

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Miikka Kinnunen

PILARI-PALKKIRUNKOISEN TEOLLISUUSHALLIN RUNKOVAIHTOEHTOJA

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80160 JOENSUU
p. (013) 260 600

Tekijä
Miikka Kinnunen

Nimeke
Pilari-palkkirunkoisen teollisuushallin runkovaihtoehtoja

Toimeksiantaja
Parma Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli laatia erilaisia runkovaihtoehtoja pilari-palkkirunkoiselle teollisuushallille alustavan mitoituksen tarkkuudella sekä tarkastella vaihtoehtojen välisiä eroavaisuuksia mitoituksessa ja liitoksissa.

Runkojen suunnittelu toteutettiin eri elementtivalmistajien sekä yhdistysten julkaisemien suunnitteluohjeiden avulla esimerkkirunkoja soveltaen. Liitosten suhteen kerättiin tietoa valmiista liitostyypeistä ja –tuotteista sekä pohdittiin, millaisilla erikseen valmistettavilla liitososilla voitaisiin toteuttaa liitoksia, joille ei ole valmiita sarjavalmistettavia liitostuotteita.

Runkotuotteita, niiden alustavaa mitoitusta sekä liitoksia tarkastellessa huomattiin olennaisia eroavaisuuksia ja huomioitavia asioita eri materiaalien soveltuvuuksissa ja korvattavuuksissa erilaisissa teollisuushallikohteissa.

Tulosten pohjalta laadittujen johtopäätelmien perusteella voitaisiin valita uusien jatkotutkimusten aiheita. Sellainen voisi esimerkiksi olla tätä opinnäytetyötä tarkemmin rajattu tutkimus esimerkiksi erilaisten kattoelementtien käyttämisestä jänneteräsbetonipalkkien kanssa yhdessä. Näiden tutkimusten perusteella olisi mahdollista kehittää esimerkiksi uusia esivalmistettuja runkoliitostuotteita, liitos- ja rakennetyyppejä.

Kieli
suomi

Sivuja	63
Liitteet	2
Liitesivumäärä	2

Asiasanat
Teollisuushalli, pilari-palkkirunko, yhdistelmä rakenne, hybridirakenne



THESIS
June 2015
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
FI 80160 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Author(s)
Miikka Kinnunen

Title
Frame Alternatives For a Column and Beam Structured Industrial Hall Building

Client
Parma Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to prepare different frame alternatives for a generic column and beam structured industrial hall building. The planning of these frames was executed with sketching phase accuracy using designing guides provided by building element producing companies and associations. Elements made of a specific material were also studied by how they would be replaceable by a different material in varying locations inside the hall frame.

Differences between several frame examples and joints associated with them were studied along with the differences between materials planning-wise. For some of the occurring joints there were no existing joint products to be found from the suppliers. For these joints the possibility of using specially produced joint elements was pondered about.

There were many significant realizations made regarding the differences between elements made from varying materials. The conclusions can be helpful when establishing further research focused on more precise topics. These researches could be used to develop new structural frame products for the field of industrial hall construction.

Language
Finnish

Pages	63
Appendices	2
Pages of appendices	2

Keywords
Industrial hall, column and beam structure, hybrid structure

SISÄLTÖ

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	1
2	Materiaalivaihtoehdot	2
2.1	Betoni	2
2.2	Teräs	2
2.3	Puu	3
3	Kantavat rakenteet	3
3.1	Betonirakenteet	4
3.2	Teräsrakenteet	5
3.3	Puurakenteet	5
4	Suunnitteluperusteet	6
4.1	Eurokoodi	6
4.2	Suomen Rakentamismääräyskokoelma	7
4.3	Betoni- ja puuelementtistandardit RunkoBES ja RunkoPES	7
5	Palomitoitus	7
5.1	Taulukkomitoitus	7
5.2	Toiminnallinen mitoitus	8
6	Jäykistys	11
6.1	TT-laatastoyläpohja	12
6.2	Poimulevy-yläpohja	13
6.3	Puukattoelementtiyläpohja	13
7	Runkovaihtoehdot	13
7.1	Yksimateriaaliset rungot	14
7.2	Yhdistelmärungot	20
8	Runkoliitosten perustapaukset	35
8.1	Perustuksen ja pilarin väliset liitokset	35
8.2	Pilarin ja kannattimen väliset liitokset	39
8.3	Primääri- ja sekundäärikannattimen väliset liitokset	46
8.4	Yläpohjarakenteen ja kannattimen väliset liitokset	52
9	Johtopäätelmät	59
9.1	Eri materiaalien korvattavuus	59
9.2	Haasteet	60
9.3	Mahdollisuudet	61
9.4	Kehitys- ja lisätutkimustarpeet	62
	Lähteet	63

Liitteet

- Liite 1 Rungon paloluokkavaatimuksen määrittäminen
Liite 2 Tuotanto- ja varastorakennuksen palo-osastointi

1 Johdanto

Teollisuushallien runkomateriaalit ovat pääasiassa joko teräsbetonia, terästä tai puuta, joten tässä opinnäytetyössä on käsitelty vain niistä materiaaleista valmistettuja tuotteita ja rakenteita. Muunlaisissa kohteissa myös esimerkiksi muuratut rakenteet voivat olla vaihtoehtona. Kunkin rakennemateriaalin käyttäminen niin tuotanto- kuin suunnitteluvaiheessa vaatii perehtymistä kyseisen materiaalin ominaisuuksiin. Rakenne on tehokkaimmillaan, kun siihen on sijoitettu oikeat materiaalit oikeaan paikkaan.

Opinnäytetyöni aiheena oli

- tutkia erilaisten rakennusmateriaalien ja -tuotteiden keskinäistä soveltuvuutta esimerkkikohteen mukaisen teollisuushallin kantavassa pilari-palkkirungossa,
- laatia aiheenmukaisia esimerkkejä toteutuskelpoisista yhdistelmärunkoisista teollisuushalleista,
- kerätä tietoa erilaisista liitostekniikoista ja liitintuotteista, joilla eri materiaaleista koostuva teollisuushallin runko voidaan toteuttaa,
- vertailla eri rakennusmateriaaleille ja -tuotteille ominaisia mahdollisuuksia ja rajoituksia.

Lisäksi tavoitteena oli selvittää, voiko jostain yhdistelmä- eli hybridirungon osasta aiheutua teknisesti rajoittava tekijä runkoa tarkastellessa kokonaisuutena sekä taulukoida aiheeseen liittyvien tuotteiden kilpailukykyä eri osa-alueilla.

Opinnäytetyössä laadittiin erilaisia vaihtoehtorunkoja hypoteettiseen esimerkkikohteeseen. Runkojen ollessa samaan kohteeseen suunniteltuja ovat ne myös mahdollisimman hyvin vertailukelpoisia keskenään. Rungoissa esiintyy tarkoituksenmukaisesti monipuolisesti eri rakennusmateriaaleja sekä niiden keskinäisiä liitoksia, joita molempia on käsitelty tarkemmin omissa aiheenmukaisissa luvuissaan.

Työssä ei oteta kantaa runkojen jäykistysjärjestelmiin tai kantavaan pilari-palkkirunkoon liittymättömiin osiin, kuten alapohjan tai ulkoseinän rakenteeseen. Esimerkkirungoissa esitellyt ratkaisut ovat suuntaa-antavia, koska erilaisia toteutustapoja on jokaiselle vaihtoehdolle lukemattomia ja ne riippuvat monin tavoin kohteen lähtötiedoista. Rakenneosien yksityiskohtaista mitoitusta ei ole työssä esitelty, mutta mitoituksen peruslähtökohdat sekä mahdolliset suunnittelua ohjaavat ja helpottavat julkaisut on mainittu kutakin rakenneosaa käsittelevässä kohdassa.

Vaihtoehtorungoissa voi vapaasti vaihdella hallin katon harjojen lukumäärä sekä rungon toteutus kaikkine rakenteineen, jännevälineen ja kannatinjakoineen. Rakennuksen käyttötarkoitusta, paloluokkaa ja paloluokkavaatimuksia ei ole lähtötiedoissa määritelty, vaan hallirunkojen palomitoitusta ja paloteknisyyttä on käsitelty luvussa 5 *Palomitoitus*.

Kaikista saatavilla olevista rakennustuotevaihtoehdoista tässä työssä on käsitelty vain pientä ja edustavaksi valikoitua osaa niistä. Esimerkiksi kertopuutuotteet, sekä puu

teräs-yhdistelmäristikkokannatin Posi-palkki on useiden teräsbetonituotteiden tavoin jätetty työn aihealueen ulkopuolelle.

Pääasiallisesti tarkasteltavaksi pilarituotteeksi valittiin teräsbetonipilarit koska pystyrakenteiden katsottiin edustavan teräsbetonin erityistä vahvuusaluetta. Puu- ja teräspilarivaihtoehdot olisivat myöskin lisänneet opinnäytetyön työmäärää huomattavasti lisääntyneiden käsiteltävien liitosten takia. Teräsbetonipilareiden lisäksi myös liimapuu- ja teräspilareiden liitokset perustuksiin on kuitenkin käsitelty luvussa 8.1 *Perustuksen ja pilarin väliset liitokset*.

2 Materiaalivaihtoehdot

2.1 Betoni

Betoni on rakennemateriaali, jolla on huomattavan suuri puristuslujuus verrattuna sen vetolujuuteen. Betoni koostuu vedestä, liima-aineksista, kiviaineksista ja lisä- ja seosaineista ollen hyvin pitkäaikaiskestävä materiaali, jolla on myös hyvät palonkesto- ja kosteudenkesto-ominaisuudet. Raudoittamatonta betonia voidaan käyttää esimerkiksi teollisuushallirakennusten pohjarakenteissa sekä väliseinissä. Betonirakennetta pidetään raudoittamattomana, kun raudoitusta on vähemmän kuin teräsbetonin edellyttämä minimiteräsmäärä. [1, s. 189]

Teräsbetoni on rakennusmateriaali, jossa betonin suhteellisen pieni vetolujuus on otettu huomioon raudoittamalla betoni rakenneteräksin. Käyttämällä jännitettyjä rakenneteräksiä teräksen vaikutusta teräsbetonirakennetta lujittavana komponenttina voidaan ehostaa entisestään, jolloin betoni soveltuu hallirakennuksissa pystyrakenteiden lisäksi myös pitkien jännevälien palkkirakenteisiin. Puhekielessä jännitettyä tai jännittämätöntä rakenneterästä kutsutaan usein kuumaksi tai kylmäksi teräkseksi.

Raudoitettujen betonirakenteiden palonkestävyyttä voidaan kasvattaa lisäämällä betoni- ja jänneterästen betonipeitteen sekä täten keskiöetäisyyksien suuruutta.

2.2 Teräs

Teräs on homogeeninen rakennemateriaali ja sen puristus- ja vetolujuudet ovat likipitäen yhtä suuret, minkä takia se on suosittu materiaali liitoksissa, joissa voimat usein muuttavat suuntaansa. Teräs on myös usein käytetty materiaali rakennuksen kantavan rungon sekä vaaka- että pystyrakenteissa.

Teräs on palamaton materiaali, joka ei edistä palon kehittymistä mutta sen lujuus pienenee jo lieskahduslämpötilassa noin kolmannekseen normaalista lujuudestaan. [2, s. 3] Tämä voi johtaa rakenteen sortumiseen, joten teräsrakenne on useimmiten palosuojattava. Käytännössä palosuojaus toteutetaan joko eristämällä rakenne kuumista palokaasuista tai parantamalla sen lämmönsitomiskykyä. Vaihtoehtototeutuksia eristämisestä ovat palosuojalevytytys, -maalaukset ja -ruiskutus ja -rappaus.

Lämmönsitomiskyvyn parantamiseksi usein käytetty menetelmä on teräsprofiilin täyttämisen betonilla.

2.3 Puu

Puu eroaa muista rakennemateriaaleista mm. siten, että se elää sekä kosteuden vaihtelun että pitkäaikaisen kuormituksen mukaan. Kosteusvaihteluiden vaikutuksen vähentämiseksi puiset rakenteet usein pintakäsitellään esimerkiksi puusuoja-aineella tai lakalla. Puulle on ominaista anisotrooppisuus, toisin sanoen sen materiaaliominaisuudet ovat hyvin erilaiset puun syiden suuntaan kuin poikittain syitä vastaan. Esimerkiksi vetolujuus on noin 50 kertaa suurempi puun syiden suunnassa kuin poikittain syitä vastaan. Siksi on kiinnitettävä huomiota varsinkin rakenteiden liitoskohtiin ja osiin, joissa voima muuttaa suuntaa (esimerkiksi tukipisteet ja kehänurkat). [3, s. 52]

Puun heterogeenisyyttä on kompensoitu kehittämällä tuotteita, joissa yksittäisen sahatavarayksilön ominaisuudet vaikuttavat rakennuksen rungon osana toimivan puutuotteen ominaisuuksiin vähäisesti. Liimapuuelementit valmistetaan yhteen liimaamalla sahatavaralamelleja tai –lautoja haluttujen rakennedimensioiden mukaisesti. Liimapuulla on siten tasalaatuisemmat lujuusominaisuudet eri tuoteyksilöiden välillä, kuin sahatavaralla. Liimapuu soveltuu ensisijaisesti käytettäväksi hallirakennuksen vaakasuuntaisissa kannattimissa sekä kattoelementeissä.

Puu palaa sekä osallistuu osaltaan tulipalon edistämiseen. Palaessaan se hiiltyy ulkopinnaltaan, mutta sen sisäosan lujuus pysyy liki muuttumattomana. Yksinkertaisin tapa kasvattaa massiivipuurakenteen palonkestoa on sen dimensioiden kasvattaminen, ja näin voidaankin saavuttaa hyvät palonkesto-ominaisuudet. Liimapuuelementtien paloteknisesti heikoimmat kohdat ovat niiden teräksestä tehdyt liitoskohdat. Ne on yleensä palosuojattava, jos rakenteelta vaaditaan palonkestävyyttä.

3 Kantavat rakenteet

Runkovaihtoehtoihin valitut tuotteet valittiin niiden soveltuvuuden perusteella. Runkojen osia ei ole tarkkaan mitoitettu vaan rakenteiden jännevälit ja dimensiot on valittu alustavan mitoituksen periaatteella, jolloin myös alustavan mitoituksen käytännöllisyys vaikutti valittuihin tuotteisiin. Runkojen esivalmistusaste pyrittiin pitämään mahdollisimman korkealla suosimalla valmiita teollisia ratkaisuja.

Rakennetuotteiden mitoituksen toteuttaa usein tuotteen toimittaja käyttäen kohteen rakennesuunnittelijan määrittämiä kuormitustietoja. Saatavilla voi myös olla standardituotteita, joiden mitoituksen voi suorittaa myös kohteen rakennesuunnittelija.

Materiaalista riippumatta kantavien rakenteiden mitoitus toteutetaan *Eurokoodin 0: Suunnittelun perusteet* ja *Eurokoodin 1: Rakenteiden kuormitukset* mukaisesti.

3.1 Betonirakenteet

Työssä käsiteltyjä betonituotteita ovat

- Teräsbetonipilarit
- Teräsbetonipalkit
- Jänneteräsbetonipalkit
- HI-palkit
- I-palkit
- TT-laatat

Teräsbetoniset elementtipilarit ovat poikkileikkaukseltaan suorakaiteen tai ympyrän muotoisia. Suositeltava minimipaksuus pilareille on 280 mm. Pienemmät poikkileikkaukset ovat mahdollisia kevyesti kuormitetuissa rakennuksissa kuten pientaloissa. Teräsbetonipilareiden käyttö on useimmiten perusteltua hallirungoissa tapauksesta riippumatta, sillä niissä kuormitukset ovat yleensä teräsbetonipilareiden kuormitusalueella. [4.]

Teräsbetoniset elementtipalkit ovat ensisijaisesti suorakaiteen muotoisia, mutta myös leuka- ja ristipalkit ovat mahdollisia poikkileikkauksia. Teräsbetonipalkkien käyttö on perusteltua tapauksissa, joissa palkkien kuormitukset ja jännevälit vaihtelevat sekä tilattava valmistussarja on lyhyt, alle 50 jm. [5.]

Jänneteräsbetoninen elementtipalkki voi olla poikkileikkaukseltaan suorakaide, 1- tai 2-puoleinen leukapalkki, ristipalkki tai I- tai HI-profiili. Jänneteräsbetonipalkkien käyttö on perusteltua, kun palkkien kuormitukset ovat tuotteelle soveltuvaa suuruusluokkaa. Jänneteräsbetonipalkkien käyttäminen on taloudellista, kun kohteen palkkien taiputusmomentit ovat samaa suuruusluokkaa ja tilattava valmistussarja on riittävän suuri, yli 50 jm. [5.]

TT-laatat ovat esijännitettyjä teräsbetonielementtejä, joita käytetään yleisimmin suurten myymälä-, teollisuus- ja varastorakennusten yläpohjissa. Poikkileikkauksensa ansiosta TT-laatat ovat eritoten soveltuvia sellaisissa tapauksissa, joissa vaaditaan runsaasti vapaata tilaa sisätiloissa. [6.]

Teräsbetonielementtien rakenteelliseen suunnitteluun kuuluu elementtityyppien valinta sekä niiden liitosten sekä yksityiskohtien suunnittelu. Elementtisuunnitelmissa esitetään elementtikaaviot sekä elementtikohtaiset mittapiirustukset. Lopullisen raudoitussuunnittelun tekee valmistajan tuoteosasuunnittelija.

Betoniteollisuus ry:n julkaiseman *Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan* -opassarjan osissa on esitelty eurokoodimitoituksen perusteet, betonirakenteiden suunnitteluperusteet sekä betonilaattojen, -palkkien, -pilareiden, -perustusten, -pilarilaattojen sekä taipumien mitoitusmenettelyt sekä selitetty niihin liittyviä eurokoodien sääntöjä.

Betonirakenteiden mitoitus toteutetaan *Eurokoodin 2: Betonirakenteiden suunnittelu* mukaisesti.

3.2 Teräsrakenteet

Työssä käsiteltyjä terästuotteita ovat

- Teräspankipilarit
- Teräspankipalkit
- Teräsristikot
- Kevytteret
- Kantavat poimulevyt
- Pelti-villa-pelti -kattoelementit
- Teräskiinnikkeet

Teräksiset putkiprofiilit soveltuvat sekä käytettäväksi pilareina, palkkeina sekä ristikkokannattimina. Laajan vakioprofiilikokoelman lisäksi eri valmistajat voivat tarjota käytettäväksi myös omia ratkaisujaan. Esimerkiksi kevytorsia voidaan käyttää kevyisiin ripustuksiin ja kannakointiin seinissä ja yläpohjissa.

Kantava poimulevy on ensisijaisesti erilaisten yläpohjaratkaisujen rakenne, mutta poimulevyä voidaan käyttää myös välipohjissa, joissa ne toimivat muottina betonivaluille sekä liittorakenteena yhdessä kovettuneen betonin kanssa.

Pelti-villa-pelti –elementti on yleisesti käytetty tuote hallimaisissa rakennuksissa. Elementtijärjestelmää voidaan käyttää seinissä, yläpohjissa, kylmätiloissa sekä osastoivissa rakenteissa. Elementit koostuvat metalliohutlevyistä ja niiden välissä olevasta eristeestä, joka vaihtelee valmistajasta ja tuotteesta riippuen. Ne vaativat yleensä sekundääräkannattimia rajallisen kuormakapasiteettinsa takia. [7, s. 3] PVP-elementit vaativat yleensä sekundääräkannattimia kuormituskapasiteettinsa suuruusluokan vuoksi.

Ruukki on julkaissut *Hitsatut profiilit EN 1993 -käsikirjan* sekä *Rakenneputket EN 1993 -käsikirjan*, joista löytyy laajasti tietoa ja apua teräsrakenteiden sekä niiden liitosten mitoittamiseen. Ruukki on myös julkaissut teräsristikoiden ja -kehien mitoitusohjelman *WinRami*, joka on tarkoitettu putkiprofiileista ja/tai hitsatuista tai kuumavalssatuista I-profiileista valmistettavien teräsrakenteiden rakenneanalyysiin ja suunnitteluun. Poimu-mitoitusohjelmalla rakennesuunnittelija voi mitoittaa hallirungoissa usein käytetyt kantavat poimulevyt.

Teräsrakenteiden mitoitus toteutetaan *Eurokoodin 3: Teräsrakenteiden suunnittelu* mukaisesti.

3.3 Puurakenteet

Työssä käsiteltyjä puutuotteita ovat

- Liimapuupilarit
- Liimapuupalkit
- Liimapuuristikot
- A-liimapuukannattimet
- Puurakenteiset kattoelementit

Liimapuun vahvuuksia ovat kevyt omapaino, helppo työstettävyys sekä vähäinen epätasalaatuisuus ja halkeilu verrattaessa sahatavarapuuhun. Teräksen tavoin siitä voidaan toteuttaa monipuolisesti runkorakenteita, kuten pilareita, palkkeja ja erilaisia kannattimia. Liimapuukannattimilla voidaan saavuttaa suuria jännevälejä, minkä takia niitä on käytetty useissa Suomen urheiluhallirungoissa, joissa pilareiden lukumäärä on haluttu pitää mahdollisimman pienenä.

Puurakenteiset kattoelementit ovat kevyt ja nopeasti asennettava vaihtoehto teollisuushallin yläpohjaan. Elementit ovat valmiiksi eristettyjä ja niiden vesikattopinnoitteena voidaan käyttää eri ratkaisuja. Elementtien sisäpinta voi olla saumausta vaille valmis julkisivupinta heti asennuksen jälkeen. Rakenteensa ansiosta elementit eivät vaadi sekundääräkannattimia vaan niitä voidaan käyttää jopa 18 metrin jänneväliä yksiaukkoisena. [8, s. 8]

Puuinfo-palvelu on julkaissut *Liimapuukäsikirjan* ja *Puuhallin rakenteet – Esisuunnittelu ja valintaperusteet* -ohjeen, joiden mitoitusperiaatteet pohjautuvat suurimmaksi osaksi Suomen RakMK:n mukaiseen mitoitukseen, mutta myös eurokoodin mukaisia ohjeita julkaisuista löytyy, kuten *Lyhennetty suunnitteluohje – Eurokoodi 5*. Lisäksi Puuinfo.fi -palvelu on julkaissut eurokoodien mukaisia rakenneosakohtaisia suunnitteluohjeita sekä esimerkkilaskelmia.

Puurakenteiden mitoitus toteutetaan *Eurokoodin 5: Puurakenteiden suunnittelu* mukaisesti.

4 Suunnitteluperusteet

Yhtenä kokonaisuutena toimivat rakenteet tulee suunnitella käyttäen vain yhtenäistä suunnittelu- ja toteutusjärjestelmää, joita ovat Suomessa käytännössä Eurokoodi sekä Rakentamismääräyskokoelma. Tämä tulee huomioida käytettäessä elementtivalmistajien laatimia suunnitteluohjeita, joiden täytyy olla kohteen suunnittelujärjestelmän kanssa yhteensopivia.

4.1 Eurokoodi

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista ja pohjarakenteista tuli voimaan 1.9.2014. Asetuksella kumottiin rakentamismääräyskokoelman B-osat, jolloin rakennusten kantavat rakenteet tulee tästä eteenpäin suunnitella EN-suunnittelustandardien eli eurokoodien sekä niitä koskevien kansallisten liitteiden vaatimukset täyttäväksi. Muun kuin eurokoodin soveltaminen suunnittelujärjestelmänä on yhä mahdollista, mutta suunnittelijan on silti pystyttävä todentamaan että rakenteet täyttävät eurokoodien vaatimusten mukaiset lujuus-, vakaus-, käyttökelpoisuus- sekä käyttöikävaatimukset. [9.]

4.2 Suomen Rakentamismääräyskokoelma

Kantavien rakenteiden lujuutta käsittelevää B-osaa lukuun ottamatta kaikki Suomen rakentamismääräyskokoelman osat ovat yhä määräysten osalta kaikkia rakentamisen osapuolia velvoittavia. Esimerkiksi rakennusten eristykset ja energiataloudellisuus suunnitellaan vieläkin RakMK:n määräysten mukaisesti. Määräykset sisältävät rakentamista koskevia säännöksiä, yleisiä edellytyksiä sekä teknisiä vaatimuksia. Lisäksi niissä määritellään rakentamisen lupamenettely sekä viranomaisvalvonta.

Ympäristöministeriö on julkaissut määräysten ohessa myös määräyskokoelmiin liittyviä ohjeita. Nämä ohjeet eivät ole velvoittavia.

4.3 Betoni- ja puuelementtistandardit RunkoBES ja RunkoPES

Betonelementtistandardi RunkoBES sekä puuelementtistandardi RunkoPES on luotu yhdenmukaistamaan eri elementtivalmistajien välisiä runkojärjestelmiä, liitostyyppejä sekä elementtien valmistusta ylipäättään. Ne molemmat ottavat myös kantaa muun muassa mittajärjestelmiin ja kuvien merkintätapoihin. RunkoBES antaa ohjeita myös elementtien kuljettamiseen, nostamiseen sekä rakenteelliseen mitoittamiseen liittyviin asioihin. Molemmat näistä standardeista on suunniteltu materiaalien suhteen pääasiassa homogeenisiksi varsinkin liitostyyppien suhteen. Lisäksi niiden välillä on eroja mittajärjestelmissä, joiden perusteella kohteiden moduuliviivastot suunnitellaan. Molemmat elementtistandardit ovat avoimia eivätkä ne ole rakentamisen osapuolia sitovia.

5 Palomitoitus

Rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet on koottu Suomen Ympäristöministeriön ylläpitämään rakentamismääräyskokoelmaan. Rakentamismääräyskokoelma sisältää maankäyttö- ja rakennuslakia täydentäviä määräyksiä ja ohjeita, joista määräykset ovat kaikkia rakentamisen osapuolia sitovia ja ohjeet esimerkkejä määräykset täyttävistä ratkaisuista.

Rakentamismääräyskokoelman osasta E1 *Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet* ja E2 *Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus* löytyy tämän opinnäytetyön aiheen mukaisiin teollisuushalleihin sovellettavia paloturvallisuusmääräyksiä, -ohjeita sekä opastavia tietoja. Tässä kappaleessa on käsitelty niiden vaikutusta teollisuushallin rungon osiin ja liitoksiin käytettäessä ns. taulukkopalomitoitusta tai toiminnallista palomitoitusta.

5.1 Taulukkomitoitus

Rakentamismääräyskokoelman osien E1 ja E2 määräysten ja ohjeiden mukaisella taulukkomitoituksella voidaan tehokkaasti määrittää vaatimukset teollisuushallin kantavan rungon palonkestolle, pintaluokalle sekä palo-osastointi- ja savunpoistojärjestelmille. Vaatimukset riippuvat kolmesta muuttujasta, jotka vaihtelevat

rakennuksen koon, käyttötarkoituksen, sammutuskaluston ja -laitteiston mukaan. Nämä muuttujat on esitelty taulukossa 1.

Muuttuja	Vaikuttava tekijä	Luokka tai taso
Rakennuksen paloluokka	Rakennuksen henkilömäärä, kerrosluku ja korkeus	P1, P2 ja P3
Palovaarallisuusluokka	Rakennuksen käyttötarkoitus	1 ja 2
Suojaustaso	Rakennuksen palo- tai sammutuskalusto ja -laitteisto	1, 2 ja 3

Taulukko 1. Rakennuksen rungon palonkestovaatimukseen vaikuttavat muuttujat.

Sen lisäksi, että teollisuushallin kantava runko on mitoitettava lujuutensa puolesta vastaamaan sille määritettyä palotilanteen palonkestovaatimusta, on myös hallin rakenteiden tai niiden verhoiluiden pintaluokkien vastattava määräysten mukaisia vaatimuksia. Rakennustarvikkeiden paloluokkamerkintä (pintaluokka) ilmaisee materiaalin ominaisuuksia taulukon 2 mukaisesti.

Paloluokkamerkintä D-s2, d2	Paloluokkamerkintä D _{FL} -s1
D = lämmöntuottoa ja liekin leviämistä kuvaava merkintä	D _{FL} = liekin leviämistä kuvaava merkintä
s2 = savuntuottoa kuvaava merkintä	s2 = savuntuottoa kuvaava merkintä
d2 = palavien pisaroiden tai osien muodostumista kuvaava merkintä	

Taulukko 2. Rakennusmateriaalien paloluokkamerkinnät.

Käytettäessä RakMK osien E1 ja E2 mukaista taulukkopalomitoitusta teollisuushallin rungon paloluokkavaatimukset voidaan määrittää liitteen 1 mukaisesti. Erilaisin taulukossa esitellyin ehdoin voidaan rungon paloluokkavaatimuksia lieventää. Lievennykset mahdollistavat myös sellaisten materiaalien, joilla on ominaisuuksiensa tai vallitsevien määräysten takia alhainen palonkesto, käyttämisen rakennuksen rungossa.

Liitteessä 2 esitellään tuotanto- ja varastorakennuksen palo-osastointia määrittäviä tekijöitä.

