %
- syyn suunnassa noin 0,013 %.

Puun kosteusmuodonmuutokset loppuvat, kun puun kosteuspitoisuus on noin 30 p-%, eli kun puun solujen seinämät ovat saavuttaneet kyllästymispisteen. Puun syyn suuntainen kosteusmuodonmuutos on siis enintään noin 2,7 mm/m kun kuiva puu (kosteuspitoisuus noin 10 p-%) kastuu täysin märäksi. Vastaava syyn poikkisuuntainen turpoama on enintään noin 2,7 mm/100 mm.

Puunsuoja-aineilla käsiteltyjen puutuotteiden yhteydessä tulee käyttää rst-liittimiä ja liitososia, jos rakenne on pitkäaikaisesti käyttöluokan 3 olosuhteissa. Lisäksi tulee huomioida että jännityskorroosiovaaran vuoksi uimahallin sisäilman kanssa kosketuksissa olevissa puurakenteiden liitoksissa ja vetotangoissa ei saa käyttää tavallisia ruostumattomien terästen laatuja. Lisäksi maatalouden kotieläinrakennuksien sisällä olevien puurakenteiden metalliliittimien korroosiosuojaustarve tulee ottaa huomioon. Suolaisen veden kanssa olevien liitosten teräsosien laatu tulee myös tarkistaa. *RIL:n julkaisu RIL 205-1-2007 kohta 4 Säilyvyys.*



Kuva 7.1 Seinäelementin asennus



Kuva 7.8 Räystäysleikkaus, tuulettumaton katto.

## 7 SEINÄ- JA KATTORAKENTEET

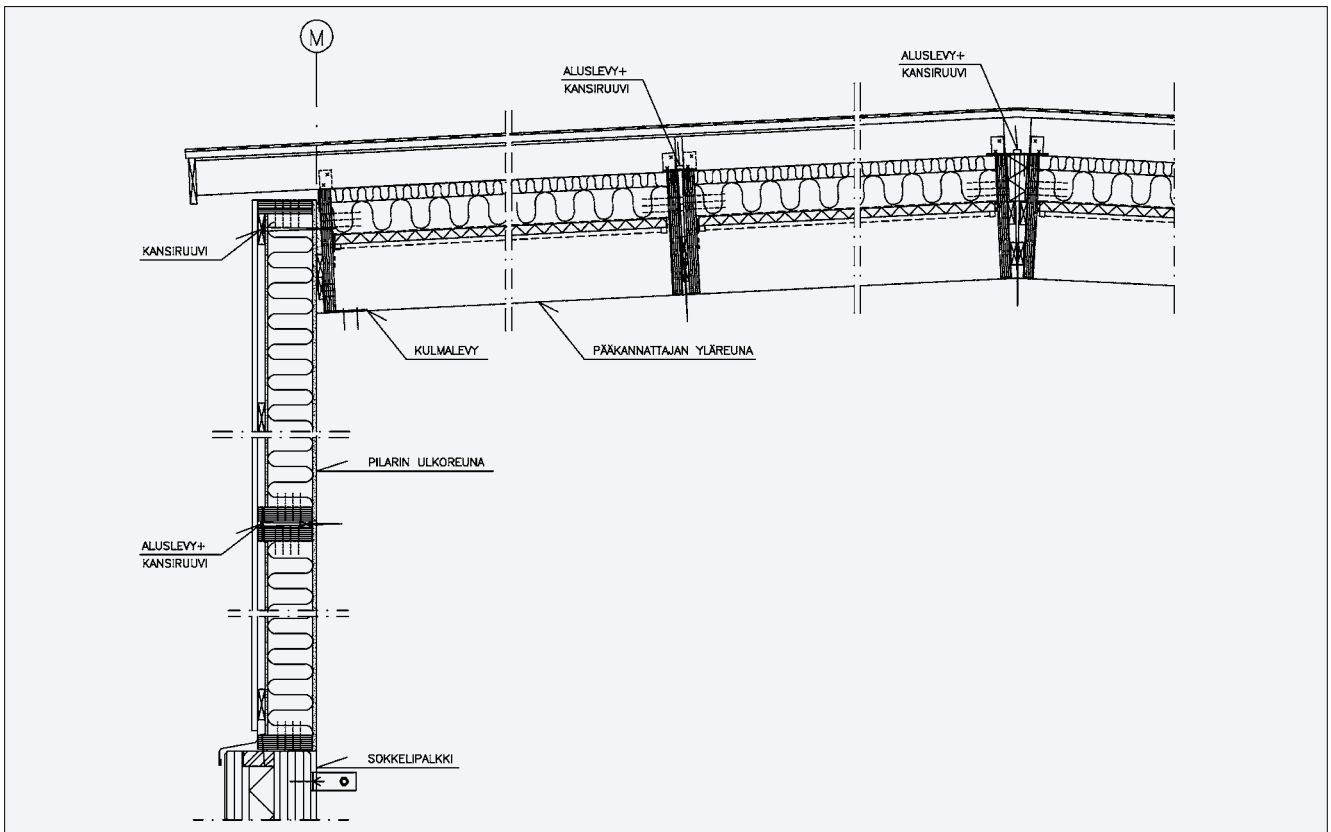
Puuhallin seinät ja katot voidaan rakentaa paikalla tai elementeistä. Paikalla rakentaminen on työvaltaista ja vaativaa; työtasojen puute ja sään vaikutus heikentävät työn tuottavuutta. Lisäksi paikalla rakennettaessa päädytään tiheämpään rungon k-jakoon ja/tai paksumpaan yläpohjan rakenteeseen liitostekniikan helpottamiseksi. Rungon asennusaikainen sääsuojaus ja tuenta ovat elementtirakentamista vaativampia ja työläämpiä.

Elementtirakentamisen etuja ovat:

- rungon harvempi k-jako (=> vähemmän pilareita, kannattajia, anturoita ja rakenteiden välisiä liitoksia)
- nopeus (puurunko voidaan suojata valmiilla katto- ja seinärakenteilla nopeasti, rakennusajan lyheneminen)
- kerralla valmis seinä ja katto (erillistä sekundääripalkistoa ei tarvita, elementeissä valmiit pinnat ja varusteet)
- elementtien pinnoitteiden ja ominaisuuksien muuntelu helppoa (esimerkiksi lämmöneristävyyden lisääminen)
- telinetöiden väheneminen (elementissä valmiit pinnat, kattoelementeissä esimerkiksi räystäät valmiina)
- asennus ei aseta rajoituksia rakennusajankohdalle (asennus mahdollista myös talvella)
- työvoimatarpeen väheneminen työmaalla
- laatu- ja työvirheiden väheneminen (rakenteet tehdään säältä suojassa)
- materiaalihukan ja materiaalitarpeen väheneminen työmaalla.

Lisäksi elementtirakenne voidaan helposti mitoittaa runkoa jäykistäväksi rakenteeksi, jonka palonsuojaus voidaan säätää esimerkiksi jäykistystä verhoavalla levytyksellä tai materiaalien paksuuksilla. Elementteihin voidaan asentaa valmiiksi myös jälkikäiunta-aikaa lyhentävä verhous tai rakenne.

Katon ja seinien tuuliristikoiden ja -siteiden asentamisen vuoksi pilarirungon tehokas k-jako on 6–8 m ja päätypilareiden 5–8 m. Pääpilarivälejä tulisi olla kolmella jaollinen määrä ja päätypilari- välejä kahdella jaollinen määrä.



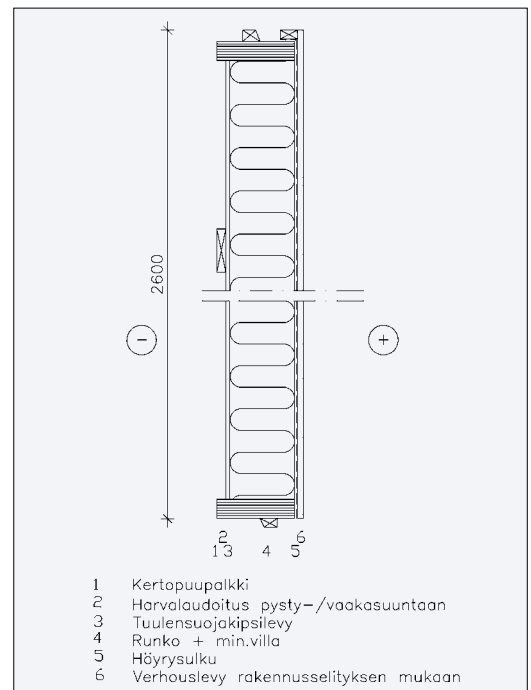
Kuva 7.3 Esimerkki elementtirakenteen liitoksista, pystyleikkaus hallin pitkältä sivulta.

## 7.1 Seinäelementti

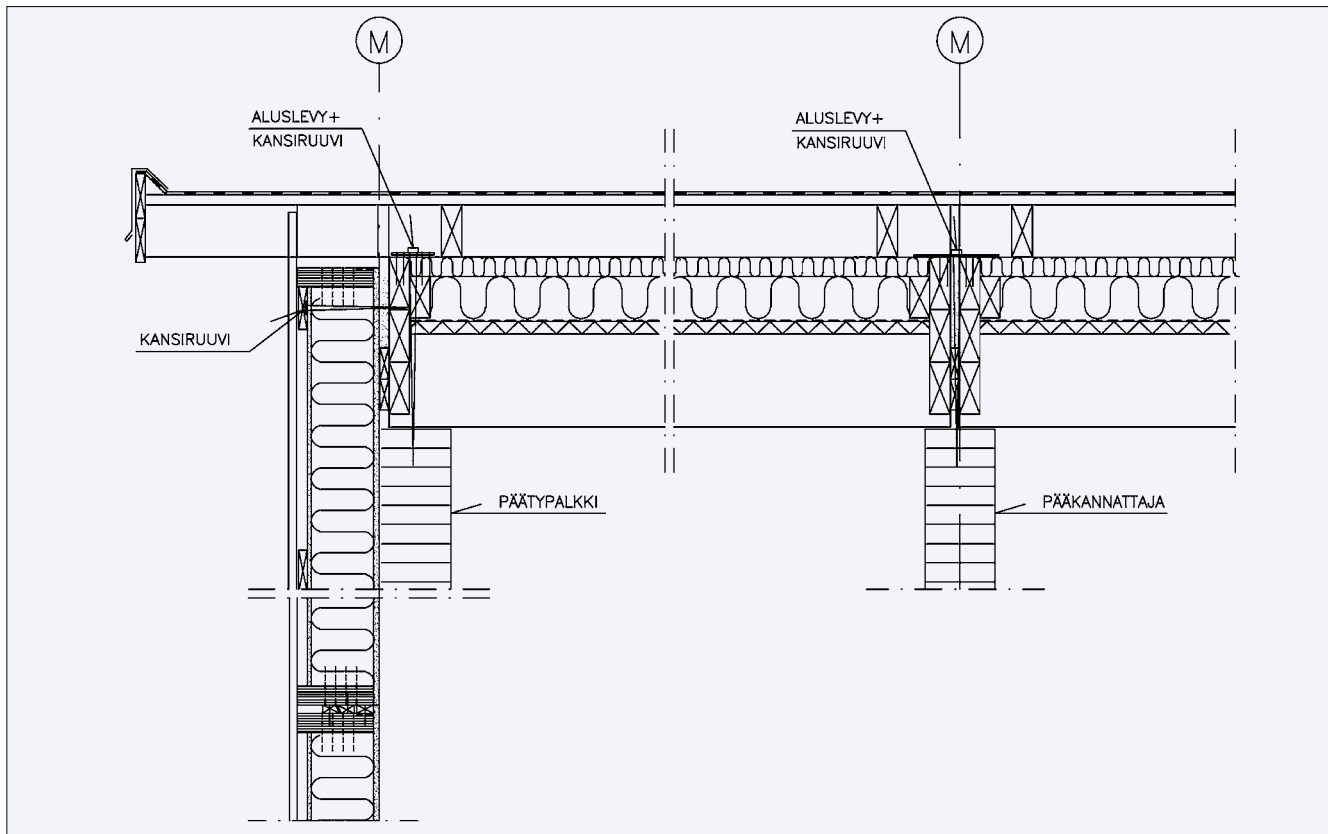
Seinäelementit asennetaan pääsääntöisesti vaakasuuntaan; elementin tavanomainen jänneväli on 4,8–10 m. Elementit tehdään kaksi- tai kolmiaukkoisiksi. Elementin pituus on enintään 16 m ja leveys 2,4–3,0 m.

Elementin kantavat palkit ovat kerto- tai liimapuuta. Kantavien palkkien väliin asennetaan sahatavarapalkkisto k600-jaolla. Palkiston sisäpintaan asennetaan verhouslevy ja mineraalivillaeeristeen suojaksi ulkopintaan tuulensuojalevy.

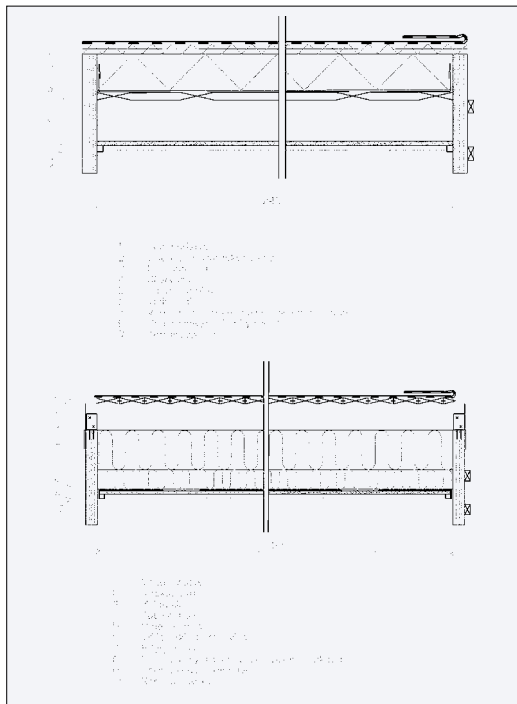
Elementin U-arvoa voidaan säätää helposti eristeen paksuutta muuntamalla.



Kuva 7.2 Esimerkki seinäelementin rakenteesta ilman julkisivuverhousta.



Kuva 7.5 Esimerkki elementtirakenteen liitoksista, pystyleikkaus hallin päädyssä.



Kuva 7.6 Esimerkki kattoelementistä: tuulettumaton ja tuulettuva elementti.

## 7.2 Kattoelementti

Kattoelementit asennetaan hallin rungon suuntaisesti. Elementit suunnitellaan kolmiaukkoisiksi, poikkeustapauksissa kaksi- tai yksiaukkoisiksi. Elementin suurin pituus on noin 26 m ja vakioleveys 2,4–2,5 m. Sovituselementtien leveys valitaan tilanteen mukaan.

Elementtien kantavat palkit ovat kerto- tai liimapuuta. Kantavien palkkien väliin asennetaan sahatavarapalkisto k600-jaolla. Palkiston alapintaan asennetaan verhouslevy (esimerkiksi akustolevy), palonsuojauslevy (esimerkiksi kipsilevy tai vaneri) tai jäykiste (esimerkiksi vaneri).

Lämmöneristeenä on mineraalivilla tai polyuretaani. Kattoelementti voidaan valmistaa tuulettavana (ulkopuolinen vedenpoisto) tai tuulettumattomana (sisäpuolinen vedenpoisto).

Kattoelementtinä voidaan käyttää myös kertopuista ripalaattaa, joka voi olla lämmöneristetty tai -eristämätön. Elementin jänneväli voi olla yksiaukkoisena jopa yli 9 m. Ripalaattaelementin suositeltava maksimipituus on 12 m ja suositusleveydet 900, 1200, 1800 ja 2500 mm.





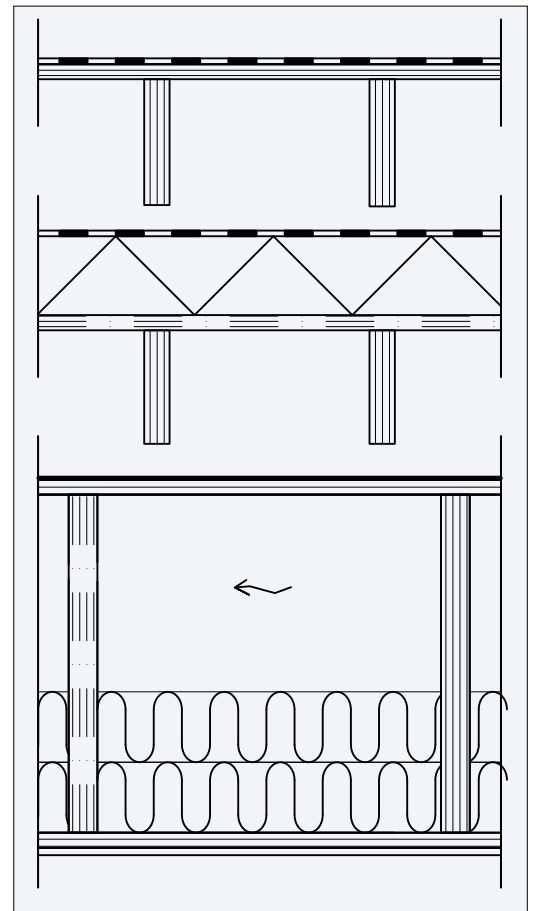
Kuva 7.7 Hartwall-areenan kattoelementtien asentamista

### 7.3 Elementtien toimitus ja asennus

Elementit pakataan tehtaalla muovilla käärittyihin kuljetuspuihin. Pakkaus suojaa elementtejä lialta ja kastumiselta sekä kuljetuksen että välivarastoinnin aikana.

Elementit nostetaan kuormasta kokonaisina nippuina välivarastoon, jonka tulisi sijaita mahdollisimman lähellä asennuspaikkaa siirtojen välttämiseksi. Elementtien välivarastointipaikan tulee olla tasainen ja tiivistetty.

