



Jatkuvan sortuman estäminen

Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018

Moduuli 2

Tero Lahtela

Jatkuva sortuma

Jatkuvalla sortumalla tarkoitetaan tilannetta, jossa paikallinen sortuma (alkusortuma) etenee suhteettoman laajaksi, jopa koko rakennuksen laajuiseksi sortumaksi



10/16 Ympäristöministeriön asetus rakenteiden onnettomuuskuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-7

3 §

Onnettomuusmitoitustilanteet

Rakennesuunnittelijan on suunniteltava rakenne tunnistetuille onnettomuuskuormille siten, että mahdollisesti syntyvä yksittäisen rakenneosan vaurio ei aiheuta koko rakennuksen tai sen merkittävän osan sortumista.

Rakenteella on oltava riittävä vaurionsietokyky, jotta rakennus ei sorru erityyppisten määriteltävien onnettomuuskuormien vaikutuksesta.

Mahdollisessa onnettomuustilanteessa rakenteen on säilytettävä toimintakyky vähintään sen ajan, joka tarvitaan ihmisten poistumiseen ja pelastamiseen rakennuksesta ja sen välittömästä läheisyydestä. Rakennuksen, jossa käsitellään vaarallisia aineita, turvataan oleellisen tärkeitä palveluja tai jota käytetään kansallisen turvallisuuden ylläpitämiseen, toimintakyvyn säilymiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Standardin kohdan 3.1(2) huomautuksen 4 mukaisesti tilaaja ei voi ilman viranomaisen suostumusta sopia onnettomuuskuormille hankekohtaisesti pienempiä arvoja kuin standardissa SFS-EN 1991-1-7 ja tässä asetuksessa on esitetty.

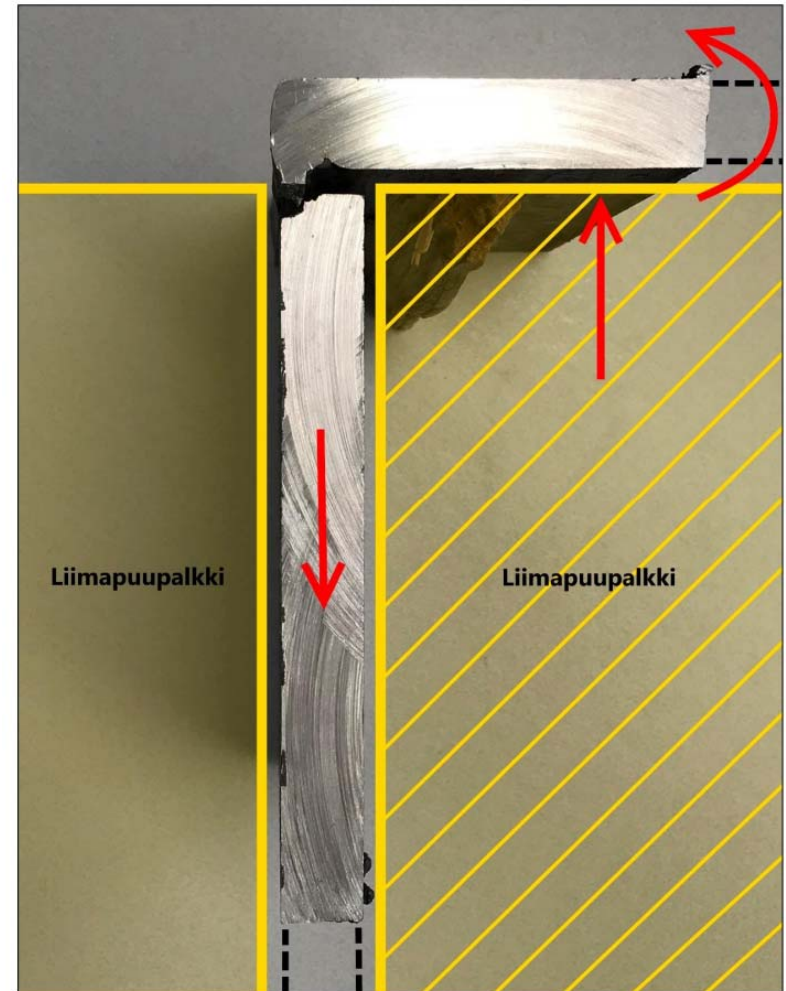
Onnettomuustilanteet

ENNAKOITAVISSA OLEVAT

- Tulipalo
- Räjähdys
- Törmäys
- Myrsky
- Tulva
- Maanvyörymä
- Maanjäristys

ENNAKOIMATTOMAT

- Inhimillisen virheen seuraukset suunnittelussa
- Inhimillisen virheen seuraukset toteutuksessa
- Materiaalivirheet



Kuva 6. Lähikuva vaurioituneesta hitsausliitoksesta. Palkkikenkä oli tehty 16 mm paksusta teräslävystä, mutta voimia olennaisesti kantavan hitsausliitoksen poikkileikkauksen leveys oli vain 5–6 mm. Hitsaus oli tehty vain yhdeltä puolelta. Liitokseen ja erityisesti sen juuren puolelle kohdistui suuri taivutusmomentti. Nuolet kuvaavat kappaleeseen vaikuttavia voimia. Vasemmalla oli sekundääripalkki ja oikealla primääripalkki.