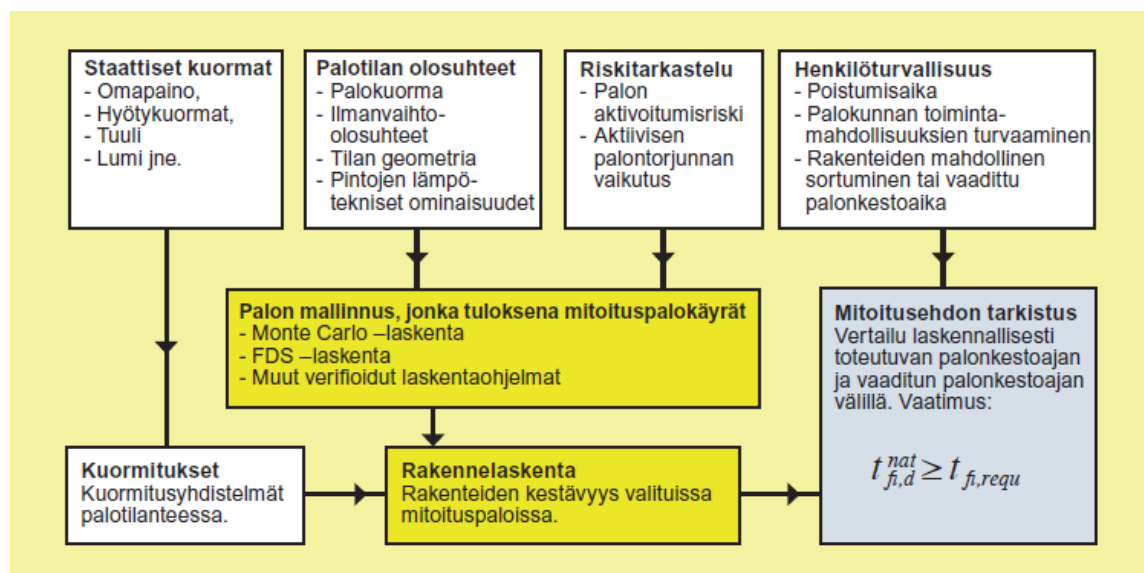
Suojauksen yksityiskohdista tulee aina neuvotella paikallisen pelastusviranomaisen kanssa. [10, s. 3]

5.2 Toiminnallinen mitoitus

Rakentamismääräyskokoelman osa E1 antaa mahdollisuuden käyttää myös tapauskohtaista toiminnallista palomitoitusta. Rakennuksen paloteknistä suunnittelua tarkastellaan tällöin koe- ja laskentamenetelmin, jolloin RakMK:n E1:n ja E2:n taulukot ja määräykset eivät ole sitovia.

Toiminnallista palomitoitusta on välttämätöntä käyttää silloin, kun taulukkomitoituksen määrittämää vaatimustasoa ei ole mahdollista saavuttaa rakenteellisilla ratkaisulla. Toisin sanoen tämä tarkoittaa tilannetta, jossa runkoa tai jotain rungon osaa ei saada palosuojaamalla vastaamaan kyseessä olevan taulukkomitoituksen mukaisen paloluokkavaatimuksen määrittämiä ominaisuuksia. Teollisuushallin ollessa kyseessä tämä voi käydä toteen esimerkiksi rahallisten resurssien tai hallin käyttötarkoituksen sanelemana.

Toiminnallisessa suunnittelussa rakenteiden tai muiden osatekijöiden yksittäisille ominaisuuksille ei aseteta rajoituksia, vaan suunnittelussa tarkastellaan koko kohteen paloturvallisuutta ottaen huomioon kaikkien osatekijöiden yhteisvaikutus, jolloin mm. osastokoolle ja pintakerroksille ei aseteta erityisiä vaatimuksia. [11, s. 130] Tavoitteena on ymmärtää mahdollisen palon aikaiset tapahtumat entistä paremmin ja suunnitella rakennuksen palonkestävyys ottamalla huomioon eri tekijöiden vaikutukset henkilöiden ja rakenteiden turvallisuuteen. Aktiivisen (esim. sprinklaus, palokunnan toiminta) ja passiivisen (esim. rakenteellinen palosuojaus) palontorjunnan sopivaa yhdistelmää käyttäen voidaan toiminnallisella palosuunnittelulla saavuttaa kohteelle tavoiteltu turvallisuustaso. [12, s. 5]



Kuva 1. Oletettuun palonkehitykseen perustuvan rakenteellisen palomitoituksen kulku yksinkertaistettuna [12, s. 4].

RakMK:n osan E1 kohdassa 6.3.1 todetaan myös, että toiminnallista palomitoitusta käytettäessä ”rakennusta pidetään riittävän paloturvallisena kantavien rakenteiden osalta, mikäli:

- yli kaksikerroksinen rakennus ei yleensä sorru palon eikä jäähtymisvaiheen aikana tai
- enintään kaksikerroksinen rakennus ei sorru poistumisen turvaamiseen, pelastustoimintaan ja palon hallintaan saamiseen tarvittavana aikana.”

Enintään kaksikerroksisen ullakottoman rakennuksen yläpohjalle on RakMK:n osan E1 kohdassa 6.2.1 määritetty erilliset vaatimukset. Tämän kohdan taulukosta 6.2.1 on kopioitu tämän työn käsittelemiä rakennuksia koskevat osuudet taulukkoon 3.

Sarake	Rakennuksen paloluokka						P3
	P1			P2			
	Palokuorma MJ/m ²			Palokuorma MJ/m ²			
	yli 1200	600-1200	alle 600	yli 1200	600-1200	alle 600	
	1	2	3	4	5	6	
Yläpohjan rakenteiden vaatimukset enintään 2-kerroksisessa rakennuksessa, jossa ei ullakkoa, mikäli yläpohjan eristeet ovat vähintään A2-s1, d0-luokkaa, tai mikäli yläpohjan eristeet on suojattu syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muulta vaurioitumiselta:							
- P1-luokan rakennuksissa K₂ 60-luokan suojaverhous tai EI 60-luokan rakenne ja - P2-luokan rakennuksissa K₂ 30-luokan suojaverhous tai EI 30-luokan rakenne.							
Läpiviennit ja muut asennukset tulee toteuttaa siten, että eristeiden suojaus ei niiden johdosta heikkene.							
- rakenteet, jotka ovat rakennuksen kantavan rungon tai jäykisteiden olennainen osa ¹⁾	R 60	R 60	R 60	R 30	R 30	R 30	-
- rakenteet, jotka eivät ole rakennuksen kantavan rungon tai jäykisteiden olennainen osa ¹⁾	R 15	R 15	R 15	R 15	R 15	R 15	-
Ullakon tai ontelon vesikattorakenteet, jotka eivät ole rakennuksen rungon olennaisia kantavia tai palossa runkoa jäykistäviä rakenteita	-	-	-	-	-	-	-

Taulukon huomautukset:

Parvekkeiden palonkestävyysaika vaatimus on puolet kerroksen kantavien rakenteiden vaatimuksesta.

Tuotanto- ja varastorakennuksessa sallitaan lievennyksiä Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeiden E2 mukaisesti.

¹⁾ Ohje: Taulukossa 6.2.1 tarkoitettuja kantavan rungon tai jäykisteiden olennaisia osia ovat pääkannattajat, runkoa jäykistävät sekundääräkannattajat ja yläpohjan jäykisteet ja muut sellaiset yksittäiset rakenteet, jotka toimivat yläpohjan stabiliteetin säilyttämiseksi, sekä näiden väliset liitokset.

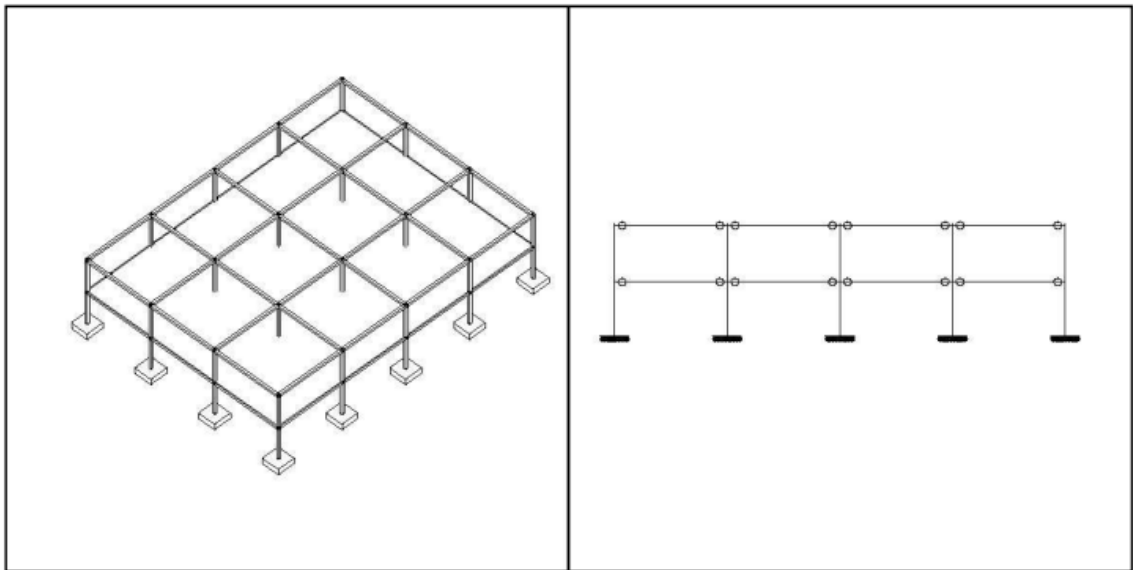
Taulukon merkinnät:

- * = rakennuksen eristeiden ja muiden täytteiden tulee olla vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista.
-  = kantavat rakenteet on tehtävä vähintään luokan A2-s1, d0 tarvikkeista
- = ei luokkavaatimusta (katso kohta 6.1.2)
- ei mahd. = ei mahdollinen

Taulukko 3. Yläpohjan rakenteiden palotekniset vaatimukset enintään 2-kerroksisessa rakennuksessa [13, s. 16].

6 Jäykistys

Pilari-palkki-runkoiset teollisuushallit jäykistetään yleensä mastopilarijärjestelmällä, koska kyseinen jäykistysjärjestelmä ei vaadi mastopilareiden lisäksi muita jäykistäviä pystyrakenteita. Runko voidaan siten toteuttaa avoimena, minkä ansiosta rakennuksen käyttötarkoitusta voidaan muuttaa rakennuksen elinkaaren aikana runkoa muokkaamatta. Lisäksi perustusten ja pilareiden välisiä liitoksia lukuun ottamatta kaikki muut pilareiden liitokset voidaan mastopilarijäykistysjärjestelmän toimintaperiaatteen ansiosta toteuttaa nivelliitoksiksi, mikä on ajankäytöllisesti hyvä sekä elementtirakentamisen luonteeseen sopiva ratkaisu. On kuitenkin huomioitava, että nivelliitosten tulee siirtää vaakakuormia, jotta mastopilarijäykistysjärjestelmä toimii.



Kuva 2. Mastopilarijäykistysjärjestelmän periaate [14, s. 14].

Mastopilarijäykistysjärjestelmän käyttökelpoisuuden rajana voidaan pitää noin 12m:n korkeutta. Tämän korkeuden jälkeen pilareiden vaadittavat poikkileikkausmitat kasvavat epätaloudellisiksi ja siirtymien hallinta vaikeutuu. [14, s. 14]

Yleisimpiä teollisuushallin jäykistys suunnittelussa huomioitavia kuormia ovat

- asennusaikaiset kuormat,
- tuulikuormat,
- nosturikuormat,
- törmäys- ja jarrukuormat,
- rakenteiden epäkeskisyyden tai vinouden aiheuttamat kuormat,
- rakenteiden muodonmuutosten aiheuttamat kuormat sekä
- toisen kertaluvun kuormat tarvittaessa.

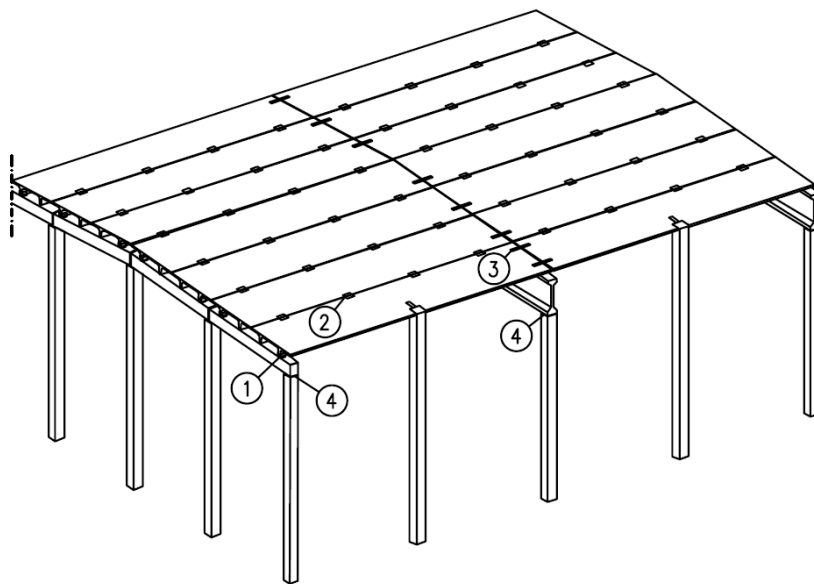
Mastopilarijärjestelmällä jäykistetyissä teollisuushalleissa yläpohjarakenne voi olla ainoa vaakasuora taso, jota voidaan käyttää kuormien siirtämiseen jäykistäville mastopilareille. Tämän työn yläpohjarakennevaihtoehtoja voidaan käyttää materiaalista riippumatta vaakakuormien siirtämiseen mastopilareille, jotka edelleen välittävät kuormat perustuksille ja maapohjaan. Yläpohjan tulee tässä jäykistysjärjestelmässä

toimia ns. jäykkänä levynä, jonka toteutus vaihtelee kulloinkin kyseessä olevan yläpohjatuotteen ja –materiaalin mukaan. Mastopilareina, eli rungon jäykistämiseen osallistuvina pilareina, toimivat jäykästi perustuksiinsa kiinnitetyt rungon pilarit, joiden liitokset kannattimiin ovat yleensä vaakakuormia siirtäviä nivelellisiä liitoksia. Mastopilarin mitat sekä raudoituksen määrä kasvaa rakennuksen korkeuden, jäykistyskuormien ja täten pilarilta vaaditun jäykkyyden kasvaessa.

6.1 TT-laatastoyläpohja

Jäykistävän TT-laatastoyläpohjan TT-laatat sidotaan toimimaan yhtenäisenä laatastona hitsausliitosten avulla. Hitsausliitokset toteutetaan yleensä 4m k/k-jaolla, kuitenkin vähintään neljä kappaletta yhtä laattaelementtiä kohden. Laatan päissä olevat liitokset mitoitetaan puristus- ja vetovoimille ja keskellä olevat liitokset laattojen saumassa vaikuttavalle leikkausvoimalle. TT-laatastot välittävät ulkoseinärakenteilta ja tuulipilareilta kantautuvat kuormat vaakakannattimille ja mastopilareille, joiden välityksellä kuormat kantautuvat joko perustuksiin tai seuraavalle TT-laatastolle. Kuormat eivät siirry laatastojen välillä suoraan, sillä pakkovoimien syntymisen estämiseksi TT-laatastojen sivuttaissiirtymä on estetty vain laattojen toisesta tukipisteestä ja tällöinkin vain siitä laatan uumasta, joka on lähempänä lähintä mastopilaria. Toisesta päädystään TT-laatat on tuettu alapuoliseen kannattimeen sivusiirtymän sallivalla liitoksella. Keskenään laatat on päädyistään liitetty myöskin joustavalla sivusiirtymän sallivalla liitoksella.

Myös TT-laattojen päälle valettu pintabetonilaatta voidaan mitoittaa toimimaan laattoja sitovana rakenteena. Pintabetonilaatan tulee tällöin olla vähintään 40mm paksu, jotta sen voidaan varmuudella katsoa osallistuvan laatastion toimintaan levymäisenä rakenteena. Käytännössä pintabetonilaatan paksuus on yleensä vähintään 60mm.



1. TT-laatan sivusiirtymän estävä liitos kannattimeen
2. TT-laatan jäykkä hitsausliitos viereiseen TT-laattaan
3. TT-laatan sivusiirtymän salliva liitos viereiseen TT-laattaan
4. Kannattimen jäykkä liitos mastopilariin

Kuva 3. Jäykistävän TT-laatastoyläpohjan periaate.

6.2 Poimulevy-yläpohja

Poimulevyä voidaan käyttää jäykistävänä rakenteena, jolloin limitetyn poimulevystön voidaan katsoa siirtäen kuormia jäykän levyn tavoin. Tällöin poimulevyjen kiinnikkeiden määrä suurenee ja jako tihenee huomattavasti verrattuna tilanteeseen, jossa poimulevyä ei lasketa jäykistäväksi rakenteeksi. Myös liitosten laadullinen vaatimustaso kasvaa. Kiinnikkeiden laadulle ja poimulevyjen välisille limityksille voidaan myöskin asettaa erityisvaatimuksia.

On yleistä, että suurissa hallirungoissa poimulevy-yläpohjaa ei mitoiteta jäykistäväksi rakenteeksi, vaan runkoon suunnitellaan erilliset jäykistävät vaakarakenteet, kuten teräsristikot katossa ja ulkoseinillä. Tähän on syynä poimulevyn rajallinen kapasiteetti jäykistävänä rakenteena sekä sen kiinnitysten runsaslukuisuuden ja laadullisten vaatimusten aiheuttamat haasteet työmaalle varsinkin rungon asennusvaiheen aikana.

6.3 Puukattoelementtiyläpohja

Teollisuushallin koosta ja paloluokasta riippuen puurakenteisia kattoelementtejä voidaan yleensä käyttää jäykistävänä rakenteena. Puukattoelementit vinoruuvataan toisiinsa kiinni siten, että yläpohja toimii jäykän levyn tavoin. Kiinnitysten mitoituksen toteuttaa elementtien toimittaja. Mikäli kattoelementtejä käytetään osana jäykistysjärjestelmää, tulee kattoelementin ja kannattimen liitos mitoittaa vähintään kannattimen nurjahdusvoimalle.

Jäykistystä täydentävät teräsrakenteiset jäykisteet tulevat usein kyseeseen suurissa kohteissa, joissa rakennuksen stabiiliteetin asennusaikainen tilanne vaatii erityistä huomiota.

7 Runkovaihtoehdot

Esimerkkikohteen mukaiselle teollisuushallille on lukemattomia runkoratkaisuvaihtoehtoja. Erilaisten ratkaisujen perusteena voi olla lujuustekniset, palotekniset, kuljetustekniset, esteettiset tai periaatteelliset seikat. Tässä työssä on esitelty kolme ei-yhdistelmärunkovaihtoehtoa ja seitsemän yhdistelmärunkovaihtoehtoa, jotka on suunniteltu alustavan suunnittelun mukaisella tarkkuudella käyttäen apuna eri elementtivalmistajien ohjeita ja esimerkkejä. Rungot on laadittu oheisten lähtötietojen ja ehtojen mukaisiksi.

Rakennuksen tiedot

- Pilari-palkkirunko
- Ei välipohjia
- Harjakatto
- Ulkomitat 54,0 m x 96,0 m
- Sisätilan vapaa korkeus pääosin 6,2 m

Kuormituksen tiedot (EN 1991-1-1)

- Suunniteltu käyttöikä 50 vuotta
- Seuraamusluokka CC2
- Maastoluokka III
- Tuulenpaineen perusarvo 21 m/s
- Peruslumikuorma katolla 2,6 kN/m²
- Katon ripustuskuormat 0,5 kN/m²

Taulukko 4. Esimerkkirunkojen lähtötiedot.

Kaikkien runkovaihtoehtojen jäykistämiseen voidaan käyttää mastopilarijärjestelmää, jossa kuormat siirretään jäykistävän yläpohjarakenteen tai muun vaakasuunnassa kuormia siirtävän jäykistävän rakenteen avulla rungon jäykistäville mastopilareille. Tällaisia rakenneosia ovat esimerkiksi jäykistysristikot, levyseinät ja vetosauvat. Rungon jäykistäminen on käsitelty rungoille likimääräisesti. Esimerkiksi nurjahdustukien tarvetta ei ole kannattimille tarkistettu.

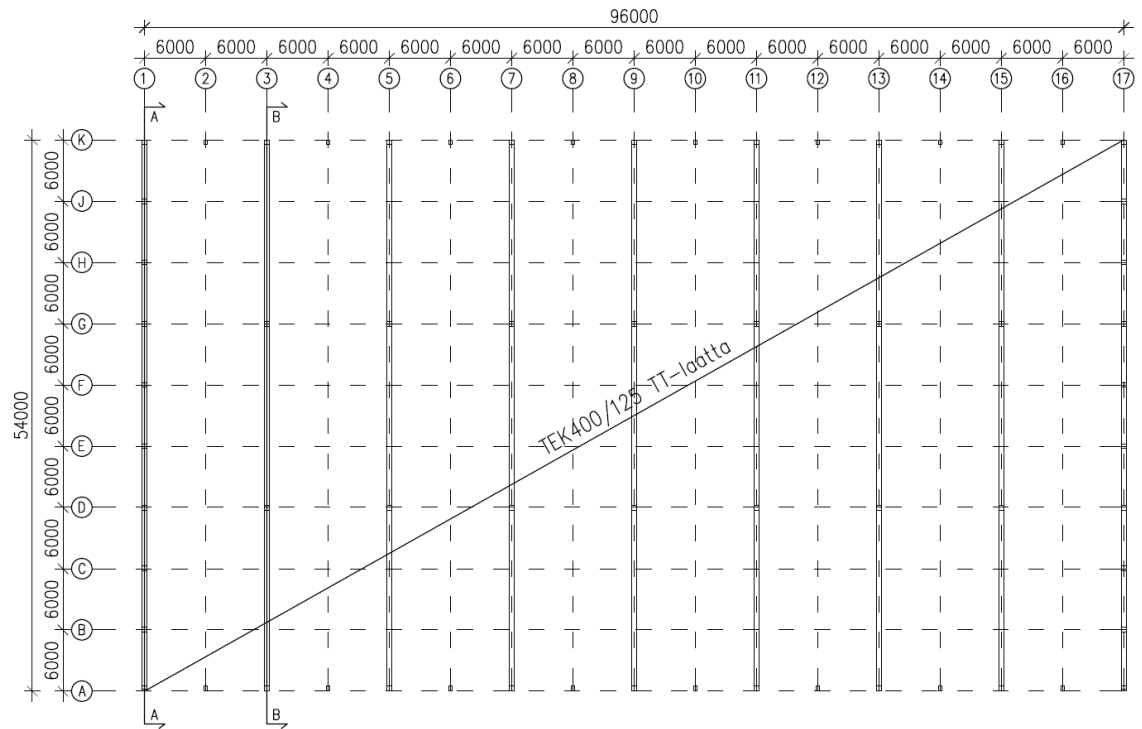
7.1 Yksimateriaaliset rungot

Yksimateriaalisten runkojen kaikki kantavan rungon rakenneosat ovat samasta materiaalista valmistettuja. Teräksiset liitinosat ei katsota tekevän rakenteista yhdistelmä rakenteita.

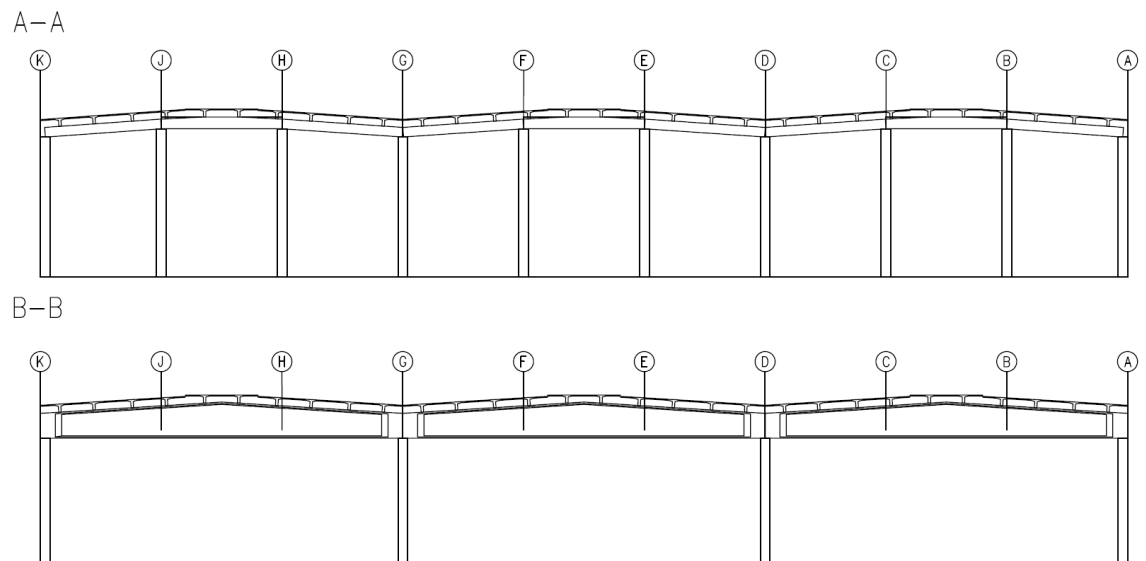
7.1.1 Betonirunko

Betonirungon kaikki pysty- ja vaakarakenteet ovat teräsbetonisia. Pääkannattajina toimivat esijännitetyt HI-palkit, joiden k/k-jako on 12m ja pituus 18m, sekä yläpohjarakenteena esijännitettyjä TT-laattoja, joiden leveys on 3,6 m ja pituus 12m. Reunapalkkeina käytetään teräsbetonisia suorakaidepalkkeja paitsi harjojen kohdilla, joissa käytetään teräsbetonisia harjapalkkeja. Pystyrakenteiksi on valittu teräsbetonipilarit.

Runko on jäykistetty teräsbetonisin mastopilarein, joille kuormat siirretään jäykän levyn tavoin toimivan TT-laataston sekä HI-palkkien välityksellä. Mastopilarit välittävät kuormat perustuksille.



Kuva 4. Betonirungon pohjakuva.



Kuva 5. Betonirungon leikkauskuvat.

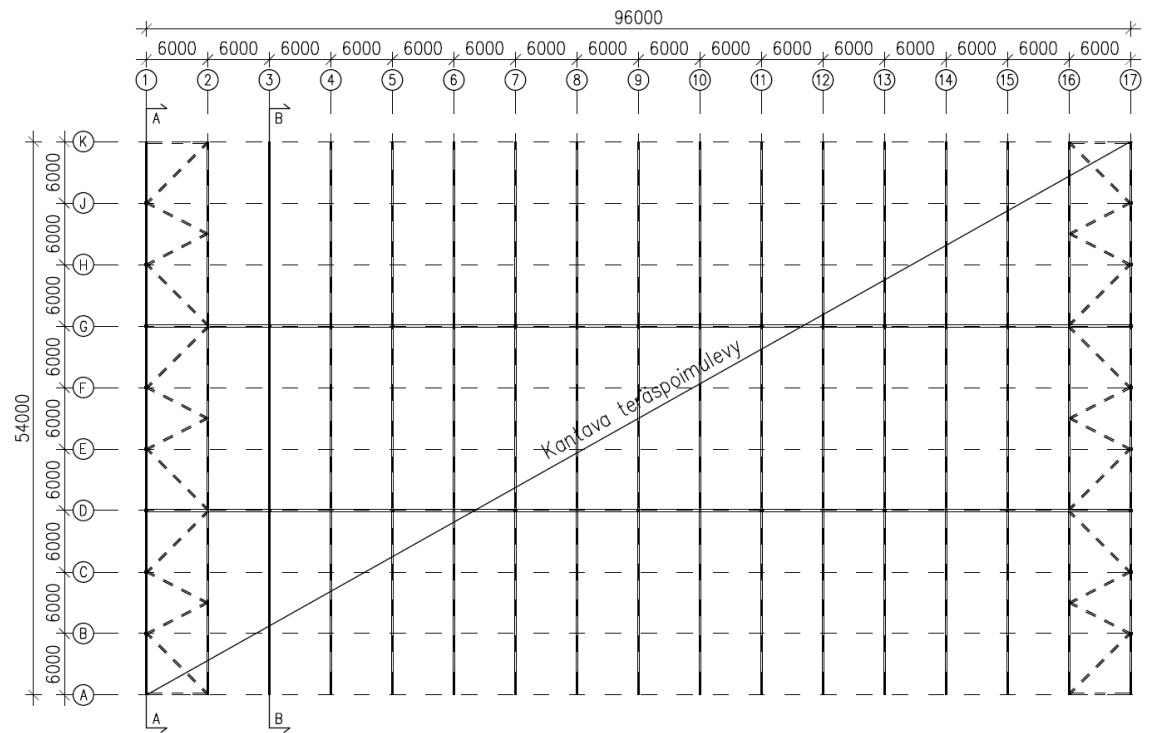
Yläpohja	Tuote	Mitat
Yläpohjarakenne	TT-laatta TEK400/125	B=3600, H=400, L=12000
Kannattimet		
Primäärikannatin	HI-palkki HI 1800-480	B=480, H ₁ =1240, H ₂ =1800, L=18000
Päätykannatin harjalla	TB-harjapalkki	380 x 580, L=6000
Päätykannatin reunoilla	TB-palkki	380 x 480, L=6000
Pilarit		
Pääpilari	TB-pilari	480 x 480
Reunapilari	TB-pilari	480 x 480
Keskipilari	TB-pilari	480 x 480
Tuulipilari	TB-pilari	380 x 480
Esiintyvät liitokset		
TB-pilari	⇔	Perustukset
TB-pilari	⇔	HI-palkki
TB-pilari	⇔	TB-palkki
TB-pilari	⇔	TT-laatta
HI-palkki	⇔	TT-laatta
TB-palkki	⇔	TT-laatta

Taulukko 5. Betonirungon rakenteet.