Kattoelementtien tavallinen asennusnopeus on noin 400– 600 katto-m<sup>2</sup>/päivä ja seinäelementtien 150–200 seinä-m<sup>2</sup>/ päivä. Asennuksessa pyritään yhtäjaksoisuuteen muun muassa säärasitusten vaikutuksen vähentämiseksi.



Kuva 7.4 Kertopuinen ripalaattakattoelementti, lämmöneristämätön ja -eristetty, sekä veden- ja lämmöneristetty kotelolaattaelementti.

## 8 ASENNUSSUUNNITELMA

Asentamisesta laaditaan asennussuunnitelma, jossa otetaan kantaa asennusjärjestykseen ja väliaikaisten rungon tukien määrään, laatuun ja sijoitukseen. Suunnitelmassa annetaan ohjeet myös tukien mahdollisesta kiristämisestä ja väliaikaisten tukien poistamisesta. Asennussuunnitelma tulee laatia Valtioneuvoston asetuksen N:o 578 (asetus elementtirakentamisen työturvallisuudesta) mukaisesti.

Asennussuunnitelmassa esitetään myös asennettavien runkosien nostotapa ja nostokohdat (erityisesti ristikot ja kaaret). Rungon osat sidotaan välittömästi niiden asentamisen jälkeen jäykistettyyn runkoon jäykistysuunnitelman mukaisesti.

Asennussuunnitelman laatii asennusurakoitsija yhdessä rungon suunnittelijan kanssa. Suunnitelman hyväksyy rakenteiden pääsuunnittelija.

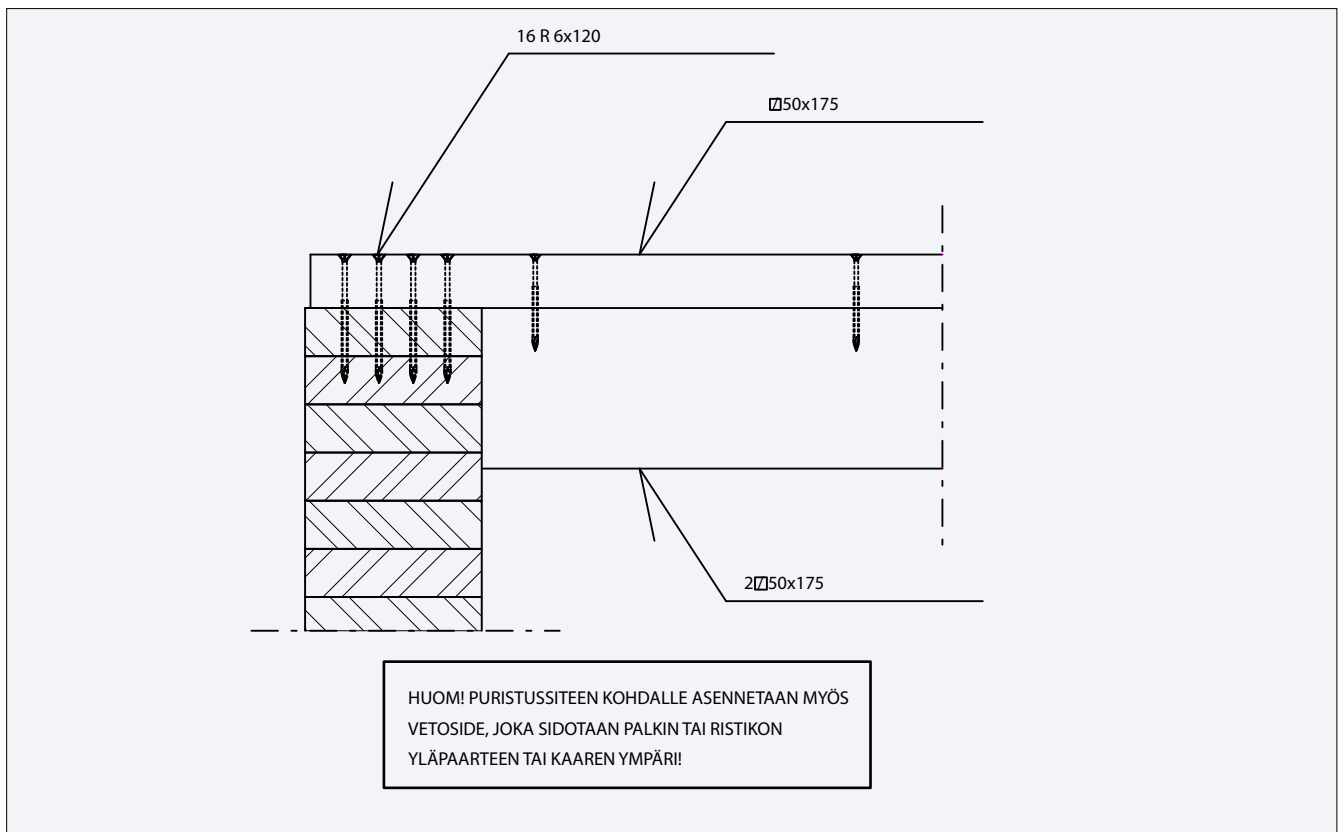
Asennusaikainen tuenta liitoksineen mitoitetaan 75 % tuulikuorman mitoitusravosta. Hallin katon tuulisiteiden tyyppi ja sijainti esitetään katon rakennepiirustuksessa tai erillisessä kaaviossa.

### 8.1 Asennuksessa noudatettavia periaatteita

Asennus aloitetaan rakennuksen päädyistä. Mikäli päädyn tuulipilarit ovat nivelkantaisia (esimerkiksi laattateräsluotto), tuetaan tuulipilarit väliaikaisesti vinotuilla niiden molemmiin puoliin. Vinotuet voivat olla esimerkiksi sahatavarapalkkeja, jotka on sidottu maahan lyötyihin tolppiin tai muihin kiinteisiin rakenteisiin.

Asennuspäästä lukien ensimmäiseen tai toiseen kehävälisiin sijoitetaan rungon jäykistysristikot sekä kattoon että ulkoseinille. Tuuliristikoiden asentamisen jälkeen muu edelleen asennettava runko tuetaan ristikkoon asennusaikaisilla ja/tai lopullisilla tuulisiteillä. Jos hallin kattoa käytetään hyväksi tuulikuormien siirtämisessä, käytetään asennusaikaisia siteitä, kunnes katto on asennettu ko. alueille.

Katon ja seinien tuuliristikoiden ja -siteiden asentamisen jälkeen päädyn väliaikaiset tuennat voidaan poistaa. Samoin hallin ulkoseinien ja katon asentaminen voidaan aloittaa.



Kuva 8.1 Katon väliaikaisen tuulisiteen sidonta pääkannattajaan.

Hallin kattoon asennetaan aina kaksi väliaikaista tuulisidettä: puristus- ja vetoside. Siteet asennetaan katon tuuliristikon puristussauvojen kohdille. Väliaikaisena puristussiteenä käytetään esimerkiksi sahatavarapalkeista naulaamalla koottua T-mallista rakennetta (esimerkiksi 2x50x175 mm), jonka päät kiinnitetään kansiruuveilla pääkannattajaan, ja joiden uuma asennetaan tiukasti pääkannattajien väliin. Kiinnitys pääkannattajaan voidaan hoitaa myös nauloilla, mutta ruuvit mahdollistavat tuulisiteen siirron myöhemmin. Tämän lisäksi peräkkäiset pääkannattajat sidotaan samoilla kohdilla toisiinsa esimerkiksi kiristettävillä nostoliinoilla. Nostoliina asennetaan koko palkin tai ristikon yläpaarteeseen tai kaaren ympäri. Nostoliinaa ei tule sitoa pystysauvaan tai ripustustankoon liitoksen vaurioitumisen ja siteen valumisen estämiseksi.

Väliaikaiset siteet voidaan poistaa vasta katon asentamisen jälkeen.

Koko rungon asentamisen ajan runko tulee olla tuettuna asennusaikaisen mitoituskuorman mukaisesti. Runkoa ei saa jättää tukematta tai tukea puutteellisesti edes taukojen ajaksi.

## 9 HALLIESIMERKIT

### 9.1 Liimapuurungot

Seuraavassa esitetään kolmen yksiläiväisen hallityypin alustavat runkomitat ja pilareiden kiinnityspulttien koot neljällä eri karakteristisella pystykuormalla ja neljällä hallin leveydellä. Halliesimerkeistä kaksi on pilarirunkoista, pääkannattajana on toisessa harjapalkki ja toisessa vetotangollinen kaari. Kolmantena esimerkkinä on kaarirunkoinen halli. Pilarirunkoisten hallien vapaa korkeus on noin 6 m. Rungon mitoituksessa lumikuorman ominaisarvoksi katolla on oletettu  $2,2 \text{ kN/m}^2$  ja pysyväksi kuormaksi  $0,5 \text{ kN/m}^2$ . Pysyvä kuorma muodostuu katon omasta massasta ja mahdollisesta ripustuskuormasta. Kannattajan oma massa on lisätty erikseen pysyvään kuormaan. Tuulikuorma on oletettu maastoluokan III (kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä) mukaiseksi.

Kannattajien kiepahdus on estetty kattorakenteella vähintään 2,4 m välein. Kannattajan (keskimääräisen) korkeuden suhde sen leveyteen on enintään kahdeksan. Pilarirunkoisissa esimerkeissä kannattajan jänneväliksi on oletettu sitä kannattavien pilareiden k/k -etäisyys. Pilarin leveys on valittu kannattajan mukaiseksi. Pilarin nurjahdus ulkoseinän suunnassa on estetty. Pääpilarin yläreuna on kuuden metrin korkeudella lattiasta. Pilarin peruspultit on valittu pilarin tukimomentin ja pystykuorman perusteella, pultin suurin koko on M30 (esim HPM30) ja enimmäismäärä 2 kpl/reuna. Pitkillä jänneväleillä peruspultit mitoittavat käytännössä pilarin koon.

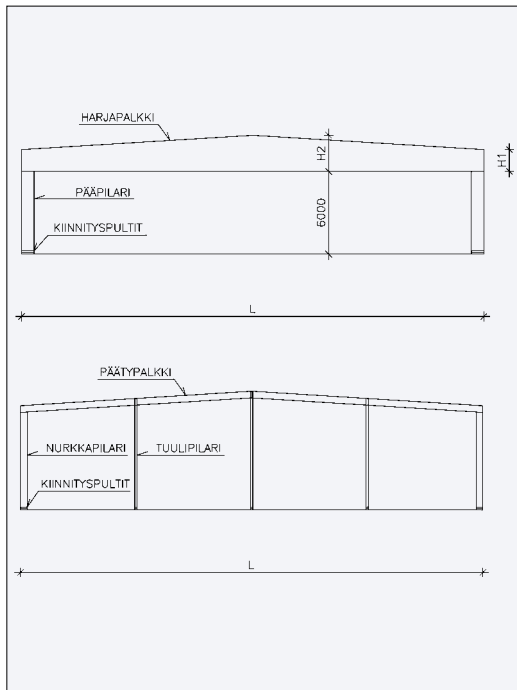
Hallit on jäykistetty pää- ja nurkkapilareilla sekä ulkoseinälinjoille sijoitetuilla tuuliristikoilla. Tuulipilarit on tuettu jäykkäkantaisesti, pilareiden yläpää on tuettu kattoon sijoitetulla tuuliristikolla. Kattoelementin jatkuvuudesta mahdollisesti johutuva lisäkuorma on otettava erikseen huomioon. Kannattajan ja pilarin välinen tukipaine on tutkittava erikseen. Tämä siksi, että liitoksen rakennesuunnittelu voidaan tehdä monella eri tavalla. Tukipaineen mitoittaminen pilarin sivumittaa kasvattamalla suurentaa taulukoissa esitettyjä pilarikokoja.

#### 9.1.1 Pilari-palkkirunko

Hallin liimapuiset harjapalkit on kannatettu liimapuisilla pilareilla, rungon k/k-jako on tasaisella kokonaiskuormalla  $2,7 \text{ kN/m}^2$   $4,8\text{--}8,4 \text{ m}$ . Harjapalkin yläreunan kaltevuus on 1:16. Palkin esikorotukseksi on oletettu  $L/500$ . Päädyssä on kolme tuulipilaria, joiden k/k-jako on  $4,0\text{--}7,0 \text{ m}$  hallin leveyden mukaan.



Kuva 9.1 Pilari-palkkirunkoisen varastohallin asennus käynnissä.



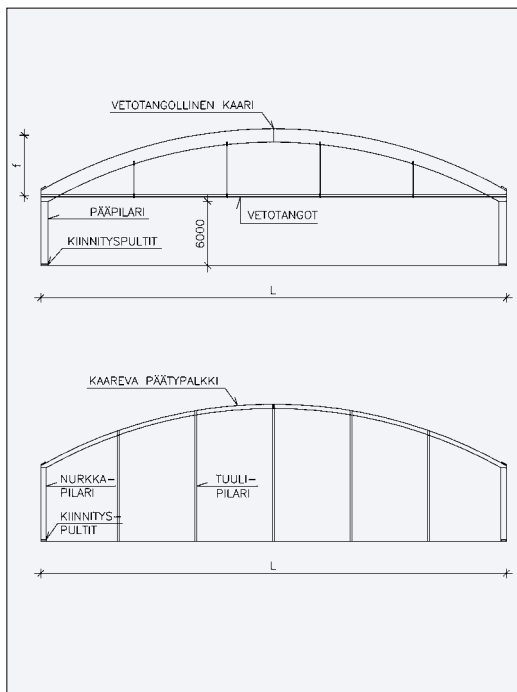
Kuva 9.2 Pilarirunko, jossa harjapalkkikannattaja.

Kuormitus [kN/m]	Leveys [m]	Palkki BxH1xH2	Päätypalkki BxH	Pääpilarit BxH, M	Nurkkapilarit BxH, M	Tuulipilarit BxH, M
19	16	165	140	165	165	140
		675	225	450	315	225
		1175		24	30	20
19	20	165	140	165	165	140
		855	270	450	315	225
		1480		24	30	24
19	24	190	140	190	165	140
		945	315	450	315	225
		1695		24	30	24
19	28	215	165	215	165	140
		1035	315	450	360	270
		1910		30	30	24
23	16	165	140	165	165	140
		810	225	495	360	225
		1310		30	30	20
23	20	190	140	190	165	140
		945	270	450	315	225
		1570		30	30	24
23	24	190	140	190	165	140
		1125	315	495	360	270
		1875		30	30	24
23	28	215	165	215	165	140
		1215	360	495	360	270
		2090		30	30	24
28	16	165	140	165	165	140
		900	225	495	405	225
		1400		30	30	20
28	20	190	140	190	165	140
		1035	270	495	405	225
		1660		30	30	24
28	24	215	140	215	165	140
		1170	315	495	405	270
		1920		30	30	24
28	28	240	165	240	165	140
		1305	360	495	405	270
		2180		30	30	24
33	16	190	140	190	165	140
		900	225	540	405	225
		1400		30	30	20
33	20	190	140	190	165	140
		1170	315	540	450	225
		1795		30	30	24
33	24	215	165	215	165	140
		1305	315	540	450	270
		2055		30	30	24
33	28	265	165	265	165	140
		1395	405	495	450	270
		2270		30	30	24

Mitoitustaulukko 9.1 Pääkannattajana lp-harjapalkki. Kuormitus 19/23/28/33 kN/m ( $=p_d$ ); hallin leveys 16/20/24/28 m; taulukossa tulosteena pääkannattajan leveys (B), päätykorkeus (H1), keskikorkeus (H2); päätypalkin mitat (B, H); pää-, nurkka- ja tuulipilarin mitat (B, H) ja peruspultin koko (M). Samoilla äärimitoilla voidaan arvioida kertopuurlinjan tilantarvetta.



Kuva 9.3 Pilari-kaarirunkoinen jäähalli.



Kuva 9.4 Pilarirunko, jossa vetotangollinen kaarikannattaja.

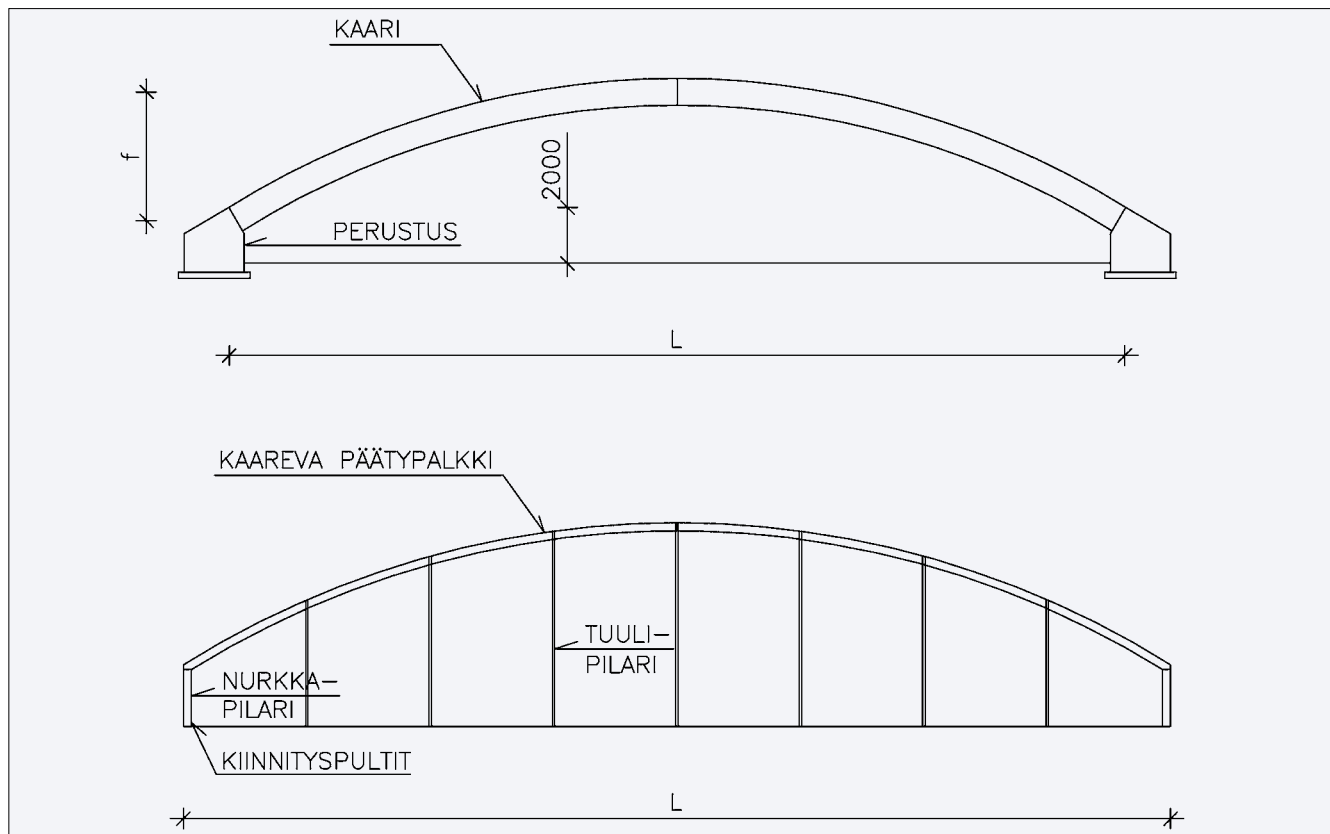
### 9.1.2 Pilari-kaarirunko

Liimapuupilareihin tukeutuvien vetotangollisten liimapuukaarten k/k-jako on tasaisella kokonaiskuormalla  $p_d=2,7 \text{ kN/m}^2$  4,8–8,4 m. Kaaren vetotangot ovat harjaterästä A500HW. Tankojen liitoksissa on tyssäystekniikalla tehty kierrejatkos, joka ei pienennä tangon tehollista poikkileikkausta.

