

1.0 JOHDANTO

Tässä osassa esitetään nykyisin käytetyimpiä hallirakennusten runkotyyppejä. HalliPES 1.0 käsittelee vain seuraaviin ryhmiin kuuluvia rakennuksia:

- massiivipuurunkoiset hallit (erilliskokoinen, jänneväli max 32 m)
- rankarakenteiset hallit (kantavaseinäinen, jänneväli max 20 m)

Runkotyypit on valittu siten, että ne voidaan toteuttaa vakiopuutuotteista ja ne soveltuvat parhaiten esitettyyn käyttötarkoitukseen.

1.1 Kustannustekijät

Hallirakennuksen runkokustannus on monista tekijöistä riippuva kokonaisuus. Hallirakennuksessa runkokustannus on erityisesti riippuvainen rakennesuunnittelusta. Seuraavat rakennesuunnitteluun liittyvät seikat vaikuttavat oleellisesti runkokustannukseen:

- rakennuksen jäykistystapa
- rakenteiden jäykistystapa
- jäykistävien rakenteiden sijoitus (kuormien kuljetusmatka)
- rakenteiden jännevälit (pääkannatin, sekundääri)
- pääkannattimen tyyppi
- paloteknisten vaatimusten toteuttaminen kantavissa rakenteissa (täysi palosuojaus vai hiiltymämitoitus)
- voimaliitosten toteutustapa
- teräsosien palosuojatusta

Kustannusrakennetta mietittäessä ei voi koskaan katsoa pelkästään yksittäisen rakenneosan tai liitoksen kustannusta vaan aina tulee tarkastella valituista komponenteista koostuvaa rakennekokonaisuutta. Joissakin tapauksissa kallis yksittäinen rakenneosa saattaa tuoda säästöä valmiiseen rakennekokonaisuuteen ja päinvastoin. Esimerkkinä rakennekokonaisuuden hinnan ja rakenneosan hinnan välisestä riippuvuussuhteesta on esitetty seuraavissa kohdissa:

- *lyhyen jännevälin pääkannatin on edullisempi kuin pitkän jännevälin pääkannatin*
→ lyhyt jänneväli lisää pystyrakenteiden määrää (pilarit, perustukset jne.)
→ kallis kokonaisuus
- *pitkän jännevälin NR-ristikot ovat edullisia*
→ pitkä jänneväli tekee NR-ristikoiden jäykistysrakenteista järeitä ja työläitä, koska voimat ovat suuria
→ kallis kokonaisuus
- *jäykkä pilarin alapään liitos on kalliimpi kuin nivelellinen liitos*
→ jäykkää liitosta voidaan hyödyntää rakennuksen jäykistykseen, jolloin muut jäykisteet vähenevät
→ edullinen kokonaisuus
- *seinä- / kattoelementeissä käytettävä paksu palosuojalevy on kalliimpi kuin ohut*
→ paksulla palosuojalevyllä saadaan suojaus koko palonkestoajalle, jolloin kantavat rakenteet hoikempia
→ edullinen kokonaisuus
- *hyvin leveä seinä- / kattoelementti on edullisempi valmistaa kuin monta kapeampaa*
→ hyvin leveiden elementtien kuljetus (mahdollisesti erikoiskuljetus) on kallista ja käsittely ovat hidasta
→ kallis kokonaisuus

Katso myös

Osa [0 Yleistä](#)

Osa [2 Pääkannattimet](#)

2.0 RUNKOTYYPIT

Kuvissa 1...7 on esitetty nykyisin käytetyimpiä teollisuus-, varasto- ja urheiluhallien sekä kokoontumis-, liike- ja maatalousrakennusten runkotyyppejä. Esitetyt runkotyypit voidaan vapaasti soveltaa erilaisiin rakennuksiin. Tärkeintä on aina löytää käyttötarkoitukseen soveltuva kustannustehokkain runkotyyppi.

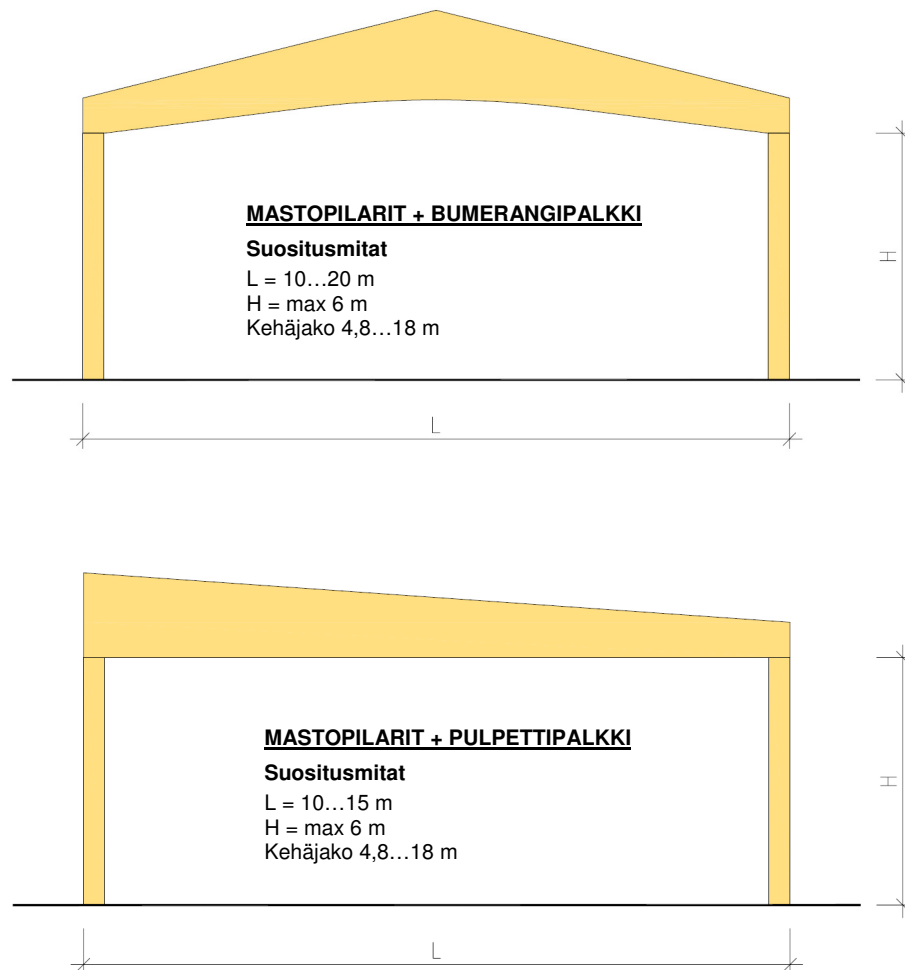
2.1 Massiivipuurunkoiset hallit

Seuraavissa runkotyypeissä kokonaisjäykistys leveyssuunnassa tehdään mastopilareilla tai käyttämällä kolminivel-kehää, koska tämä mahdollistaa mm. seuraavat:

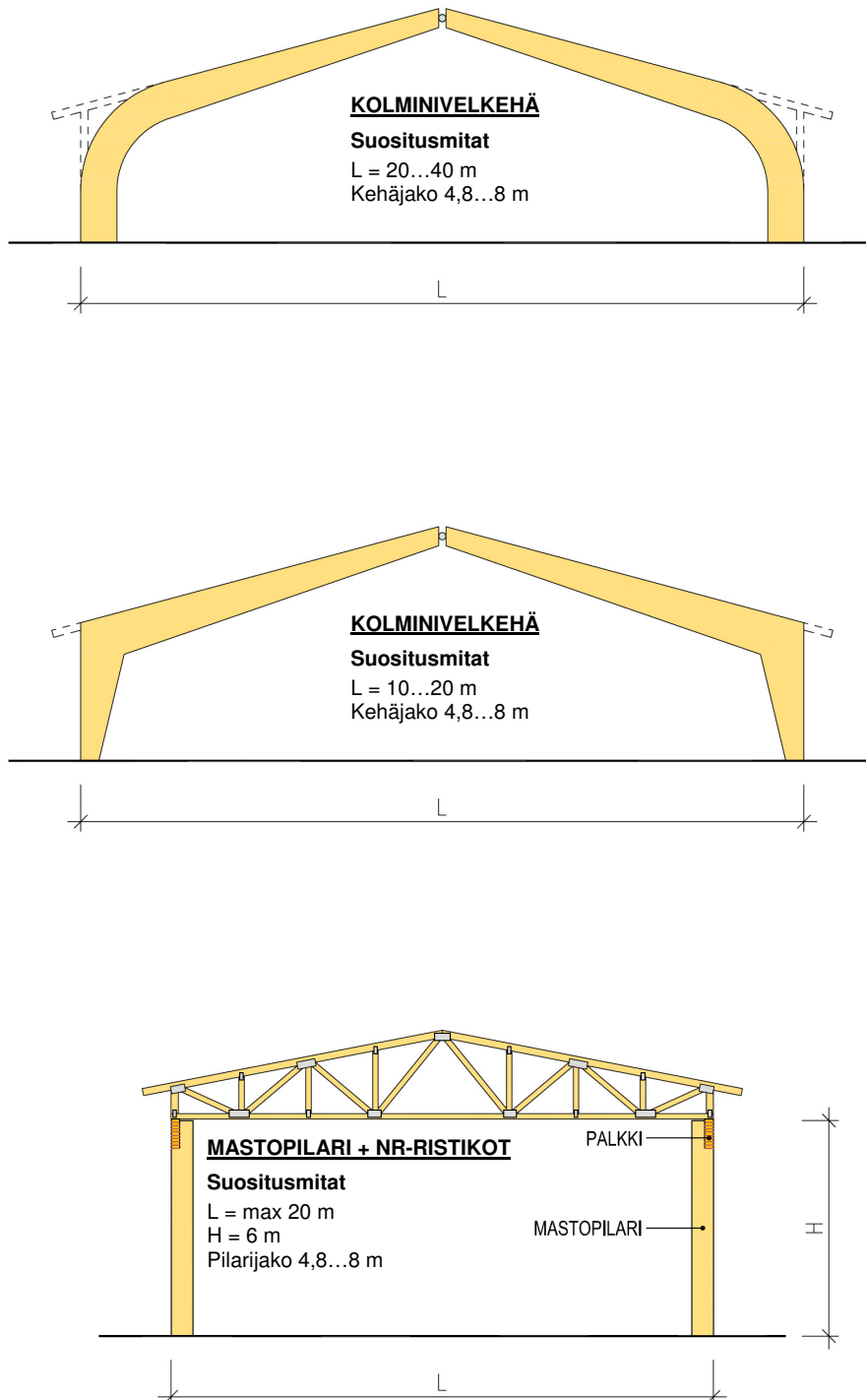
- suuri hallin pituusmitta
- suuri sisäkorkeus
- suuret oviaukot
- siltanosturin asennusmahdollisuus
- laajennusmahdollisuus
- muuntojoustavuus