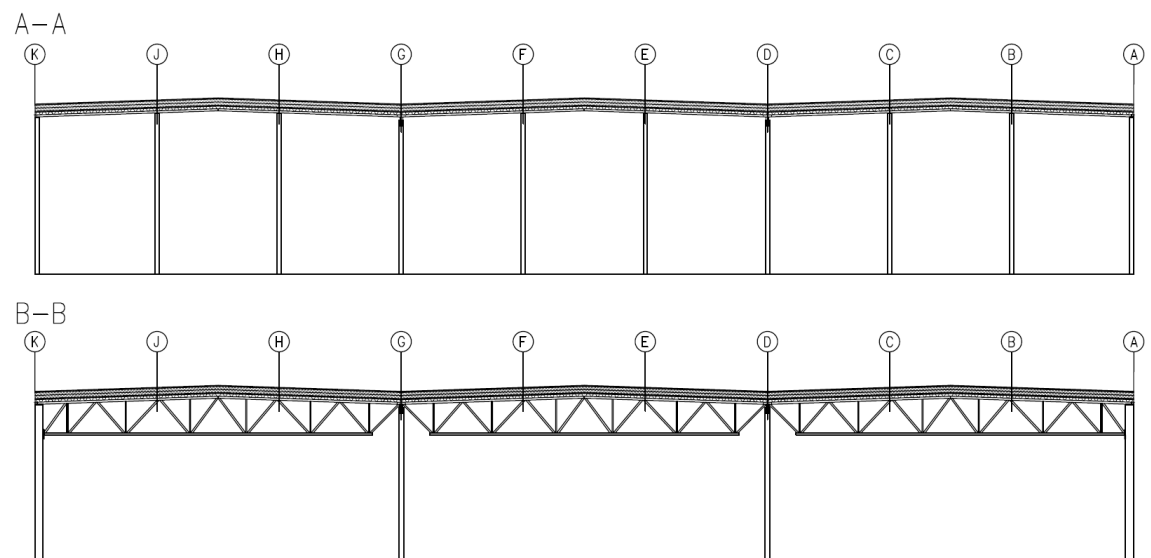
7.1.2 Teräsrunko

Teräsrungon kaikki pysty- ja vaakarakenteet ovat teräsrakenteisia. Pääkannattajina toimivat putkiteräksestä rakennetut teräsharjaristikot, joiden k/k-jako on 6m, ja niskakannattimina myöskin putkiteräksestä valmistetut teräsristikot. Yläpohjarakenne on kantava poimuteräslevy. Reunapalkkeina käytetään teräsprofiilipalkkeja. Pystyrakenteiksi on valittu putkiteräspilarit.

Yläpohjan kantava poimuteräslevy toimii jäykistävänä levynä, joka siirtää vaakakuormia rungon jäykistäville mastopilareille, jotka välittävät kuormat edelleen perustuksille. Jäykistysjärjestelmää on täydennetty teräsristikkorakenteilla.



Kuva 6. Teräsrungon pohjakuva.



Kuva 7. Teräsrungon leikkauskuvat.

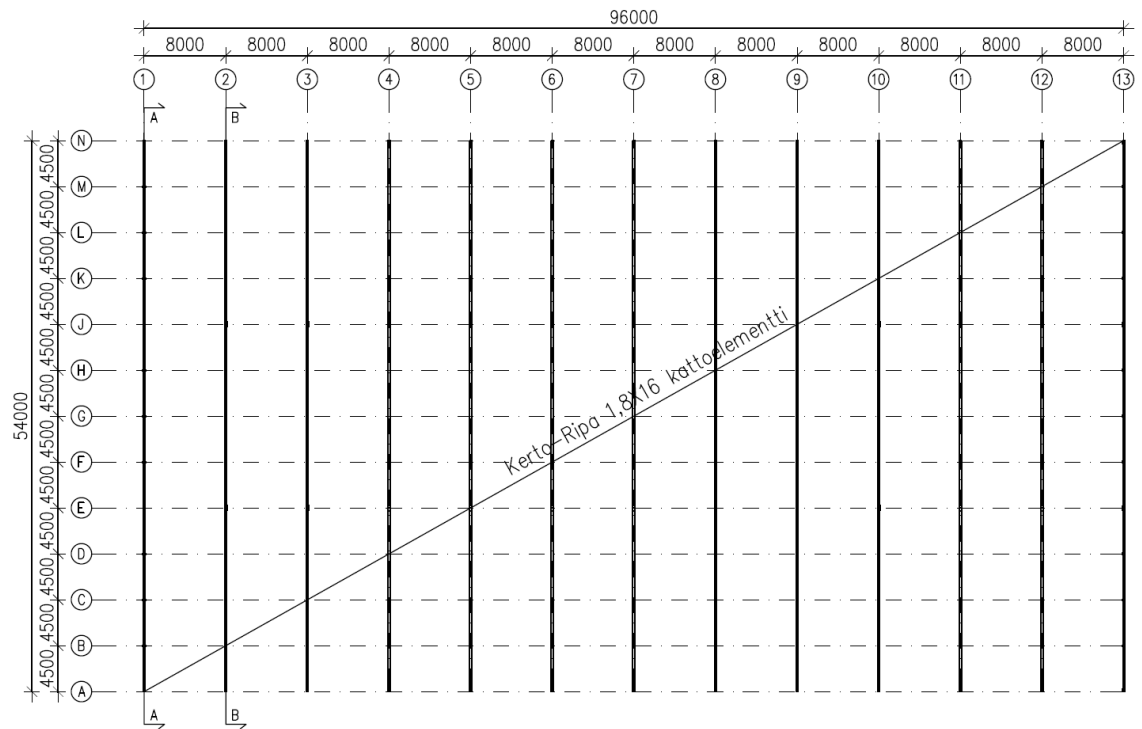
Yläpohja	Tuote	Mitat
Yläpohjarakenne	Poimuteräslevy	
Kannattimet		
Primäärikannatin	Teräsharjaristikko	$H_1=1600$, $H_2=1900$, $L=18000$
Niskakannatin	Teräsristikko	$H=1200$, $L=12000$
Päätykannatin	Teräspalkki	$L=6000$
Pilarit		
Keskipilari	Teräspuutkipilari	$250 \times 250 \times 8$
Päätypilari	Teräspuutkipilari	$300 \times 200 \times 8$
Reunapilari	Teräspuutkipilari	$400 \times 200 \times 8$
Nurkkapilari	Teräspuutkipilari	$200 \times 200 \times 8$
Esiintyvät liitokset		
Teräspilari	⇔	Perustukset
Teräspilari	⇔	Teräsristikko
Teräspilari	⇔	Teräspalkki
Teräsristikko	⇔	Teräsristikko
Teräsristikko	⇔	Kantava poimuteräslevy
Teräspalkki	⇔	Kantava poimuteräslevy

Taulukko 6. Teräsrungon rakenteet.

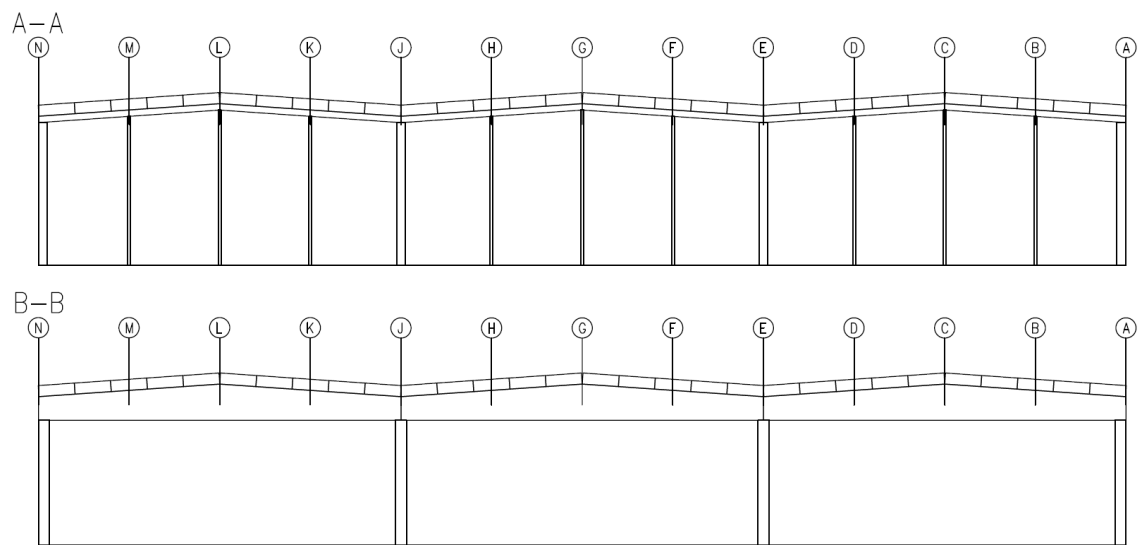
7.1.3 Puurunko

Puurungon kaikki pysty- ja vaakarakenteet ovat puurakenteisia. Pääkannattajina toimivat liimapuuharjaristikot, joiden k/k-jako on 8m. Yläpohjarakenne koostuu valmiiksi sisäverhoiluista ja eristetyistä puurakenteisista kattoelementeistä, jotka ovat 1,8m leveitä ja 16m pitkiä. Kattoelementin katemateriaali voi olla esimerkiksi 2-kerros-bitumikermiä, PVC-kattokermiä tai peltiä. Reunapalkkeina käytetään suorakaiteen muotoisia liimapuupalkkeja. Reuna- ja keskipilareiden hallin pituussuuntainen k/k-jako on 8m ja tuulipilareiden hallin leveysuuntainen k/k-jako 4,5m. Kaikki pilarit ovat liimapuupilareita.

Yläpohjan puuelementit liitetään toisiinsa siten, että elementit toimivat yhtenä jäykistävänä levynä, joka siirtää vaakakuormat liimapuupalkkien kautta rungon jäykistäville mastopilareille.



Kuva 8. Puurungon pohjakuva.



Kuva 9. Puurungon leikkauskuvat.

Yläpohja	Tuote	Mitat
Yläpohjarakenne	Metsäwood Kerto-Ripa	B=1800, H=550, L=16000
Kannattimet		
Primäärikannatin	Liimapuuharjapalkki	B=140, H ₁ =1170, H ₂ =1795, L=18000
Päätykannatin	Liimapuupalkki	140 x 315, L=6000
Pilarit		
Keskipilari	Liimapuupilari	215 x 540
Päätypilari	Liimapuupilari	190 x 540
Reunapilari	Liimapuupilari	190 x 450
Nurkkapilari	Liimapuupilari	165 x 450
Tuulipilari	Liimapuupilari	140 x 225
Esiintyvät liitokset		
Liimapuupilari	⇔	Perustukset
Liimapuupilari	⇔	Liimapuupalkki
Liimapuupalkki	⇔	Puurakenteinen kattoelementti

Taulukko 7. Puurungon osat.

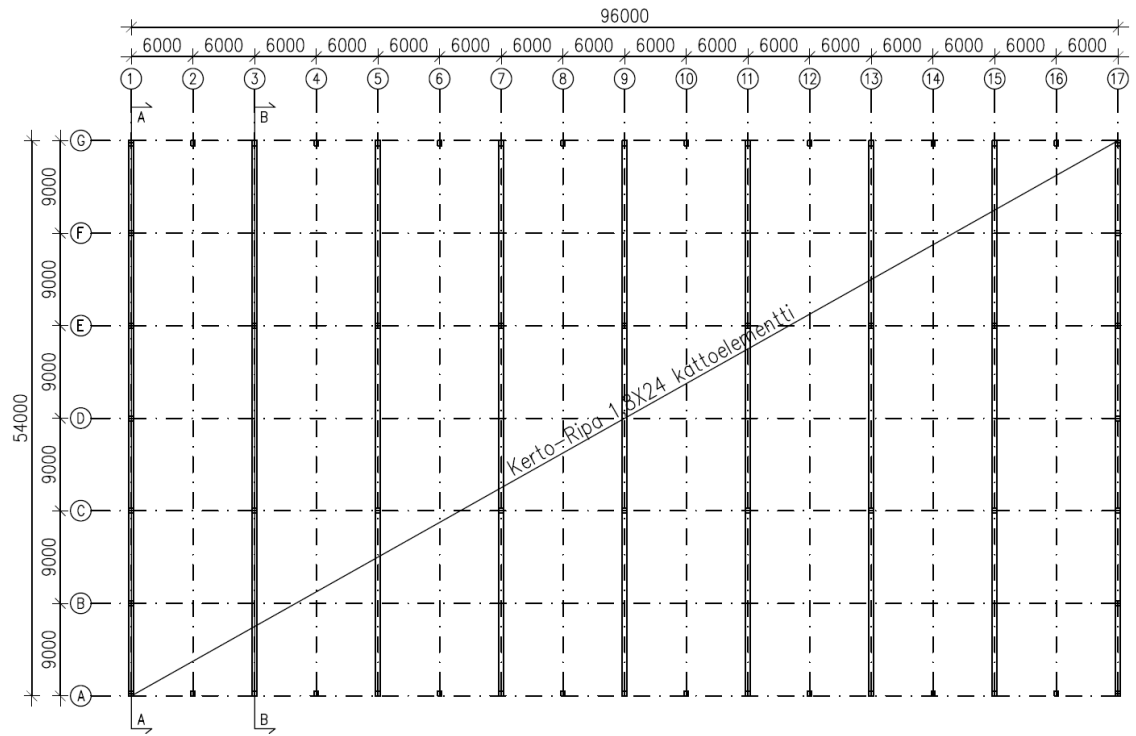
7.2 Yhdistelmärungot

Kaikissa hybridirungoissa on betonipilarit, koska teräsbetonin katsottiin olevan materiaalina soveltuvin kyseiseen rakenneosaan. Tällöin pilareista ei synny rajoittavaa tekijää pilareiden yläpuolisille rakenteille, kuten palkeille ja yläpohjarakenteille.

7.2.1 HI-palkit ja puukattoelementit

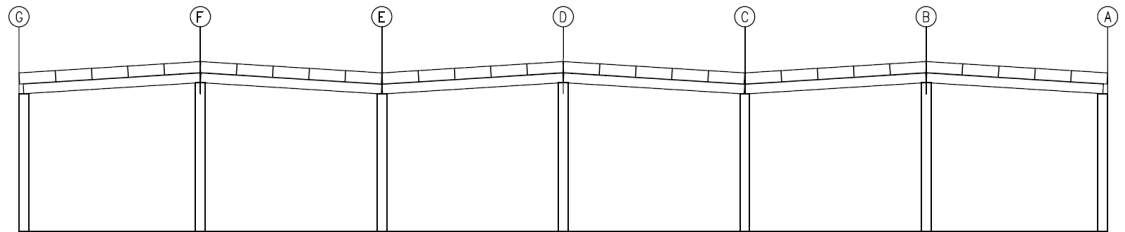
Rungon pääkannattajina toimivat esijännitetyt HI-palkit, joiden k/k-jako on 12m ja pituus 18m. Yläpohjarakenne koostuu valmiiksi sisäverhoilluista ja eristetyistä puurakenteisista kattoelementeistä, jotka ovat 1,8m leveitä ja 24m pitkiä. Reunapalkkeina käytetään teräsbetonisia suorakaidepalkkeja paitsi harjojen kohdilla, joissa käytetään teräsbetonisia harjapalkkeja. Pystyrakenteiksi on valittu teräsbetonipilarit.

Yläpohjan puuelementit liitetään toisiinsa siten, että elementit toimivat yhtenä jäykistävänä levynä, joka siirtää vaakakuormat rungon jäykistäville mastopilareille suoraan tai palkkien kautta.

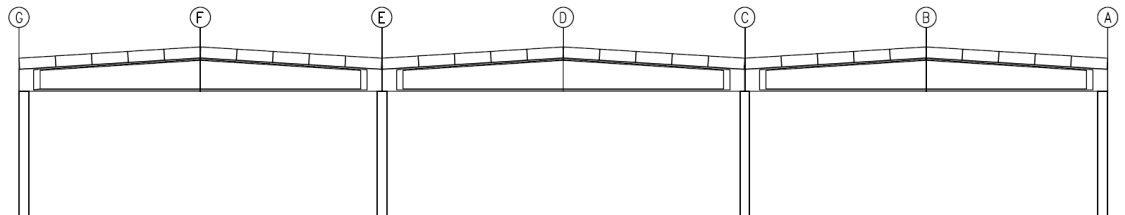


Kuva 10. Hybridi 1:n pohjakuva.

A-A



B-B



Kuva 11. Hybridi 1:n leikkauskuvat.

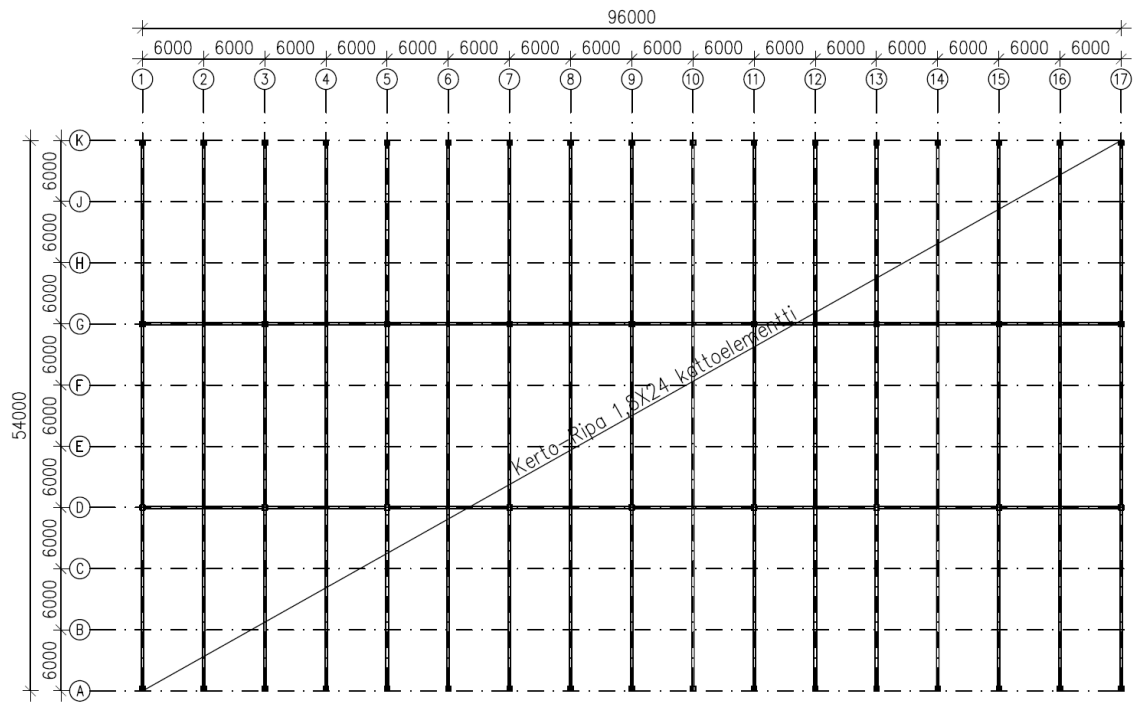
Yläpohja	Tuote	Mitat
Yläpohjarakenne	Puurakenteinen kattoelementti	B=1800, H=550, L=24000
Kannattimet		
Primäärikannatin	HI-palkki	B=480, H ₁ =1100, H ₂ =1350, L=18000
Päätykannatin	TB-palkki	380 x 480, L=9000
Pilarit		
Pääpilari	TB-pilari	480 x 480
Reunapilari	TB-pilari	480 x 480
Keskipilari	TB-pilari	480 x 480
Tuulipilari	TB-pilari	380 x 480
Esiintyvät liitokset		
TB-pilari	⇔	Perustukset
TB-pilari	⇔	HI-palkki
TB-pilari	⇔	TB-palkki
TB-pilari	⇔	Puurakenteinen kattoelementti
HI-palkki	⇔	Puurakenteinen kattoelementti
TB-palkki	⇔	Puurakenteinen kattoelementti

Taulukko 8. Hybridi 1:n rakenteet.

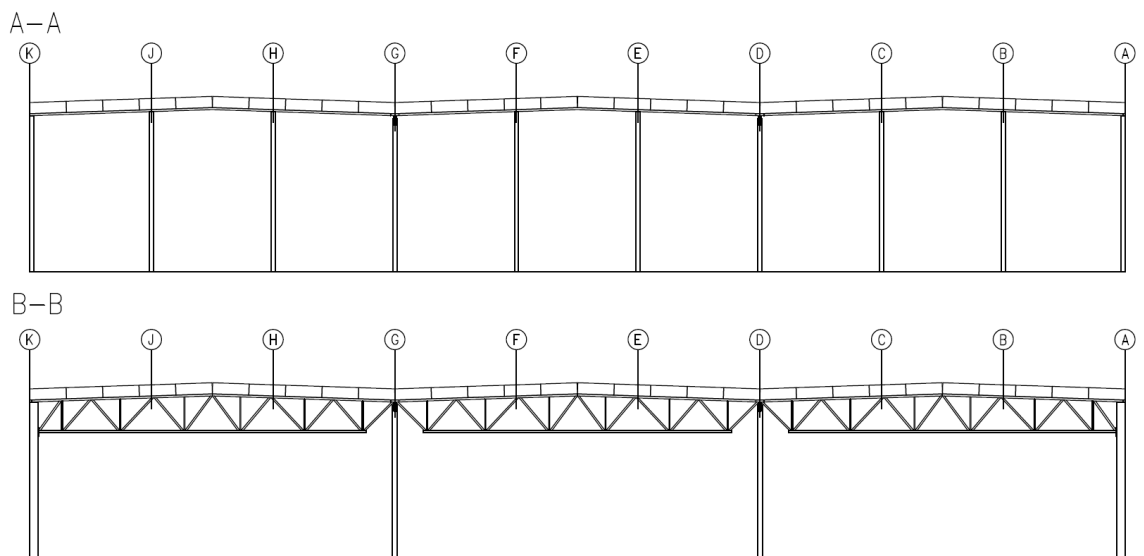
7.2.2 Teräsristikot ja puukattoelementit

Rungon pääkannattajina toimivat teräsharjaristikot, joiden k/k-jako on 6m ja pituus 18m. Hallin pituussuunnassa joka toinen teräsharjaristikko kannakoidaan niskakannattimelle, joksi on valittu teräsristikko. Niskakannatinristikot sijoittuvat D- ja G-moduleille ja niiden pituus on 12m. Yläpohjarakenne koostuu valmiiksi sisäverhoilluista ja eristetyistä puurakenteisista kattoelementeistä, jotka ovat 1,8m leveitä ja 24m pitkiä. Reunapalkkeina käytetään teräsprofiilipalkkeja.

Yläpohjan puuelementit liitetään toisiinsa siten, että elementit toimivat yhtenä jäykistävänä levynä, joka siirtää vaakakuormat teräsristikoiden ja -palkkien kautta rungon jäykistäville mastopilareille.



Kuva 12. Hybridi 2:n pohjakuva.



Kuva 13. Hybridi 2:n leikkauskuvat.

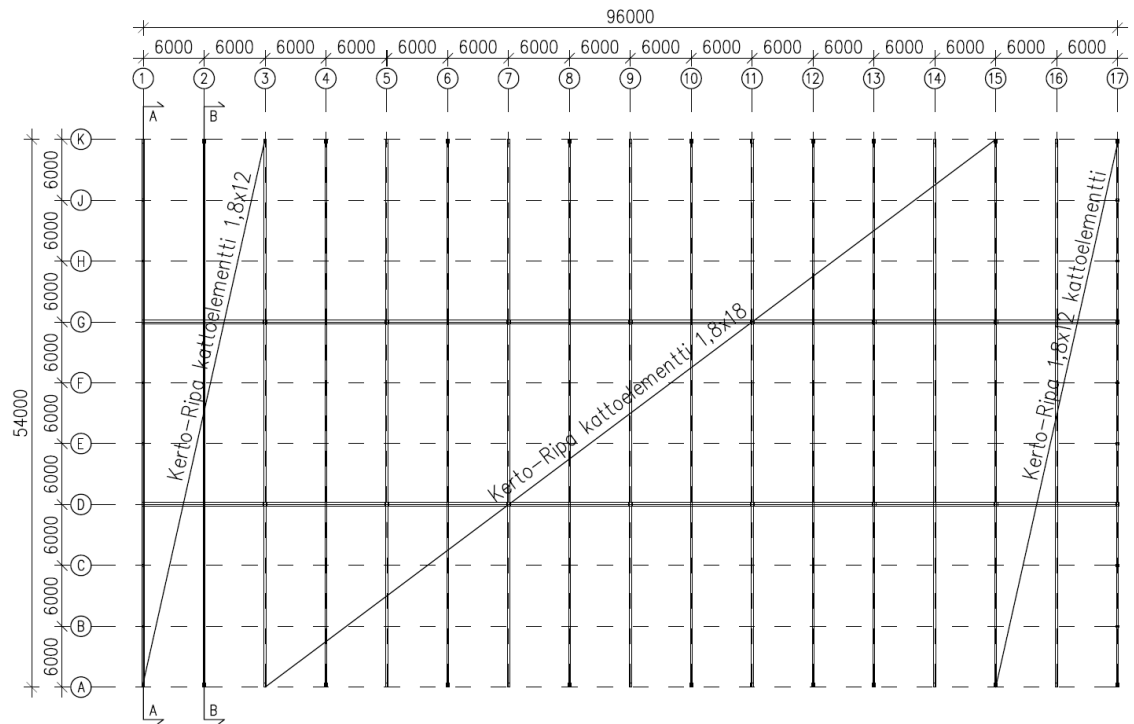
Yläpohja	Tuote
Yläpohjarakenne	Puurakenteinen kattoelementti
Kannattimet	
Primäärikannatin	Teräsharjaristikko
Niskakannatin	Teräsristikko
Päätykannatin	Teräspalkki
Pilarit	
Pääpilari	TB-pilari
Reunapilari	TB-pilari
Keskipilari	TB-pilari
Tuulipilari	TB-pilari
Esiintyvät liitokset	
TB-pilari ⇔	Perustukset
TB-pilari ⇔	Teräsristikko
Teräsristikko ⇔	Teräsristikko
Teräsristikko ⇔	Puurakenteinen kattoelementti
Teräspalkki ⇔	Puurakenteinen kattoelementti

Taulukko 9. Hybridi 2:n rakenteet.

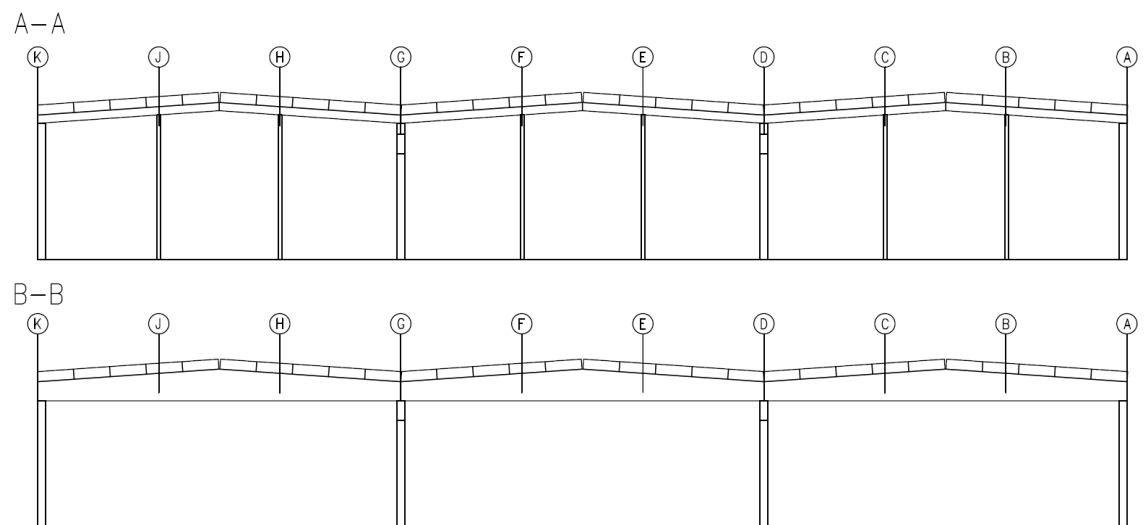
7.2.3 JB-niskapalkit, liimapuupalkit ja puukattoelementit

Rungon pääkannattajina toimivat liimapuuharjapalkit, joiden k/k-jako on 6m ja pituus 18m. Hallin pituussuunnassa joka toinen teräsharjaristikko kannakoidaan niskakannattimelle, joksi on valittu jännebetonipalkki. Niskakannatinristikot sijoittuvat D- ja G-moduleille ja niiden pituus on 12m. Yläpohjarakenne koostuu valmiiksi sisäverhoiluista ja eristetyistä puurakenteisista kattoelementeistä, jotka ovat 1,8m leveitä ja 12m tai 24m pitkiä. Reunapalkkeina käytetään liimapuupalkkeja, jotka liitetään päädyistään harjan kohdalta toisiinsa nivelellisellä liitoksella.