Päädystä on viisi tuulipilaria, joiden k/k-jako on 5,3–7,3 m hallin leveyden mukaan.

Kuormitus [kN/m]	Jänneväli [m]	Kaari BxH	Vetotangot	Päätypalkki BxH	Pääpilarit B xH, M	Nurkkapilarit BxH, M	Tuulipilarit BxH, M
19	32	165	2x32	140	165	165	165
		900		270	540	360	315
					30	30	30
19	36	165	4x25	140	165	165	165
		990		315	585	405	360
					30	30	30
19	40	165	4x32	165	165	165	165
		1125		315	585	405	405
					30	30	30
19	44	190	4x32	165	190	165	165
		1170		360	585	450	450
					30	30	30
23	32	165	4x32	165	165	165	165
		1035		270	630	450	315
					30	30	30
23	36	165	4x32	140	165	165	165
		1125		315	630	450	360
					30	30	30
23	40	190	4x32	165	165	165	165
		1170		360	675	495	405
					30	30	30
23	44	190	4x32	165	190	165	165
		1305		360	675	495	450
					30	30	30
28	32	165	4x32	165	165	165	165
		1080		315	675	495	315
					30	30	30
28	36	165	4x32	165	165	165	165
		1215		315	675	495	360
					30	30	30
28	40	190	4x32	165	190	165	165
		1260		360	720	540	405
					30	30	30
28	44	190	6x32	165	190	165	165
		1395		405	765	585	450
					30	30	30
33	32	165	4x32	165	165	165	165
		1170		315	720	540	360
					30	30	24
33	36	190	4x32	165	190	165	165
		1215		360	765	585	360
					30	30	30
33	40	190	6x32	165	190	165	165
		1350		405	810	630	405
					30	30	30
33	44	190	6x32	165	190	165	165
		1485		450	900	630	450
					30	30	30

Mitoitustaulukko 9.2. Pääkannattajana vetotangollinen kaari. Kuormitus 19/23/28/33 kN/m (=pd); hallin leveys 32/36/40/44 m; taulukossa tulosteena kaaren leveys (B), korkeus (H), vetotangot; päätypalkin mitat (B, H); pää-, nurka- ja tuulipilarin mitat (B, H) ja peruspultin koko (M).



Kuva 9.4 Liimapuinen kaarihalli.



Kuva 9.5 Kaarirunkoinen urheiluhalli asentamisen käynnissä.

### 9.1.3 Kaarirunko

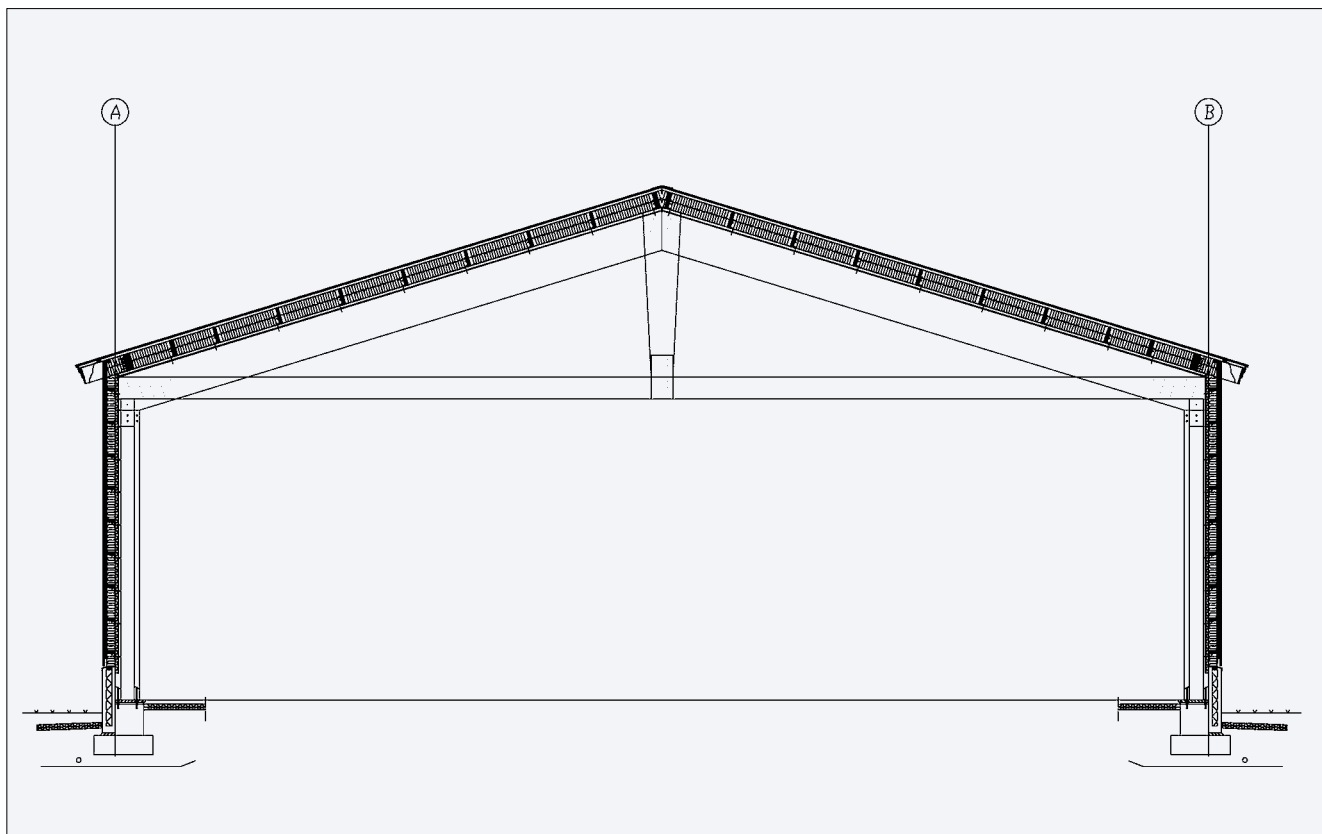
Kaarihallin liimapuisten kolminivelkaarien k/k-jako on tasaisella kokonaiskuormalla  $p_d = 2,7 \text{ kN/m}^2$  6,0–9,6 m. Kaaret tukeutuvat suoraan perustuksiin noin kahden metrin korkeudella lattiasta. Perustukset on otaksuttu siirtymättömiksi. Kaaren jänneväliksi on oletettu hallin leveys.

Päädyssä on seitsemän tuulipilaria, joiden k/k-jako on 6,0–7,5 m hallin leveyden mukaan.



<b>Kuormitus [kN/m]</b>	<b>Jänneväli [m]</b>	<b>Kaari BxH</b>	<b>Päätypalkki BxH</b>	<b>Nurkkapilarit BxH, M</b>	<b>Tuulipilarit BxH, M</b>
23	48	190	140	140	165
		1395	315	315	315
				30	30
23	52	215	165	165	165
		1440	315	315	360
				30	30
23	56	215	165	165	165
		1530	360	360	405
				30	30
23	60	215	165	165	165
		1620	360	360	405
				30	30
28	48	215	165	165	165
		1440	315	360	315
				30	30
28	52	215	165	165	165
		1575	360	360	360
				30	30
28	56	215	165	165	165
		1665	405	360	405
				30	30
28	60	240	165	165	165
		1710	405	405	450
				30	30
33	48	215	165	165	165
		1530	360	360	315
				30	30
33	52	215	165	165	165
		1665	360	405	360
				30	30
33	56	240	165	165	165
		1710	405	405	405
				30	30
33	60	240	165	165	165
		1800	450	405	450
				30	30
37	48	215	165	165	165
		1620	360	405	360
				30	24
37	52	240	165	165	165
		1710	405	405	405
				30	24
37	56	240	165	165	165
		1845	450	450	405
				30	30
37	60	265	165	165	165
		1845	450	450	450
				30	30

Mitoitustaulukko 9.3. Pääkannattajana lp-kaari. Kuormitus 23/28/33/37 kN/m ( $=p_d$ ); hallin leveys 48/52/56/60 m; taulukossa tulosteena kaaren leveys (B), korkeus (H); päätypalkin mitat (B, H); nurkka- ja tuulipilarin mitat (B, H) ja peruspultin koko (M).



Kuva 9.6 Kertopuuhalli A-kattokannattajalla

## 9.2 Kertopuuhalli A-kattokannattajalla

Hallin runko muodostuu kertopuupilareista ja kertopuisista A-kattokannattajista. Hallin vapaa korkeus on 5,5 m ja rungon k-jako 6 m. Lumikuormaksi on oletettu 2,0 kN/m<sup>2</sup>, tuulikuormaksi 0,5 kN/m<sup>2</sup>, katon omaksi painoksi 0,6 kN/m<sup>2</sup> ja alapaarteen ripustuskuormaksi 0,15 kN/m<sup>2</sup>. Hallin katto ja seinät ovat kertopuurakenteisia.



Kuva 9.6 Kertopuuhalli A-kattokannattajalla

<b>Kuormitus [kN/m]</b>	<b>Leveys L [m]</b>	<b>Yläpaarre H</b>	<b>Alapaarre H</b>	<b>Pääpilarit BxH</b>
23,2	18	650	360	210
				450
23,2	20	750	400	210
				450
23,2	22	800	450	210
				500
23,2	24	850	500	210
				500

Taulukko 9.4. Kertopuuhalli, A-kattokannattaja. Kuormitus 23,2 kN/m ( $=p_d$ ); hallin leveys 18/20/22/24 m; taulukossa tulosteena ylä- ja alapaarreen korkeus (H) ja pääpilarin mitat (B, H).

# KIRJALLISUUSLUETTELO

EC5 Sovelluslaskelmat Hallirakennus. Puuinfo.

Hietala, J., Järvenpää, M. 2000. Puurakenteisen salibandyhallin suunnittelu- ja rakentamisopas. Opetusministeriön Liikuntapaikkajulkaisu 76. Opetusministeriö ja Rakennustieto Oy, Helsinki.

Kainulainen, M. 1997. Puurakenteisen hallin kustannustieto. Diplomityö. TTKK Rakennustekniikan osasto.

Kangas, J. 1982. Puurakenteet 3, Liitokset. Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki.

Kortesmaa, M. 1981. Puurakenteet 4, Laskentamenetelmät. Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki.

Limträhandbok. 2001. Svensk Limträ AB, Stockholm.

Limträ, Arkitektmanual. 1999. Svenskt Limträ AB, Stockholm.

Natterer, J., Herzog, T., Volz, M. 1994. Holzbau Atlas, Zwei. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München.

Puurakenteet I. RIL 162-1. 1987. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki.

Puurakenteet II. RIL 162-2. 1987. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki.

Puurakenteiden suunnitteluohje, Eurokoodi EN 1995-1-1. RIL 205-1-2007. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki.

Puurakenteiden suunnitteluohje, Eurokoodi EN 1995-1-2. RIL 205-2-2007. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki.

Puurakenteiden suunnitteluohjeet. RIL 120-2004. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki.

Rakenteiden kuormitusohjeet, RIL 144-2002. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki.

Ratia, P. 2000. Puurakenteiset Hallit - kustannus- ja ympäristövertailut.

RIL:n julkaisu RIL 205-1-2007 kohta 4 Säilyvyys.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa B10: Puurakenteet, ohjeet. 2001. Helsinki, Ympäristöministeriö.

Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, Euronormi, osat 1, 2-1, 2-3 ja 2-4. RIL 201-1999. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., Helsinki.

VTT:n julkaisu: Ruostumattomasta teräksestä valmistettujen puurakenteiden liitostenpalonkestävyys ISBN 951-38-6589-4 (2005).

VTT Rakennustekniikka. Puurakentamisen Futuuri RTE24-IR-23/2000.

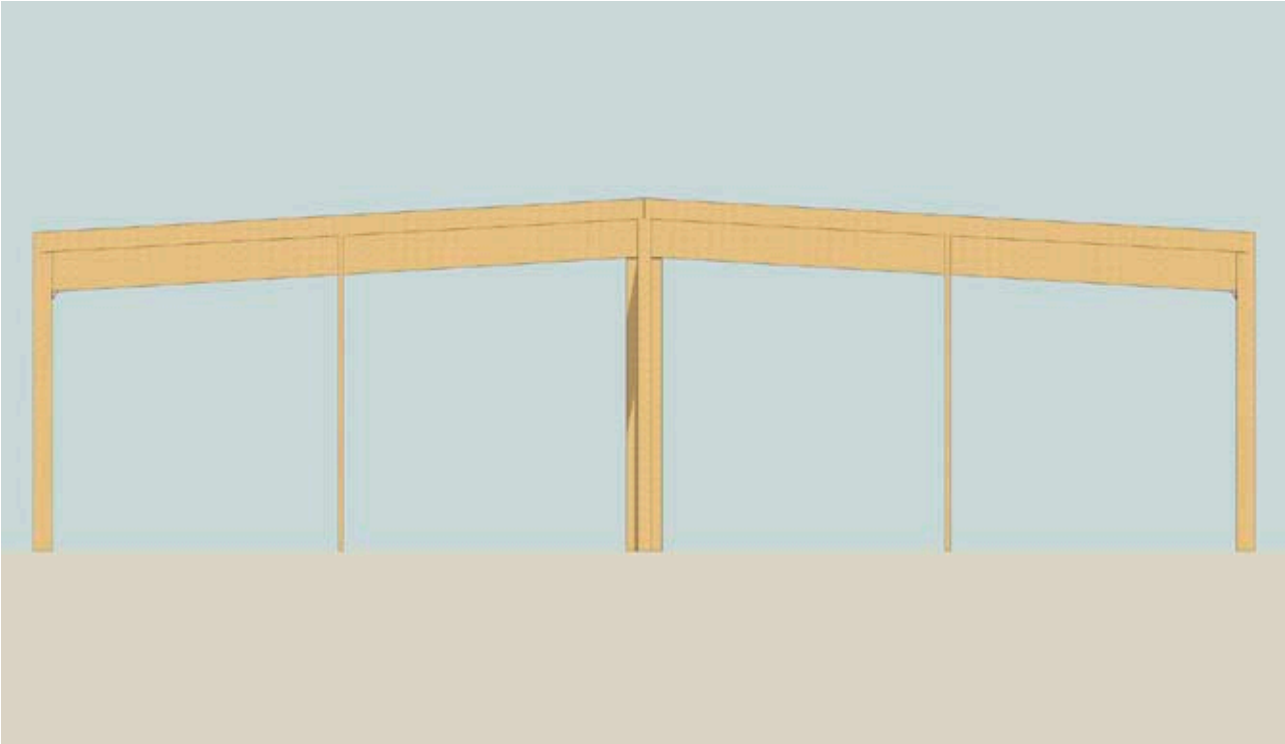
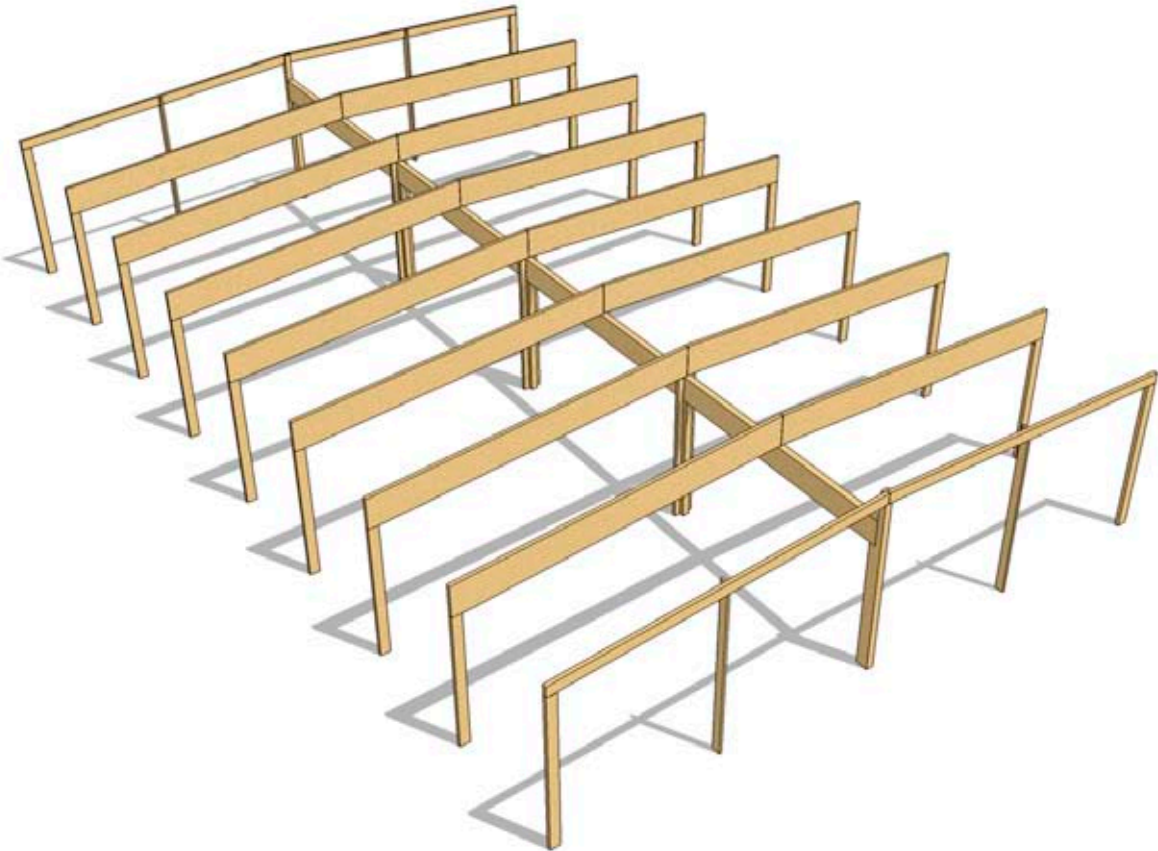