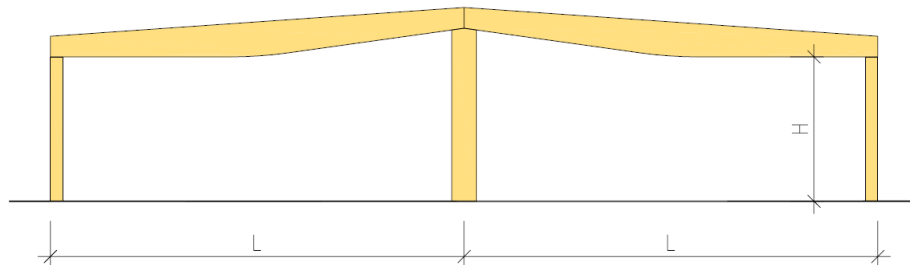
Kuva 1. Yksilaivaisia massiivipuurunkoja.



Kuva 2. Yksilaivaisia massiivipuurunkoja.



Kuva 3. Yksilaivaisia maatalousrakennusten runkoja.



MASTOPILARIT + MAHAPALKIT

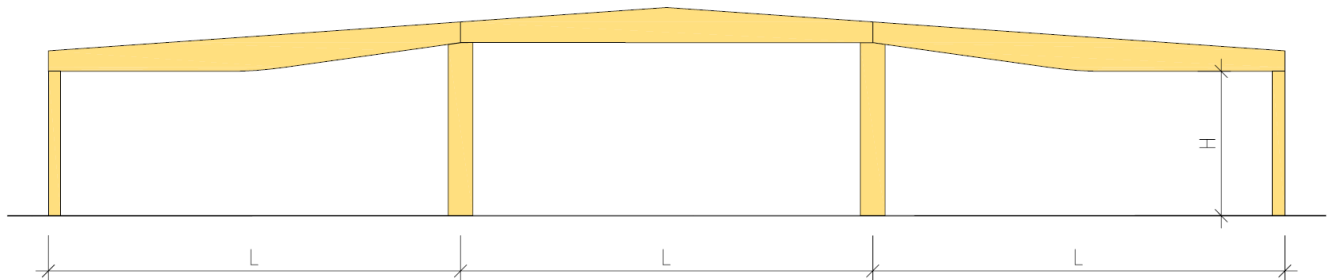
Suositusmitat

L = 16...24 m

H = max 6 m

Kehäjako 4,8...18 m

Kuva 4. Kaksilaivainen massiivipuurunko.



MASTOPILARIT + MAHAPALKIT + HARJAPALKKI

Suositusmitat

L = 16...24 m

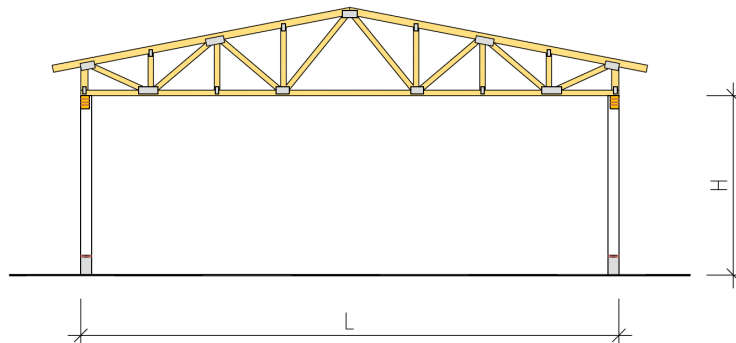
H = max 6 m

Kehäjako 4,8...18 m

Kuva 5. Kolmelaivainen massiivipuurunko.

2.2 Rankarakenteiset hallit

Seuraavissa runkotyypeissä kokonaisjäykistys pyritään ratkaisemaan levyjäykistyksellä. Tapauksessa, jossa tarvitaan laajempaa runkoa, on suositeltavaa hyödyntää mastopilarijäykistystä.



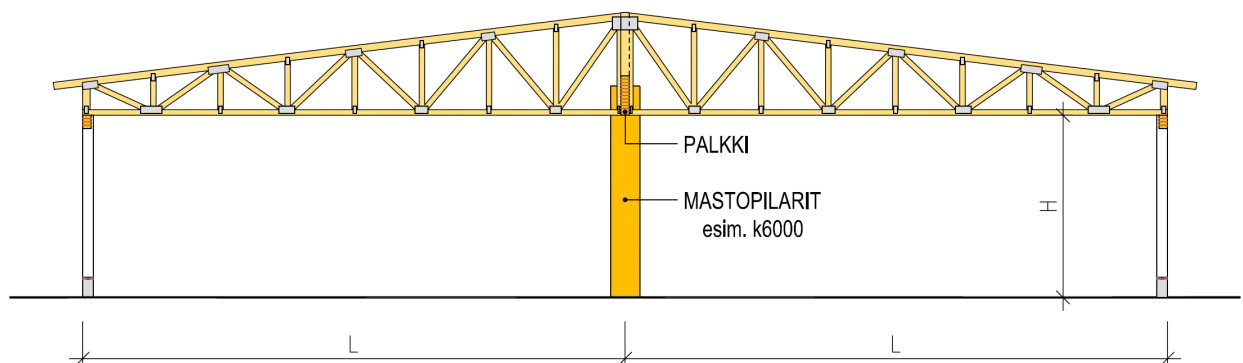
KANTAVAT RANKASEINÄT + NR-HARJARISTIKOT

Suositusmitat

L = max 20 m

H = max 6 m

Kuva 6. Yksiläiväinen rankarakenteinen runko.



KANTAVAT RANKASEINÄT + PILARI-PALKKI-LINJA + NR-PULPETTIRISTIKOT

Suositusmitat

L = max 20 m

H = max 6 m

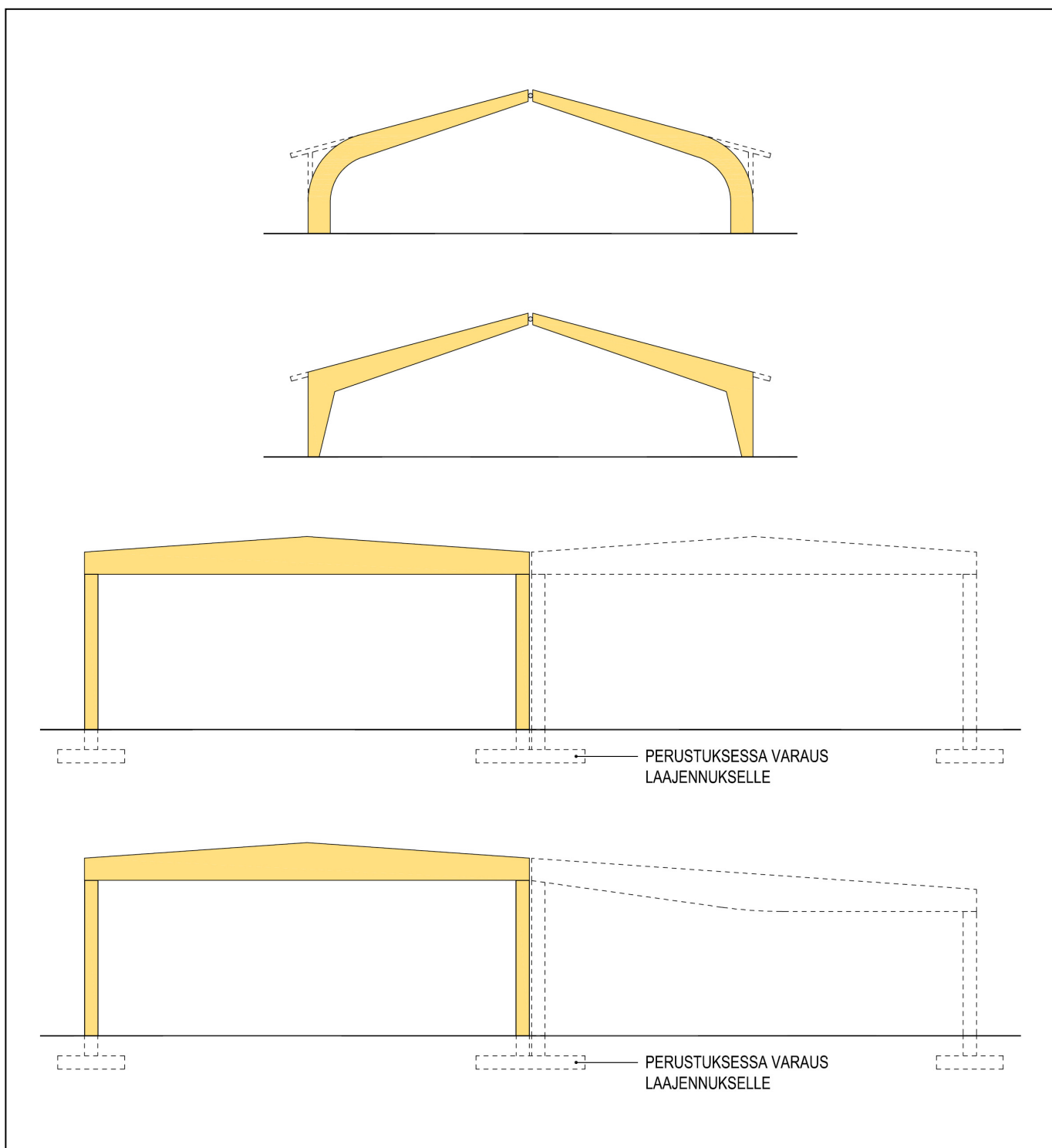
Kuva 7. Kaksiläiväinen rankarakenteinen runko.