Yläpohjan puuelementit liitetään toisiinsa siten, että elementit toimivat yhtenä jäykistävänä levynä, joka siirtää vaakakuormat liimapuu- ja jännebetonipalkkien kautta rungon jäykistäville mastopilareille.



Kuva 14. Hybridi 3:n pohjakuva.



Kuva 15. Hybridi 3:n leikkauskuvat.

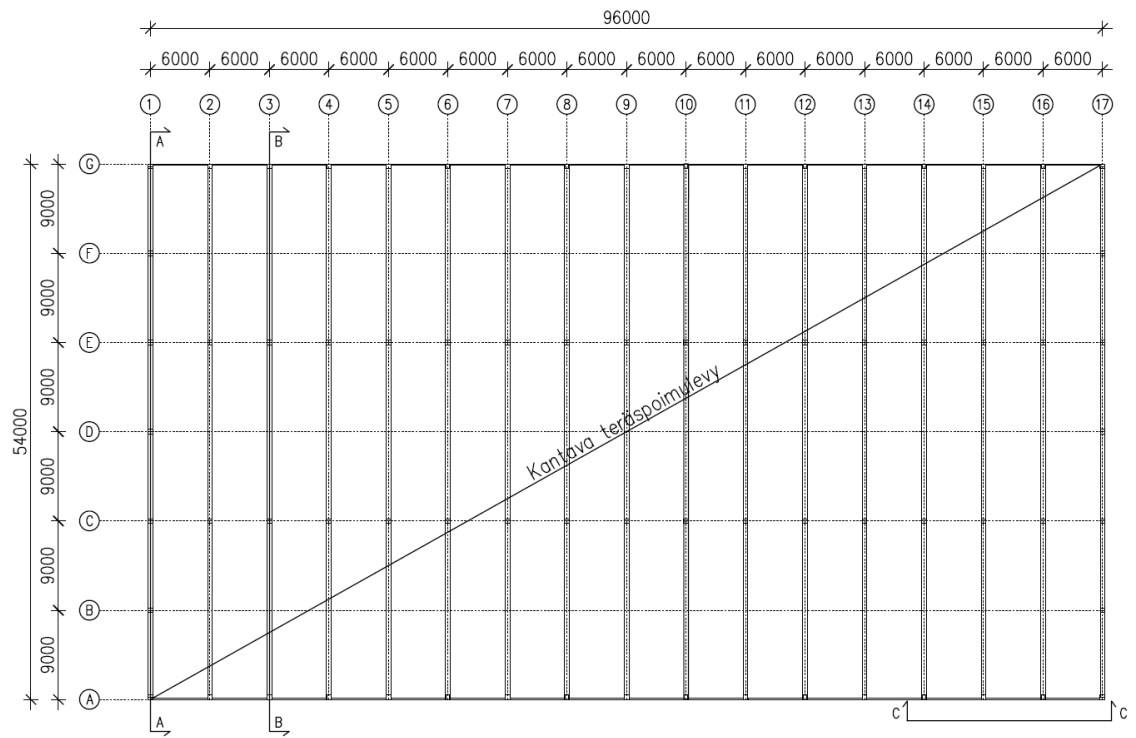
Yläpohja		Tuote
Yläpohjarakenne		Puurakenteinen kattoelementti
Kannattimet		
Primäärikannatin		Liimapuuharjapalkki
Niskakannatin		TB-palkki
Päätykannatin		Liimapuupalkki
Pilarit		
Pääpilari		TB-pilari
Reunapilari		TB-pilari
Keskipilari		TB-pilari
Tuulipilari		TB-pilari
Esiintyvät liitokset		
TB-pilari	↔	Perustukset
TB-pilari	↔	Liimapuupalkki
TB-pilari	↔	TB-palkki
TB-pilari	↔	TB-palkki (sivuun)
Liimapuupalkki	↔	TB-palkki
Liimapuupalkki	↔	Liimapuupalkki (nivel)
Liimapuupalkki	↔	Puurakenteinen kattoelementti
TB-palkki	↔	Puurakenteinen kattoelementti

Taulukko 10. Hybridi 3:n rakenteet.

7.2.4 HI-palkit ja kantavat poimuteräslevyt

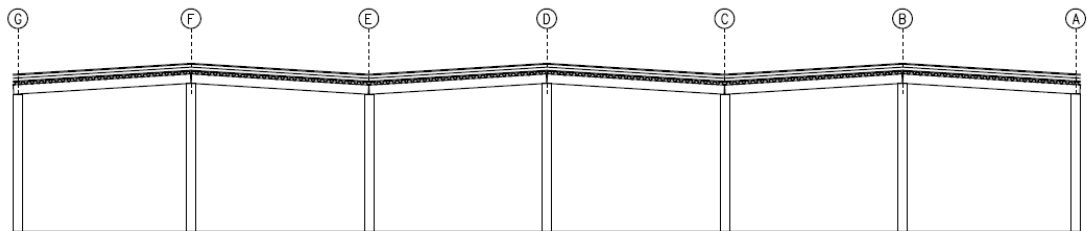
Rungon pääkannattajina toimivat HI-palkit, joiden k/k-jako on 6m ja pituus 18m. Yläpohjarakenne koostuu kantavasta poimuteräslevystä sekä sen päälle työmaalla asennettavista pintarakenteista. Reunapalkkeina käytetään teräsbetonipalkkeja.

Yläpohjan kantava poimuteräslevy toimii jäykistävänä levynä, joka siirtää vaakakuormat jännebetonipalkkien kautta rungon jäykistäville mastopilareille, jotka välittävät kuormat edelleen perustuksille. Jäykistysjärjestelmää on täydennetty teräksisillä vino- ja horisontaalisauvoilla hallin pitkällä sivulla.

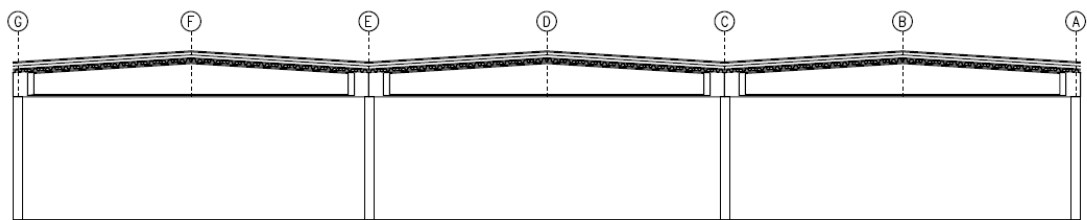


Kuva 16. Hybridi 4:n pohjakuva.

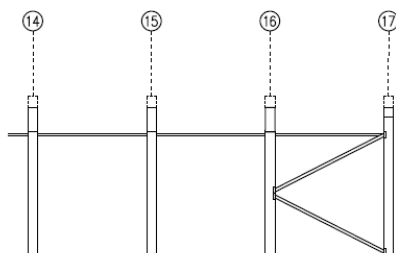
A-A



B-B



C-C



Kuva 17. Hybridi 4:n leikkauskuvat.

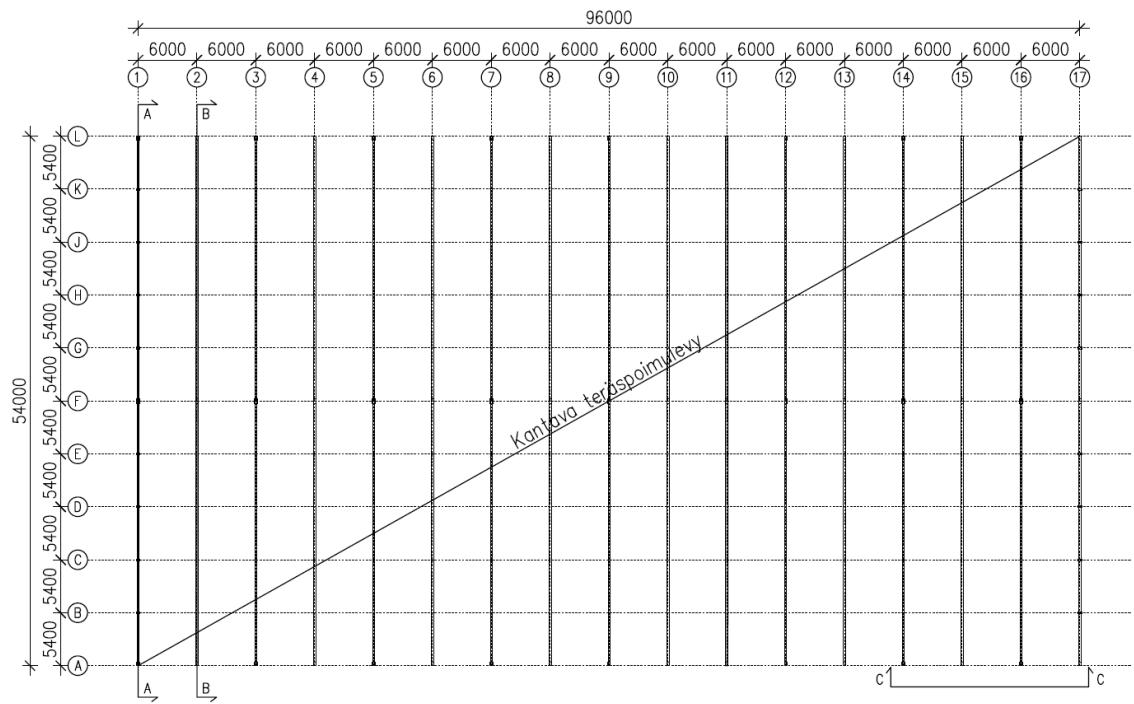
Yläpohja	Tuote
Yläpohjarakenne	Kantava poimuteräslevy
Kannattimet	
Primäärikannatin	HI-palkki
Päätykannatin	TB-palkki
Pilarit	
Pääpilari	TB-pilari
Reunapilari	TB-pilari
Keskipilari	TB-pilari
Tuulipilari	TB-pilari
Esiintyvät liitokset	
TB-pilari	⇔ Perustukset
TB-pilari	⇔ HI-palkki
TB-pilari	⇔ TB-palkki
HI-palkki	⇔ Kantava poimuteräslevy
TB-palkki	⇔ Kantava poimuteräslevy

Taulukko 11. Hybridi 4:n rakenteet.

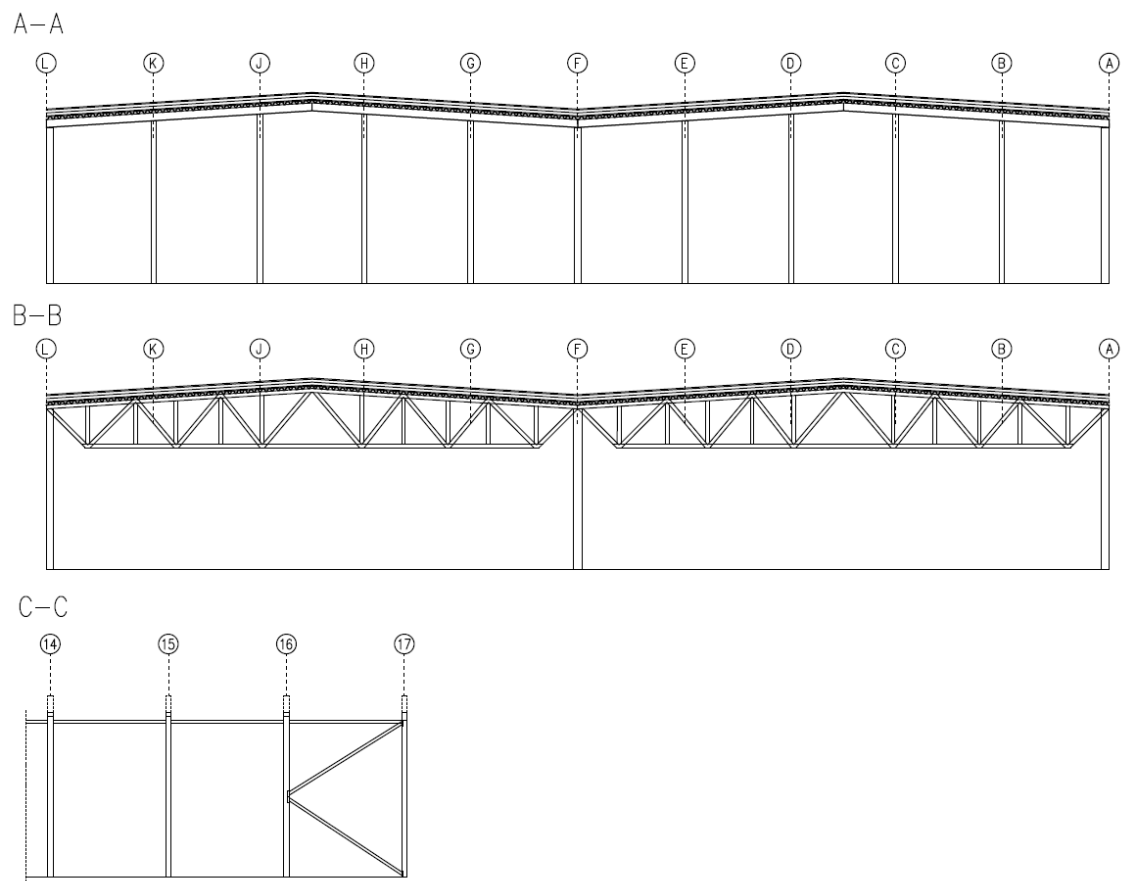
7.2.5 Liimapuuristikko ja kantavat poimuteräslevyt

Rungon pääkannattajina toimivat liimapuuharjaristikot, joiden k/k-jako on 6m ja pituus 27m. Yläpohjarakenne koostuu kantavasta poimuteräslevystä sekä sen päälle työmaalla asennettavista pintarakenteista. Reunapalkkeina käytetään moniaukkoisia liimapuupalkkeja, jotka liitetään päädyistään harjan kohdalta toisiinsa nivelellisellä liitoksella.

Yläpohjan kantava poimuteräslevy toimii jäykistävänä levynä, joka siirtää vaakakuormat liimapuuristikkojen kautta rungon jäykistäville mastopilareille, jotka välittävät kuormat edelleen perustuksille. Jäykistysjärjestelmää on täydennetty teräksisillä vino- ja horisontaalisauvoilla hallin pitkällä sivulla.



Kuva 18. Hybridi 5:n pohjakuva.



Kuva 19. Hybridi 5:n leikkauskuvat.

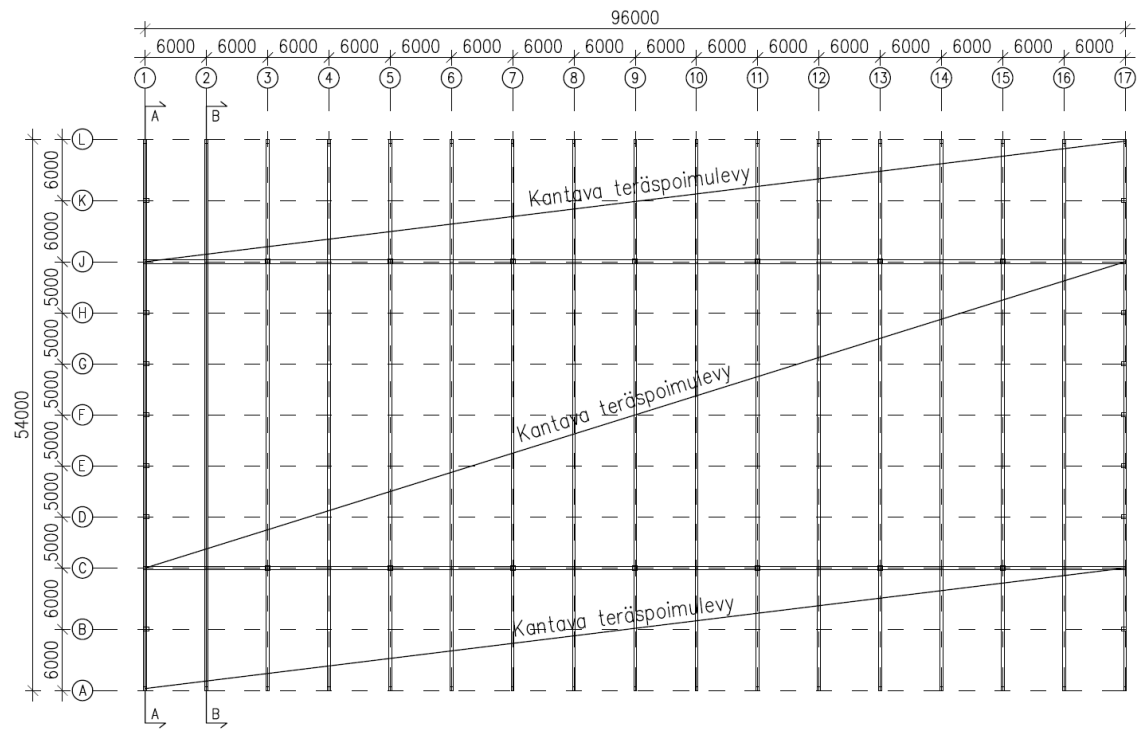
Yläpohja	Tuote
Yläpohjarakenne	Kantava poimuteräslevy
Kannattimet	
Primäärikannatin	Liimapuuharjaristikko
Päätykannatin	Liimapuupalkki
Pilarit	
Pääpilari	TB-pilari
Reunapilari	TB-pilari
Keskipilari	TB-pilari
Tuulipilari	TB-pilari
Esiintyvät liitokset	
TB-pilari	⇔ Perustukset
TB-pilari	⇔ Liimapuuristikko
TB-pilari	⇔ Liimapuupalkki
Liimapuuristikko	⇔ Liimapuupalkki
Liimapuuristikko	⇔ Kantava poimuteräslevy
Liimapuupalkki	⇔ Kantava poimuteräslevy

Taulukko 12. Hybridi 5:n rakenteet.

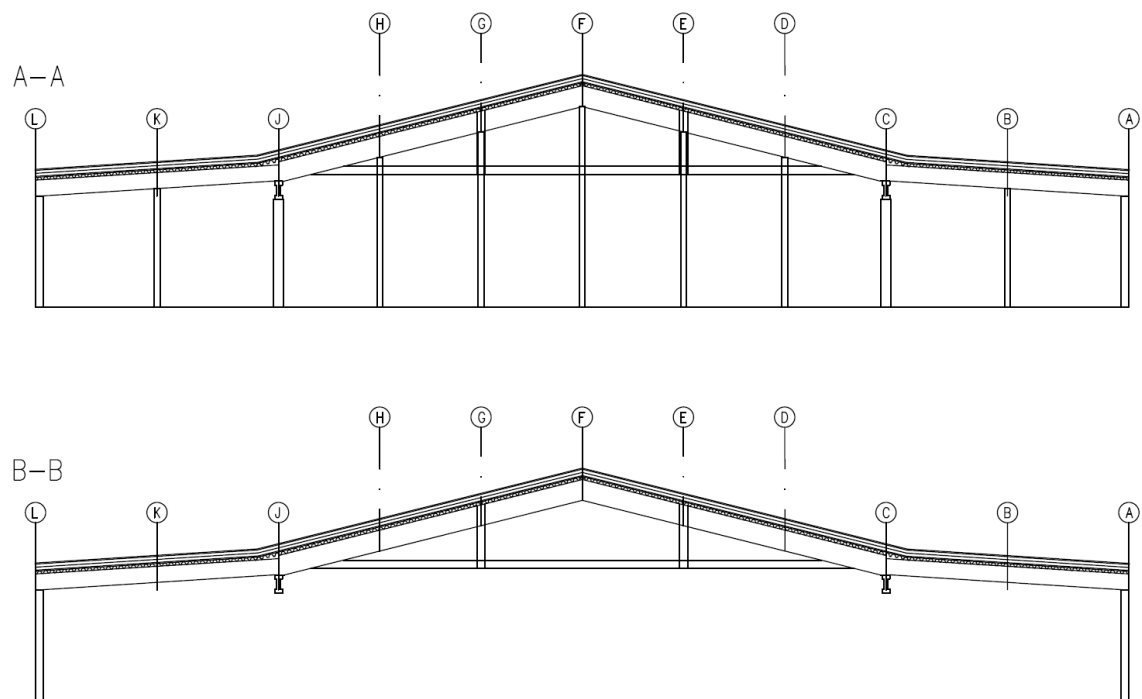
7.2.6 A-puukannattimet, I-niskapalkit ja kantavat poimuteräslevyt

Rungon pääkannattajina toimivat C- ja J-modulien välillä liimapuusta valmistetut A-kannattimet, joiden k/k-jako on 6m ja pituus 30m. Hallin reunoilla A- ja C- sekä J- ja L-modulien välissä pääkannattimet ovat 12m pitkiä liimapuupalkkeja, joiden k/k-jako on sama, kuin A-kannattimilla. A-kannattimet tuetaan suoraan pilareille ja liimapuupalkit toisesta päästään niskakannattimille, joina toimivat betoniset I-palkit.

Yläpohjan kantava poimuteräslevy toimii jäykistävänä levynä, joka siirtää vaakakuormat kannattimien kautta rungon jäykistäville mastopilareille, jotka välittävät kuormat edelleen perustuksille.



Kuva 20. Hybridi 6:n pohjakuva.



Kuva 21. Hybridi 6:n leikkauskuvat.

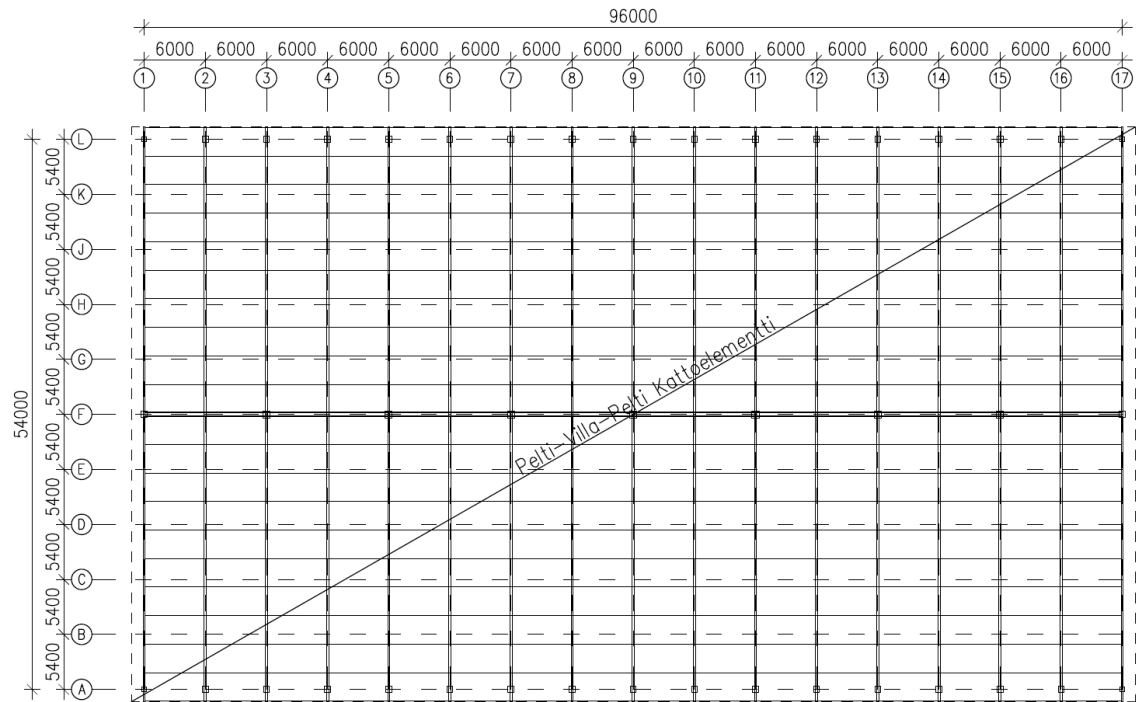
Yläpohja		Tuote
Yläpohjarakenne		Kantava poimuteräslevy
Kannattimet		
Primäärikannatin		A-liimapuukannatin
Primäärikannatin		Liimapuupalkki
Niskakannatin		I-palkki
Pilarit		
Pääpilari		TB-pilari
Reunapilari		TB-pilari
Keskipilari		TB-pilari
Tuulipilari		TB-pilari
Esiintyvät liitokset		
TB-pilari	↔	Perustukset
TB-pilari	↔	A-liimapuukannatin
TB-pilari	↔	Liimapuupalkki
A-liimapuukannatin	↔	I-palkki
A-liimapuukannatin	↔	Liimapuupalkki (nivel)
A-liimapuukannatin	↔	Kantava poimuteräslevy
Liimapuupalkki	↔	I-palkki
Liimapuupalkki	↔	Kantava poimuteräslevy

Taulukko 13. Hybridi 6:n rakenteet.

7.2.7 Liimapuumahapalkit, LP-sek.palkit/kevytorret ja PVP-kattoelementit

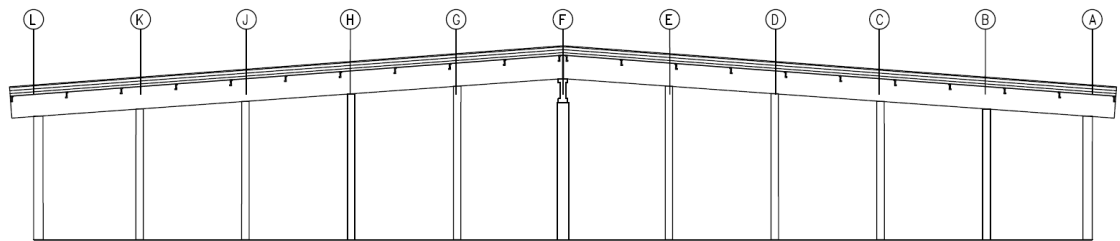
Rungon pääkannattajina toimivat liimapuumahapalkit, joiden k/k-jako on 6m ja jänneväli 27m. Keskellä hallia pituussuunnassa kulkevat I-palkit, jotka toimivat niskakannattimina, joille joka toinen pääkannatinpalkki tukeutuu toisesta päästään. Liimapuupalkkien välissä on 2,8m välein hallin pituussuunnassa sekundäärikannattimia, jotka voidaan toteuttaa liimapuupalkeilla tai teräksisinä kevytorsina. Sekundäärikannattimille tukeutuva yläpohjarakenne koostuu konesaumattavista pelti-villa-pelti -kattoelementeistä. Reunapalkkeina käytetään 27m pitkiä liimapuupalkkeja.

Pelti-villa-pelti –elementtejä ei voida käyttää jäykistävänä rakenteena.

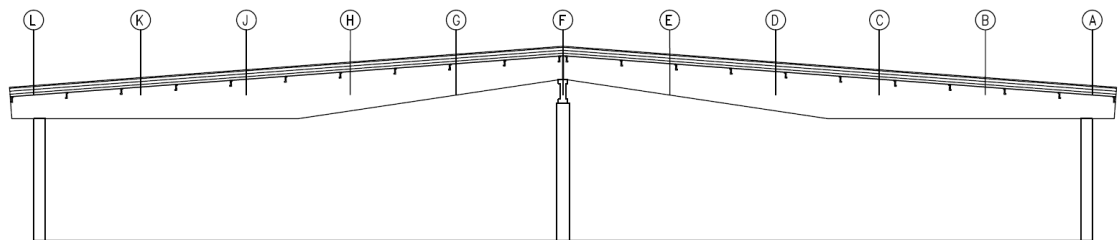


Kuva 22. Hybridi 7:n pohjakuva.

A-A



B-B



Kuva 23. Hybridi 7:n leikkauskuvat.

Yläpohja		Tuote
Yläpohjarakenne		PVP-kattoelementti
Kannattimet		
Primäärikannatin		Liimapuumahapalkki
Niskakannatin		I-palkki
Päätykannatin		Liimapuupalkki
Sekundäärikannatin		Kevytorsi tai liimapuupalkki*
Pilarit		
Pääpilari		TB-pilari
Reunapilari		TB-pilari
Keskipilari		TB-pilari
Tuulipilari		TB-pilari
Esiintyvät liitokset		
TB-pilari	⇔	Perustukset
TB-pilari	⇔	Liimapuupalkki
TB-pilari	⇔	I-palkki
Liimapuupalkki	⇔	I-palkki
Liimapuupalkki	⇔	Kevytorsi
Liimapuupalkki	⇔	PVP-kattoelementti
Liimapuupalkki	⇔	Kevytorsi
Kevytorsi	⇔	Liimapuupalkki
Kevytorsi	⇔	PVP-kattoelementti
Liimapuupalkki*	⇔	Liimapuupalkki
Liimapuupalkki*	⇔	PVP-kattoelementti

*)Kevytorret voidaan korvata liimapuusekundääripalkeilla.