## E s i m e r k k i h a l l i t y y p i t

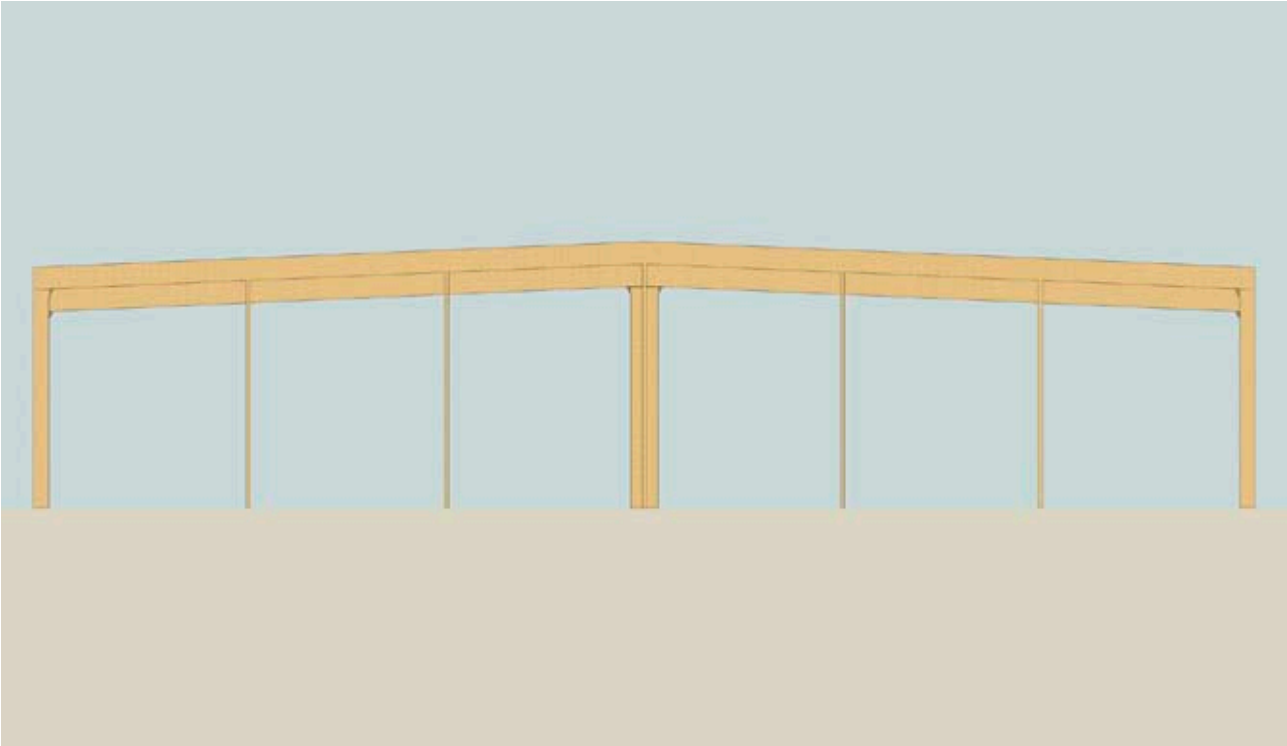
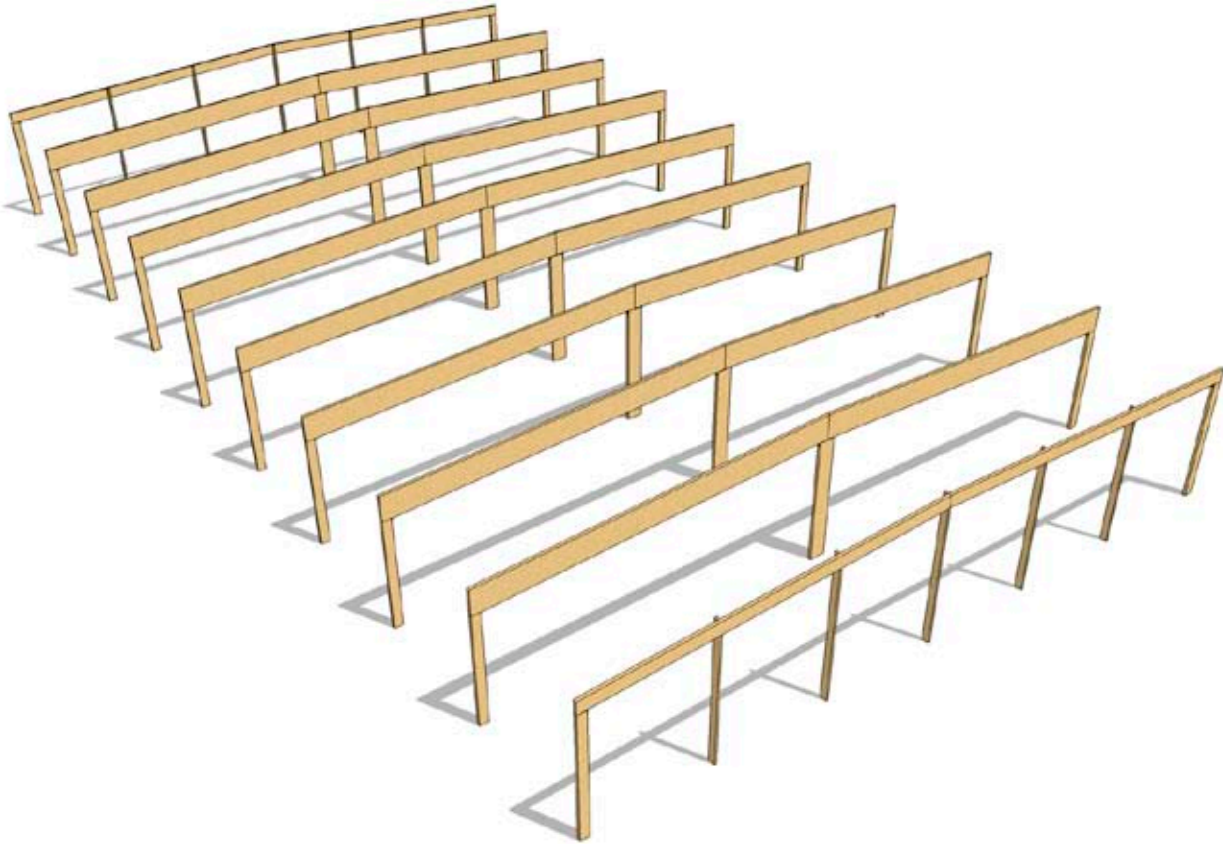


**Hallityyppi 1**

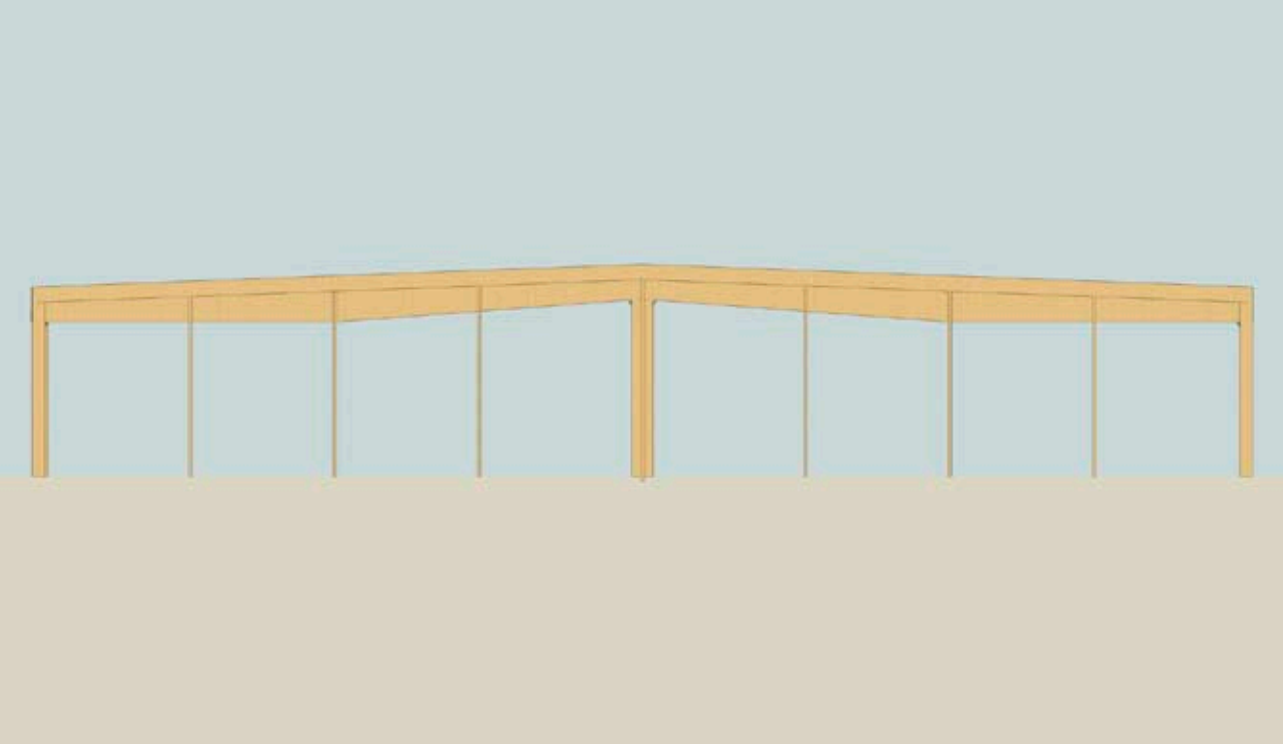
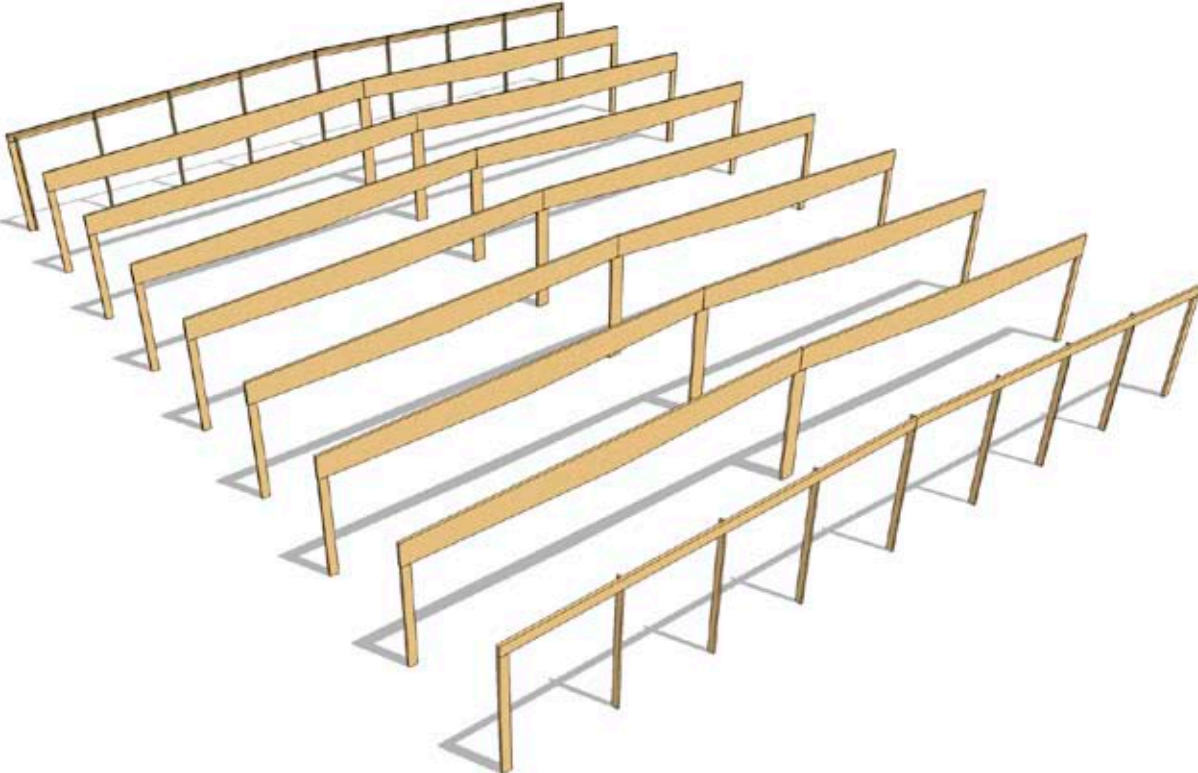




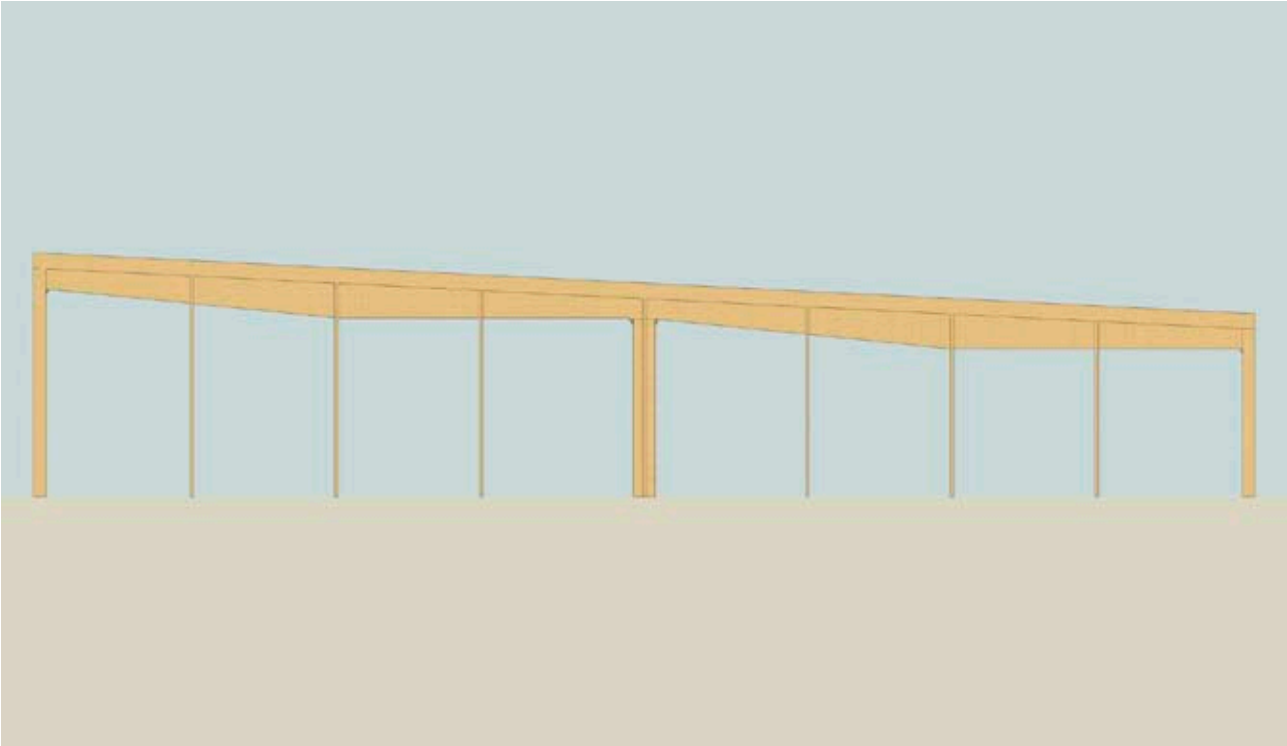
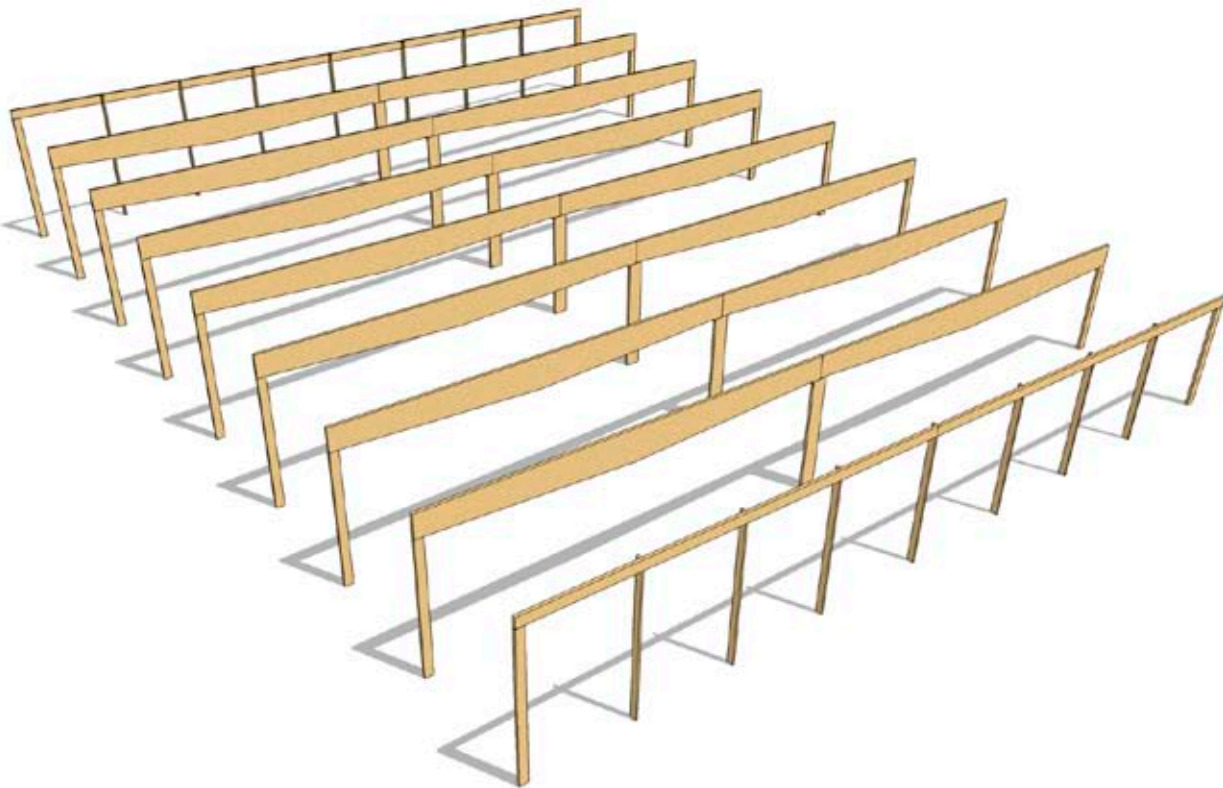
**Hallityyppi 2**