3.0 MUUNTOJOUSTAVUUS

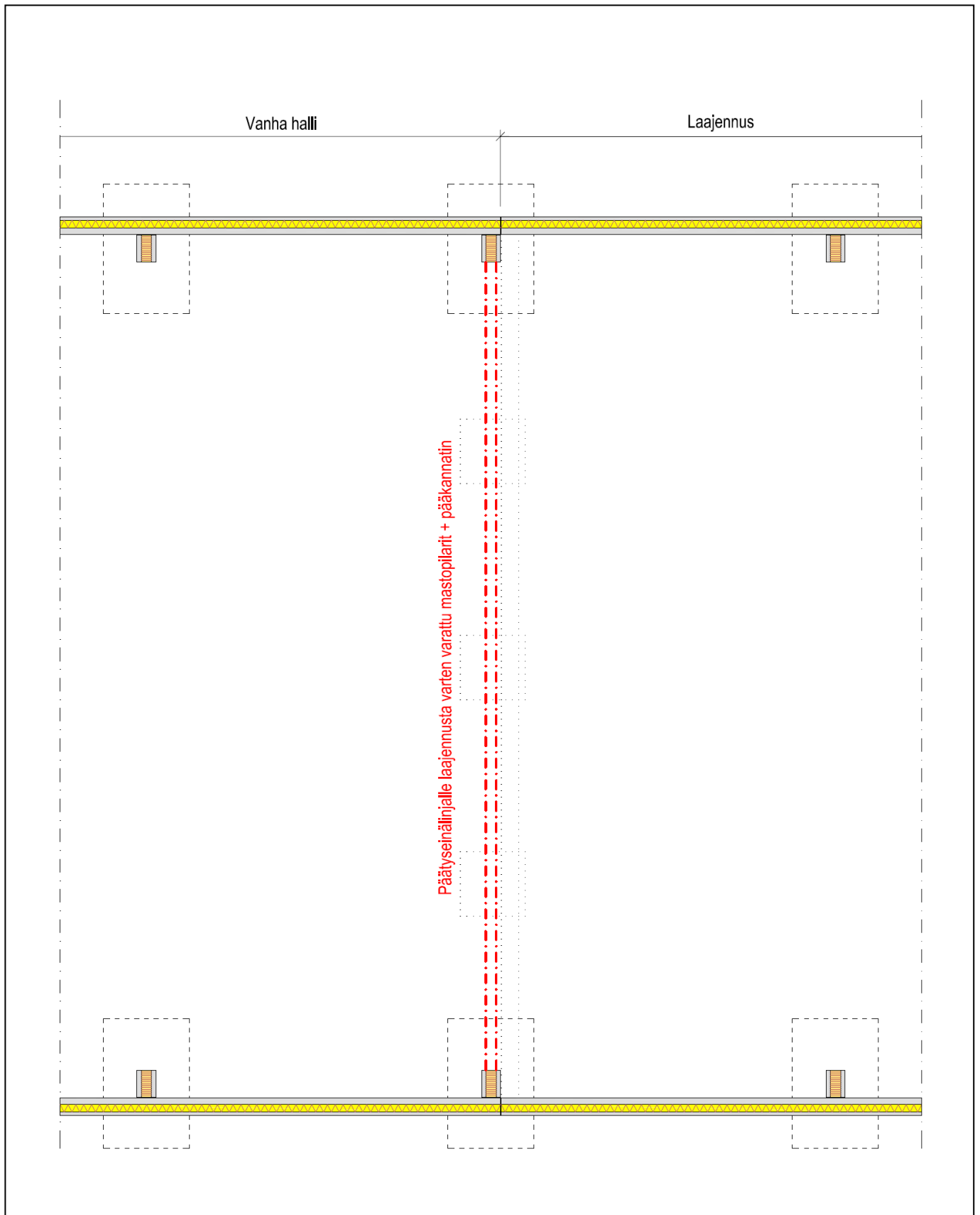
Hallirakennuksen suunnittelussa kannattaa yleensä varautua mahdolliseen rakennuksen laajentamiseen sekä mahdolliseen käyttötarkoituksen muutokseen.

3.1 Massiivipuurunkoisen hallin laajentaminen

Kehärakenteisia halleja on helppo laajentaa rakennuksen pituus- ja leveyssuunnassa, koska jäykistys on osa kantavaa rakennesysteemiä.



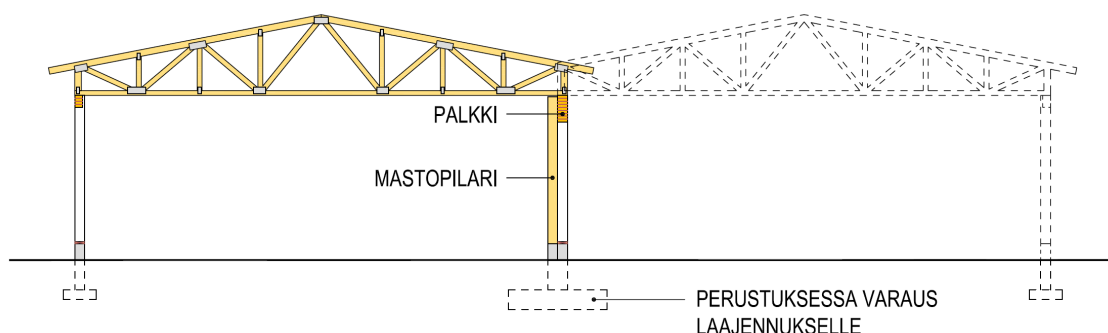
Kuva 8. Esimerkkejä runkotyypeistä, joita on helppo laajentaa rakennuksen pituus- ja leveyssuunnassa.



Kuva 9. Mastopilarirunkoisen hallin pituussuuntaisen laajentamisen periaate.

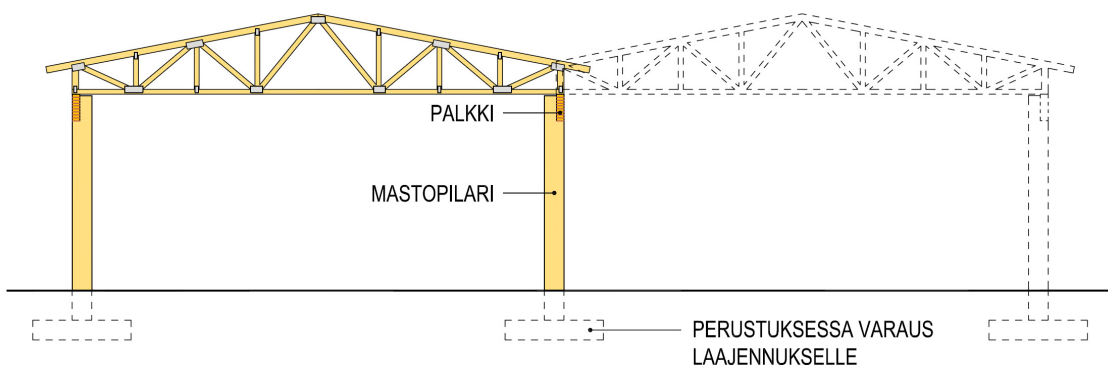
3.2 Rankarakenteisen hallin laajentaminen

Levyjäykistetyin kantavaseinäisen hallin laajentaminen vaatii yleensä tarkempaa varautumista laajennuksen osalta. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että levyjäykistetyin rakenteen jäykistyskapasiteetti on hyvin rajallinen. Laajennuksen yhteydessä saatetaan poistaa jäykistäviä seiniä, jolloin jäljelle jäävät jäykistävät rakenteet ylikuormittuvat ellei tähän ole varauduttu etukäteen. Laajennuksen varauksia suunniteltaessa tulee huomioida myös se, että kaikki kuormia saadaan siirrettyä luotettavasti jäykistäville rakenteille laajennuksen yhteydessä. Kuvassa 10 on esitetty esimerkkejä NR-ristikoilla toteutettujen rankarunkoisten hallien laajentamisesta.



ESIMERKKI 1

Laajennukseen on varauduttu tekemällä toiseen seinään mastopilari-palkki-linja, joka toimii jäykistävänä rakenteena myös laajennetussa hallissa. Tällä tavalla uusi ja vanha halli saadaan yhdistettyä helposti yhdeksi tilaksi. Mastopilari-palkki-linjan kohdalla on ei-kantavat ulkoseinäelementit.