Taulukko 14. Hybridi 7:n rakenteet.

8 Runkoliitosten perustapaukset

Tähän kappaleeseen on koottu tietoa teollisuushallirakennuksen tyypillisimmistä runkoliitostapauksista.

Suunnittelijan tulee määrittää liitosten mitat, koot sekä liittimet tapauskohtaisesti siten, että liitosten tekniset, taloudelliset, esteettiset sekä työturvallisuuteen liittyvät vaatimukset täyttyvät.

8.1 Perustuksen ja pilarin väliset liitokset

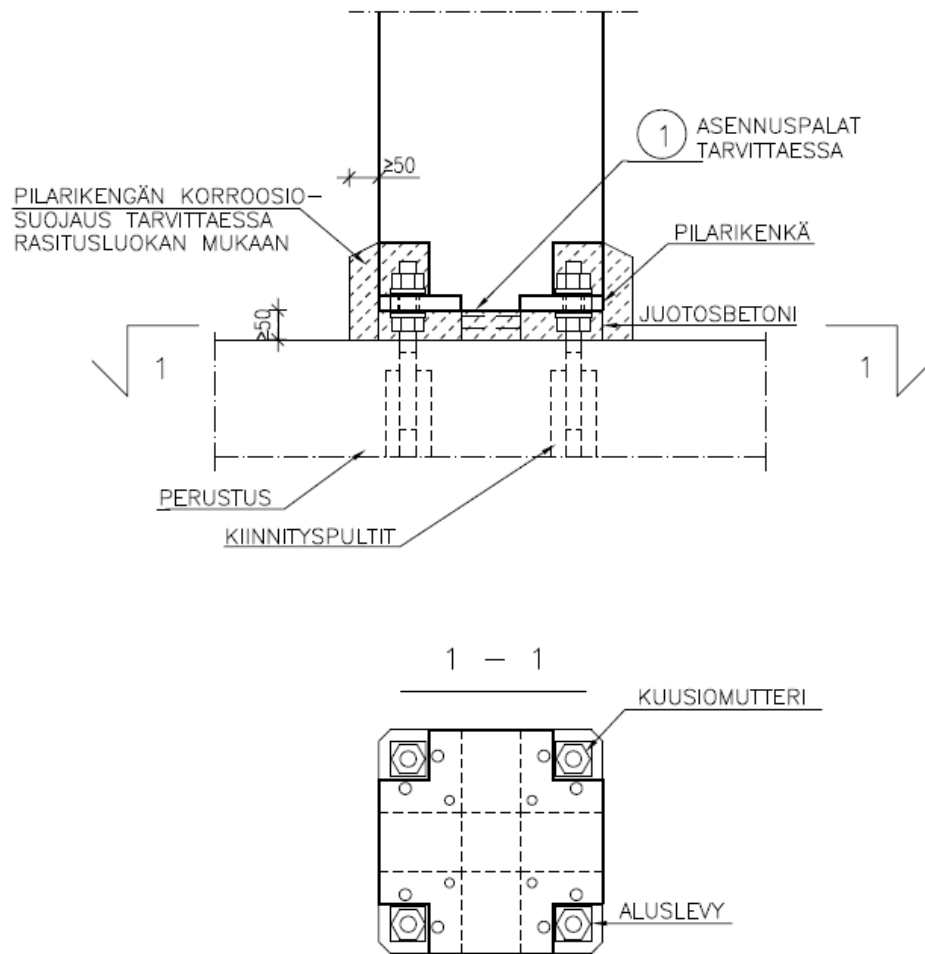
Pilarit toimivat usein jäykistävänä rakenteena, jolloin niihin kohdistuu myös tuulesta, rakenteiden vinoudesta sekä joissain tapauksissa myös nostureista aiheutuvia vaakakuormia. Koska julkisivut ovat yleensä pilari-palkkirunkoisissa rakennuksissa eikantavia, ne tuetaan useimmiten pilareihin, jolloin niiden omapainosta aiheutuvat kuormat kantautuvat perustuksille pilareiden välityksellä. Ulkoseinälinjoilla tarvitaan usein ulkoseinien tuentaa varten lisäpilareita, jotka yleensä suunnitellaan myös siirtämään vaakakuormia jäykistäville rakenteille. Perustusten koko ja tyyppi määräytyvät kuormituksen ja maapohjan kantavuuden mukaan.

Vaakavoimat sekä momentin aiheuttamat nostavat pystyvoimat siirtyvät perustuksille liitososien kautta, kun taas alaspäin kohdistuvat pystyvoimat siirtyvät liitoksessa pintapuristuksena. Ohessa esitelty pilarin ja perustusten väliset liitokset toimivat momenttijäykkinä, eli ne välittävät pystyvoimat, vaakavoimat sekä momentin pilarilta perustuksille. Pulttiliitokset voidaan mitoittaa myös nivelellisiksi.

8.1.1 Perustukset ja TB-pilari

Teräsbetonipilarit ovat poikkileikkaukseltaan joko neliön tai suorakaiteen muotoisia. Ympyräpoikkileikkaus on myös yleinen vaihtoehto mutta sitä käytetään teollisuushallirungoissa harvoin.

Teräsbetonipilari-elementti voidaan asentaa pultteihin alusmutterien ja –prikkojen varaan. Pilari säädetään oikeaan asentoonsa asennusmutterien ja –prikkojen avulla. Useimmiten pulttikenkä liitinosineen jälkivaletaan näkymättömiin, jolloin liitokselle saadaan myös kulutus- ja palosuojaus.



SUUNNITTELUSSA JA ASENNUKSESSA ON ERITYISESTI HUOMIOITAVA:
 – PULTTIEN MITOITUS KUORMILLE ENNEN JÄLKIVALUA

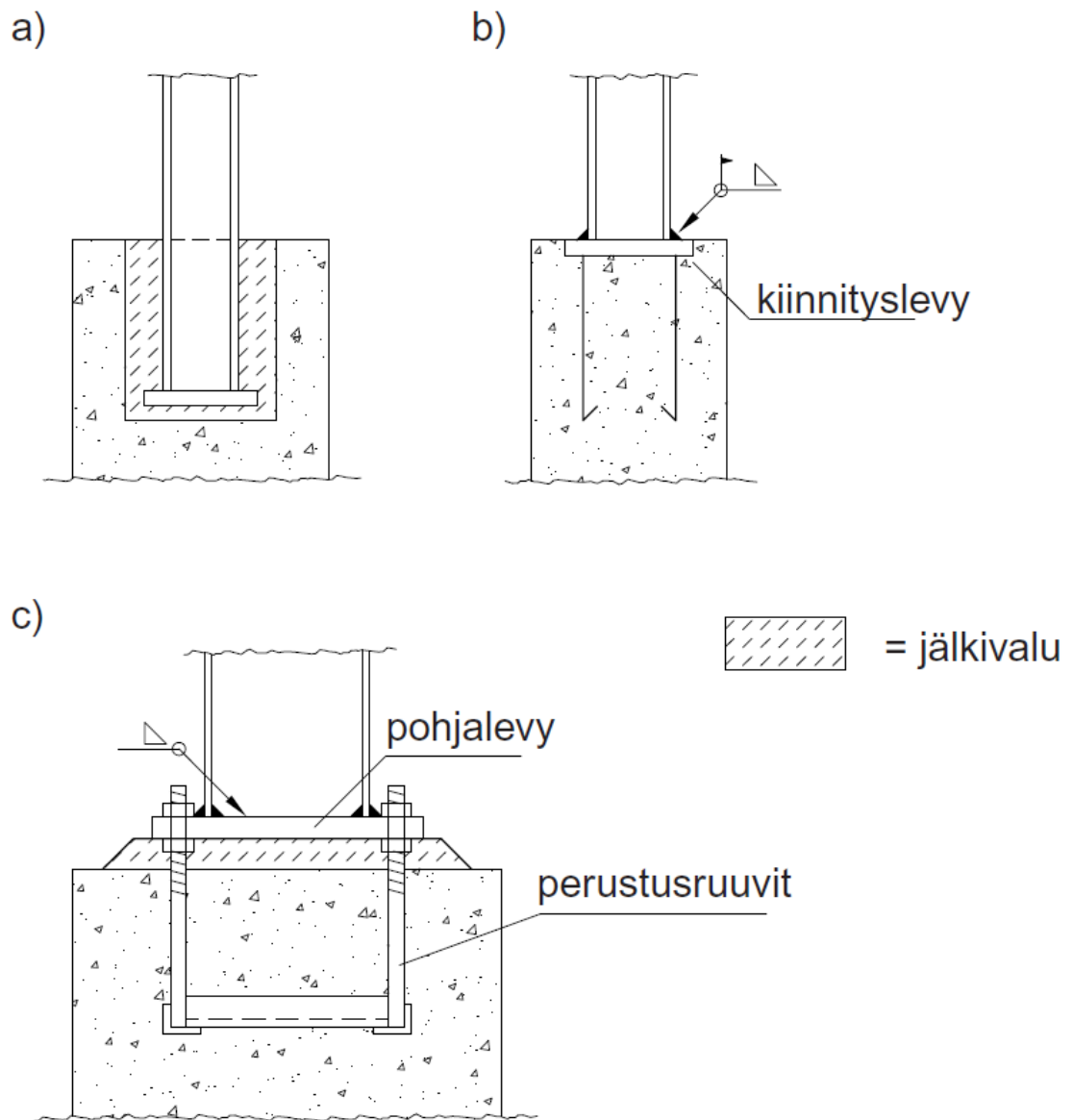
MATERIAALI- JA TARVIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.
TXE	1	KORKEPALAT		100*100*5...20			

Kuva 24. TB-pilarin pulttikiinnitys perustuksiin [15, s. 5].

8.1.2 Perustukset ja teräspilari

Pilarin pohjaosat on suunniteltava riittävän suuriksi, jäykiksi ja kestäviksi pilarissa vaikuttavien aksiaalisten voimien, taivutusmomenttien ja leikkausvoimien siirtämiseksi perustuksille siten, että perustusten kestävyys ei ylitä. Perustusruuveja on oltava vähintään neljä kappaletta, jos pilari aiotaan asentaa vapaasti seisovana. Asennuksen aikaisten rasitusten vuoksi käytetään vähintään ruuvikokoa M20.

Jotta varmistettaisiin perustusruuvien paikallaan pysyminen perustuksen valun aikana ja erityisesti yksittäisten ruuvien keskinäisten välien pitämiseksi sallituissa toleransseissa, kiinnitetään ruuvit useimmiten toisiinsa esimerkiksi kulmaterästen avulla siten, että muodostuu esivalmistettu pulttiryhmä (ns. pulttikori). [16, s. 401]

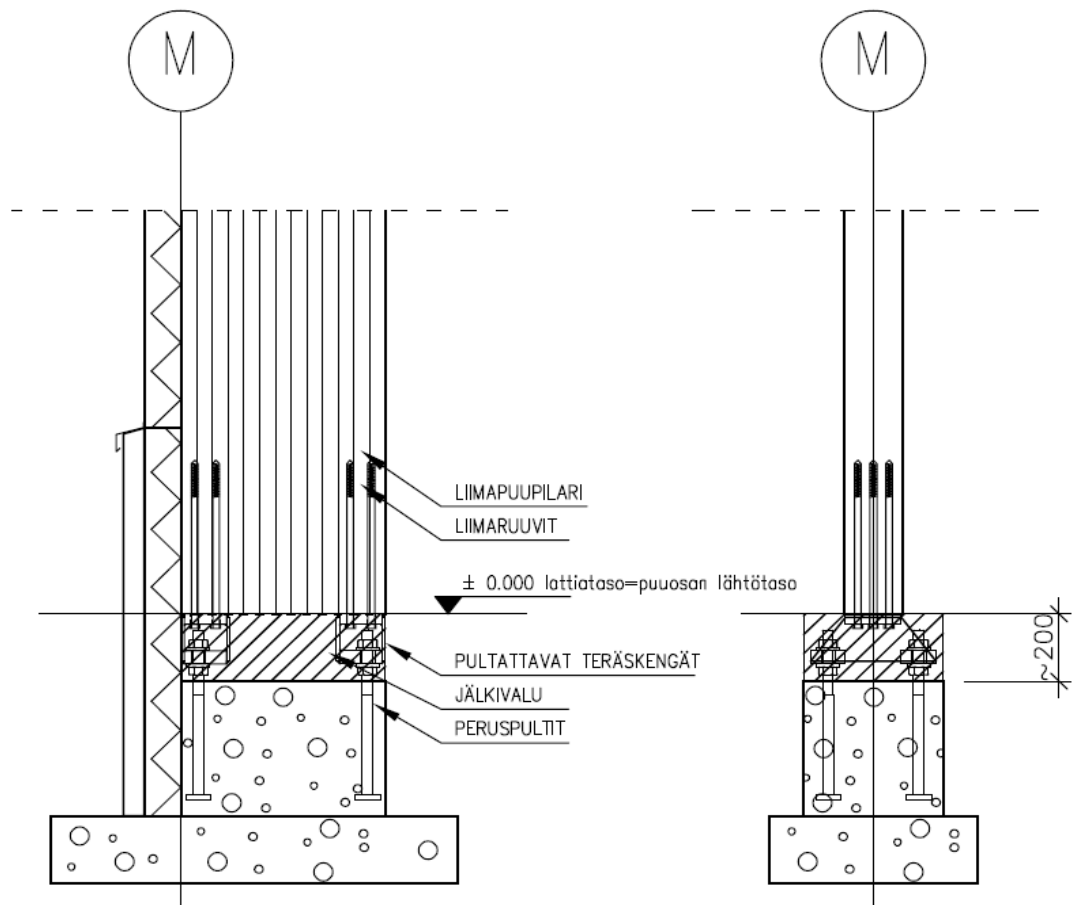


Kuva 25. Teräspilarin liitostapoja perustuksiin: a) holkkiliitos, b) kiinnityslevyliitos, c) liitos perustusruuvien avulla [16, s. 402].

8.1.3 Perustukset ja puupilari

Puupilari liitetään perustuksiin joko pultti- tai hitsiliitoksella. Pulttiliitos voidaan tehdä joko käyttäen tavanomaisia peruspultteja, jolloin pilarin alapäässä tarvitaan erityinen teräслиiitososa, tai erityisesti puupilareille suunniteltuja pilarikenkiä, jolloin pilarin alapäässä tarvitaan vain pilarin pohjalevyyn hitsatut kiinnityspultit. Teräслиiitososa vaatii korkeamman liitosvarauksen ja siksi myös hieman korkeamman peruspilarin anturaan. [11, s. 32]

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. [11, s. 32]



ESIMERKKILIITOS:

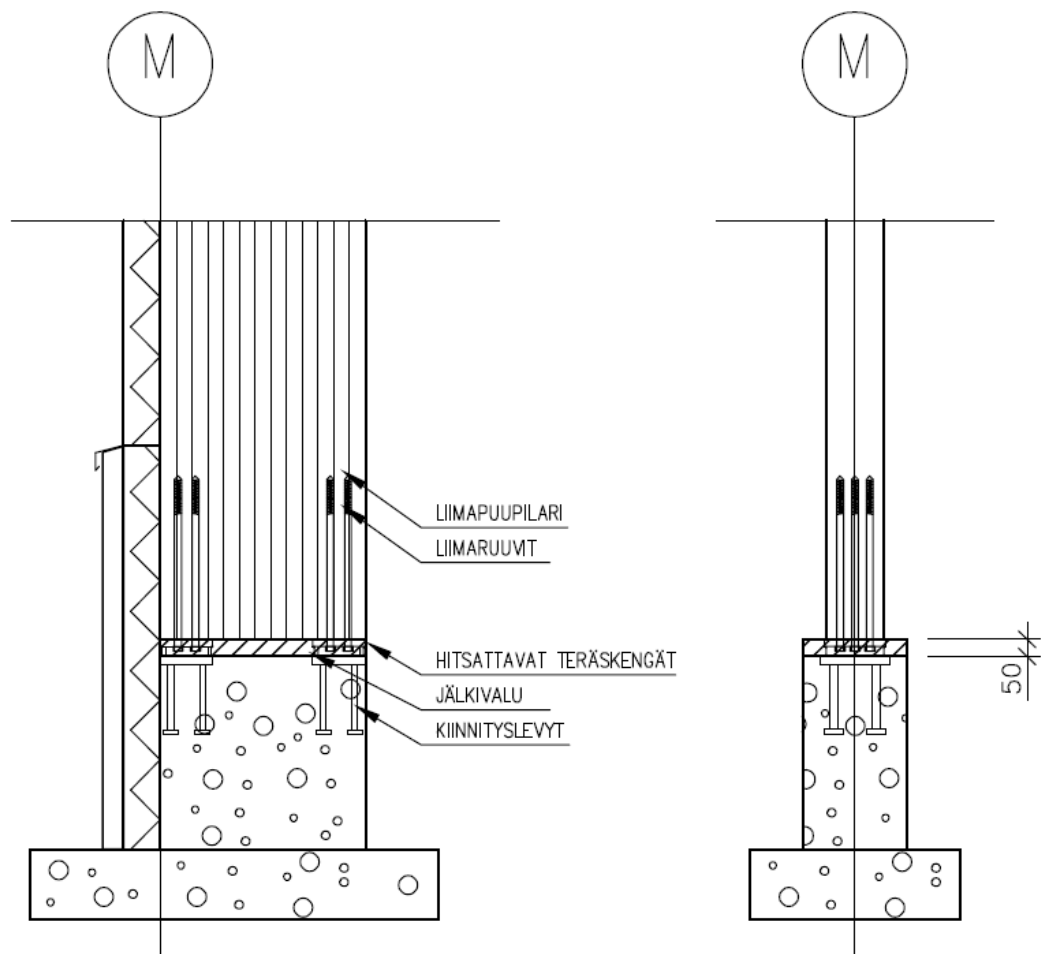
LIIMAPUUPILARI 165x585
 LIIMARUUVIT Ø19 x 500, 6+6 KPL, LIMAUS TEHTAALLA
 PULTATTAVAT TERÄSKENGÄT, KIINNITYS TEHTAALLA
 PERUSPULTIT HPM30/L 4 KPL

PILARIN ALAPÄÄSSÄ KOSTEUSSULKU

HUOM! RAKENNESUUNNITTELIJA MÄÄRITTÄÄ MITAT, KOOT, LIITTIMET JA PALOVAATIMUKSET TAPAUKOKHTAISESTI

Kuva 26. Puupilarin liitos perustuksiin liimaruuveilla ja pultattavalla pilarikengällä [17, s. 4].

Hitsattu liitos johtaa aina jäykkään liitokseen.



ESIMERKKILIITOS:

LIIMAPUUPILARI 585x165

LIIMARUUVIT Ø19 x 500, 6+6 KPL, LIIMAUUS TEHTAALLA

HITSATTAVAT TERÄSKENGÄT 175 x 150 x 50, KIINNITYS PILARIIN TEHTAALLA

KIINNITYSLEVYT PERUSPILARISSA JPL 150x150, 2 KPL

PILARIN ALAPÄÄSSÄ KOSTEUSSULKU

HUOM! RAKENNESUUNNITTELIJA MÄÄRITTÄÄ MITAT, KOOT. LIITTIMET JA PALOVAATIMUKSET TAPAUSKOHTAISESTI

Kuva 27. Puupilarin liitos perustuksiin liimaruuveilla ja hitsattavalla teräskengällä [17, s. 6].

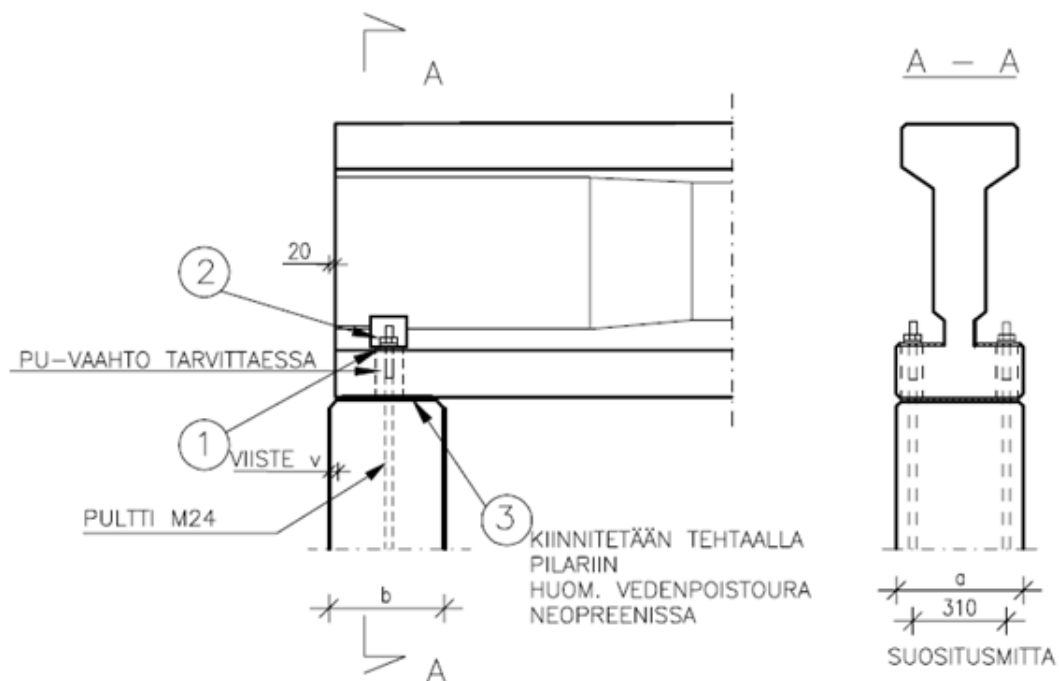
8.2 Pilarin ja kannattimen väliset liitokset

Kun kyseessä on tyypillinen neljänurkkainen pilari-palkkikehä, jossa pilarin ja perustuksen välinen liitos on suunniteltu jäykäksi, on yleistä mitoittaa pilarin ja pääkannattimen välinen liitos nivelelliseksi. Keskipilareiden liitoksia suunniteltaessa on varmistuttava tukileveysvaatimuksien täyttymisestä sekä otettava huomioon mahdollinen epäkeskisyys pilarin kuormituksessa rungon rakentamisvaiheessa.

8.2.1 TB-pilari ja (H)I-palkki

HI- ja I-palkit ovat jänneteräskannattimia, jotka mitoitetaan yksiaukkoisina ja vapaasti tuettuina. Teräsbetonipalkista poiketen jänneteräspalkin raudoitukset eli punokset ovat esijännitettyjä, jolloin rakenteella saavutetaan pidempiä jännevälejä palkin taivutuskapasiteetin kasvaessa. Jännebetonipalkin mitoituksen toteuttaa yleensä elementtitoimittajan suunnittelija rakennesuunnittelijan antamien kuormitustietojen avulla. Alustavaa mitoitusta varten on saatavilla elementtivalmistajien sekä Betoniyhdistys Ry:n julkaisemia mitoituskäyrästöjä.

(H)I-palkin liitos teräsbetonipilariin toteutetaan kahdella pultilla, jotka viedään palkin alalaipan läpi uuman molemmin puolin. Pultti on esiasennettu teräsbetonipilariin ja se kiinnitetään palkkikannattimeen työmaalla. Liitos on mahdollista toteuttaa myös yhdellä pultilla, mutta ratkaisu on hankaloittaa pilarielementin kuljetusta sekä palkkikannattimen asennusta pultin pituuden takia. Keskipilarin ollessa kyseessä on huomioitava erityisesti asennuksenaikainen epäkeskisyys pilarin kuormituksessa.



SUUNNITTELUSSA JA ASENNUKSESSA ON ERITYISESTI HUOMIOITAVA:

- PALKIN KIEPAHDUSTUENTA
- LAATASTON VAAKATUKIREAKTIOT KOHTISUORAAN PALKKIA VASTAAN
- PULTTIEN MITOITUS PALKIN TUKIREAKTION MUKAAN
- PULTTIREIKÄÄN EI JÄLKIVALUA

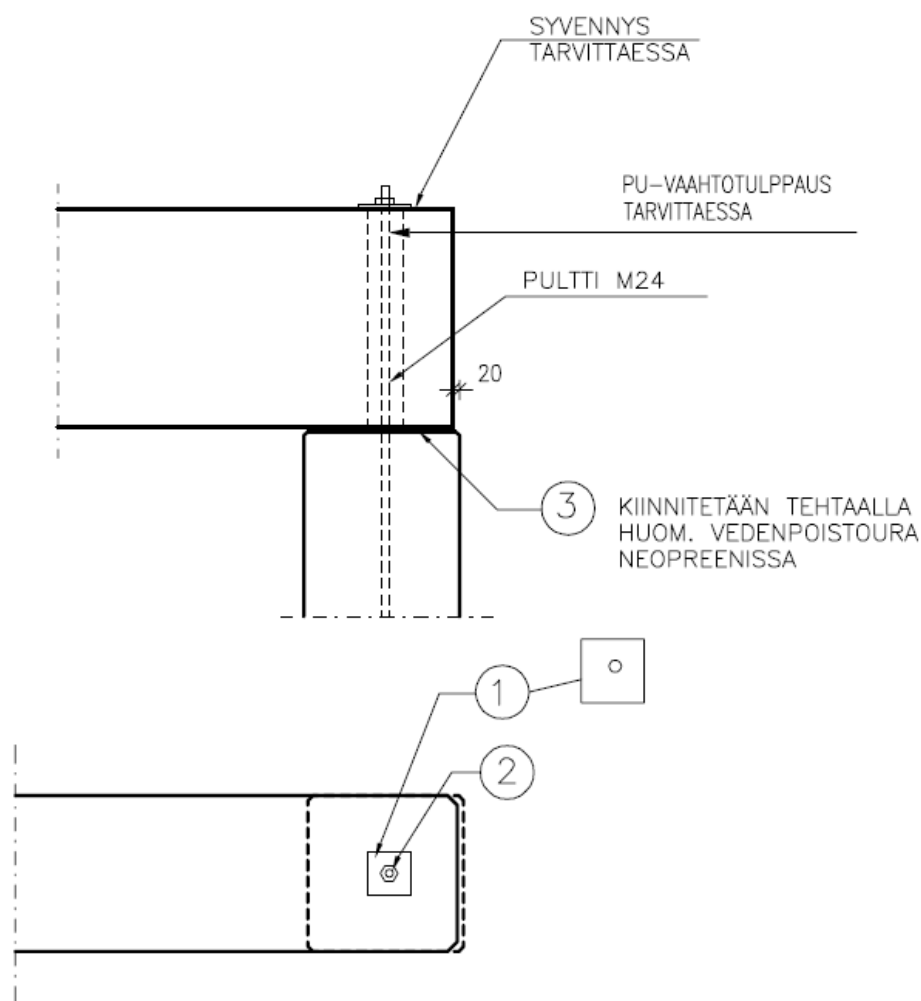
MATERIAALI- JA TARIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.
TAL	1	ALUSLEVY		100*100*12	S355J2G3	2 kpl	
TMU	2	KUUSIOMUTTERI		M24	SFS 2067	2 kpl	
VKU	3	KUMILEVY	NEOPREN	10 mm(*)	SHORE 60		
	(*)	MITOITUS ESIM. MATTI LESKELÄN OHJEEN MUKAAN					

Kuva 28. TB-pilarin liitos (H)I-palkkiin kahdella pultilla [15, s. 14].

8.2.2 TB-pilari ja suorakaidebetonipalkki

Suorakaidebetonipalkkien rauditus voi olla kuormien ja jännevälien kasvaessa esijännitetty, jolloin suunnittelijalta vaaditaan pätevyys jännitettyjen rakenteiden suunnitteluun. Yleensä punossuunnittelun toteuttaa jänneteräsbetonipalkin valmistajan punossuunnittelija. Alustavaa mitoitus varten on saatavilla elementtivalmistajien sekä Betoniyhdistys Ry:n julkaisemia mitoituskäyrästöjä.

Suorakaidebetonipalkin liitos teräsbetonipilariin toteutetaan palkin läpi vietävällä pultilla, joka on esiasennettu teräsbetonipilariin. Liitos viimeistellään työmaalla.