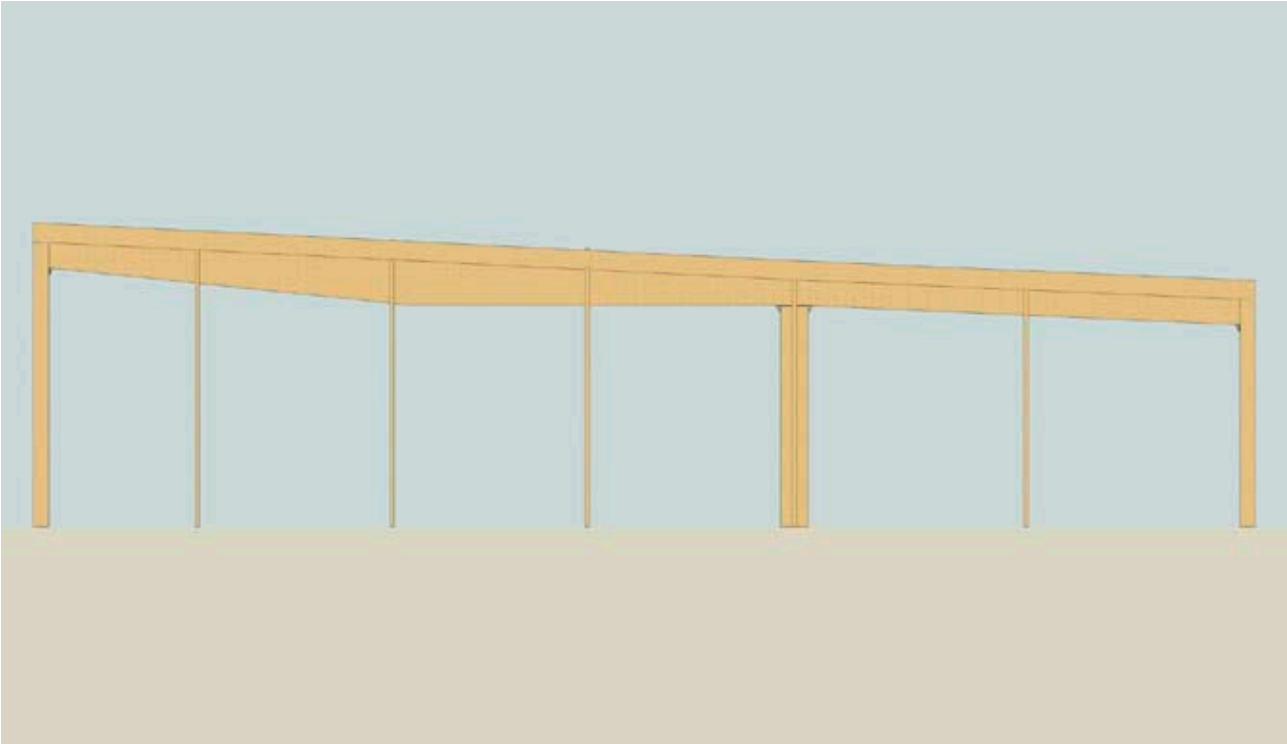
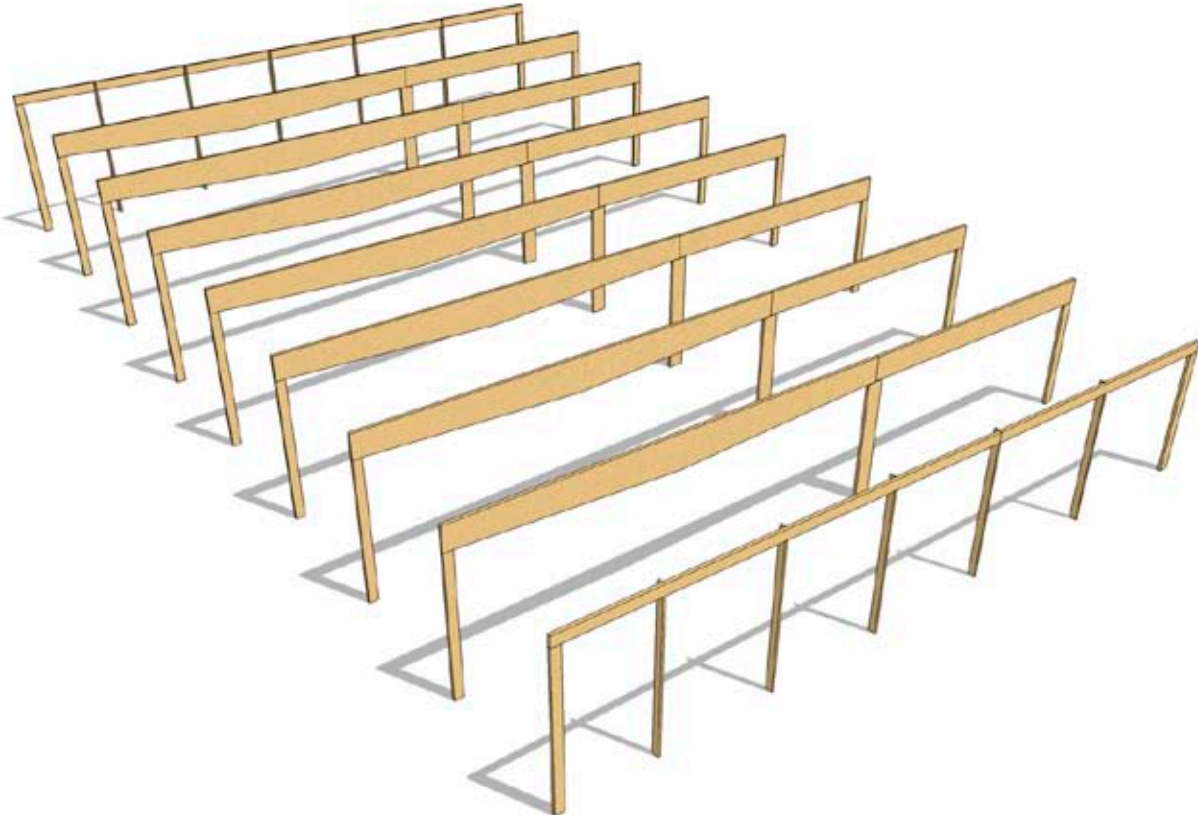
**Hallityyppi 3**



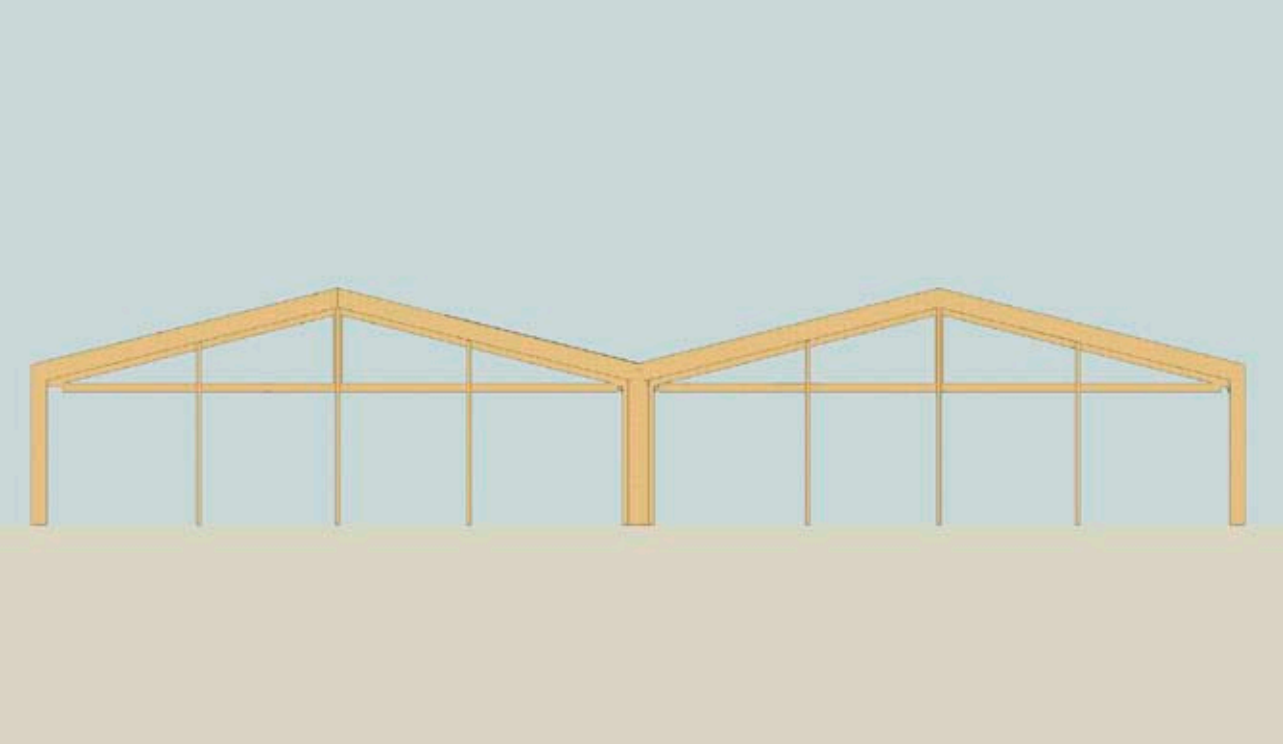
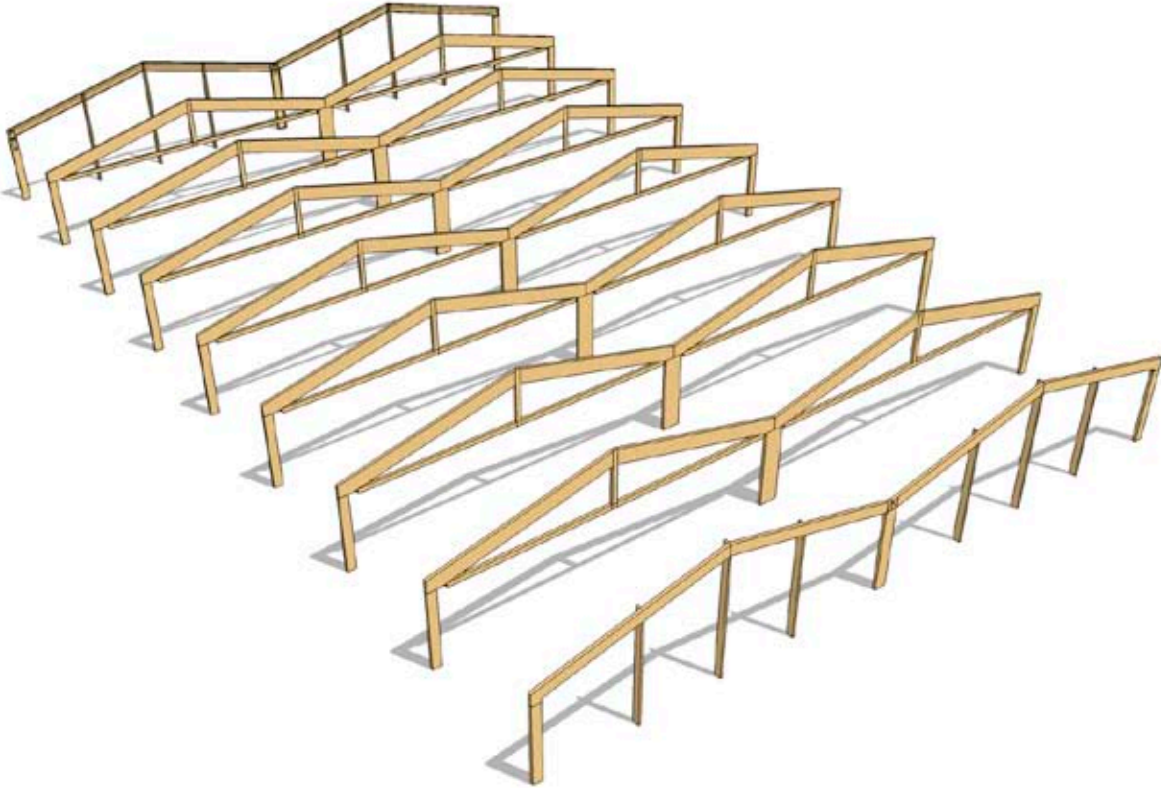
**Hallityyppi 4**