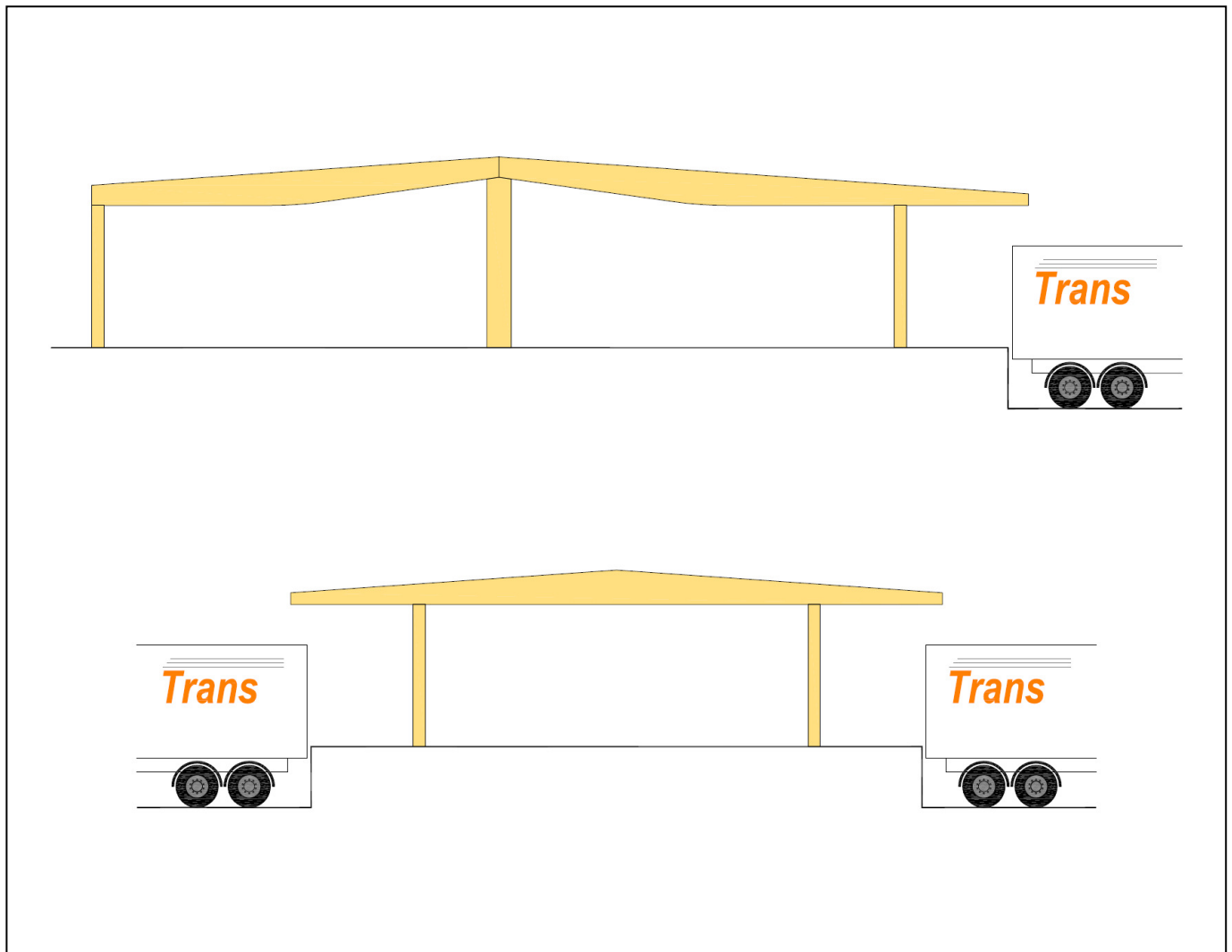
ESIMERKKI 2

Mastojäykisteisen hallin laajentaminen pituus- ja leveys suunnassa on suhteellisen helppoa. Leveys suunnan laajennukseen on varauduttu keskipilarin ja sen perustuksen mitoituksessa.

Kuva 10. Esimerkkejä rankarakenteisen hallin laajentamisperiaatteista.

4.0 LASTAUSLAITURI

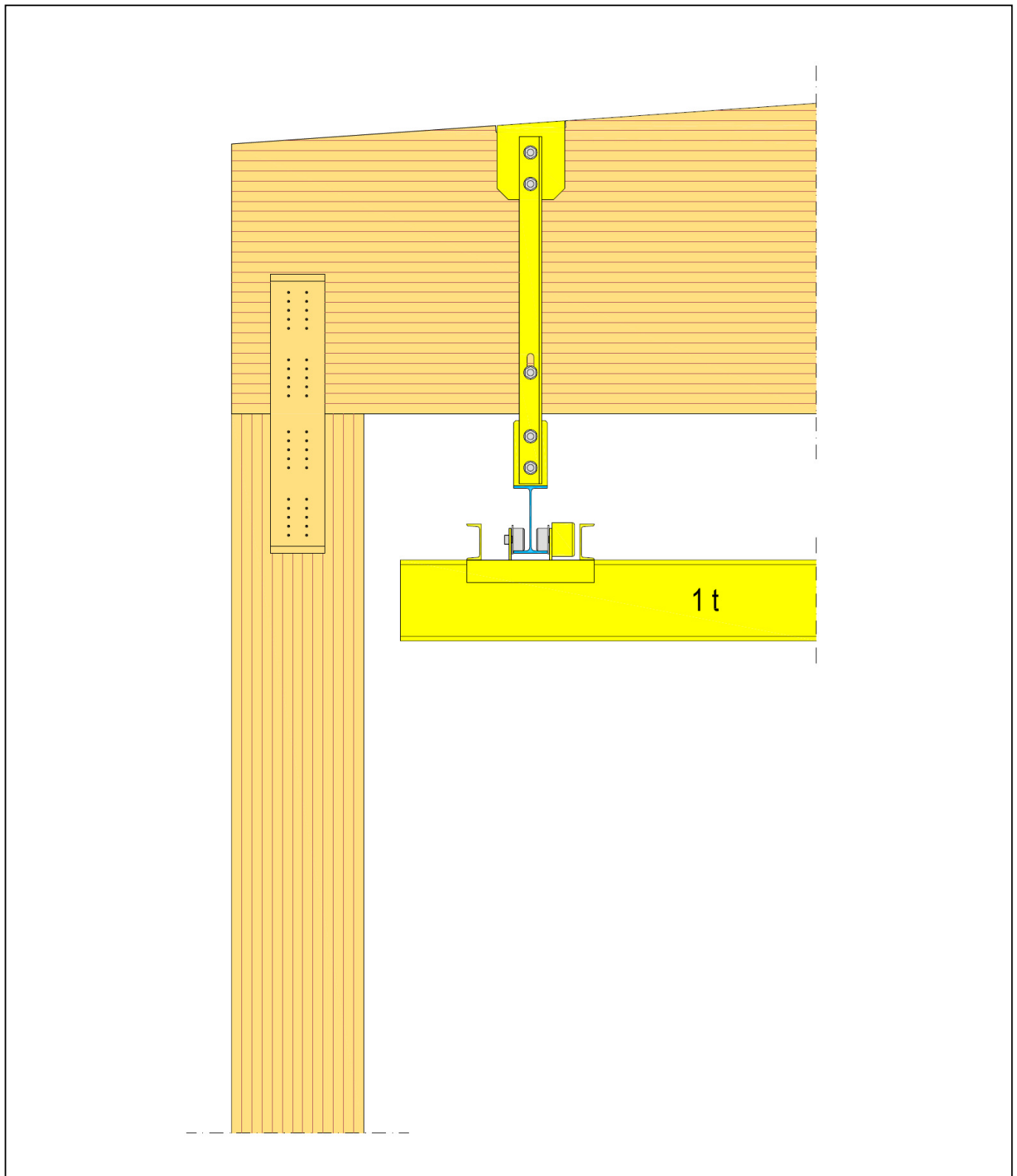
Teollisuus- ja varastohalleihin halutaan joissain tapauksissa lastauslaituri. Puurunkoisessa hallissa lastauslaiturin päälle tarvittava katos voidaan toteuttaa helposti hyödyntämällä pääkannattimia ulokkeena. Puun heikon lämmönjohtavuuden ansiosta puurakenteinen pääkannatin ei aiheuta merkittävää kylmäsiltaa vaikka se lävistää ulkoseinärakenteen.



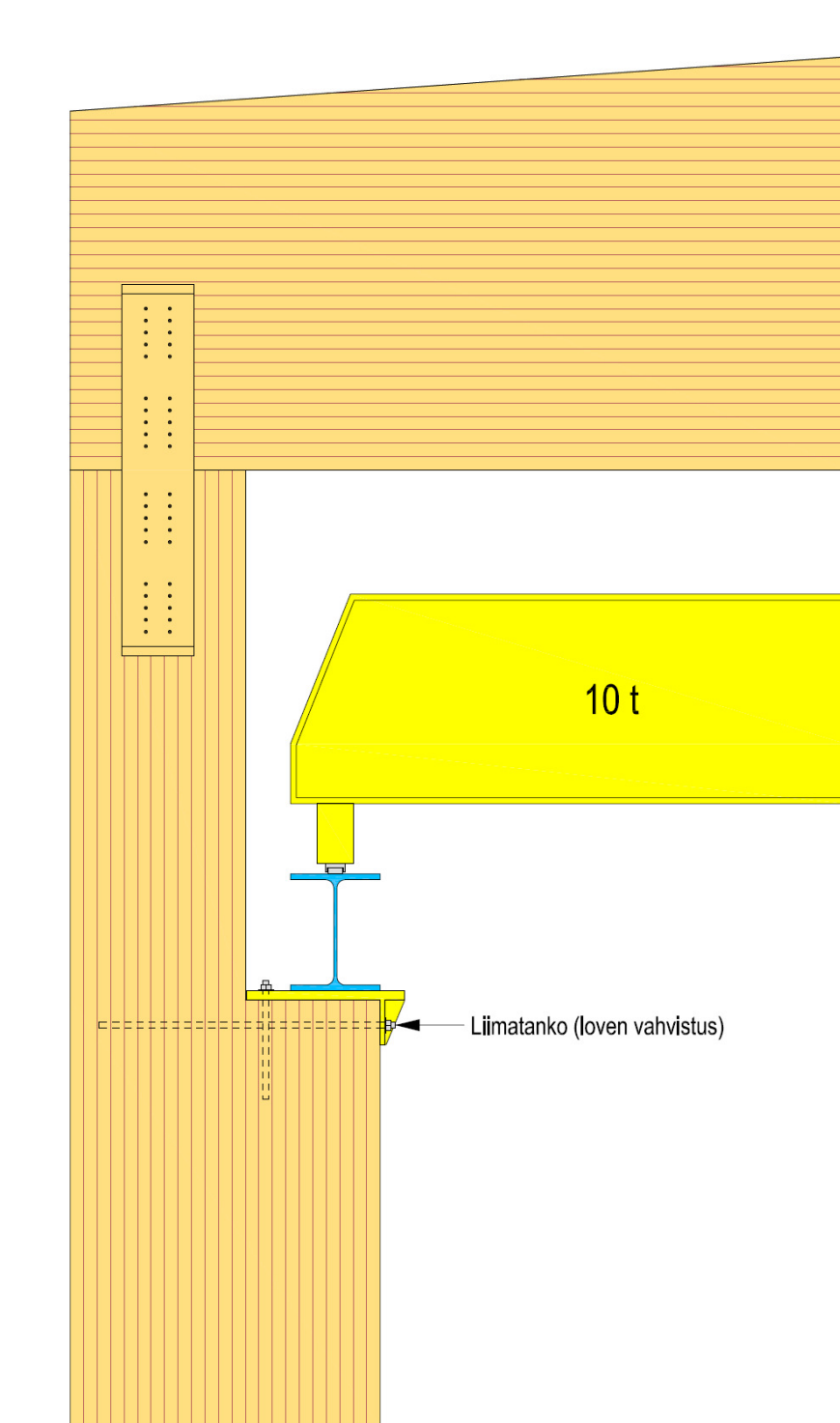
Kuva 11. Esimerkkejä lastauslaiturin katoksen toteuttamisesta.