SUUNNITTELUSSA JA ASENNUKSESSA ON ERITYISESTI HUOMIOITAVA:

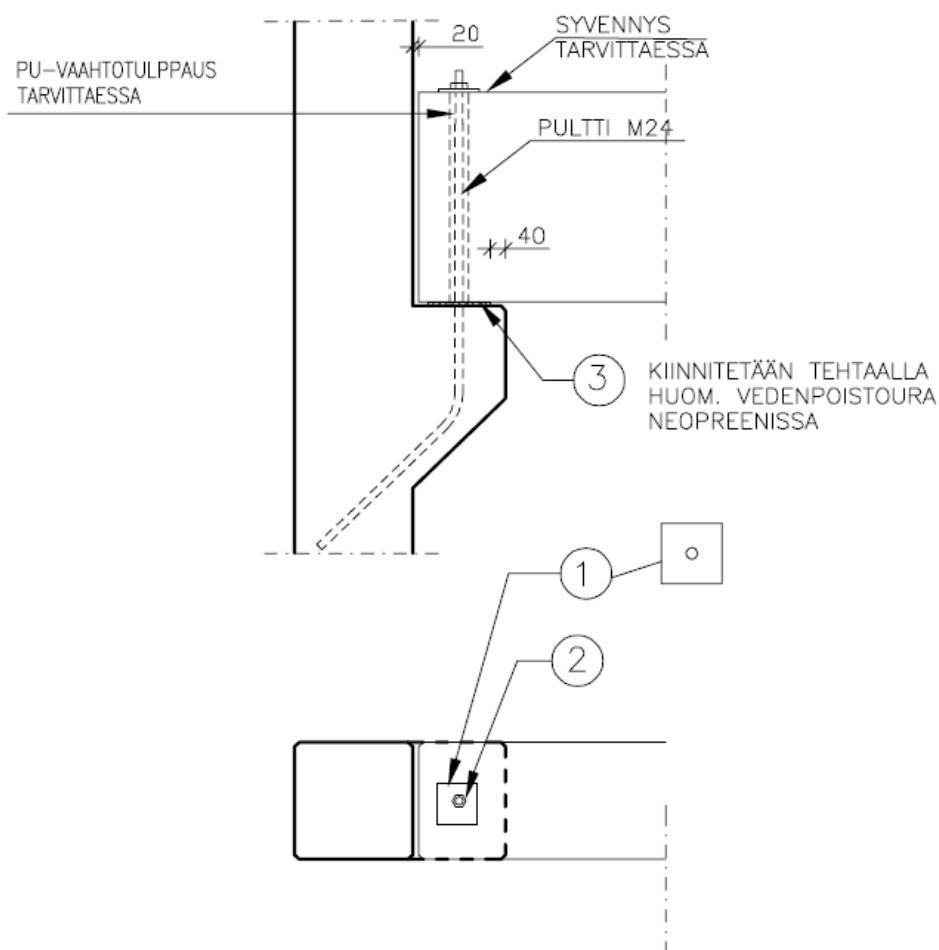
- LAATASTON VAAKATUKIREAKTIOT KOHTISUORAAN PALKKIA VASTAAN
- PULTTIEN MITOITUS PALKIN TUKIREAKTION MUKAAN
- PULTTIREIKÄÄN EI JÄLKIVALUA
- NEOPRENIN MAKSIMIKOKO

MATERIAALI– JA TARVIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.
TAL	1	ALUSLEVY		130*130*10	S235J2G3	1 kpl	
TMU	2	KUUSIOMUTTERI		M24	SFS 2067	1 kpl	
VKU	3	KUMILEVY	NEOPREN	10 mm(*)	SHORE 60		
	(*)	MITOITUS ESIM. MATTI LESKELÄN OHJEEN MUKAAN					

Kuva 29. TB-pilarin liitos TB-palkkiin, reunapilari [15, s. 20].

Konsoleita, eli pilariulokkeita käytetään pilareissa silloin, kun pilarit ovat jatkuvia, tukeutuvia palkkeja on useita tai kun tukipinta-ala ei ilman uloketta ole riittävä. Korkeiden palkkien ollessa kyseessä ulokkeen voi kokonaan tai osittain piilottaa loveamalla palkin pään.

Suorakaidebetonipalkin liitos teräsbetonipilarin ulokkeeseen toteutetaan palkin läpi vietävällä pultilla, joka on esiasennettu teräsbetonipilariin. Liitos viimeistellään työmaalla.



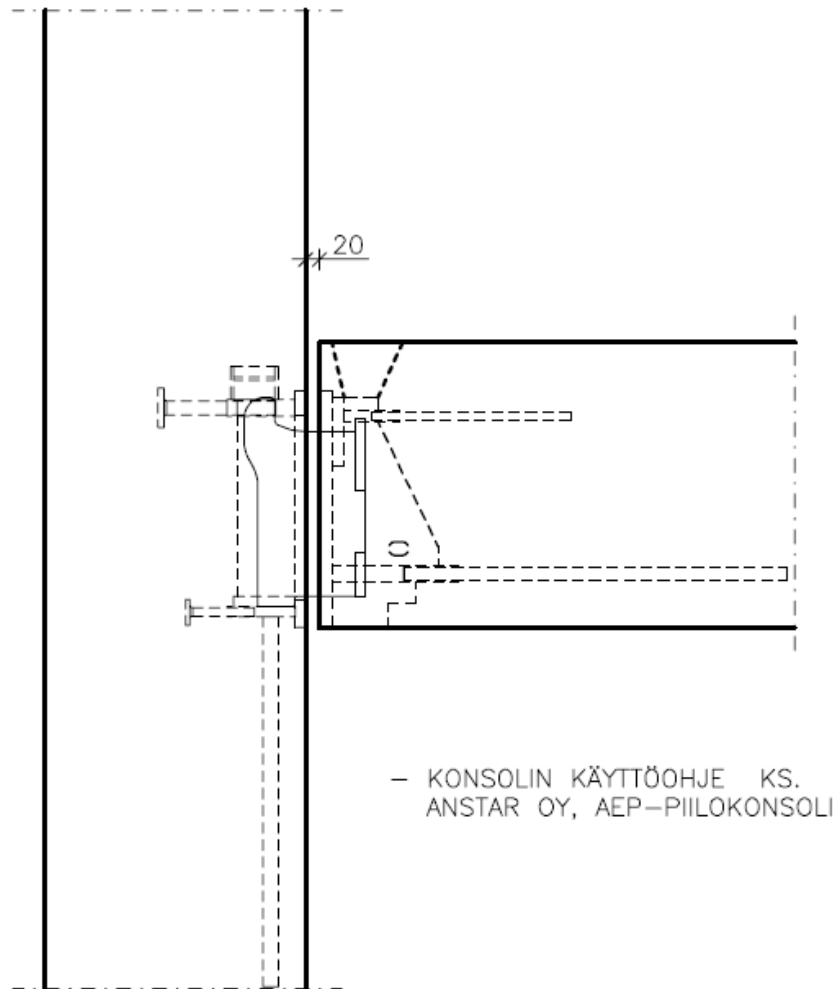
SUUNNITTELUSSA JA ASENNUKSESSA ON ERITYISESTI HUOMIOITAVA:

- PULTTIEN MITOITUS PALKIN TUKIREAKTION MUKAAN
- PULTTIREIKÄÄN EI JÄLKIVALUA
- NEOPRENIN KOKO

MATERIAALI- JA TARVIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.
TAL	1	ALUSLEVY		130*130*10	S355J2G3	1 kpl	
TMU	2	KUUSIOMUTTERI		M24	SFS 2067	1 kpl	
VKU	3	KUMILEVY	NEOPREN	10 mm(*)	SHORE 60		
	(*)	MITOITUS ESIM. MATTI LESKELÄN OHJEEN MUKAAN					

Kuva 30. TB-pilarin liitos suorakaidebetonipalkkiin konsolilla [15, s. 16].

Teräksisiä piiloulotteita käytettäessä uloke sekä pilarin ja kannattimen liitos jää näkymättömiin rakenteiden sisään. Kaikki elementtien muottipinnasta ulonevat osat asennetaan elementteihin niiden valmistuksen jälkeen ennen niiden paikalleen asentamista työmaalla. Samanlaisia piiloulotteita voidaan käyttää deltapalkkien kanssa.



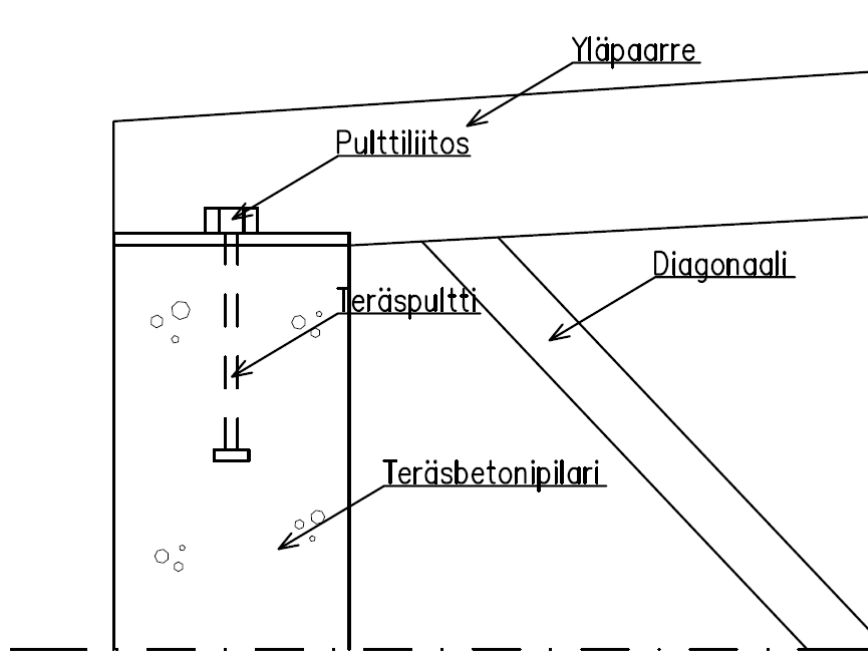
SUUNNITTELUSSA JA ASENNUKSESSA ON ERITYISESTI HUOMIOITAVA:

- PALKIN TUENTA ASENNUKSEN AIKANA
- TOISPUOLISEN KUORMITUKSEN AIHEUTTAMA VÄÄNTÖRASITUS
- KONSOLIN KIILAUUS YLÄPUOLELTA
- KONSOLIN PALOSUOJAUS
- KIILAT PALKKITOIMITUKSESSA

Kuva 31. TB-pilarin liitos TB-palkkiin piilokonsolilla [15, s. 28].

8.2.3 TB-pilari ja teräsristikko

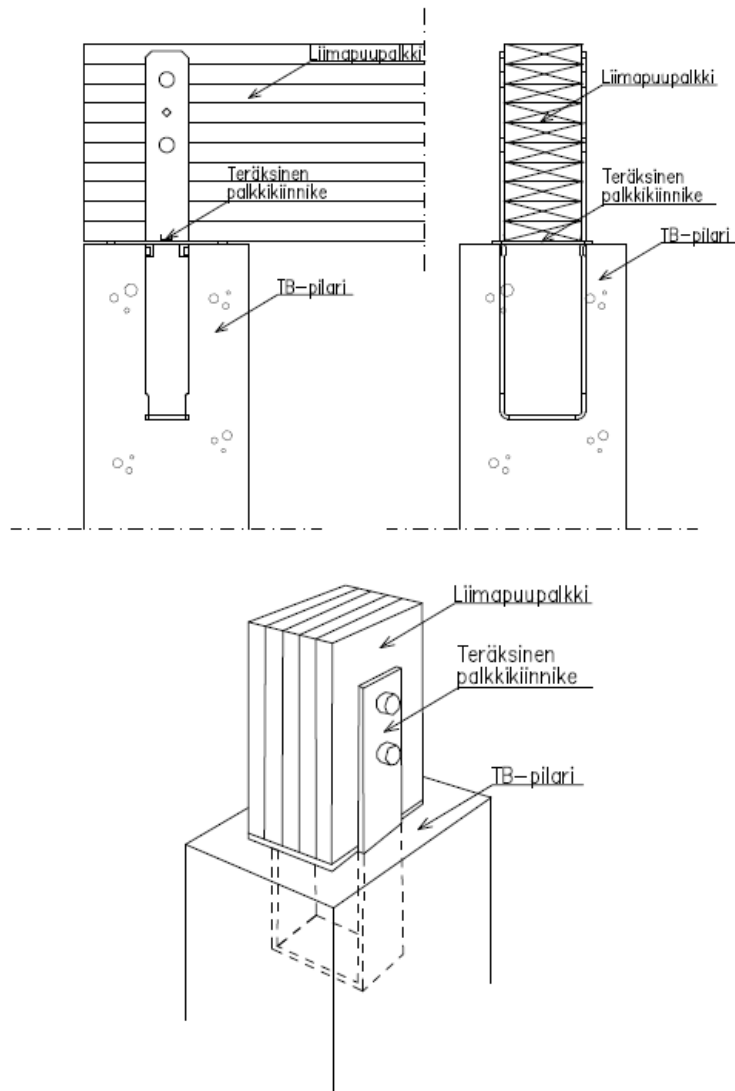
Teräsristikon liitos teräsbetonipilariin toteutetaan yleensä pulttiliitoksella, jonka pulttiosa on esiasennettu teräsbetonipilariin. Pulttiliitos voidaan mitoittaa jäykäksi tai nivelelliseksi.



Kuva 32. TB-pilarin liitos teräsristikkokannattimeen, periaatepiirros.

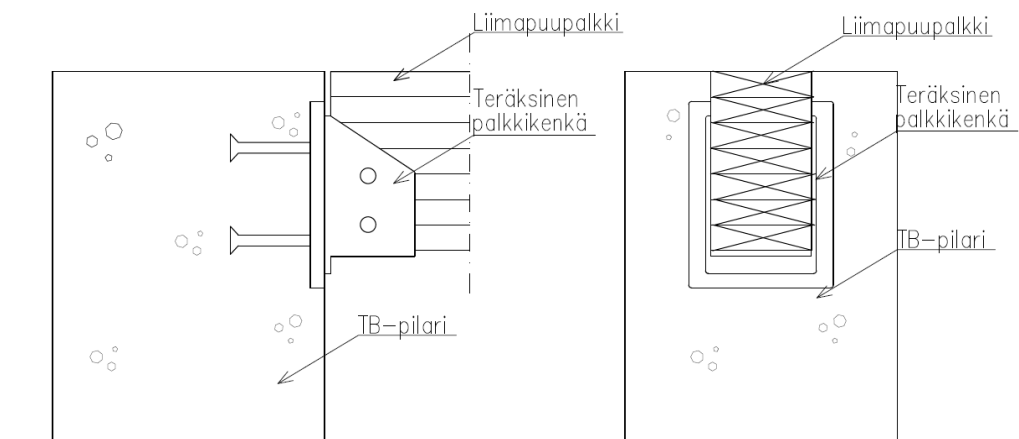
8.2.4 TB-pilari ja liimapuukannatin

Erilaisten liimapuukannattimien liitokset teräsbetonipilariin toteutetaan periaatteeltaan samankaltaisin menetelmin riippumatta siitä, onko kyseessä liimapuurakenteinen ristikko tai massiivipalkki. Mikäli ei haluta käyttää teräsbetonipilariin jälkiasennettavia kulmateräs- tai palkkikenkäkiinnikkeitä, liitos liimapuukannattimeen voidaan toteuttaa betonipilariin upotettavalla teräksisellä palkkikiinnikkeellä, joka on esille jäävältä osaltaan tyypillisesti palosuojattava käyttäen palopinnoitetta tai kotelointia.



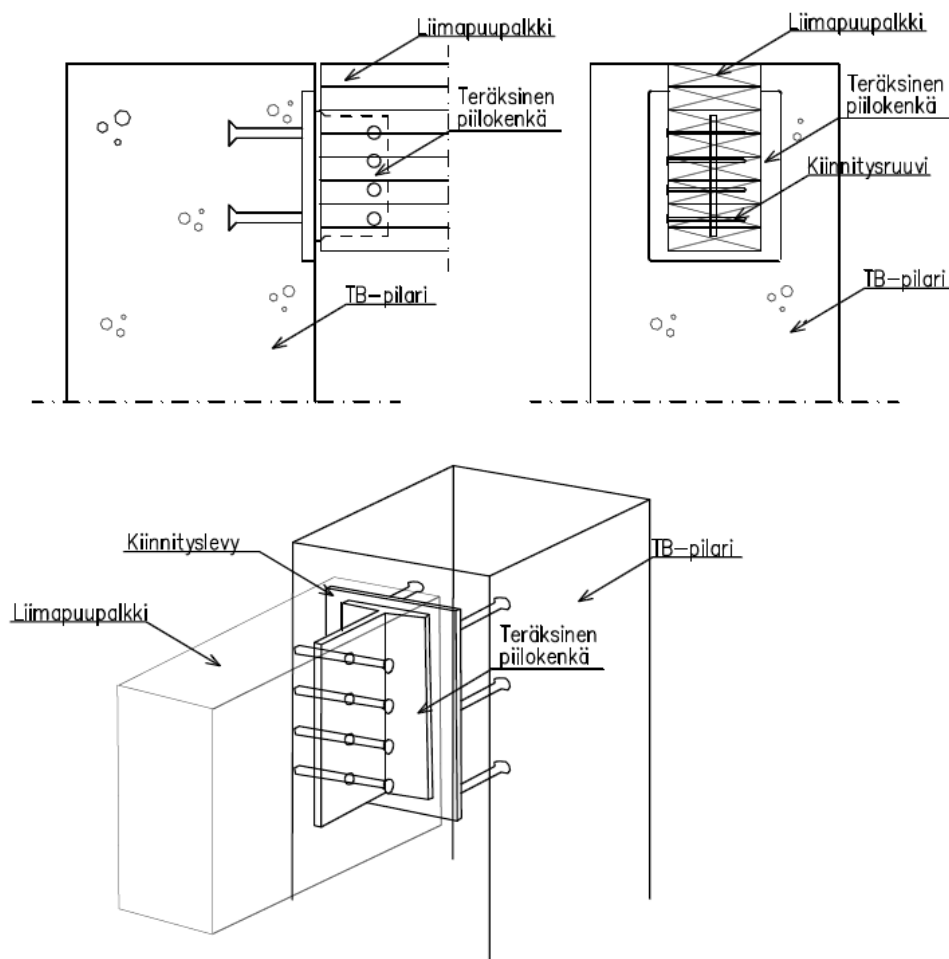
Kuva 33. TB-pilarin nivelliitos liimapuupalkkiin teräksisellä palkkikiinnikkeellä.

Kiinnitettäessä liimapuupalkki pilarin sivuun ilman konsolia voidaan käyttää teräksistä pilarikenkää. Pilarikenkä hitsataan pilariin esiasennettuun teräslevypintaan.



Kuva 34. TB-pilarin liitos liimapuupalkkiin teräksisellä palkkikengällä.

Piilokiinnikkeen käyttö mahdollistaa esteettisen sekä paloteknisesti hyvän liitoksen liimapuun ja betonin muodostaessa palosuojaan teräksiselle liitososalle, mutta ratkaisua käytettäessä on erityisesti huomioitava rakenteilta vaadittava mittatarkkuus. Liitoksen saumassa käytetään tarvittaessa palosuojausmassaa. Piilokiinnikkeen voi kiinnittää teräsbetonipilariin myös ruuviankkureilla.



Kuva 35. TB-pilarin liitos liimapuupalkkiin piilokiinnikkeellä.

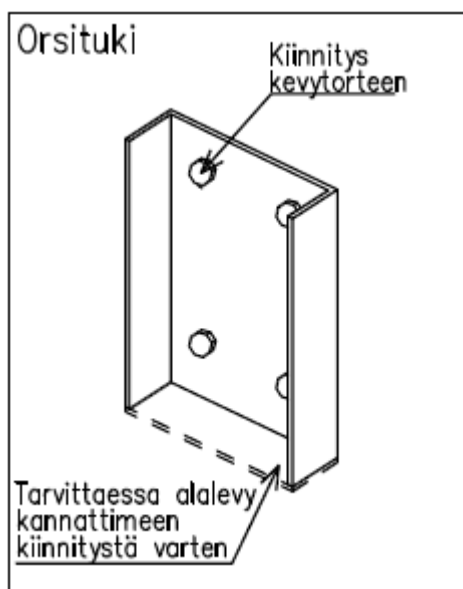
8.3 Primääri- ja sekundäärikannattimen väliset liitokset

Teollisuushallin rungon yläpohjarakenteesta ja kuormista riippuen runko voi vaatia primäärikannattimien lisäksi myös sekundäärikannattimia. Sekundäärikannattimen tarkoitus on välittää sille tulevat kuormat primäärikannattimelle, joka välittää kuormat edelleen pilareiden kautta perustuksille. Sekundäärikannattimet voidaan tukea yksiaukkoisesti primäärikannattimien väliin tai moniaukkoisina, jolloin sekundäärikannattimet tavallisesti tuetaan primäärikannattimien päälle. Moniaukkoisen sekundääripalkisto voidaan toteuttaa momenttijäykin jatkoksina tai limityksinä, jolloin pitkätkin palkistot ovat mahdollisia käyttäen vain verrattain lyhyitä yksittäisiä kannattimia.

8.3.1 Primäärikannatin ja kevytors

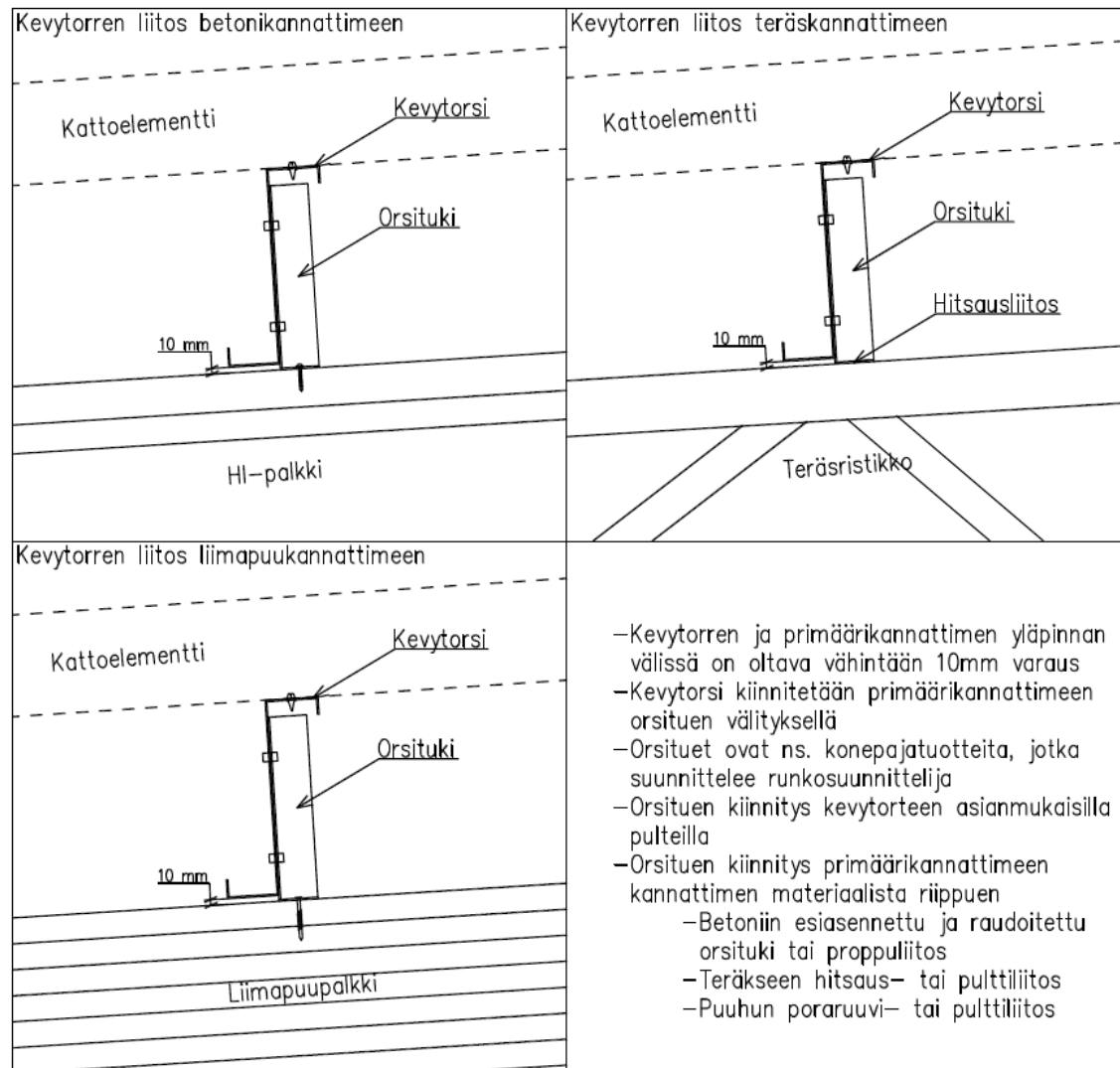
Kevytorret ovat yleensä kuumasinkitystä teräksestä valmistettuja profiiliteräskannattimia, joita käytetään vaakarakenteissa pienten jänneväliden sekundäärikannattimina. Kevytorret voidaan esirei'ittää asennuksen nopeuttamiseksi ja niiden kiinnitykseen käytetään itseporautuvia, itsekierteittäviä ja kuusioruuveja. Kattorakenteen sekundäärikannattimena käytetään yleensä Z-orsia, joiden jäyhyysakseli asettuu vinoon asennettaessa kutakuinkin pystyasentoon. Muita profiileja ovat C-profiili, sigmaprofiili ja hattuprofiili. Kevytorsia voidaan käyttää myös kevyiden seinäelementtien tuentaan.

Sekundäärikannattimena käytettäessä kevytorsia kiinnitetään orsituen välityksellä primäärikannattimeen käyttäen kiinnikettä, joka vaihtelee primäärikannattimen materiaalin mukaan. Orsituki on yleensä U-teräsprofiilista valmistettu teräsosa, joka suunnitellaan ja valmistetaan kohdekohtaisesti kuormien ja käytettävien kannattimien mukaan. Kevytortta ei saa kiinnittää primäärikannattimeen ilman orsitukea.



Kuva 36. Kevytorren orsituen periaatekuva.

Kevytorsien vääntöjäykkyys on pieni verrattuna taivutusjäykkyyteen, minkä takia orsien kiepahdustuentaan tulee kiinnittää erityistä huomiota rungon suunnittelu- ja rakennusvaiheessa.

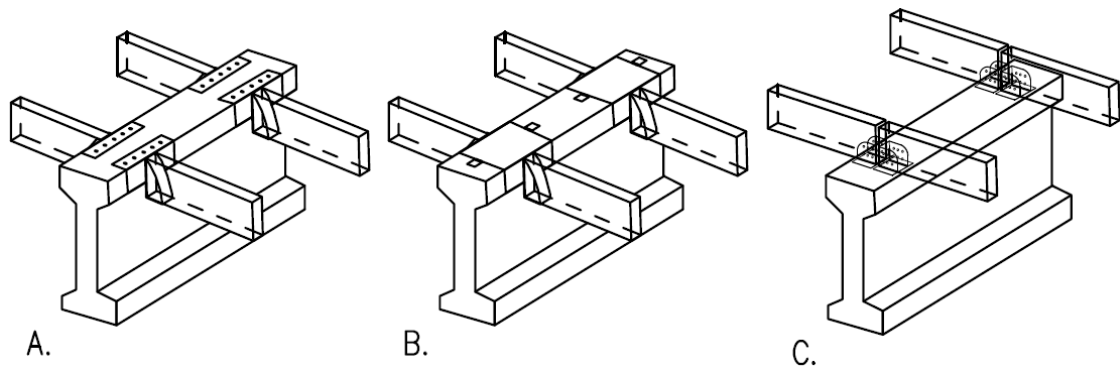


Kuva 37. Kevytorren liitos primäärikannattimien päälle.

Kevytorsi voidaan kiinnittää myös yläpinnaltaan samaan tasoon primäärikannattimen kanssa, jolloin saavutetaan matalampi rakennekorkeus. Tällöin kevytorren liitos primäärikannattimeen vaatii erilaisen orsituen kuin käytettäessä aiempaa vaihtoehtoa.

8.3.2 (H)I-palkki ja liimapuupalkki

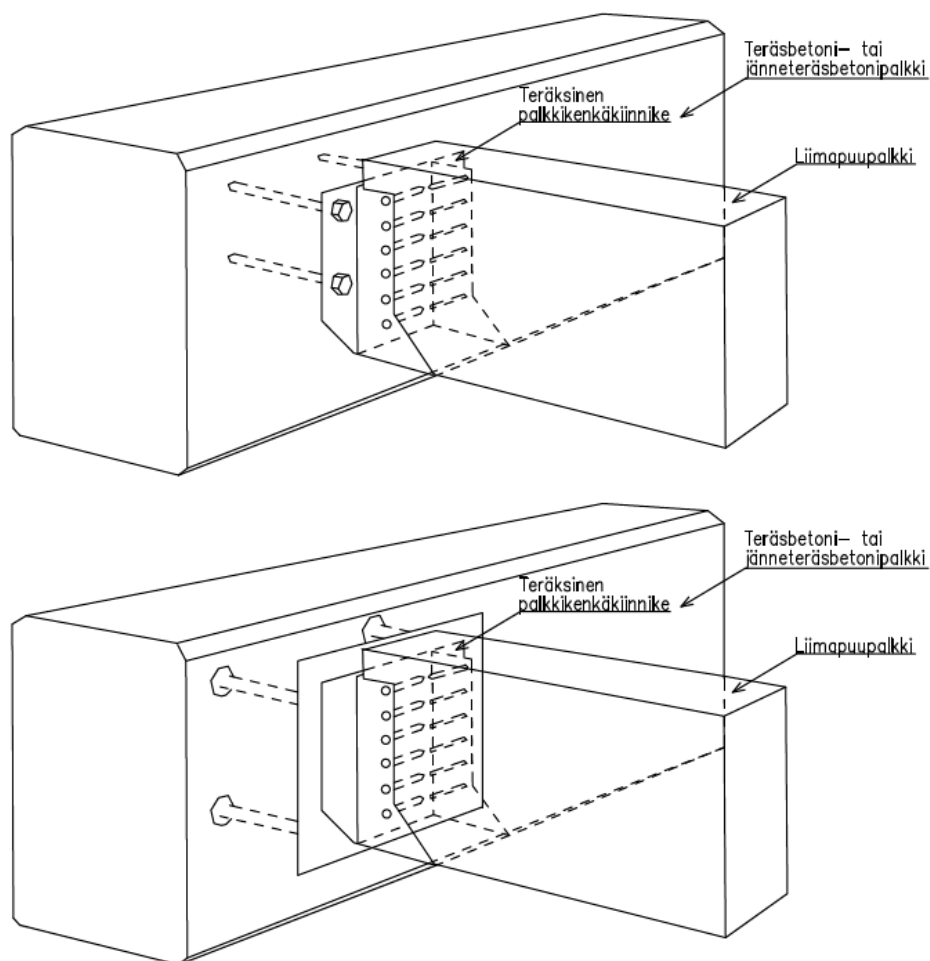
Liimapuupalkin ja (H)I-palkin liitos voidaan toteuttaa teräskiinnikeosilla, joiden kiinnitys jännebetoniseen kannattimeen tehdään joko betonille tarkoitetuilla mekaanisilla kiinnitysosilla tai hitsaamalla teräksinen kiinnike jännebetonikannattimeen esiasennettuihin kiinnityslevyihin.