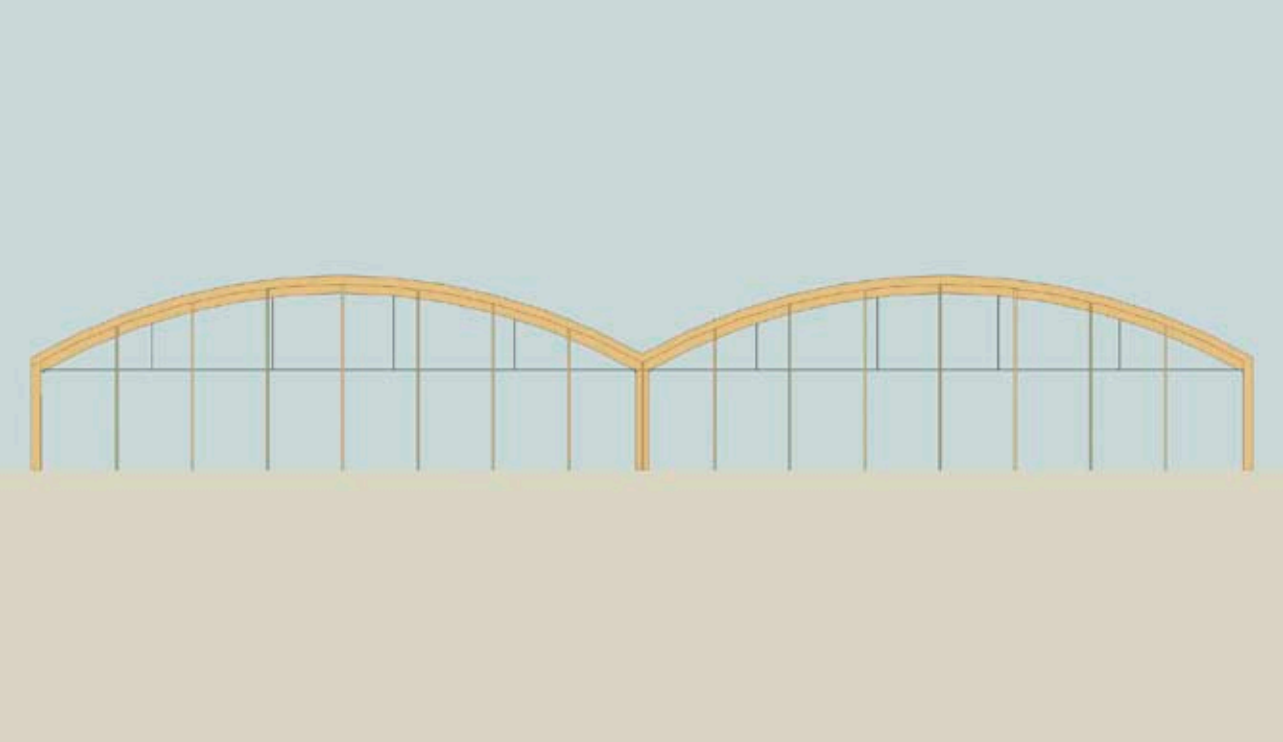
**Hallityyppi 5**



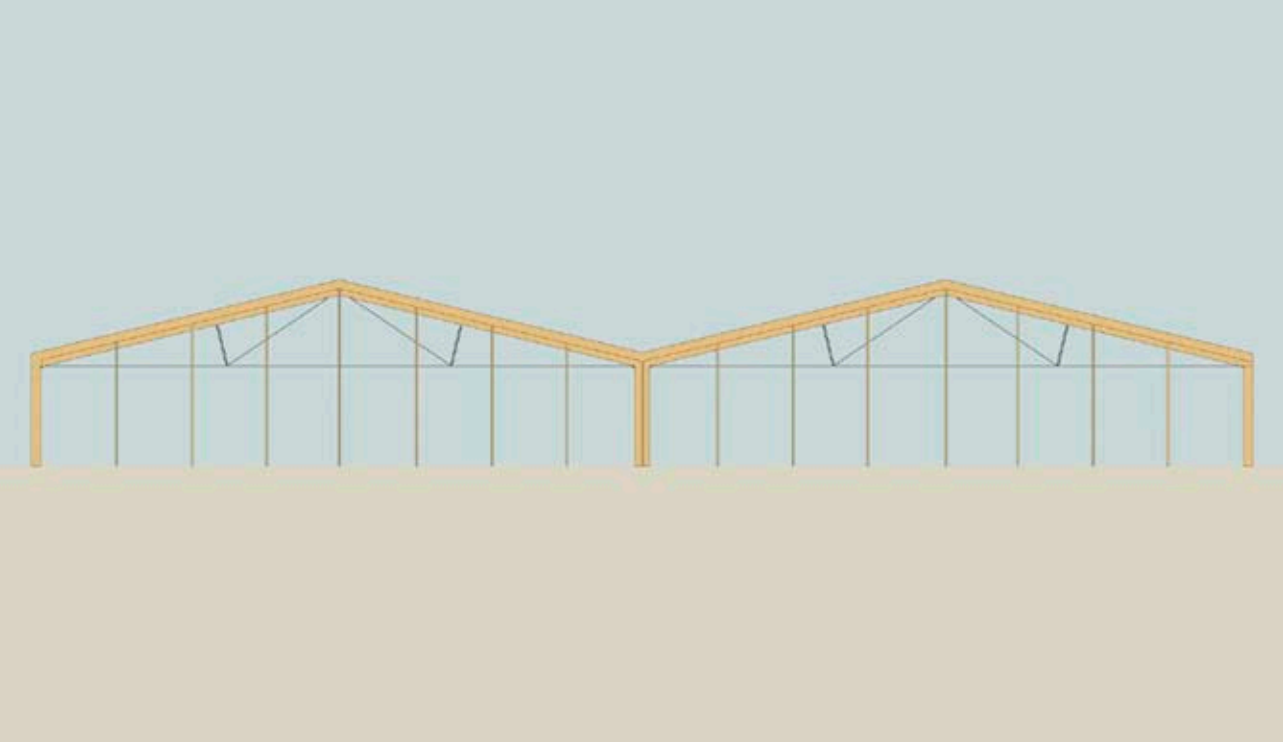
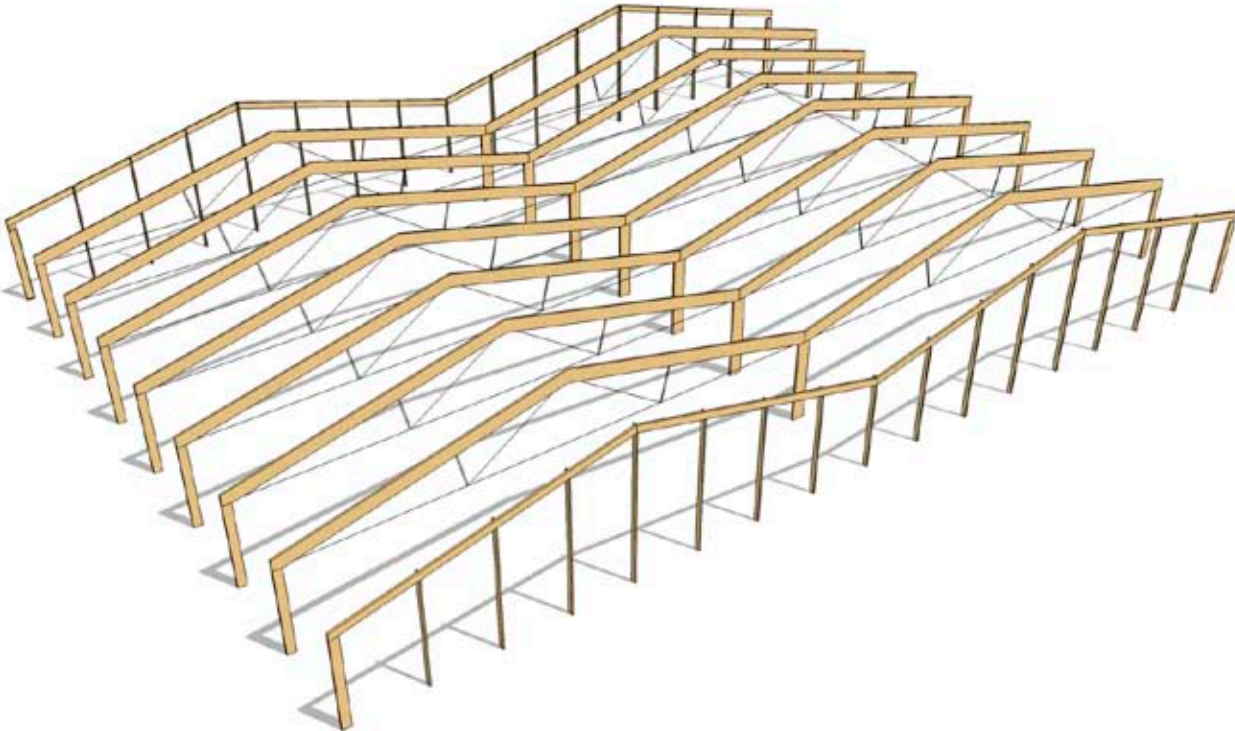
**Hallityyppi 6**



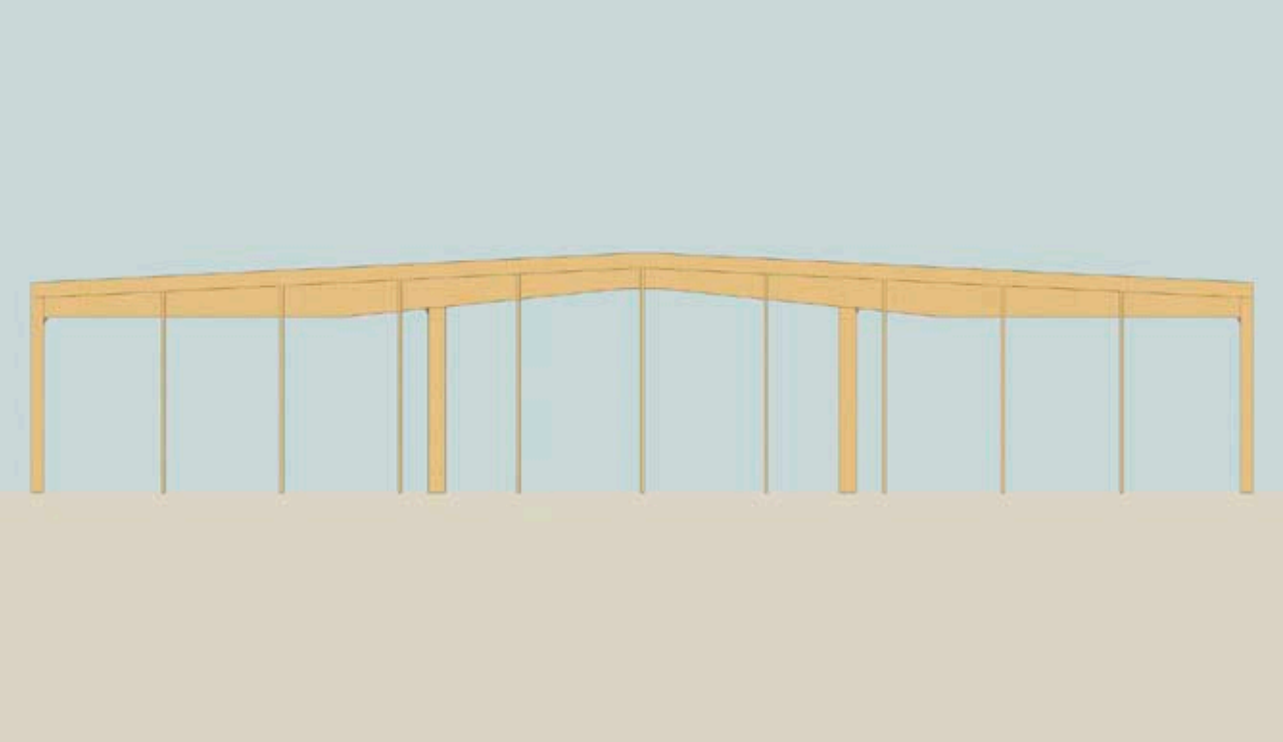
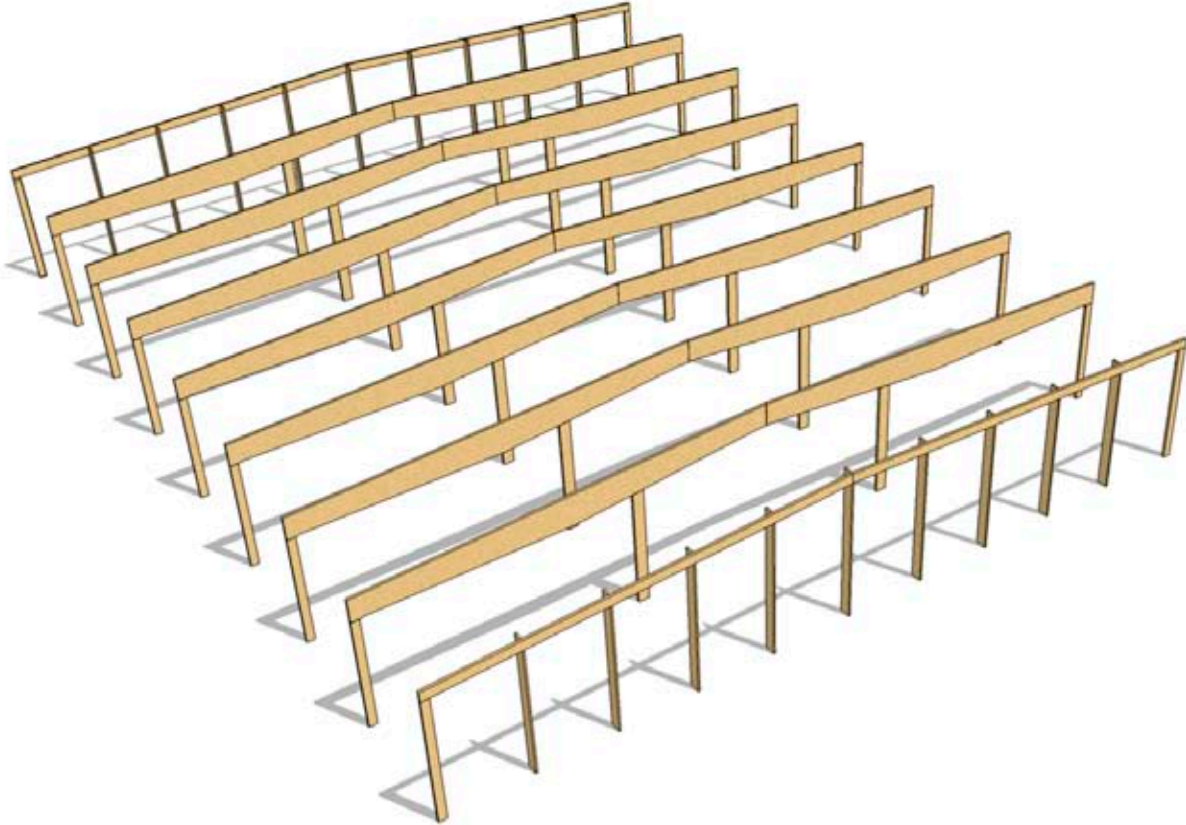
**Hallityyppi 7**



**Hallityyppi 8**

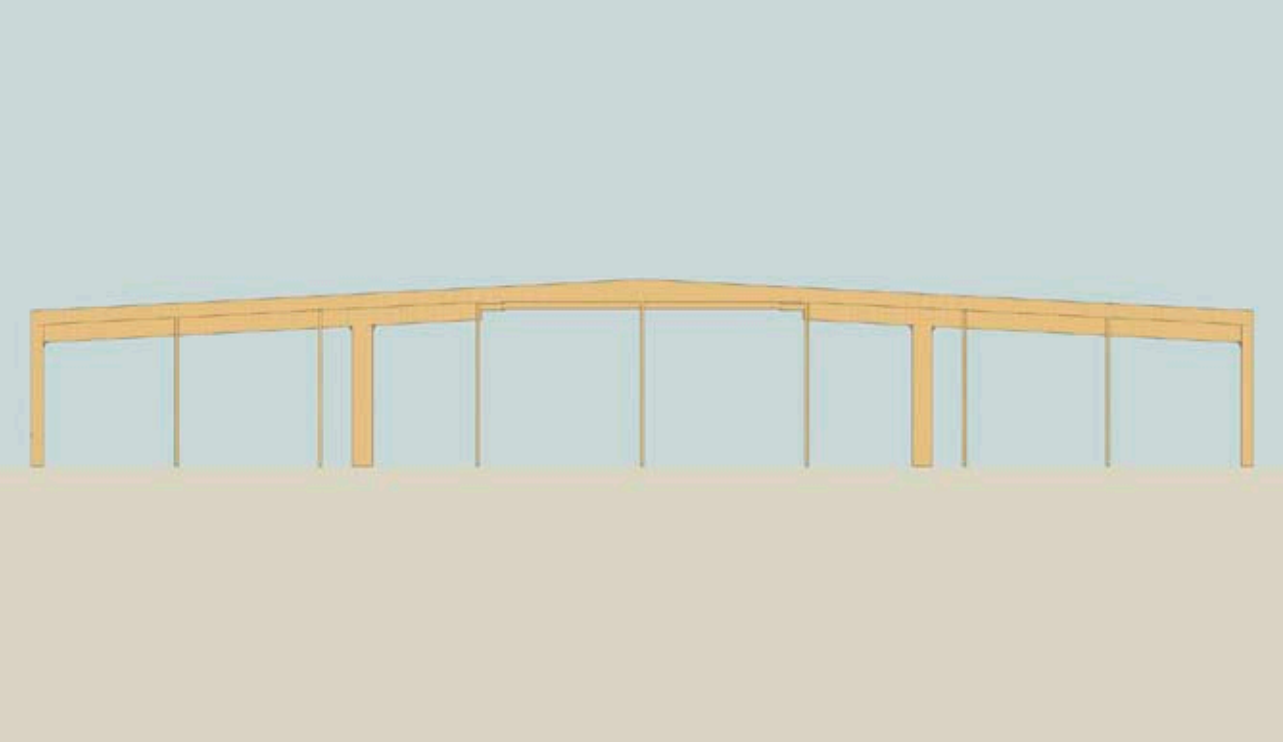
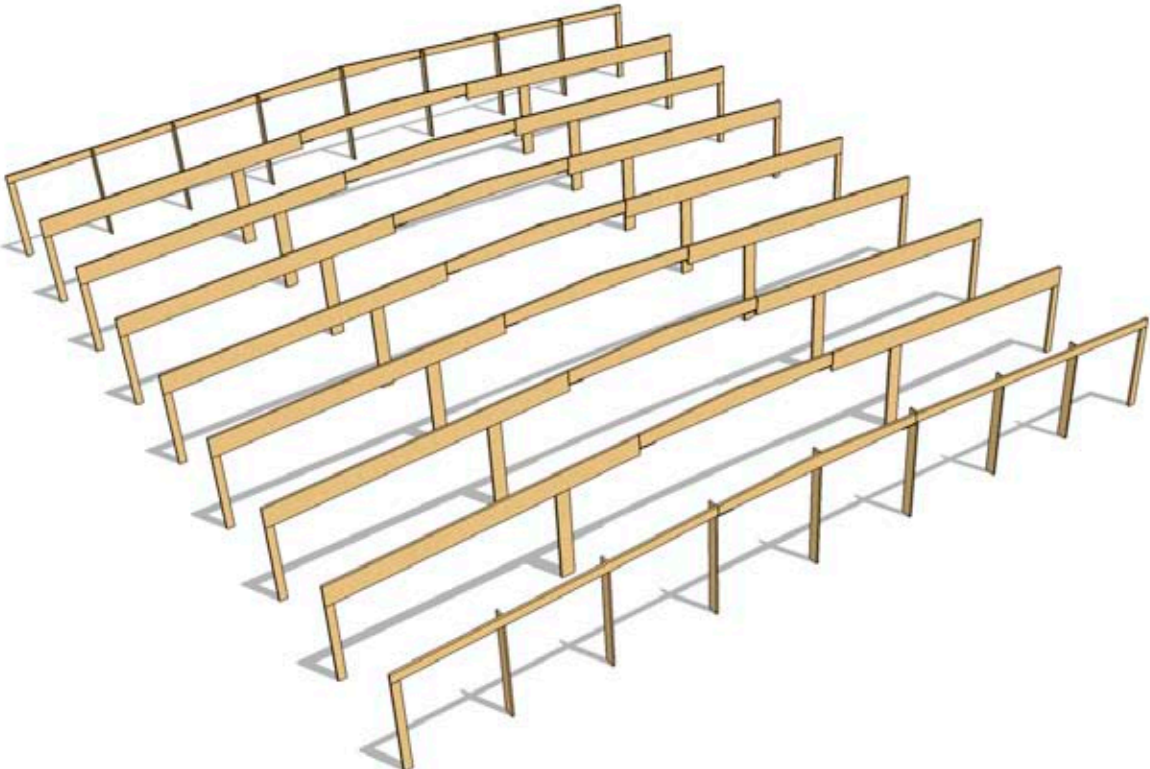