5.0 SILTANOSTURI

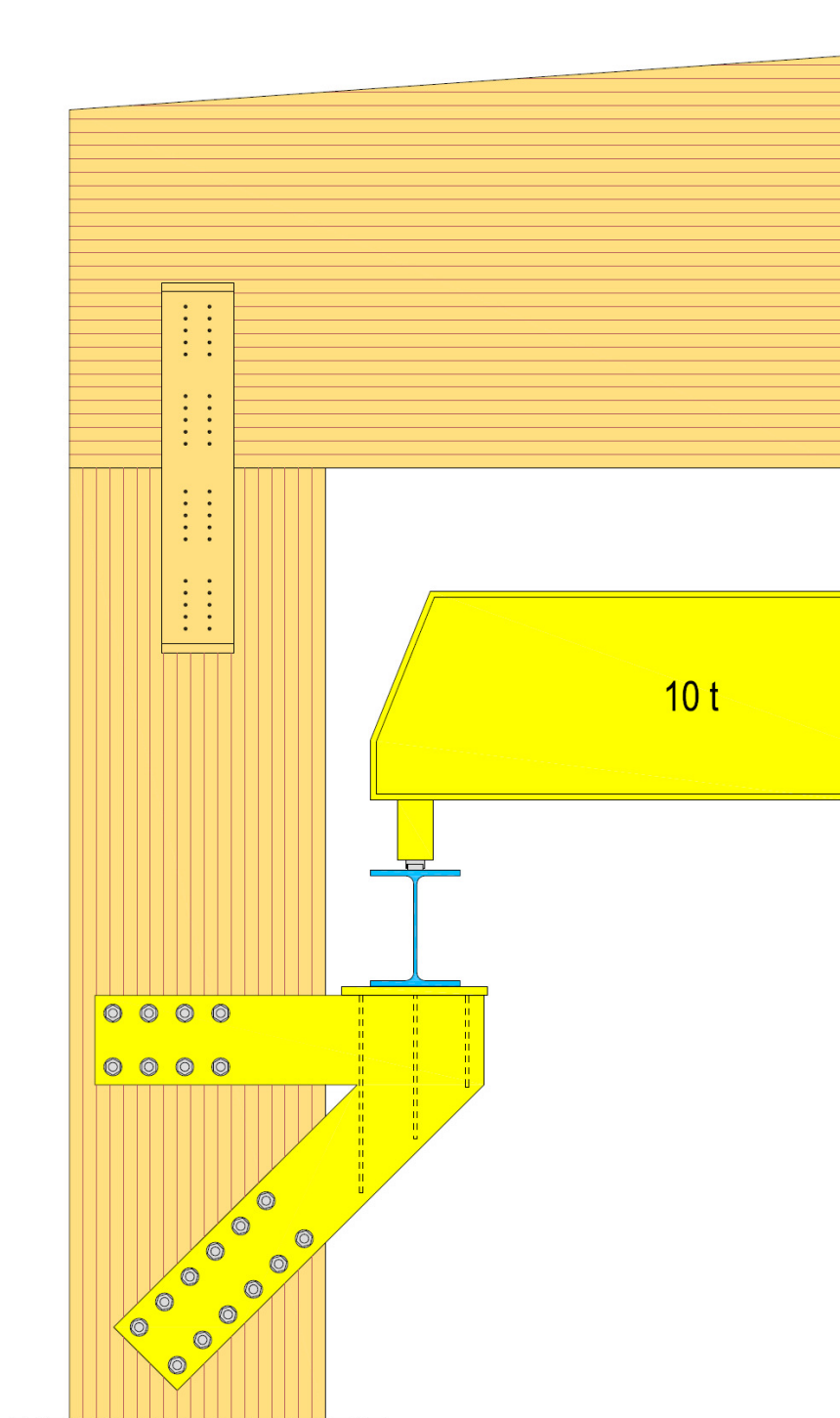
Teollisuushalleista tarvitaan usein siltanosturia. Nosturin kiinnittäminen puurunkoon vaatii hieman toisenlaisia kiinnitysrakenteita verrattuna teräs- tai betonirunkoon. Puurunko rajoittaa myös nosturin kokoa, koska nosturin aiheuttamat pysty- ja vaakavoimat kasvavat nosturin nostokyvyn mukaan. Kuvissa 12...14 on esimerkkejä erilaisten nosturien kiinnitysrakenteista.



Kuva 12. Pieni siltanosturi voidaan ripustaa pääkannattimesta.



Kuva 13. Suuri siltanosturi voidaan kiinnittää mastopilarin yläpäähän muodostettuun loveukseen.

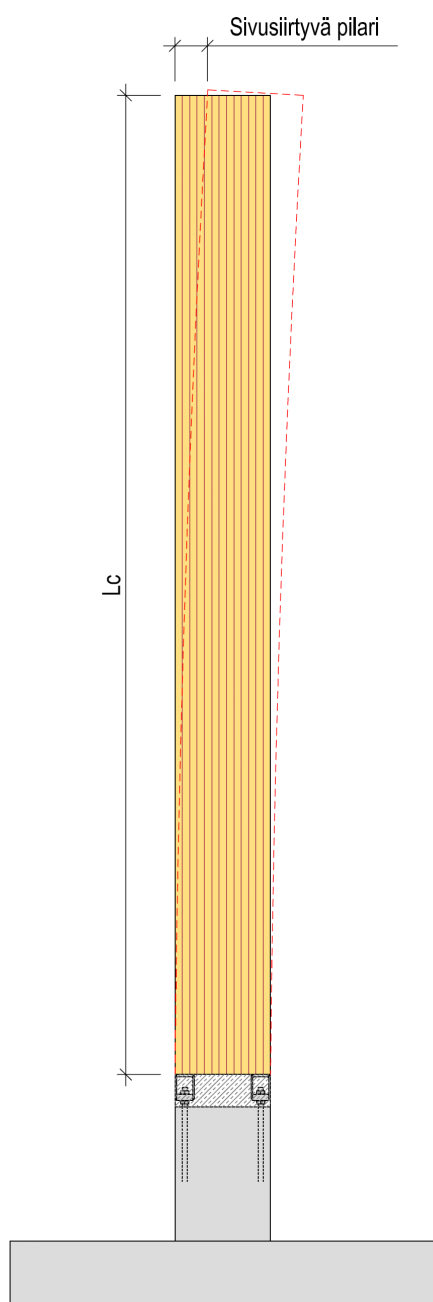


Kuva 14. Suuri siltanosturi voidaan kiinnittää mastopilariin erillisellä teräsrakenteisella konsolilla.

6.0 PUURUNGON SUUNNITTELUN ERITYISSEIKKOJA

6.1 Mastopilarin nurjahduspituuden määrittäminen

Liimaruuveilla jäykästi perustukseen kiinnitetyn liimapuupilarin nurjahduspituus voidaan määrittää kuvassa 15 esitetyllä tavalla. Esitetty nurjahduspituuden laskentamenetelmä perustuu tutkimuslaskelmaan VTT-S-05259-14 ja lausuntoon VTT-S-05260-14.



MASTOPILARIN NURJAHDUSPITUUDEN MÄÄRITTÄMINEN

$$L_c = \beta \cdot L$$

L = pilarin pituus

$$\beta = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I}{L \cdot K_{r,u}}}$$

$E_{0,05}$ = liimapuun kimmomoduulin ominaisarvo puun syiden suuntaan

I = pilarin jäyhyysmomentti tarkasteltavassa suunnassa

$K_{r,u}$ = liimaruuviliitoksen kiertymäjäykkyys murtorajatilassa

$$K_{r,u} = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \cdot \sum_{i=1}^n r_i^2$$

K_{ser} = liimaruuvien siirtymäkerroin aksiaalisessa kuormituksessa

n = liimaruuvien lukumäärä koko liitoksessa

r_i = liimaruuvien i etäisyys pilarin neutraaliakselilta

$$K_{ser} = \begin{cases} 180000 \text{ N/mm} & \text{teräslajin S235JRG2 liimaruuveilla} \\ 285000 \text{ N/mm} & \text{lujuusluokan 5.8 liimaruuveilla} \end{cases}$$

Liimaruuveilla kiinnitetyn liimapuisen mastopilarin yksinkertaistettuna nurjahduspituuskertoimena voidaan käyttää arvoa $\beta = 2,2$ edellyttäen, että nurjahduspituutta 2,5L vastaava pilarin hoikkuus