Kuva 38. Vaihtoehtoja (H)I-palkin ja liimapuupalkin liitosvaihtoehtoja teräskiinnikkeillä: A) ruuviankkurilla kiinnitettävä teräskiinnike, B) hitsattava teräskiinnike, C) ruuviankkurilla tai hitsausliitoksella kiinnitettävä teräksinen palkkikenkäkiinnike

8.3.3 Suorakaidebetonipalkki ja liimapuupalkki

Kiinnitettäessä sekundääriiimapalkki betonisen suorakaidepalkin kylkeen, on käytettävä teräksistä kiinnikeosaa, joka voidaan kiinnittää liimapuupalkkiin joko ruuveilla tai vaarnapulteilla. Teräsbetonipalkkiin kiinnikeosa voidaan kiinnittää ruuviankkureilla tai hitsaamalla, mikäli palkkiin on esiasennettu kiinnityslevy kiinnikeosaa varten.



Kuva 39. Liimapuupalkin liitos teräsbetonipalkkiin palkkikenkäkiinnikkeellä.

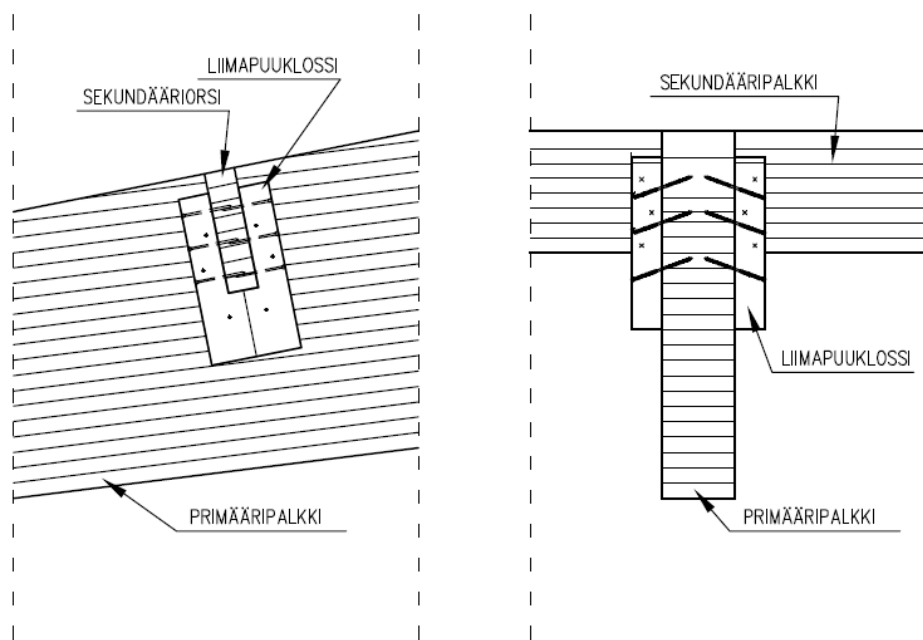
8.3.4 Teräsristikko ja liimapuupalkki

Teräsristikon ja liimapuupalkin välinen liitos toteutetaan teräksisellä liitinosalla, joka voi olla joko tavallinen palkkikenkä tai piilopalkkikenkä. Palkkikenkien liittäminen teräsristikkoon voidaan toteuttaa esimerkiksi hitsi- tai pulttiliitoksella. Palkkikengät voivat olla puupalkkien liitoksiin suunniteltuja ja sarjavalmistettuja liitinosia, joiden liitos teräksiseen ristikkoon tulee suunnitella erikseen. Vaihtoehtona on käyttää kokonaan erikseen suunniteltua kiinnikettä.

8.3.5 Liimapuupalkki ja liimapuupalkki

Kahden liimapuupalkin väliset liitokset toteutetaan yleensä käyttäen joko puista tai teräksistä palkkikenkää, jota kutsutaan myös klossiksi.

Palkin sivulle kiinnitettävä liimapuuklossi koostuu kahdesta sekundääripalkin mittojen ja kuormien mukaan valmistetusta liimapuuosasta, joiden väliin sekundääripalkki asetetaan. Klossi tukee palkkia sivuttaissuunnassa ja alapinnasta. Liimapuuklossi kiinnitetään primääripalkkiin ruuveilla, joiden tartuntakapasiteettia parannetaan ruuvaamalla ne yläviistoon. Sekundääripalkki kiinnitetään joko naulaamalla tai ruuvaamalla klossin sivuilta. [18, s. 2]



ESIMERKKILIITOS:

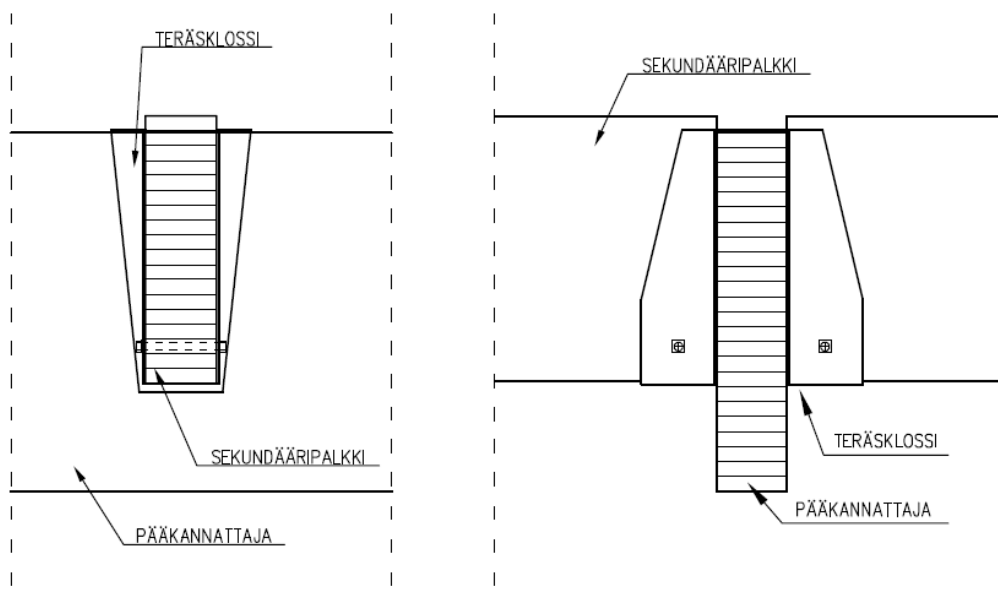
PÄÄKANNATAJA, LIIMAPUINEN BUMERANGIPALKKI

LIIMAPUUKLOSSI PÄÄKANNATAJAN MOLEMMIN PUOLIN, KIINNITYS RUUVEIN WT-T 6.5x190 6+6 KPL / KLOSSI, RUUVATAAN 60° KULMAAN
LIIMAPUINEN SEKUNDÄÄRIPALKKI 90 x 360, KIINNITYS KLOSSIIN NAULOILLA 4.2x150 3+3 KPL / PALKKI

HUOM! RAKENNESUUNNITTELIJA MÄÄRITTÄÄ MITAT, KOOT, LIITTIMET JA PALOVAATIMUKSET TAPAUSKOHTAISESTI

Kuva 40. Liimapuuprimääripalkin liitos liimapuusekundääripalkkiin liimapuuklossilla [18, s. 4].

Palkin sivulle kiinnitettävä hitsattu klossi toimii samoin kuin liimapuuklossi. Se valmistetaan kuumavalssatuista teräslevyistä sekundääripalkin mittojen mukaan. Teräsklossia käytetään suurten kuormien siirtämiseen sekundääripalkilta primääripalkille ja sitä käyttämällä liitoksesta voidaan tehdä myös momenttijäykä. Teräsklossi voidaan tehdä kaksipuolisena primääripalkin päälle tukeutuvana tai palkin sivulle kiinnitettävänä yksipuolisena osana. Kiinnitys primääripalkkiin tehdään ruuveilla primääripalkkia vasten olevan päätylevyn läpi. Sekundääripalkki kiinnitetään teräsklossiin palkin läpi tehtävällä pulttikiinnityksellä. [18, s. 2]



ESIMERKKILIITOS:

LIIMAPUINEN PÄÄKANNATAJA 1080 x 215

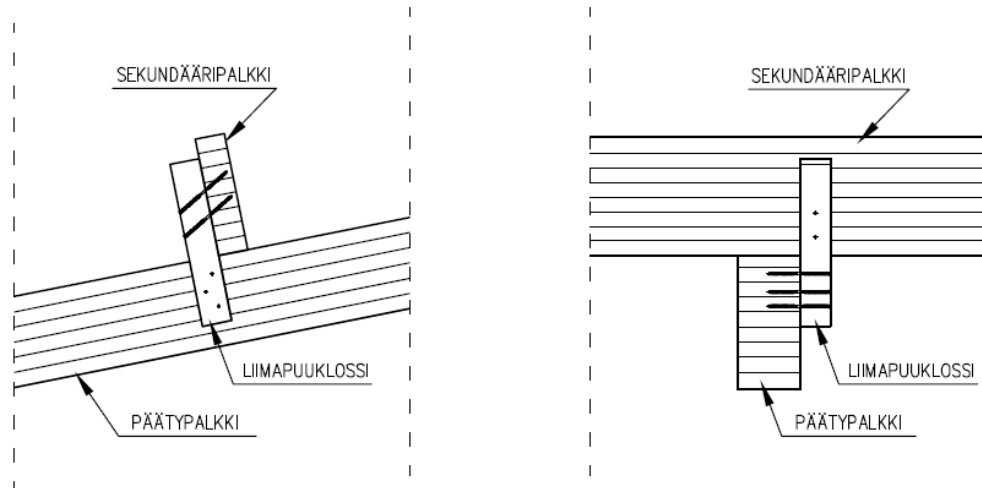
LIIMAPUINEN SEKUNDÄÄRIPALKKI 810 x 215

KAKSIPUOLINEN TERÄSKLOSSI, SEKUNDÄÄRIPALKKIEN KIINNITYS PULTTIKIINNITYKSELLÄ, KIERRETANKO M20

HUOM! RAKENNESUUNNITTELIJA MÄÄRITTÄÄ MITAT, KOOT, LIITTIMET JA PALOVAATIMUKSET TAPAUSKOHTAISESTI

Kuva 41. Liimapuuprimääripalkin liitos liimapuusekundääripalkkiin teräsklossilla [18, s. 6].

Palkin päälle kiinnitettävän sekundääripalkin liimapuuklossi on yksinkertainen suora liimapuuos, jolla sekundääripalkki liitetään primääripalkkiin. Sen kautta siirretään vaakakuormat primääripalkille ja estetään sekundääripalkin kiepahdus. Liimapuuklosseja voi olla joko vain sekundääripalkin toisella puolella tai molemmilla puolilla riippuen vaakakuormista ja palkin kiepahdusalttiudesta. Klossin kiinnityksessä käytetään ruuveja, jotka ruuvataan yläviistoon sekundääripalkissa. [18, s. 2]



ESIMERKKILIITOS:

PÄÄKANNATAJA, LIIMAPUUNEN PÄÄTYPALKKI 190 x 405
 LIIMAPUUNEN SEKUNDÄÄRIPALKKI 90 x 360
 SEKUNDÄÄRIPALKIN KIINNITYS LIIMAPUUKLOSSILLA 90 x 90 x 510 PÄÄKANNATAJAN PÄÄLLE,
 KIINNITYS RUUVEIN WT-T 6.5x190 3+2 KPL / KLOSSI, RUUVATAAN SEKUNDÄÄRIPALKKIIN 60° KULMAAN

HUOM! RAKENNESUUNNITTELIJA MÄÄRITTÄÄ MITAT, KOOT, LIITTIMET JA PALOVAATIMUKSET TAPAUKOKHTAISESTI

Kuva 42. Liimapuuprimääripalkin liitos liimapuusekundääripalkkiin liimapuuklossilla kannattajan päälle [18, s. 5].

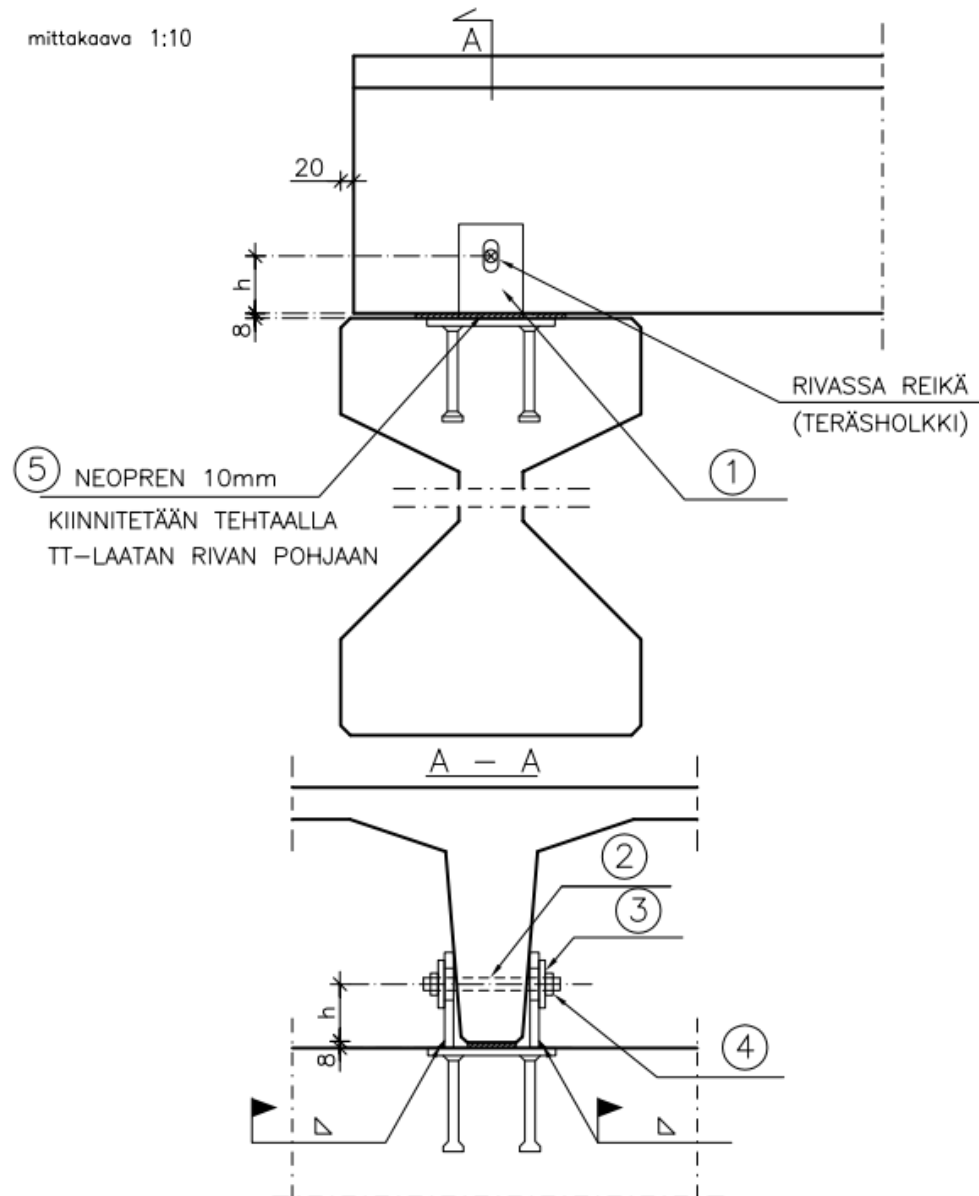
8.4 Yläpohjarakenteen ja kannattimen väliset liitokset

Tässä työssä on käsitelty neljää eri vaihtoehtoista tuotetta teollisuushallin rungon yläpohjarakenteeksi: TT-laattaa, poimulevyä, puurakenteista kattoelementtiä sekä pelti-villa-pelti-elementtiä.

8.4.1 TT-laatta

Pakkovoimien syntymisen ehkäisemiseksi TT-laatta on kiinnitetty sivusiirtymät estäen vain toisesta päästä jänneväläään. TT-laatta kiinnitetään (H)I-palkkiin siitä uumasta, joka on lähempänä palkkia kantavaa runkopilaria. Palkkiin esiasennettuun kiinnityslevyyn hitsataan teräksiset ripalevyt, joiden läpi viedään TT-laatan uuman läpi menevä holkkiliitos.

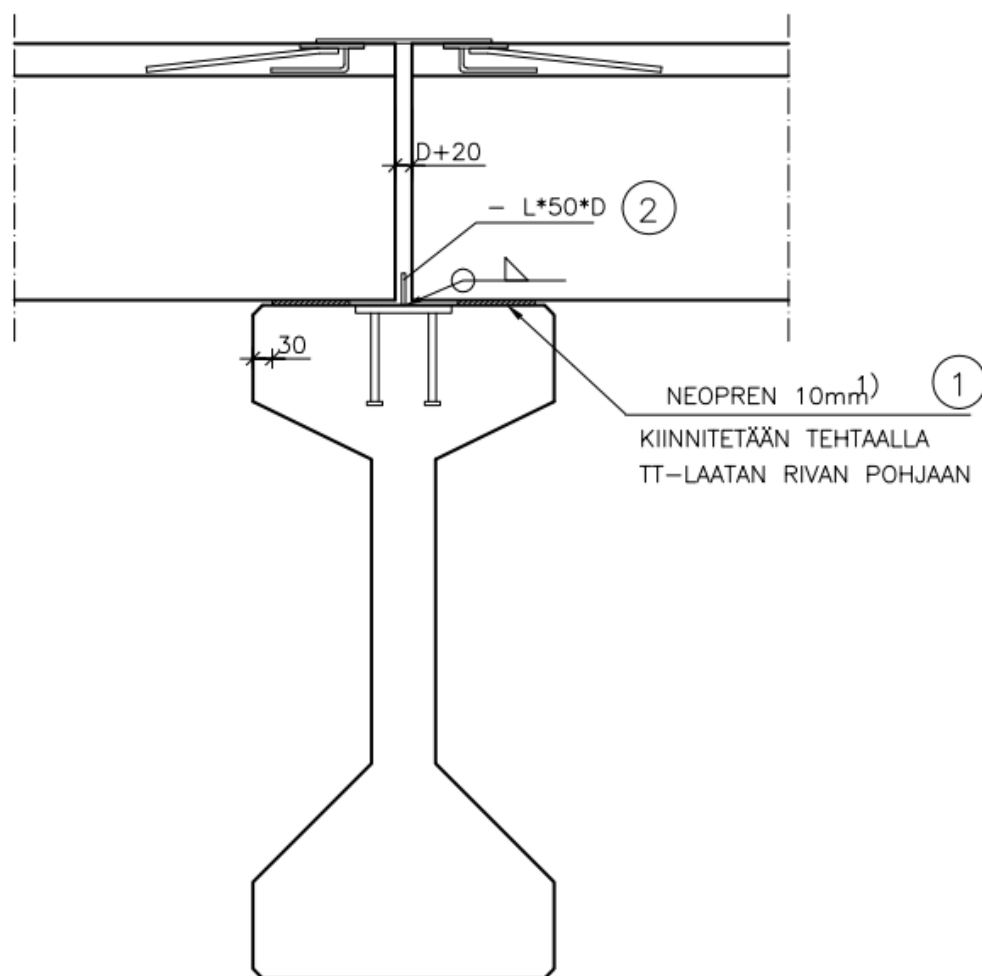
mittakaava 1:10



MATERIAALI- JA TARVIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.
TLA	1	TERÄSLEVY			S355J2G3	2 kpl	
TKP	2	PULTTI				1 kpl	
TLA	3	ALUSLEVY			S235J2G3	2 kpl	
TMU	4	KUUSIOMUTTERI			SFS 2067	2 kpl	
VKU	5	KUMILEVY	NEOPREN		SHORE 60		

Kuva 43. TT-laatan liukumista estävä liitos reuna-(H)-palkkiin [15, s. 44].

Kahden TT-laatan päädyt kiinnitetään keskipalkin kohdalla toisiinsa terästangollisilla liitoselimillä, jotka säilyttävät TT-laattojen sijainnit toisiinsa nähden kohdakkaisina sallien kuitenkin pienet rakenteiden muodonmuutokset, kuten sivusiirtymät. Laattojen siirtymät on otettava huomioon tukipintojen mitoituksessa suunnitteluvaiheessa.



1) TARKISTETAAN VAAKASIIRTYMIEN MUKAAN KS. OHJE WWW.BETONI.COM

MATERIAALI- JA TARVIKELUETTELO						TUNNUS:	
RY	PO	MAT/TAR	TYYPPI	KOKO	LAATU	MÄÄRÄ	HUOM.
VKU	1	KUMILEVY	NEOPREN	10 mm	SHORE 60		
TXE	1	LATTATERÄS		50*D	S235J2G3		

Kuva 44. TT-laatan liukumista estävä liitos keski-(H)-palkkiin [15, s. 42].

8.4.2 Kantava poimulevy

Poimulevyn suora kiinnitys betoniin ei suositella, vaan poimulevyllä tulisi olla joko teräksinen tai puinen kiinnitysalusta. Jos tämä ei ole mahdollista, on levyjen ja betonin väliin asennettava nauhatiiviste. Kiinnitykseen voi käyttää metalliankkuria, jolle porataan reikä poimulevyn läpi noin 45 mm syvä reikä betoniin.

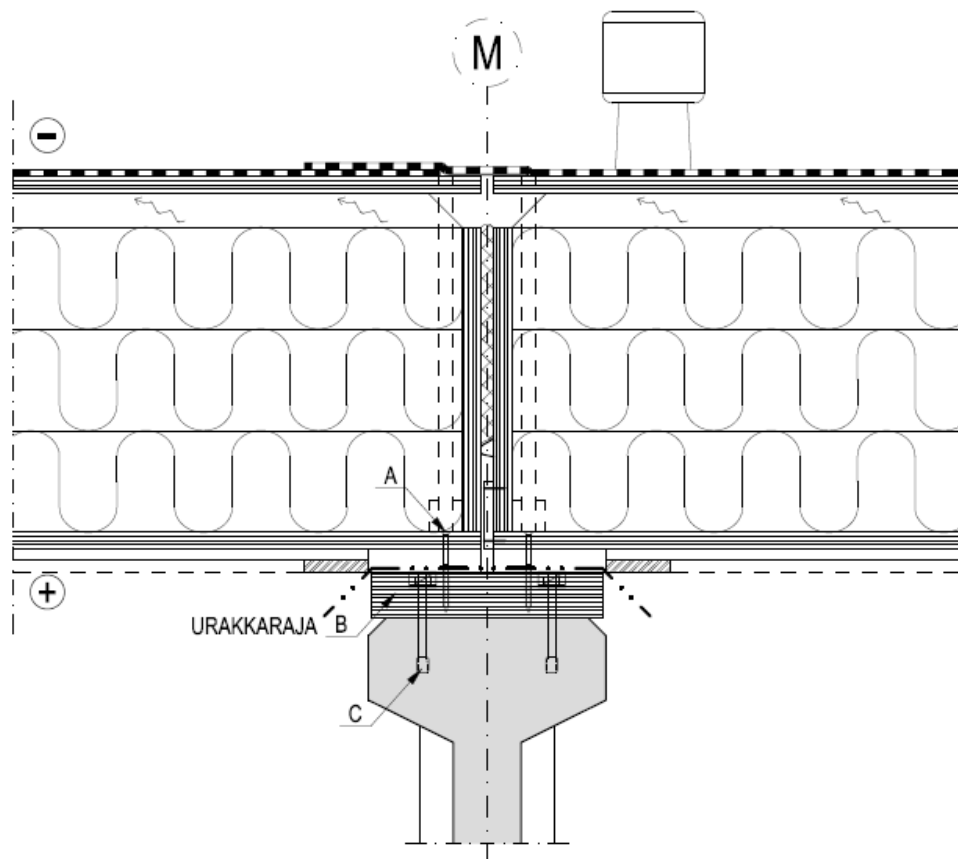
Teräsalustaan kantavat levyt kiinnitetään ruuveilla ja ammuttavilla nauloilla. Ruuvit ovat joko poraruuveja tai kierteistäviä ruuveja. Kierteittävää ruuvia varten on ensin porattava reikä, jonka ruuvi kiinnitettäessä kierteittää. Poimulevyjen kiinnityksessä teräksisiin

kevytorsiiin suositellaan käytettäväksi kaksinkertaista kiinnikemäärää orsitukien läheisyydessä.

Puurunkoon kantavat levyt kiinnitetään ruuveilla. Suunnittelijan tulee tapauskohtaisesti selvittää tarvittava ruuvien tunkeutumapituus, jonka perusteella valitaan oikea ruuvien pituus. [19, s. 13]

8.4.3 Puukattoelementti

Puurakenteinen kattoelementti voidaan kiinnittää betonisiin, teräksisiin ja puisiin kannattimiin käyttäen ruuviliitosta, joka kannattimen materiaalista riippuen voi vaatia välikappaleen. HI- tai I-palkkiin kiinnitys toteutetaan siten, että palkin ylälaippaan porataan ja kiinnitetään kiila-ankkurit, joihin palkin päälle asennettava puulevy kiinnitetään kierteisellä pultilla ja mutterilla. Kattoelementti asennetaan puisen levyn päälle ja kiinnitetään ruuveilla levyyn. Ruuvien kiinnitystä varten elementissä on esiporatut reiät. Liitos toteutetaan samalla tavalla suorakaiteen muotoiseen betoniseen kannattimeen. Puulevyn kiinnitystä varten tarvittavat pultit voidaan myös esiasentaa kannattimeen.



KATTOELEMENTTIASENNUS:

A. PUURUUVI

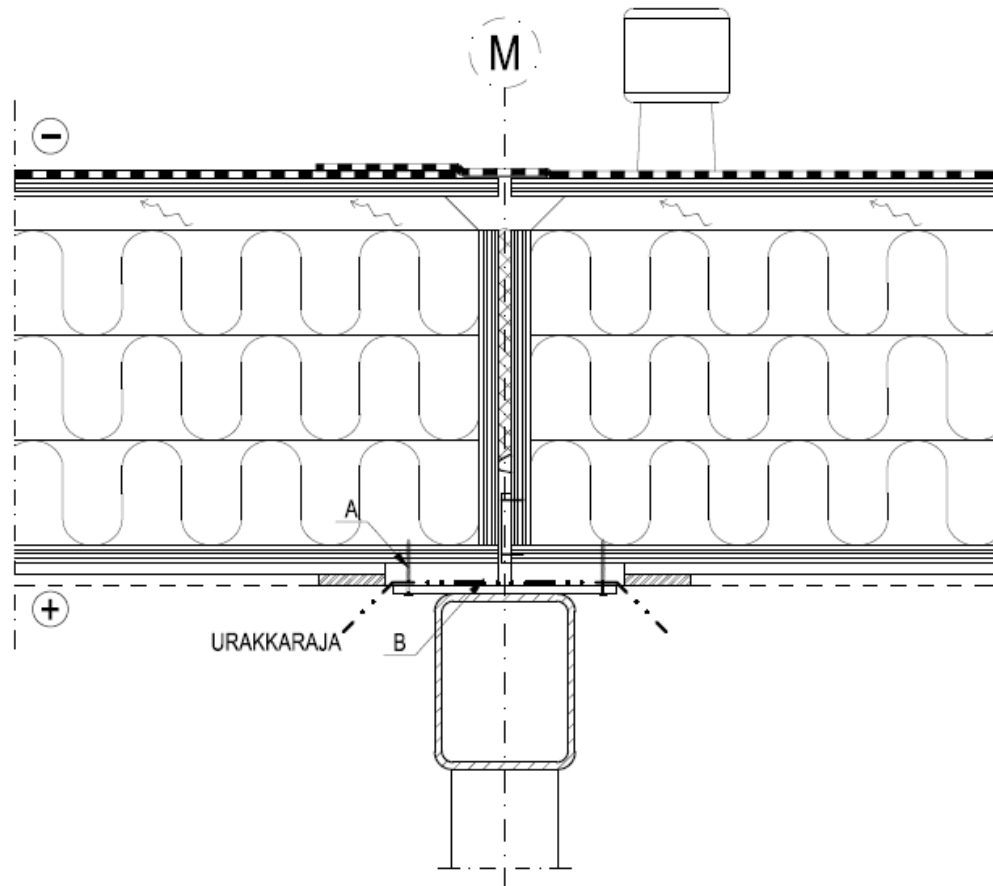
RAKENNUSURAKOITSIJÄ:

B. KERTO-Q -LEVY

C. KIILA-ANKKURI, UPOTETAAN KERTO-Q LEVYYN

Kuva 45. Puukattoelementin liitos (H)I-palkkiin [20].