**Hallityyppi 9**

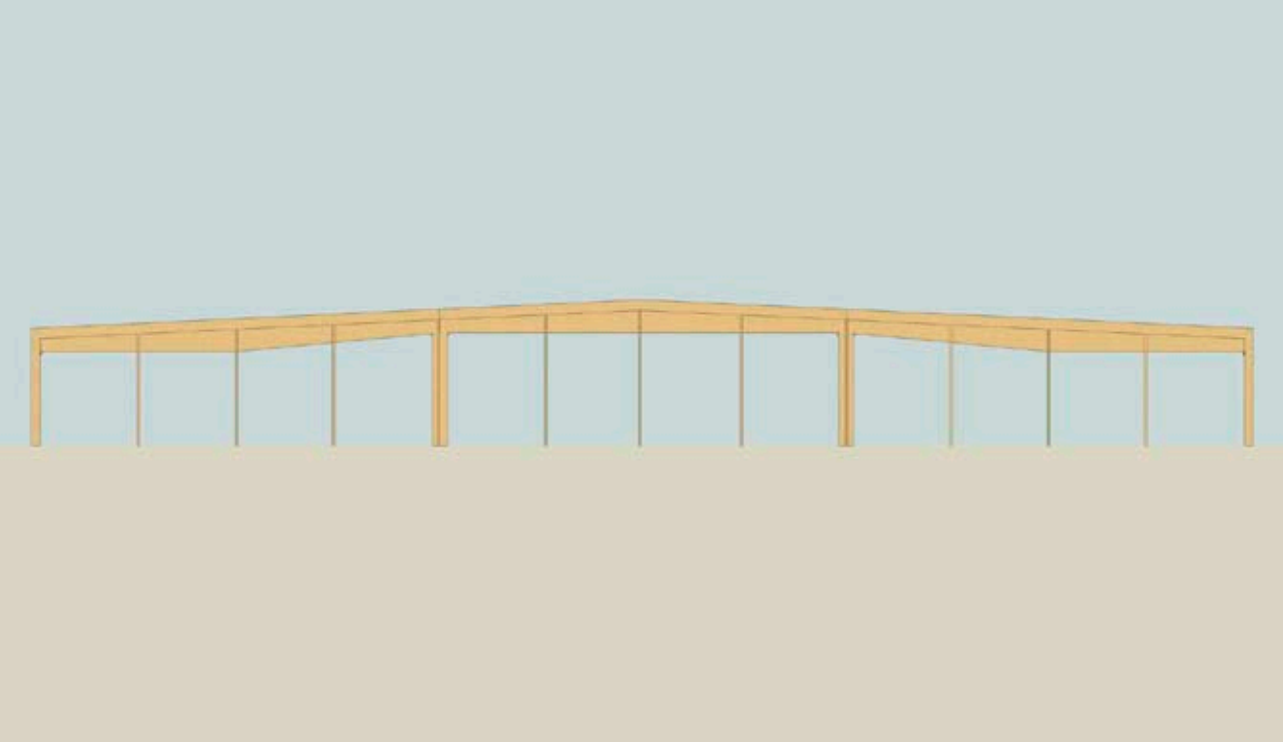
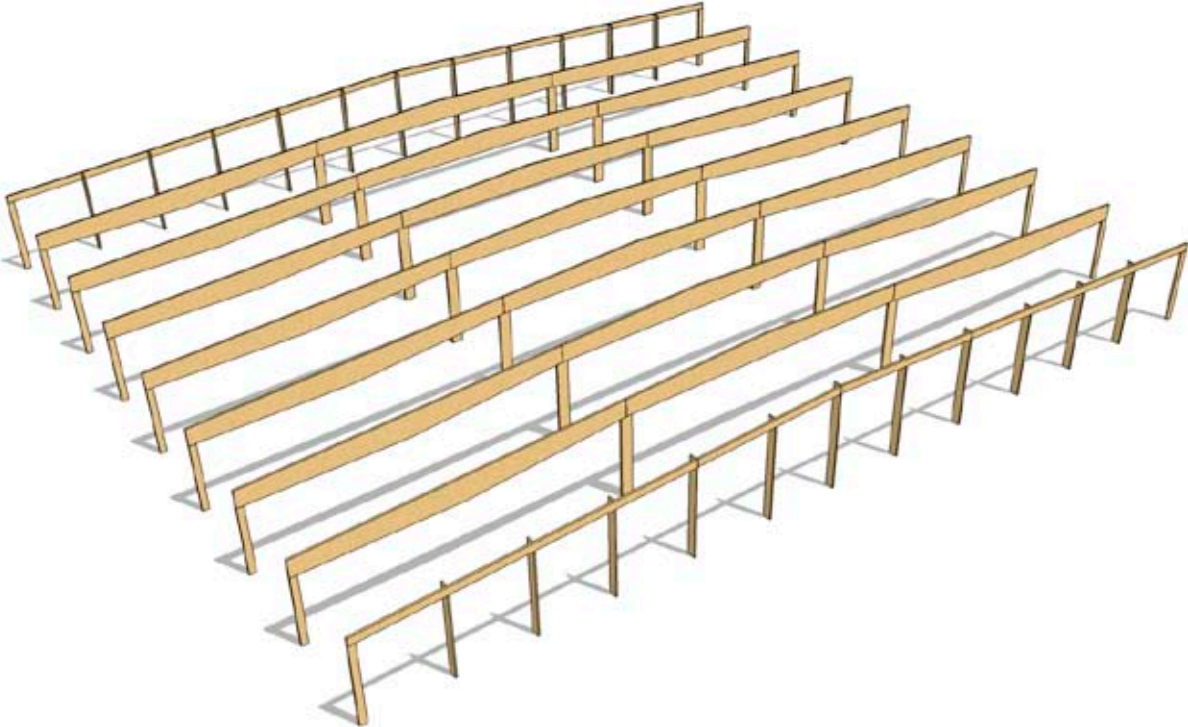




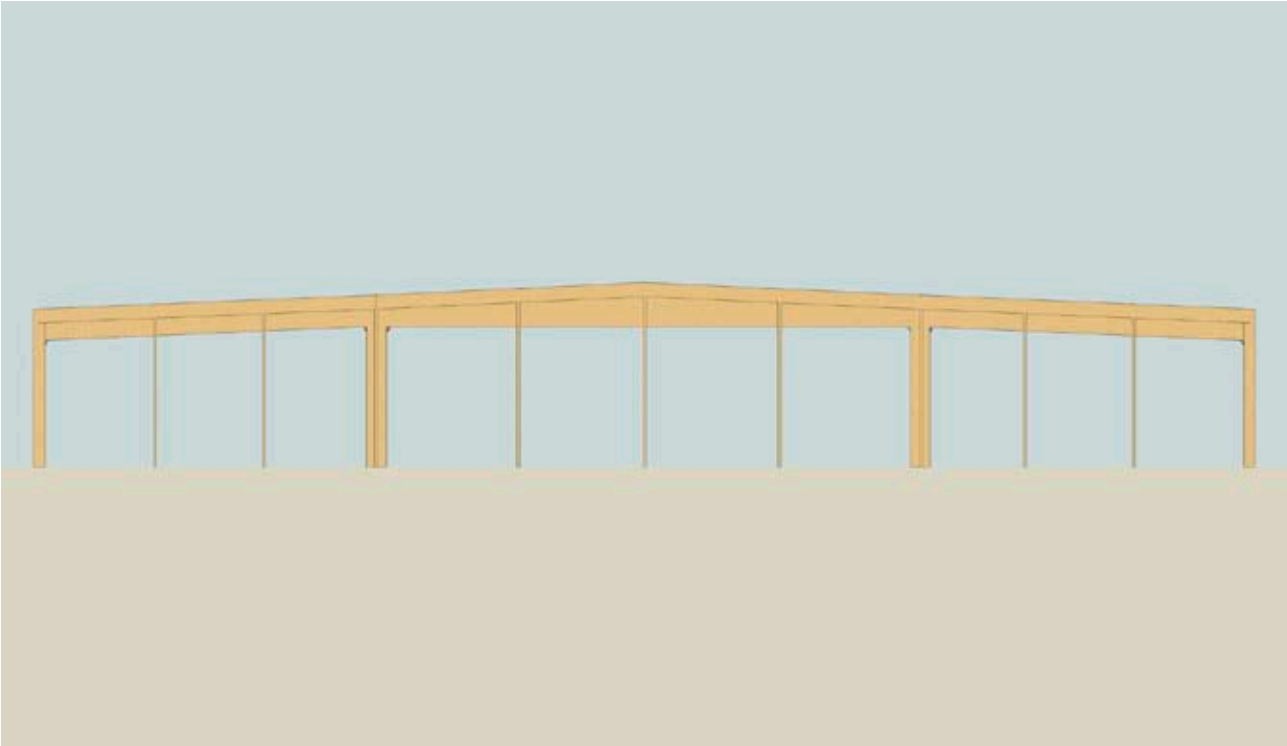
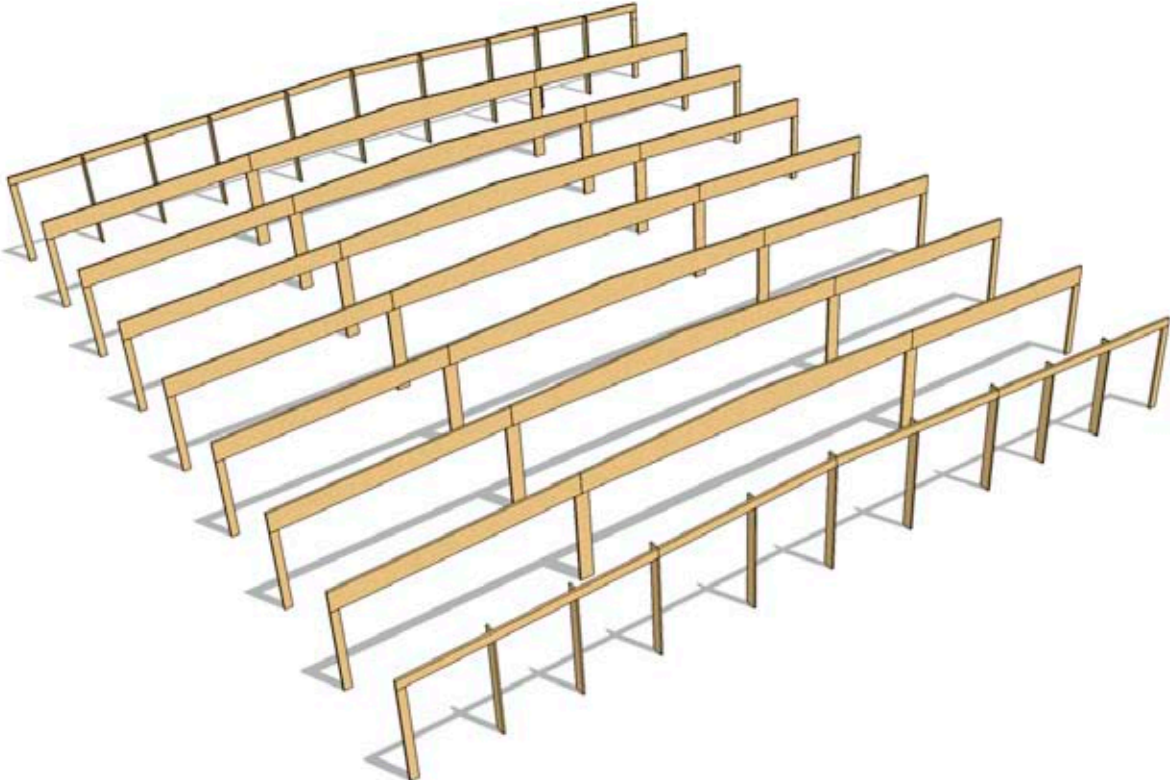
**Hallityyppi 10**



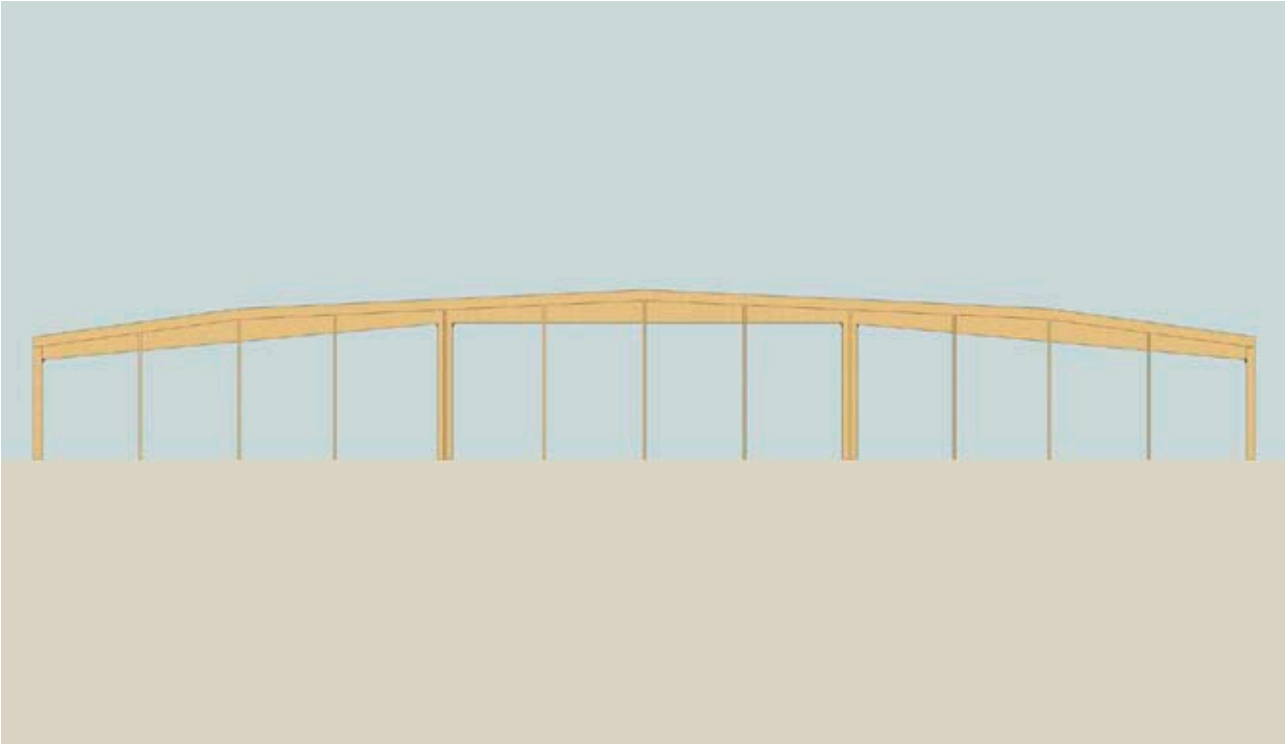
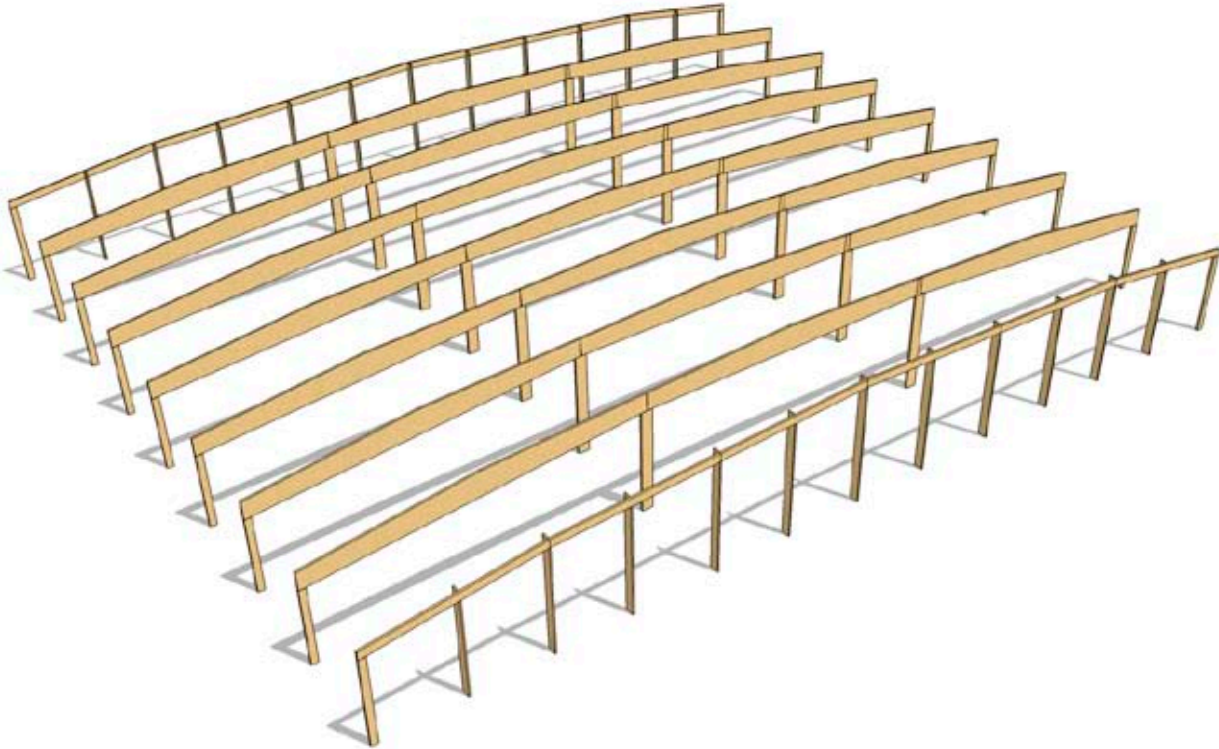
**Hallityyppi 11**