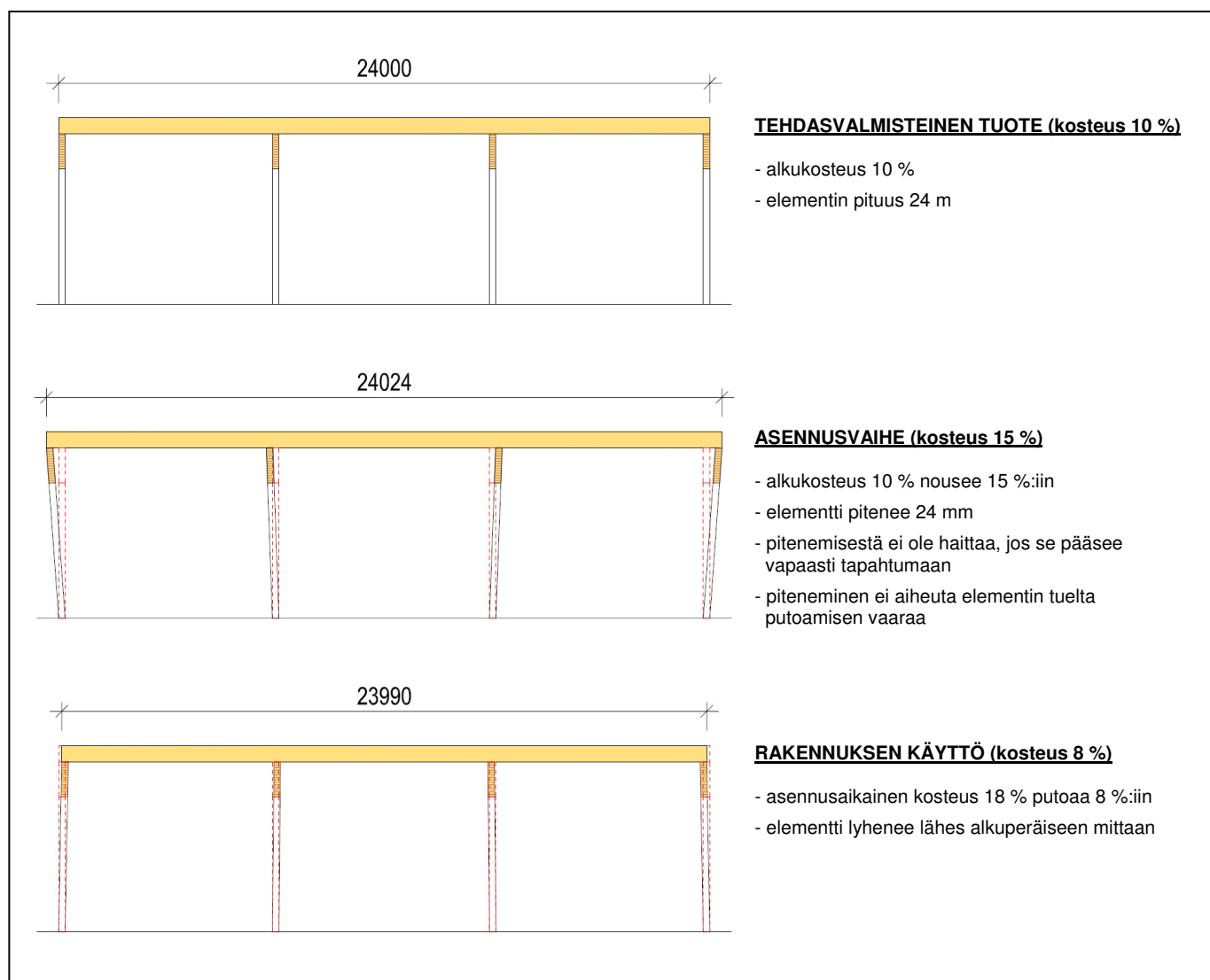
$$\lambda \geq \begin{cases} 120 & \text{käytettäessä teräslajin S235JRG2 liimaruuveja} \\ 100 & \text{käytettäessä lujuusluokan 5.8 liimaruuveja} \end{cases}$$

Kuva 15. Liimaruuveilla jäykästi kiinnitetyn liimapuisen mastopilarin nurjahduspituuden määrittäminen.

6.2 Kosteusmuodonmuutosten huomioiminen hallin pituussuunnassa

Puun lämpölaajeneminen on hyvin vähäistä verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Havupuulla pituuden lämpötilakerroin $\alpha \approx 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Tästä johtuen esimerkiksi 30 m pitkän puupalkin pituuden muutos 50°C lämpötilan muutoksessa on noin 5 mm. Vastaava muutos teräspalkissa on noin 18 mm ($\alpha = 11,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$). Puurakenteissa suurimmat pituuden muutokset syntyvät kosteusmuodonmuutoksista. Havupuulla syiden suunnassa kosteuden aiheuttama pituudenmuutos on luokkaa 0,02 % / 1 %-yksikön kosteuspitoisuuden muutos. Tästä johtuen esimerkiksi 30 m pitkän puupalkin teoreettinen pituudenmuutos on 30 mm, kun puun tasapainokosteus muuttuu 5 %. Eri-tyisesti yläpohjan sekundäärirakenteiden jatkuvuus hallin pituussuunnassa tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että pääkannattimille ei aiheudu kantavuutta heikentäviä rasituksia ja muodonmuutoksia (pääpalkin kallistuma) sekundäärirakenteen pituuden muutoksista. Lisäksi tulee huomioida, että sekundäärirakenteiden jatkoksissa tukipinta säilyy mahdollisesta pituussuunnan muutoksesta huolimatta. Suunniteltaessa liikuntasaumaa, tulee huomioida siinä tapahtuva liike sauman lämmöneristävyyden, ilmatiiviyden ja rakenteiden stabiileetin (pääpalkin kallistuma) näkökulmasta.

Sekundäärirakenteiden kosteusmuodonmuutosten suuruuden vaikutus on riippuvainen siitä, miten sekundäärirakenne toteutetaan. Mikäli sekundäärirakenne tehdään paikalla rakentaen ulkokuivasta puutavarasta, on puurakenteiden kosteus tällöin noin 18...20 %. Rakennuksen käytön aikana puurakenteiden kosteus saattaa pudota esimerkiksi 8 %:iin, jolloin puurakenne kutistuu. Tästä johtuen paikalla rakennetussa puurakenteessa kosteusmuodonmuutos on rakenteen kutistumista ja tämä on yleensä hyvin suuri, koska rakenteen alkukosteus on suuri verrattuna rakenteen loppukosteuteen (esim. 8 %). Kosteusmuodonmuutosten, erityisesti kutistuman vaikutus, voidaan eliminoida lähes kokonaan käyttämällä tehdasvalmisteisia kattoelementtejä. Tämä johtuu siitä, että kattorakenteen alkukosteus on hyvin pieni ja näin ollen lähellä rakenteen loppukosteutta (ks. kuva 16).



Kuva 16. Esimerkki tehdasvalmisteisen kattoelementin kosteuskäyttäytymisestä.

6.3 Jatkuvan sortuman huomioiminen puuhallissa

Jatkuvaa sortumaa käsitellään eurokoodin osassa EN 1991-1-7 (RIL 201-2-2011) *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*, *Yleiset kuormat*, *Onnettomuuskuormat*. EN 1991-1-7 on julkaistu vuonna 2006. Lisäksi on julkaistu kansallinen liite ko. standardiin (Rakennusteollisuus ry) vuonna 2009. Suunnitteluperusteita yleisesti käsitellään eurokoodissa SFS-EN 1990, jossa annetaan myös ohjeet onnettomuusmitoitustilassa käytettäville kuormitusyhdistelmille.

Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan sellaista tapahtumaa, jossa paikallinen vaurio aiheuttaa ketjureaktion, jossa merkittävä osa rakennuksesta sortuu. Rakenneseosa on sortunut silloin, kun se on menettänyt suunnitellun käyttötarkoituksen mukaiset ominaisuutensa. Lähtökohta on, että rakenteet on suunniteltava ottaen huomioon onnettomuustilanteen kuormat niin, ettei jatkuvaa sortumaa pääse tapahtumaan. Tämä voidaan estää:

- suunnittelemalla rakenne riittävän sitkeäksi
- estämällä tai pienentämällä onnettomuuskuormia (RIL 201-2-2011)
- suunnittelemalla rakenne onnettomuuskuormia kestäväksi
- suunnittelemalla rakennus niin, että se kestää paikallisen vaurion romahtamatta

Hankekohtaisesti voidaan sopia näistä ohjeista poikkeavia toimintatapoja, mutta onnettomuuskuormille ei voida sopia pienempiä arvoja kuin annetussa ohjeessa on esitetty. Joissain ääri-ilmiöiden tapauksissa voidaan hyväksyä koko rakennuksen sortuminen, mutta tästä on sovittava erikseen tilaajan/asiakkaan sekä viranomaisten kanssa. Onnettomuuskuormia voi olla suunnitteluohjeen mukaan törmäys tai räjähdys. Lisäksi on olemassa nk. ennakoimattomia onnettomuuksia, joihin suunnitteluohje ei ota kantaa kuin avainasemassa olevan rakenneseosan kohdalla. Näitä ennakoimattomia tai määrittelemättömiä onnettomuustilanteita voi olla mm. suunnitteluvirheestä johtuva onnettomuus.

Rakennukset jaotellaan viiteen eri seuraamusluokkaan (ks. taulukko 1), jossa mitoitus voi tapahtua onnettomuusrajatilassa. Hallirakennukset voivat kuulua seuraamusluokkaan 1, 2a, 2b tai 3b riippuen käyttötarkoituksesta sekä hallin korkeudesta.

Seuraamusluokka 1

Seuraamusluokassa 1 ei normaalin rakennesuunnittelun lisäksi tarvitse ottaa huomioon erikseen jatkuvaa sortumaa.