Teräksiseen kannattimeen ruuviliitos tehdään kattoelementin alapuolelta. Ruuvit porataan kattoelementtiin kannattimen päälle kiinnitetyn teräslevyn läpi.



KATTOELEMENTTIASENNUS:

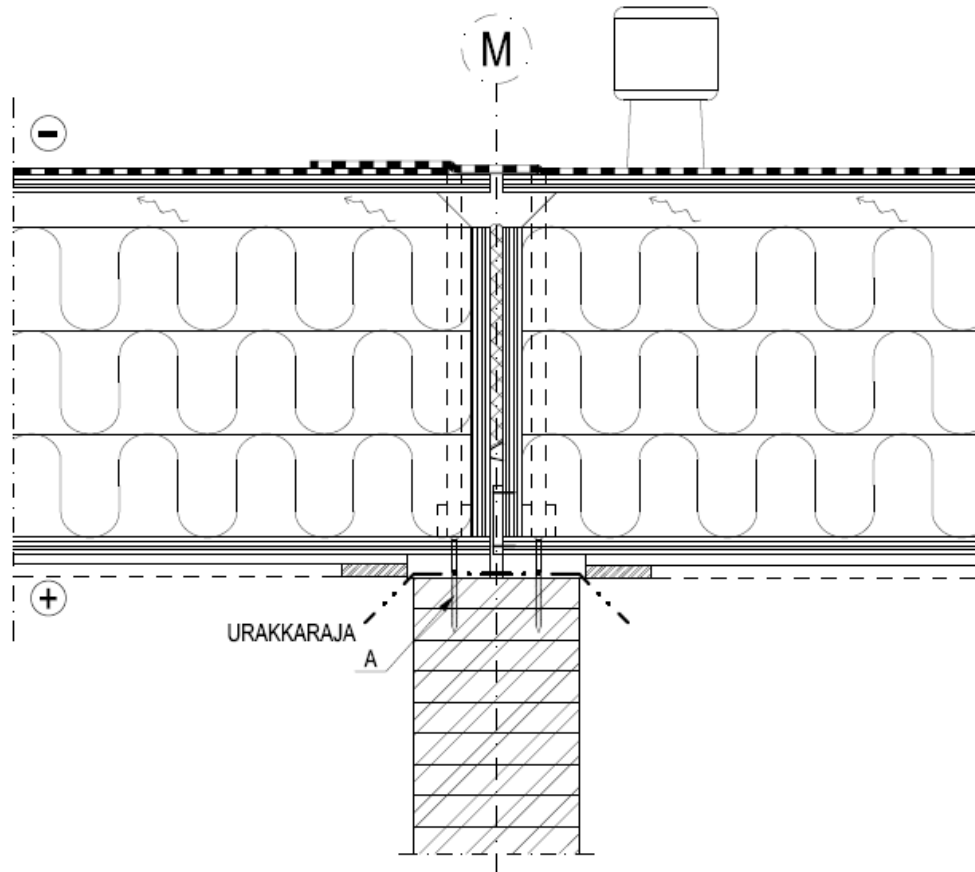
A. ALAPUOLINEN NAULA- TAI PUURUUVIKIINNITYS

RAKENNUSURAKOITSIJÄ:

B. TERÄSLEVY TERÄSRUNGON YLÄPINNASSA, PALOSUOJAUS TARVITTAESSA

Kuva 46. Puukattoelementin liitos teräsrunkoon [20].

Puiseen kannattimeen kattoelementti voidaan kiinnittää suoraan ruuveilla ilman erillistä välikappaletta.



KATTOELEMENTTIASENNUK:

A. PUURUUVIKIINNITYS

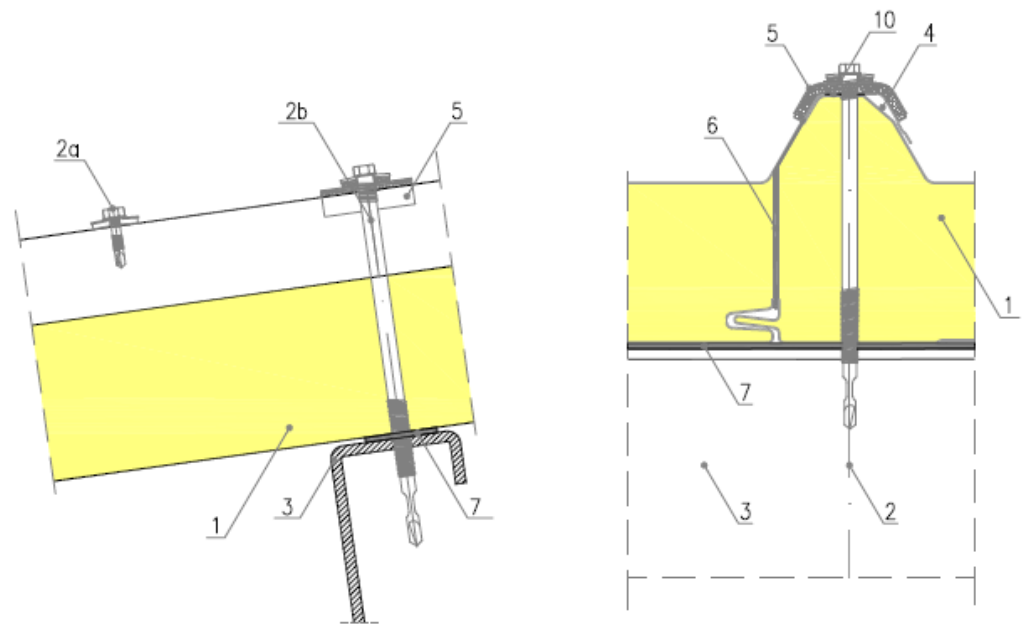
RAKENNUSURAKOITSIJA:

B. TERÄSLEVY TERÄSRUNGON YLÄPINNASSA, PALOSUOJAUS TARVITTAESSA

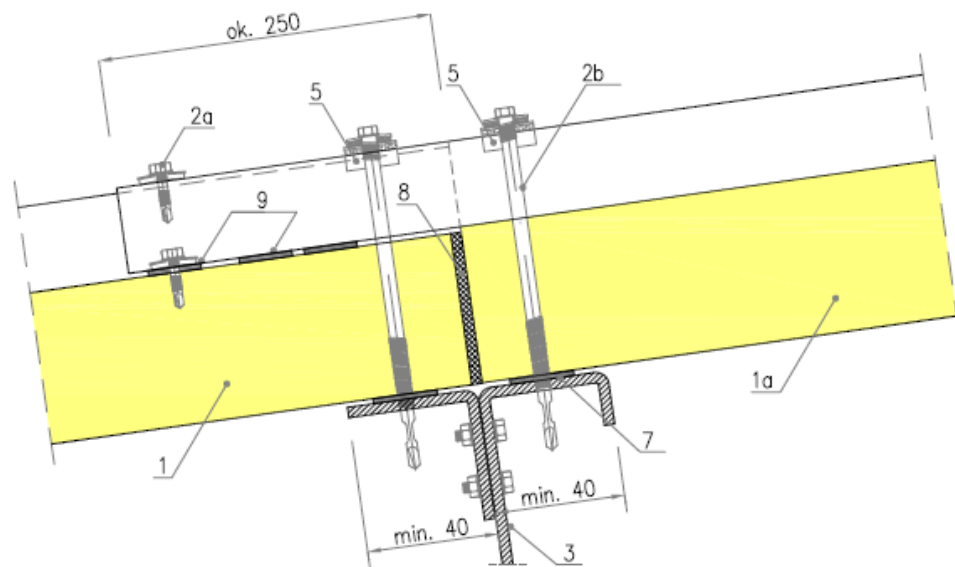
Kuva 47. Puukattoelementin liitos liimapuurunkoon [20].

8.4.4 PVP-elementti

Pelti-villa-pelti –elementti kiinnitetään kantavaan runkoon orsien välityksellä. Kevytarren kiinnitys primäärikannattimeen on käsitelty kohdassa 8.3.1.



Kattoelementtien pitkittäinen liitoskohta



1. IzoRoof elementti
- 1a. IzoRoof elementti alaleikkauksen, alapuolinen pelti ja eriste poistetaan jatkosauman pituudelta
2. Kiinnitysruuvien akseli
- 2a. Kiinnitysruuvi EPDM-tiivisteellä (pitkittäis- ja poikittaissaumaukseen, suositeltu 30cm välein)
- 2b. Kiinnitysruuvi EPDM-tiivisteellä (elementin kiinnittämisen runkoon)
3. Orsi
4. Kapillaarikammio
5. Heavy Wind-tiiviste
6. Polyetyleenitiiviste
7. Pilaritiiviste
8. Polyuretaanivaahdot tai itseturpoava tiivistenauha
9. Butyylinauha, vähintään 2 riviä, suositellaan 3 riviä
10. Butyylinauha

Kuva 48. IzoRoof-kattoelementin kiinnitys kantavaan runkoon, mukaan lukien jatkosauma [21].

9 Johtopäätelmät

Johdannossa esitelty esimerkkirunko on mahdollista toteuttaa yksimateriaalisten vaihtoehtojen lisäksi myös yhdistelemällä eri materiaaleista valmistettuja runkotuotteita. Useampien materiaalien käyttäminen mahdollistaa monimuotoisten ratkaisujen käyttämisen hallirungossa, mutta se vaatii lukuisien asioiden huomioon ottamista rakennuskohteen suunnittelussa ja tuotannossa.

9.1 Eri materiaalien korvattavuus

Ilmeinen yhdistelmärunkojen toteutettavuuteen liittyvä kysymys on se, kuinka jokin materiaali on vaihdettavissa toiseen ja mihin eri asioihin se voi vaikuttaa. Materiaalien korvattavuuteen tai korvaamattomuuteen voi olla erilaisia syitä sekä perusteluja riippuen siitä, onko kyseessä rakenteiden suunnitteluun vai tuotantoon liittyvät seikat.

Suoraviivaisin asia, joka suunnittelun puolesta vaikuttaa rakenteen materiaalin valintaan, on materiaalin teknisistä ominaisuuksista aiheutuva vaikutus rakenteen lujuuteen, kulutuskestävyyteen ja palonkestoon. Rakennuksen rungon palonkestovaatimus usein määrittää, mitkä vaihtoehdot ovat rakennuksen rungossa mahdollisia käyttää. Tuotannon eli työmaan puolesta materiaalien valintaan voi vaikuttaa aiemmat kokemukset ja tottumukset liittyen niiden käsittelymiseen ja työstämiseen. Vakiintuneiden ja hyväksi todettujen ratkaisujen käyttäminen on luonnollisesti suosituttua myös suunnittelussa.

Betonin ominaisuudet suosivat sen käyttöä kulutuspintana sekä rungon osissa, joissa on hyötyä massiivisuudesta, suuresta tiheydestä sekä puristuslujuudesta. Tällaisia teollisuushallirungon osia ovat esimerkiksi ääntä eristävät rakenteet, kuten seinät ja välipohjat, sekä jäykistävät pystyrakenteet, joissa suuret aksiaaliset voimat voidaan katsoa edullisiksi jäykistys- ja stabiilisuusmitoitusta toteutettaessa. Betonirakenteilla on epäkäytännöllistä toteuttaa erittäin suuria jännevälejä sisältäviä hallirunkoja rakenteiden kokojen kasvaessa erittäin suuriksi.

Puun pieni omapaino helpottaa sekä nopeuttaa siitä valmistettujen elementtien käsittelyä. Tiheyteensä suhteutettuna sen hyvät lujuusominaisuudet mahdollistavat puisille vaakakannattimille hyvin suurien jännevälien toteuttamisen. Puun käyttämistä kantavissa rakenteissa on kuitenkin lainsäädännöllisesti rajoitettu siten, ettei palosuojaamaton puu ole mahdollinen runkomateriaali kuin vaatimattomimmissa paloluokissa, kuten R15. Puurakenteinen runko yleensä joko suojataan suoraan paloa vastaan koteloimalla kantavat rakenteet kauttaaltaan itse palonkestoa lisäävin levyrakentein niin että palonkestovaatimus rakenteella täyttyy. Vaihtoehtona on madaltaa itse rakennuksen rungolta vaadittavaa palonkestoaikaa käyttämällä Rakentamismääräyskokoelman E-osan suomia ehtoja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kantavat rakenteet päällystetään materiaalilla, jolla on RakMK:n E-osan määrittämien vaatimusten mukaiset ominaisuudet liittyen lämmön- ja savuntuottoon, liekin leviämiseen ja palavien pisaroiden tai osien muodostumiseen. Useimmiten palonkestovaatimuksen alentamisen edellytyksenä on myös varustaa rakennus automaattisella sammutuslaitteistolla.

Teräsrakenteiden vahvuudet liittyvät niiden mittatarkkuuteen ja monikäyttöisyyteen. Teräsvalmisosien valmistusta sitovat tuotestandardit ovat määrittäneet terästuotteille muihin materiaaleihin verrattuna erittäin pienet sallitut poikkeamat liittyen itse materiaalin ominaisuuksiin kuin siitä valmistettujen tuotteiden mittoihin. Kun terästuotteita käytetään yhdessä muiden materiaalien kanssa, tulee suunnittelussa huomioida toleranssien eriäväisyyksistä aiheutuvat riskit. Jos hallirungon primäärikannattimina toimivat teräsristikot on valmistettu vastaamaan kauttaaltaan teräksisen hallirungon valmistus- ja asennustoleransseja, voi pelkkä teräsbetonipilareiden asennustoleranssi aiheuttaa yhteensopivuusongelmia pilareiden ja ristikoiden liitoksissa. Suunnitellessa yhdistelmärakenteita, jotka sisältävät teräksisiä rungon osia, tulee liitoksien ja rakenneosien mittoihin sisällyttää riittävä väljyys jotta rungon asentamisen ongelmattomuus voidaan varmistaa. Teräksen jatkuvasti nouseva hankintahinta ei suosi teräksen käyttämistä laajamittaisesti esimerkiksi suurten jännevälien palkkirakenteissa, joissa rakennekorkeus sekä rakenteen omapaino kasvaa suureksi, jolloin suurien jännevälien vaakakannattimia toteutettaessa teräsristikot ovat teräspalkkeja taloudellisempi vaihtoehto. Teräksellä on suojaamattomana vaatimaton kestävyys paloa vastaan, mutta terästeollisuus on kehittänyt teräkselle monimuotoisia vaihtoehtoja teräksen palosuojaukseksi.

9.2 Haasteet

Pilari-palkkirunkoisen hallin vaakakannattimien jännevälit ja pilarijaot yleensä määrittävät kohteen moduulijärjestelmän, johon taas perustuu liki kaikki kohteen elementteihin ja tekniikkaan liittyvä suunnittelu. Moduulijärjestelmä lyödään lukkoon mahdollisimman varhaisessa vaiheessa suunnittelua, yleensä jo alustavan suunnittelun alkuvaiheessa.

Runkojen alustava mitoitus sekä suunnittelutiedon saaminen eri elementtivalmistajilta osoittautui haasteelliseksi, eikä valmiita yhdistelmärunkoesimerkkejä ole julkisesti saatavilla suunnittelijan sovellettavaksi. Elementtivalmistajien omia yksimateriaalisia runkoesimerkkejä voi soveltaa yhdistelmärunkoa suunnitellessa vain osittain mikäli ollenkaan, sillä jännevälit ja rakennekorkeudet perustuvat niissä kyseessä olevan valmistajan omiin tuotteisiin eikä niiden voida olettaa olevan yhteensopivia muiden valmistajien tuotteiden kanssa.

Saamieni kokemusten valossa elementtien sekä runkojen suunnittelu halutaan liki poikkeuksetta säilyttää mahdollisimman laajamittaisena elementtejä valmistavan yrityksen tai sille niin sanotusti uskollisten hovisuunnittelijoiden yritysten sisällä. Tästä johtuen hallirunkojen mitoituksellinen tarkastelu jäi alun perin suunniteltua pintapuolisemmaksi.

Esimerkiksi eräiden yläpohjan jäykistykseen käytettyjen kattoelementtien jäykistämisen staattista periaatetta ei haluttu paljastaa suunnittelijalle, jolloin oli mahdotonta tarkastella, millaiset mahdollisuudet olisi täydentää stabiliteettia muilla rungon rakenteilla.

Eräs ongelmien aiheuttaja on se, että keskenään eri materiaalien kanssa työskentelevät elementtivalmistajat ovat sitoutuneet niin sanotusti omiin elementtistandardeihinsa, RunkoBES:iin ja RunkoPES:iin. Suurien rakennusalan yritysten välille on myös voinut kehittyä vakiintuneita teknisiä käytäntöjä, jotka eriyvät RunkoBES:n tai RunkoPES:n ohjeista, mutta ovat silti eri osapuolten välillä yhteensopivia.

RunkoBES- ja RunkoPES-elementtistandardien väliset eroavaisuudet ja niiden aiheuttama yhteensopimattomuus aiheuttaa sen, että keskenään eri materiaaleista tehtyjen elementtien yhteensopivuus tulee tarkistaa ja suunnitella jokaisessa kohteessa erikseen ellei kohdetta toteuttavilla osapuolilla ole valmiiksi vakiintuneita tai muutoin yhdessä sovittuja menettelytapoja. Rakennuksen rungon sisältäessä eri elementtivalmistajien tuotteita on suunnittelussa erityisesti huomioitava urakkarajat liittyen esimerkiksi liitoksiin joissa yhdistelmärakenteet liittyvät toisiinsa.

Eri materiaaleja käytettäessä erilaisten liitosten lukumäärä nousee suureksi, eikä kaikkiin esimerkkirungoissa esiintyviin liitoksiin löytynyt sarjatuotettuja tai muutoin esivalmistettuja kiinniketuotteita tai valmiiksi suunniteltuja liitostyyppisiä. Joitain yhdistelmärunkojen liitoksiin soveltuvia kiinniketuotteita löytyi vain ulkomaisista katalogeista. Haluttaessa käyttää kyseisiä tuotteita, tulee tuotteiden saatavuus Suomeen sekä CE-merkinnän voimassaolo tarkastaa.

9.3 Mahdollisuudet

Eri materiaalien käyttäminen laajentaa rakenteiden kokojen optimoinnin mahdollisuuksia, jolloin entistä kevyemmällä ja hoikemmilla vaakarakenteilla on mahdollista toteuttaa pinta-alaltaan sekä tilavuudeltaan pienempiä runkoja, joiden lämmitys- ja ylläpitokustannukset ovat entistä pienemmät. Kevyemmät elementit ovat myös nopeita ja edullisia kuljettaa sekä asentaa paikoilleen johtuen kuljetus- ja nostokalustolta vaadittavan kapasiteetin vähenemisestä. Toisaalta työmaan nostokaluston yleensä mitoittaa koko rakennusvaiheen raskaimmat nostot, jolloin yksittäisten elementtien keveys ei välttämättä vähennä nostokaluston aiheuttamia kustannuksia. Kevyiden elementtien käsittely ja työstäminen on silti raskaita elementtejä nopeampaa.

Kevyet rakenteet voivat toisaalta myös kasvattaa rakenteiden dimensioita kasvattaen samalla materiaalimenekkiä. Hallirungossa pilarien pituussuuntaiset normaalivoimat parantavat niiden jäykkyyttä. Tavoiteltaessa matalampia hoikempia ja siten kevyempiä vaakakannattimia tämä etu voidaan menettää, jolloin jäykistävien pilareiden rakennemitat saattavat kasvaa. Optimaalista ratkaisua haettaessa on kuitenkin edullista, että eri rakennevaihtoehtoja on useiden vaihtoehtomateriaalien myötä paljon.

Mikäli kaikki teollisuushallin rungon osat voitaisiin kilpailuttaa eri valmistajilta elementtien materiaalista riippumatta, voisi rungon kustannukset koitua kohteen tilaajalle edullisemmaksi kuin koko runkoa kilpailuttaessa, kun elementtivalmistajat pystyisivät laskemaan määrällisesti pienemmistä elementtitoimituksista tilaajalle tarkemmat kustannuslaskelmat. Rungon materiaalikustannukset voisivat jäädä tilaajalle edullisemmaksi myös sitäkin kautta, että yhdistelmärungoilla on mahdollisuus olla yksimateriaalisia runkoja tehokkaampia materiaalien käytön suhteen. Tämä kuitenkin

edellyttäisi sitä, että rungon toiminnan ja sen osien yhteensopivuuden suunnittelu sekä työmaan toiminta on riittävän tehokasta, jottei tarjouskilpailussa sekä materiaalikustannuksissa saavutettua kustannusetua menetetä.

Yhdistelmärunkoa käytettäessä yhden elementtitoimittajan osuus rungosta voi jäädä pieneksi, mutta toisaalta se mahdollistaa yritykselle pääsyn mukaan tarjouskilpailuihin, joista se olisi mahdollisesti täysin ulos rajattuna. Esimerkiksi betonielementtitoimittaja voi toimittaa hallin ulkolinjojen pilarit kohteeseen, johon toteutetaan vaakakannattimet sekä yläpohja jostain betonia kevyemmästä materiaalista siitä syystä, että hallin käyttötarkoitus on määrittänyt pilareiden sijoittamisen hallin sisälle mahdottomaksi. Lienee odotettavaa, että pilottikohteissa yhdistelmärunkojen rakentamisvaiheen taloudelliset hyödyt jäisivät haittoja merkittävimiksi, mutta eri materiaalien yhteiskäytön mahdollistaminen loisi muun muassa hallirakentamiseen uusia ratkaisuja ja mahdollisuuksia, jotka lisäisivät hallirakennusten suunnittelun joustavuutta.

9.4 Kehitys- ja lisätutkimustarpeet

Yritysten välinen tämän hetkinen ilmapiiri ei siis edesauta yhdistelmärunkojen käyttämistä opinnäytetyön esimerkkirungon kaltaisissa tapauksissa. Tämä on varmasti merkittävä syy monelle rakennesuunnittelijalle ja rakennesuunnitteluyritykselle valita kohteeseensa yksimateriaalinen kantava runko, jonka usein suunnittelee ja toimittaa kokonaisuudessaan yksi elementtejä valmistava yritys. Menettelyn tavoitteena on saada tilaaja sitoutumaan elementtitoimittajaan mahdollisimman varhaisessa suunnittelun vaiheessa, jolloin muiden ratkaisujen käyttäminen kohteessa hankaloituu.

Kaikki elementtivalmistajat, käyttämistään materiaaleista riippumatta, pyrkivät jatkuvasti laajentamaan omaa osaamistaan ja tuotteidensa käyttöaluetta eri rakentamisen haaroille, minkä takia erilaisten kohteiden toteuttaminen eri materiaalein muuttunee yleisemmäksi tulevaisuudessa. Monipuolisten sekä joustavien ratkaisujen käyttäminen erilaisissa rakennuskohteissa voisi olla rakennesuunnittelijalle käytännöllisempää, jos rakennusalan yritysten välinen yhteistyö olisi avoimempaa. Pilottikohteista saatava kokemus auttaisi myös työmaan ja elementtituotannon toiminnan kehittämistä vakiintuneiden käytäntöjen samalla syntyessä ammattirakentajien välille.

Tulosten pohjalta voidaan todeta, että yhdistelmärakentamisessa on paljon tilaa uusille rakennustavoille, -menetelmille, -tyypeille sekä -tuotteille liittyen eritoten eri materiaalista valmistettujen elementtien liitoksiin. Tätä opinnäytetyötä ja sen johtopäätelmien tulisi käyttää apuna valittaessa aiheita tarkemmin ja suppeammin rajatuille jatkotutkimuksille, joiden perusteella voisi kehittää esimerkiksi uusia liitostuotteita, rakennetyyppejä tai runkojärjestelmiä.

Lähteet

1. SFS EN1992-1-1: Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2011. Suomen Standardoimisliitto SFS RY. [Viitattu 28.4.2015]
2. PAROC FireSAFE –järjestelmä. Teräsrakenteiden palosuojaus. 2013. PAROC Oy Ab. [Viitattu 28.4.2015]
3. Liimapuukäsikirja. 2003. Suomen Liimapuuyhdistys Ry. [Viitattu 19.1.2015]
4. Suomen Betoniyhdistys Ry. 2015.
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/pilarit> [Viitattu 25.5.2015]
5. Suomen Betoniyhdistys Ry. 2015.
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/palkit> [Viitattu 25.5.2015]
6. Suomen Betoniyhdistys Ry. 2015.
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat/tt-laatat> [Viitattu 25.5.2015]
7. Pelti-villa-pelti-elementtien ongelmat ja niiden ennaltaehkäisy. 2010. Willman, Jari-Pekka. [Viitattu 27.2.2015]
8. Metsä Wood Järjestelmät rakentamiseen. Metsä Wood Group.
<http://www.metsawood.com/fi/kayttokohteet/rakentaminen/elementit/Pages/Kerto-Ripa--kattoelementti.aspx> [Viitattu 25.5.2015]
9. Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. 2014. Ympäristöministeriö.
10. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa E2: Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus, ohjeet. 2005. Ympäristöministeriö. [Viitattu 25.5.2015]
11. Puuhallin suunnittelu: Esisuunnittelu ja arkkitehtoniset valinnat. 2009. Puuinfo Oy. [Viitattu 1.2.2015]
12. Rakenteiden toiminnallinen palomitoitus –ohje. 2008. Rautaruukki Oyj. [Viitattu 25.5.2015]
13. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa E1: Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet. 2011. Ympäristöministeriö. [Viitattu 25.5.2015]
14. Jäykistysjärjestelmät. 2010. Betoniteollisuus Ry. [Viitattu 25.5.2015]
15. Runkorakenteiden vakioliitokset. Suomen Betoniyhdistys Ry. 2015. [Viitattu 26.5.2015]
16. Hitsatut Profiilit EN 1993 –käsikirja. 2010. Rautaruukki Oyj. [Viitattu 26.5.2015]
17. Pilarin alapään liimaruuviliitos. Tekninen tiedote. 2012. Puuinfo Oy. [Viitattu 26.5.2015]
18. Sekundääripalkkien liitokset. Tekninen tiedote. 2012. Puuinfo Oy. [Viitattu 26.5.2015]
19. Kantavat poimulevyt asennusohje. 2014. Rautaruukki Oyj. [Viitattu 28.4.2015]
20. Kerto-Ripa liitosdetaljit .Metsa Wood Group. 2015.
<http://www.metsawood.com/fi/tyokalut/detaljikirjasto/Pages/Kerto-Ripa-detaljit.aspx> [Viitattu 26.5.2015]
21. Izopanel Tiedostopankki. 2015. Izopanel Finland Oy.
<http://www.izopanel.fi/tiedostopankki> [Viitattu 26.5.2015]

Tuotanto- ja
varastorakennuksen palo-
osastointi

	Paloluokka P1			Paloluokka P2			Paloluokka P3		
	Osastojen suurin sallittu koko 1 kerros	2-3 kerrosta	yli 3 kerrosta	Osastoivien rakennusosien luokka	1 kerros	2 kerrosta	Osastoivien rakennusosien luokka	1 kerros	Osastoivien rakennusosien luokka
Palovaarallisuusluokka 1									
Suojaustaso 1	6000 m ²	4000 m ²	3000 m ²	EI-M 90	4000 m ²	2000 m ²	EI-M 90	2000 m ²	EI-M 90
Suojaustaso 2	12000 m ²	6000 m ²	4500 m ²	EI-M 90	6000 m ²	4000 m ²	EI-M 90	4000 m ²	EI-M 90
Suojaustaso 3	Harkinnan mukaan	Harkinnan mukaan	Harkinnan mukaan	EI-M 60	Harkinnan mukaan	12000 m ²	EI-M 60	12000 m ²	EI-M 60
Palovaarallisuusluokka 2									
Suojaustaso 1	2000 m ²	1000 m ²	750 m ²	EI-M 120	1000 m ²	Ei sallittu	EI-M 120	Ei sallittu	Ei sallittu
Suojaustaso 2	4000 m ²	2000 m ²	1500 m ²	EI-M 120	2000 m ²	Ei sallittu	EI-M 120	Ei sallittu	Ei sallittu
Suojaustaso 3	Harkinnan mukaan	Harkinnan mukaan	Harkinnan mukaan	EI-M 60	Harkinnan mukaan	Ei sallittu	EI-M 60	2000 m ²	EI-M 60