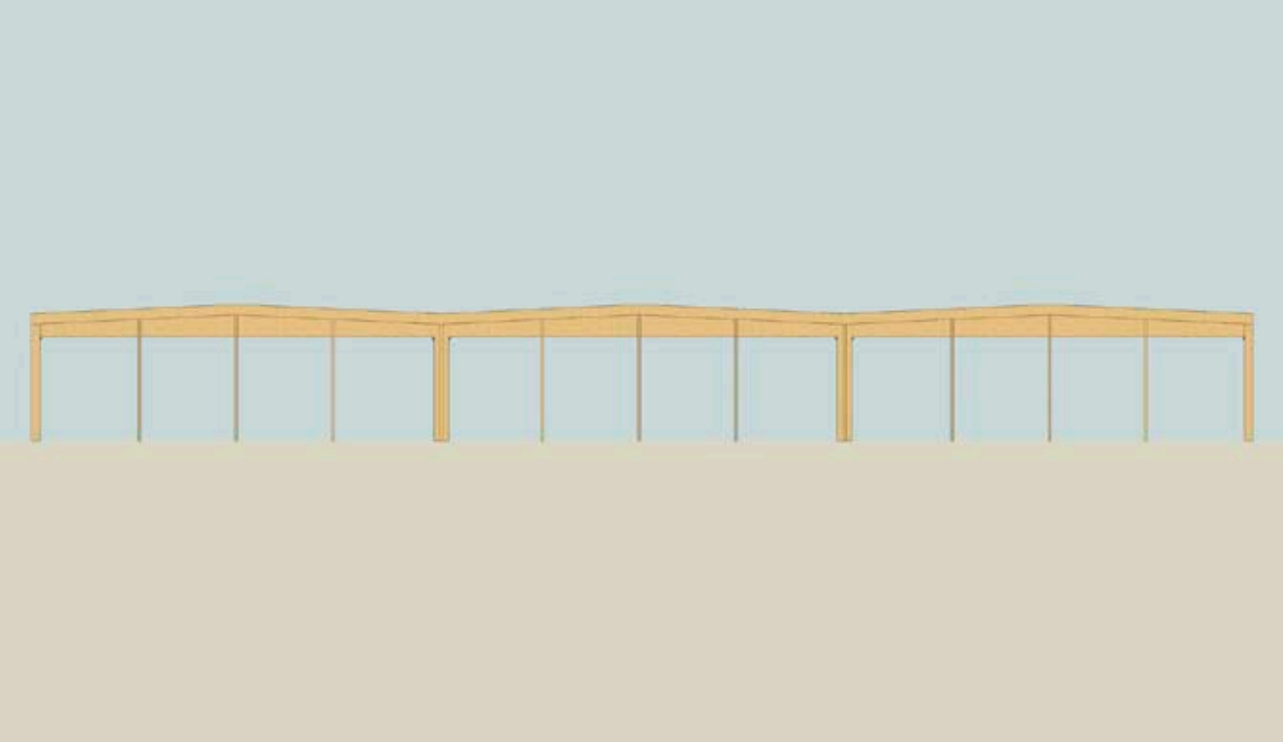
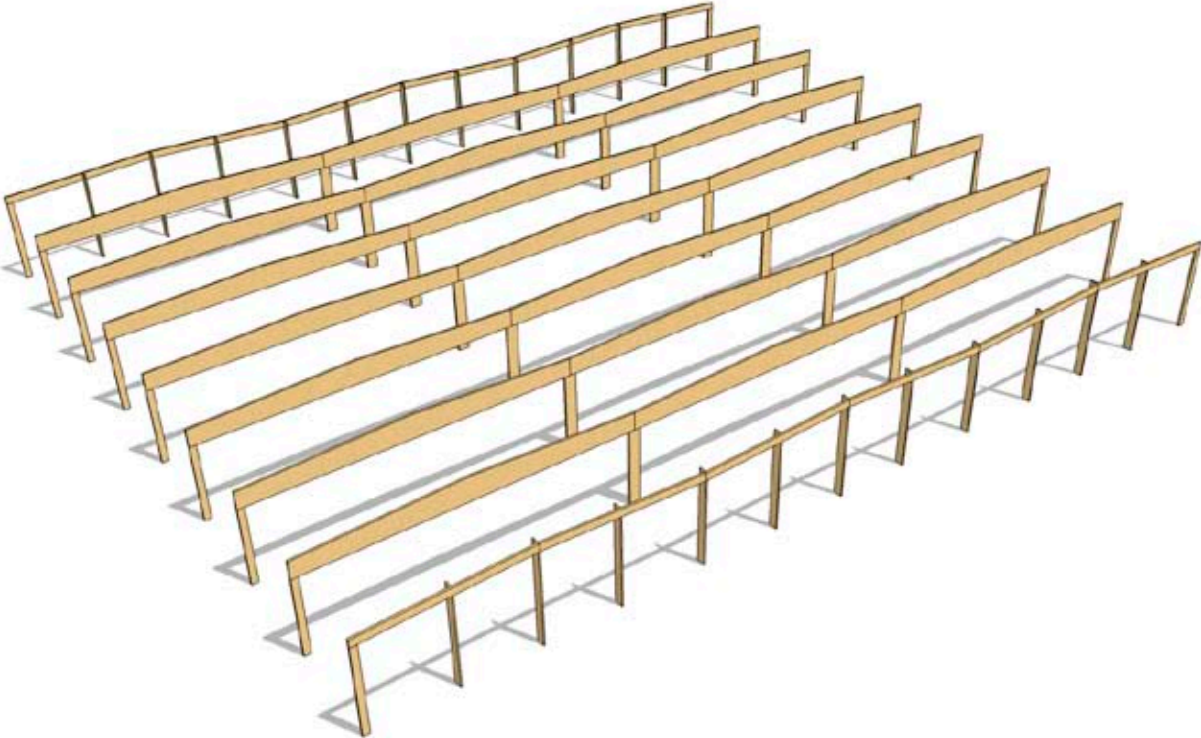
**Hallityyppi 12**



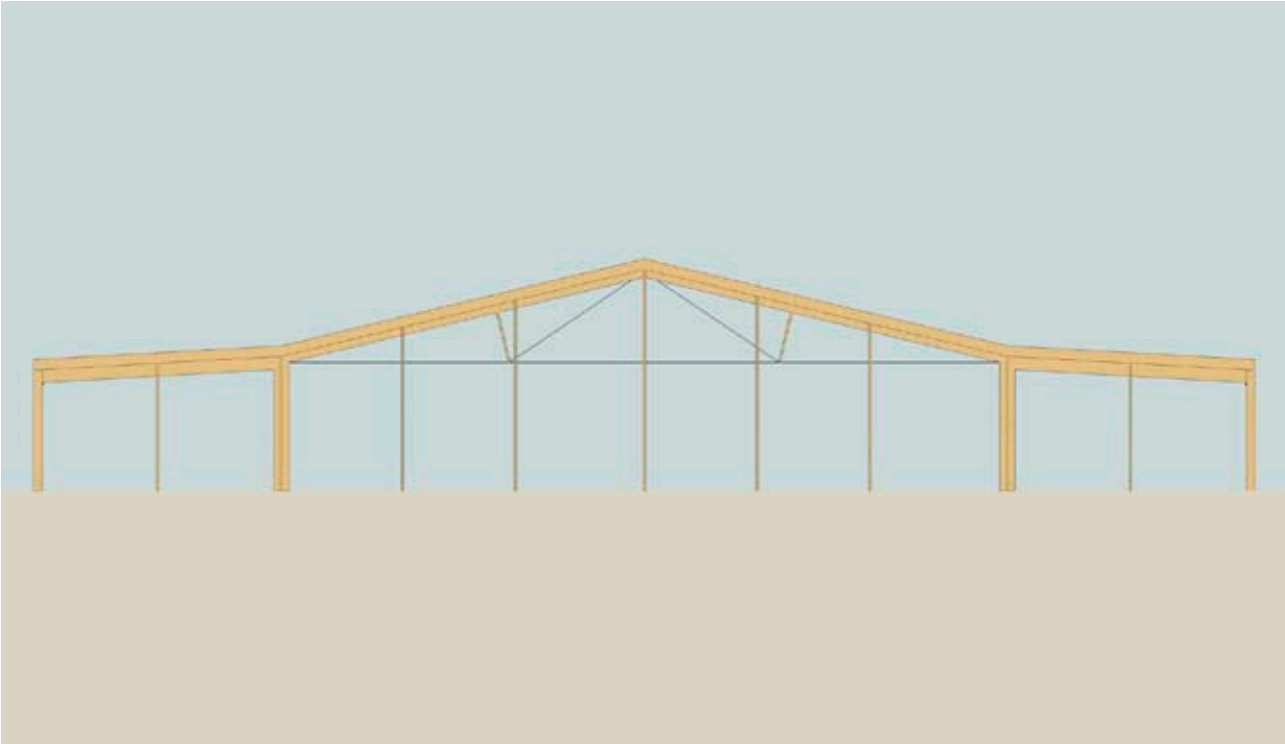
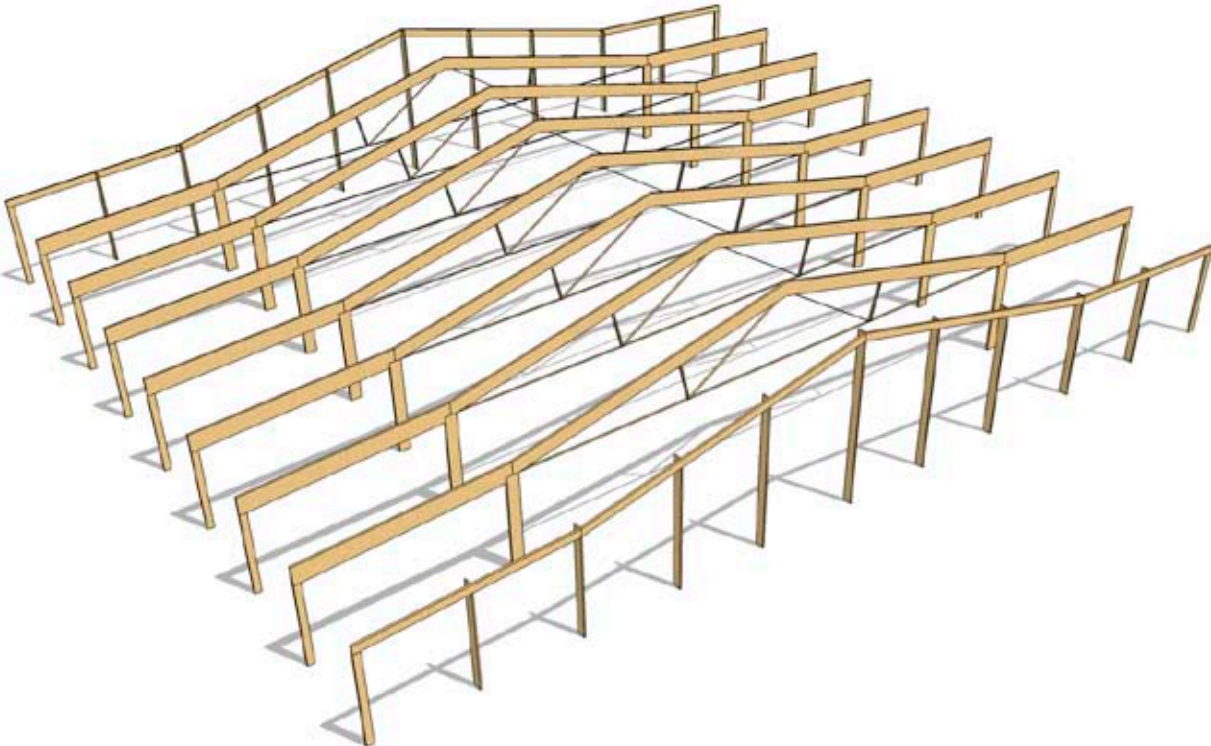
**Hallityyppi 13**



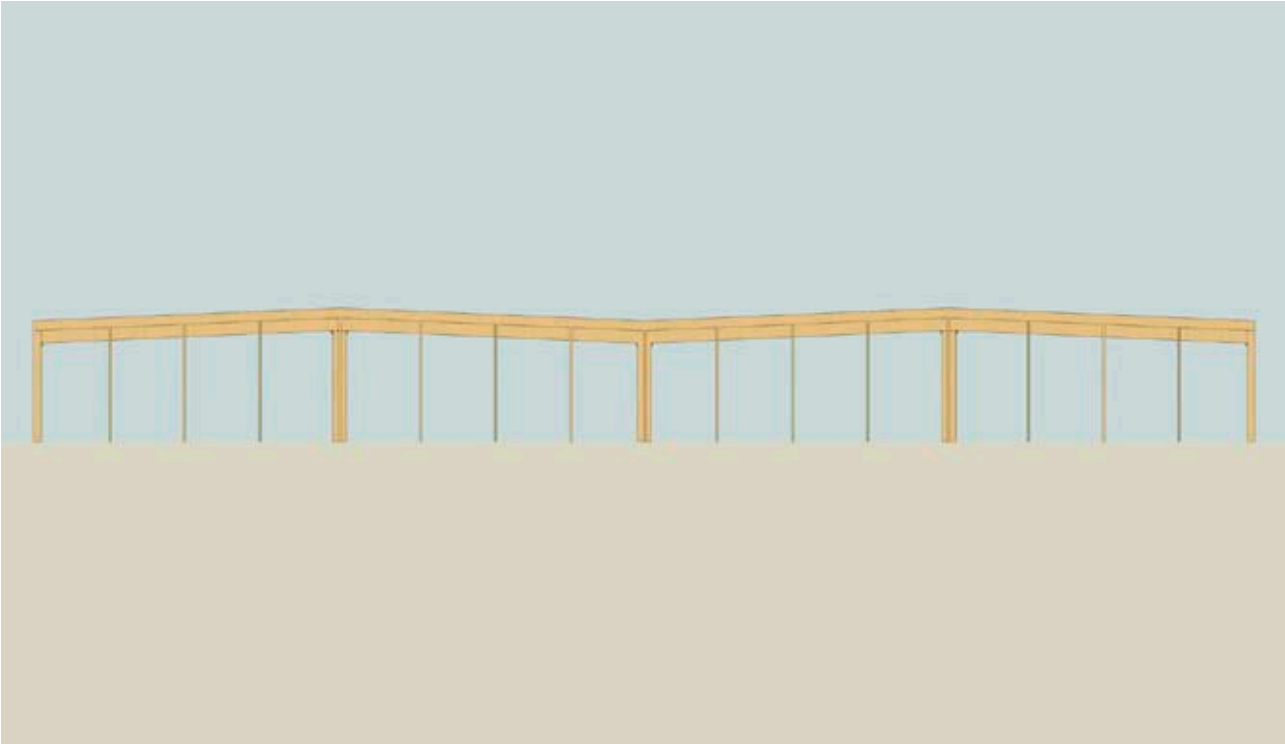
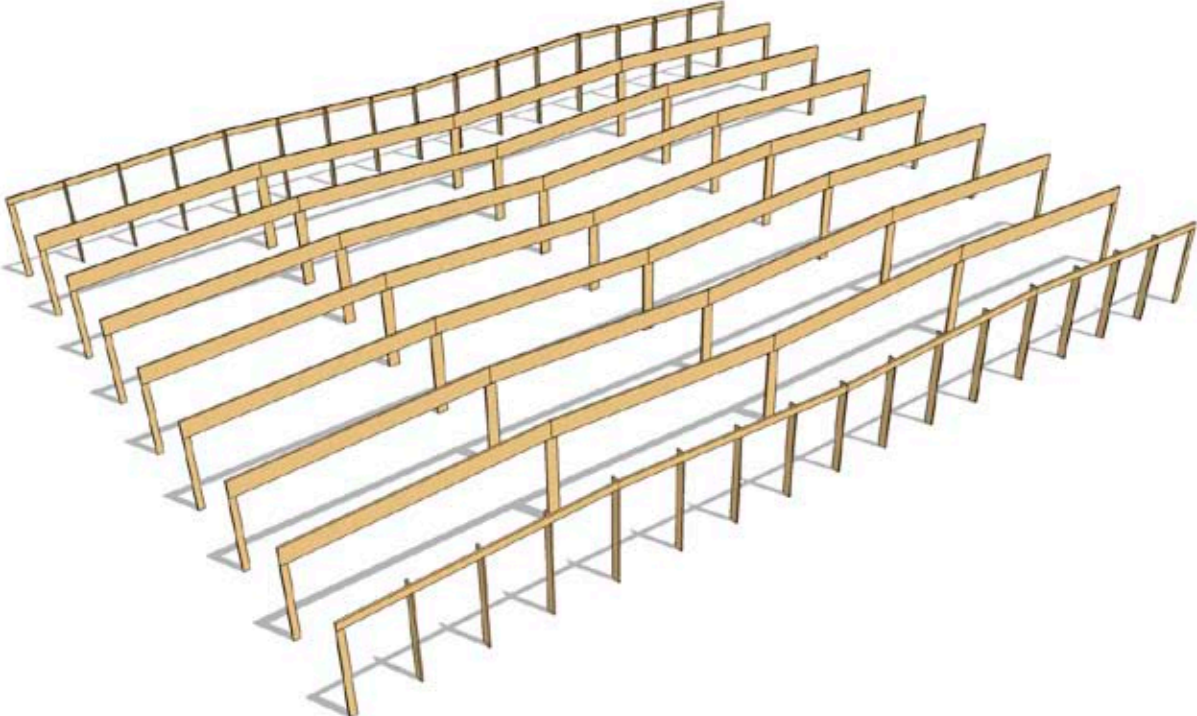
**Hallityyppi 14**



**Hallityyppi 15**



**Hallityyppi 16**



**Hallityyppi 17**