Seuraamusluokka 2

Seuraamusluokissa 2a eikä välttämättä 2b tarvitse käyttää hyväksytyn sortuma-alueen tai avainaseman periaatetta. Näissä tapauksissa tulee toimia nk. sidontaperiaatteen mukaan, jossa vaaka- ja pystyrakenteet sidotaan toisiinsa jatkuvalla sidonnalla. Lisäksi seuraamusluokassa 2b on myös mitoitettava pystysiteet. Periaatteen tarkoitus on suunnitella rakenteet niin, että ne toimivat onnettomuustilanteessa yhtenä rakenteena ja etteivät ne irtoa toisistaan. Täten viereisten rakenteiden tulisi toimia korvaavana rakennesysteeminä.

Seuraamusluokka 3

Seuraamusluokassa 3b (vaihtoehtoisesti myös 2b:ssä) käytetään hyväksytyn sortuma-alueen ja/tai avainaseman periaatetta. Avainaseman periaatetta käytetään, jos tarkastelussa todetaan paikallisen vaurion hyväksyttävän rajan ylittyvän. Seuraamusluokassa 3b on kuitenkin tehtävä rakennuksen riskiarviointi. Riskianalyysin tekemistä varten standardissa viitataan RakMK:n A1:seen sekä SFS-EN 1991-1-7 liitteeseen B. Liitteessä B ei ole kerrottu mitään liittyen riskianalyysiin, myöskään A1 ei sisällä suoraan ohjeita tai määräyksiä kuinka ko. analyysi tehdään. RIL 241-2007:ssä on esitetty laajemmin kuinka ko. analyysi tehdään ja siihen on myös erillinen lomake, joka on tarkoitus täyttää workshop-tyyppisessä palaverissa hankkeeseen ryhtyvien sekä suunnittelijoiden kesken. Lomakkeessa ei suoranaisesti oteta kantaa jatkuvaan sortumaan, mutta onnettomuuskuormien huomioimisesta siellä mainitaan muutamaan kertaan. Paikallisen vaurion hyväksyttävä raja hallirakennuksissa on pilariin tukeutuvien pääkannattajien pituus kertaa pääkannattajien väli kerrottuna kahdella.

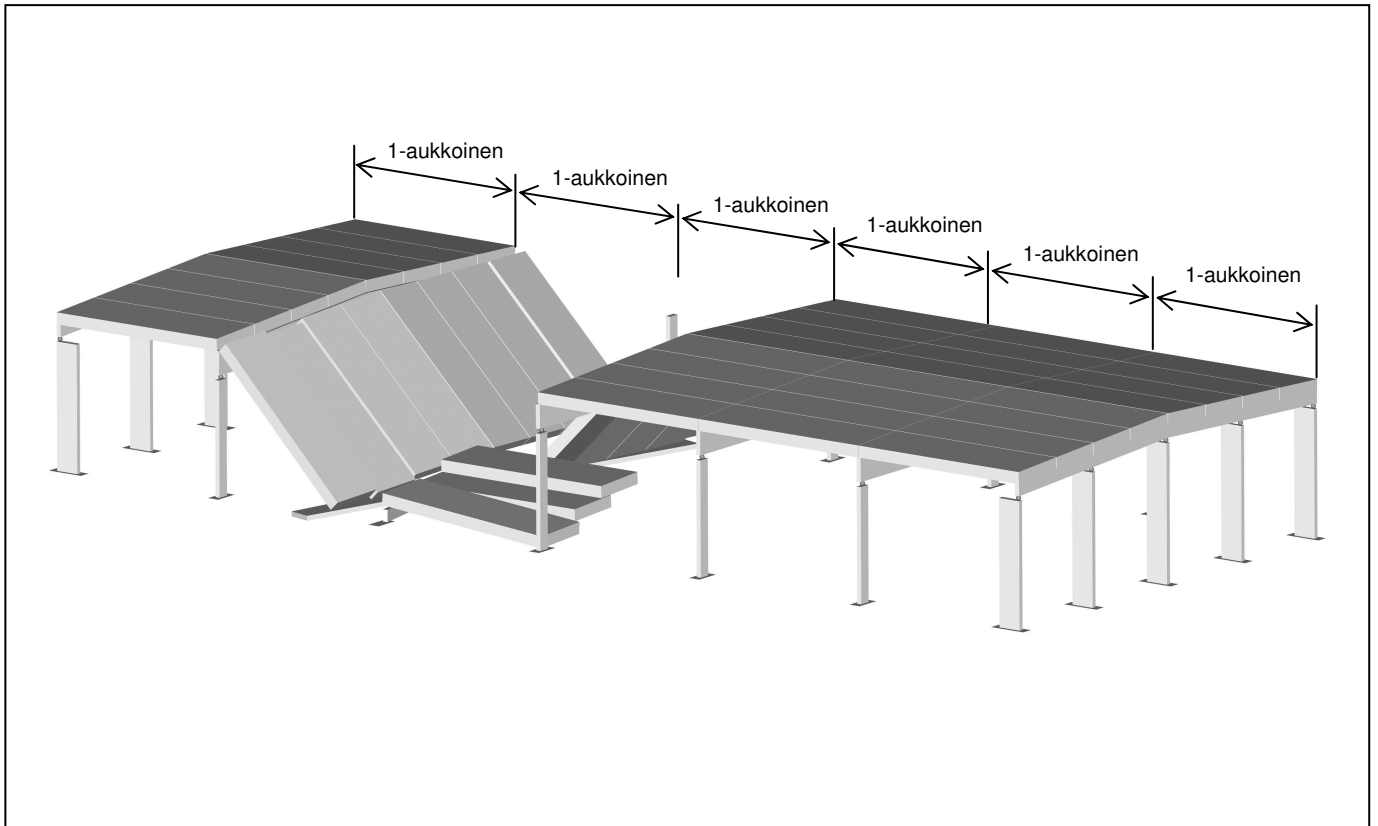
Puurakenteisiin halleihin seuraamusluokassa 2b ja 3a suositellaan käytettävän hyväksytyn sortuma-alueen tai/ja avainaseman periaatetta.

Taulukko 1. Seuraamusluokat.

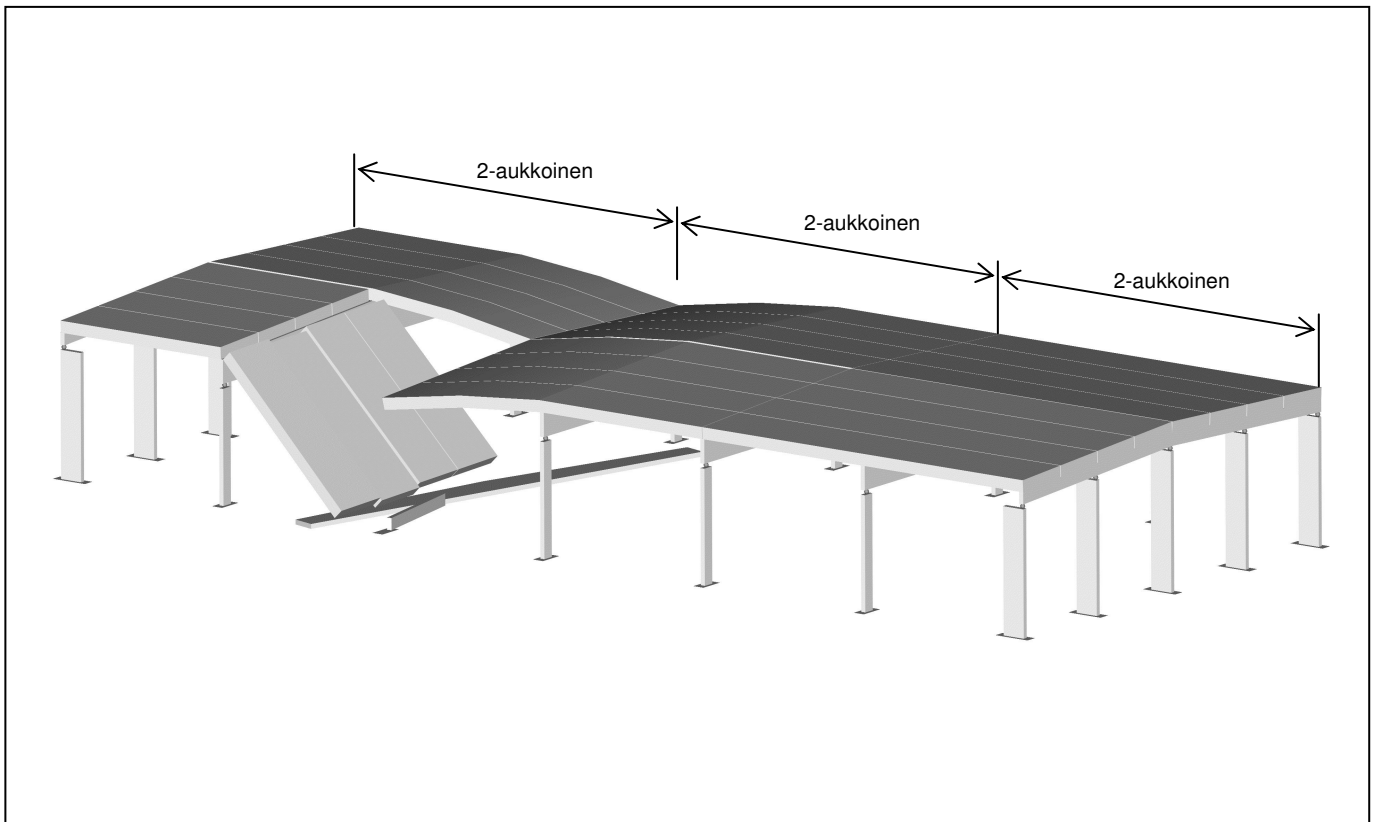
Seuraamusluokka	Rakennuksen tyypin ja käyttötarkoituksen mukainen luokitus	Suosittelavat toimintaperiaatteet
1	1- ja 2-kerroksiset rakennuksen, joissa vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten esim. varastot	- Mitoitus SFS-EN 1990...SFS-EN 1999 mukaan - Ei erityistoimenpiteitä
2b (melko suuren riskin ryhmä)	Kaikki muut rakennukset ja rakenteet, jotka eivät kuulu seuraamusluokkiin 1, 2a tai 3	- Mitoitus SFS-EN 1990...SFS-EN 1999 mukaan - Vaakarakenteissa vaakasiteet, pystyrakenteissa pystysiteet sekä pystyrakenteet sidotaan vaaka rakenteisiin TAI - Mitoitus SFS-EN 1990...SFS-EN 1999 mukaan - Hyväksytyn sortuma-alueen tai/ja avainaseman periaate
3a	9...15-kerroksiset ²⁾ asuin-, konttori- ja liikerakennukset ja muut 9...15-kerroksiset käyttötarkoitukseltaan ja rungoltaan samantyyppiset rakennukset	- Mitoitus SFS-EN 1990...SFS-EN 1999 mukaan - Vaakarakenteissa vaakasiteet, pystyrakenteissa pystysiteet sekä pystyrakenteet sidotaan vaaka rakenteisiin - Vaakasiteiden laskentakaava on eri kuin luokissa 2a ja 2b TAI - Mitoitus SFS-EN 1990...SFS-EN 1999 mukaan - Hyväksytyn sortuma-alueen tai/ja avainaseman periaate
3b	Muut yli 8-kerroksiset ²⁾ rakennukset. Konserttitalit, teatterit, urheilu- ja näyttelyhallit, katsomot (yli 1000 henkeä). Raskaasti kuormitetut ja suuria jännevälejä sisältävät rakennukset. Erikoisrakenteet tapauskohtaisen harkinnan mukaan.	- Rakennuksen riskiarviointi - Mitoitus SFS-EN 1990...SFS-EN 1999 mukaan - Hyväksytyn sortuma-alueen tai/ja avainaseman periaate

¹⁾ Asuinrakennukset, joissa on korkeintaan kaksi maanpäällistä kerrosta, voidaan suunnitella kuitenkin onnettomuusrajatilassa seuraamusluokan 1 mukaan.

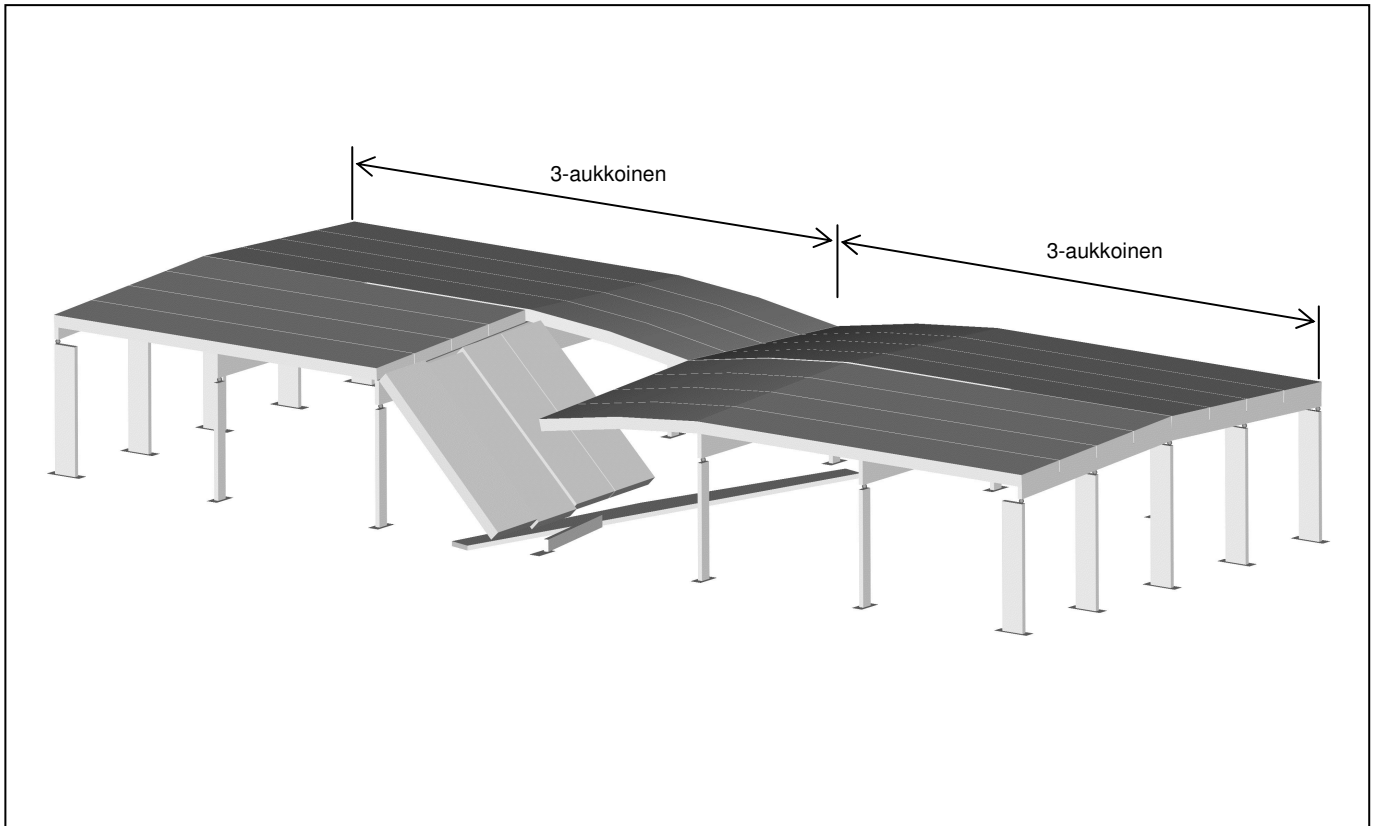
²⁾ Kellarikerrokset mukaan luettuina.



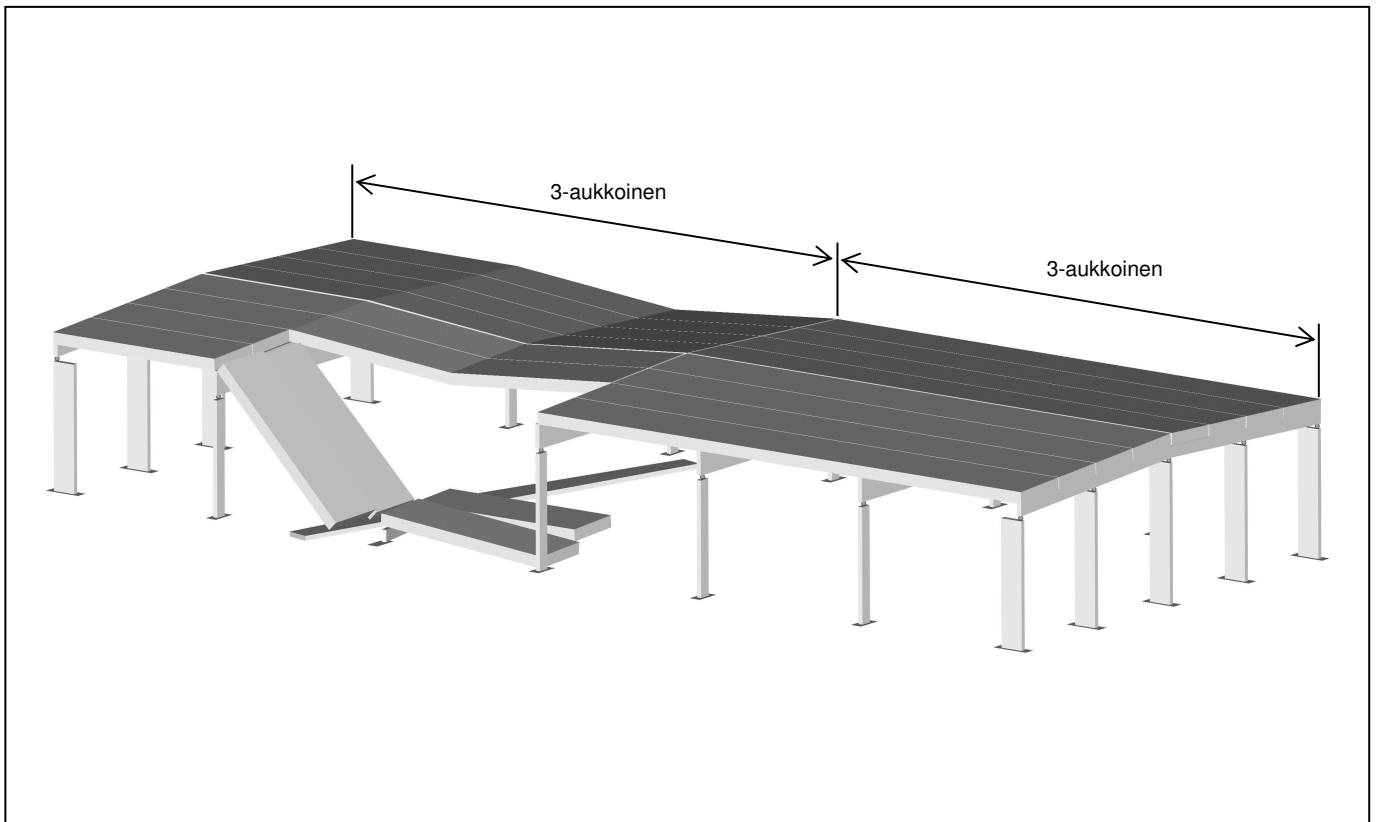
Kuva 17. Esimerkki paikallisesta sortumasta hallirakennuksessa, kun kattoelementit ovat 1-aukkoisia.



Kuva 18. Esimerkki paikallisesta sortumasta hallirakennuksessa, kun kattoelementit ovat 2-aukkoisia.



Kuva 19. Esimerkki paikallisesta sortumasta hallirakennuksessa, kun kattoelementit ovat 3-aukkoisia.



Kuva 20. Esimerkki paikallisesta sortumasta hallirakennuksessa, kun kattoelementit ovat 3-aukkoisia.