Kooste vuosilta 2010...2011

Taulukko 1. Tapaukset luokiteltuna rakennuksen käyttötarkoituksen ja tapahtuman vakavuuden perusteella.

Rakennuksen käyttötarkoitus	Sortuma	Vaaratilanne	Yhteensä
Asuinrakennus	9	21	30
Kokoontumis- ja työpaikkatila	6	24	30
Tuotantotila	17	10	27
Varasto	16	2	18
Eläinsuoja	9	2	11
Autosuoja	3	-	3
Yhteensä	60	59	119



Tutkintaselostus

D1/2011Y

Kooste talven 2010–2011 rakennevaurioista

Taulukko 2. Tapaukset luokiteltuna vaurioituneen rakennusosan tai runkorakenteen mukaan.

Luokka	Sortuma	Vaaratilanne	Yhteensä
Kuistin irtoaminen	7	22	29
Liimapuupalkki	4	10	14
Naulalevyristikko	10	2	12
Teräsristikko	4	5	9
Pressuhalli	7	1	8
Kiinnike	3	2	5
Teräskaarihalli	4	1	5
Ylipainehalli	-	2	2
Muu puurakenne	13	7	20
Muu teräsrakenne	7	4	11
Muu	1	3	4
Yhteensä	60	59	119



Tutkintaselostus

D1/2011Y

Kooste talven 2010–2011 rakennevaurioista

KUISTIN IRTOAMINEN

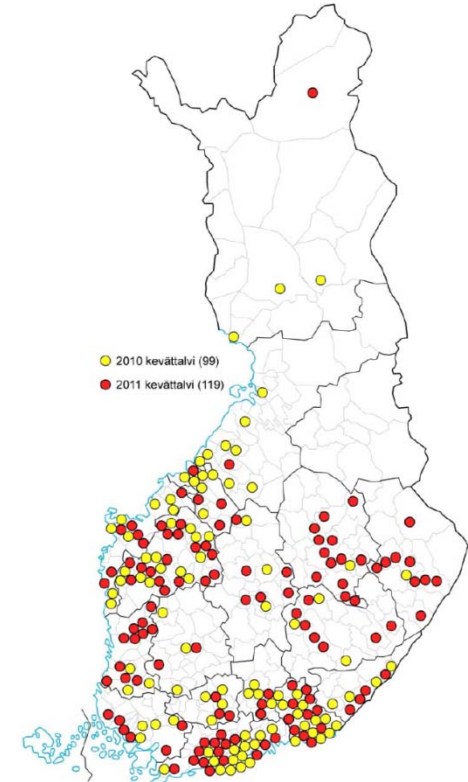
- Harjakatolta liikkeelle lähtenyt lumi

LIIMAPUUPALKKI

- Kuivumiskutistuman aiheuttama halkeama läpi palkin
- Palkin taipuma rikkoo alapuolisen rakenteen
- Karkeat virheet suunnittelussa tai toteutuksessa
- Palkki putoaa tuelta tai vaurioituu

NR-RISTIKKO

- Puristussauvan puutteellinen stabiliteettituenta
- Katon korotuksen yhteydessä rasitus ja tuenta muuttuneet
- Lumen kinostumista ei ole huomioitu
- Rakennesuunnittelija puuttunut
- Suunnittelijoiden roolitus ollut sekava



Kuva 3. Kevättalven 2010 (keltainen) ja kevättalven 2011 (punainen) tapahtumat kartalle sijoitettuna.



Tutkintaselostus

D1/2011Y

Kooste talven 2010–2011 rakennevahingoista

Turvallisuussuositukset

Ympäristöministeriön tulisi kehittää yhdessä rakennusalan toimijoiden kanssa rakennuksille katsastusmenettely, jossa oleellisena sisältönä olisi rakenteiden turvallisuus. [S1/06Y/S1]

Rakennusosalle tulisi ympäristöministeriön johdolla kehittää tietokanta, johon kerätään tietoa mahdollisimman monista rakennusonnettomuuksista ja vaaratilanteista. Kaikilla tulisi olla pääsy kyseiseen tietokantaan ja tiedoista tulisi laatia yhteenvetoja sopivin väliajoin. [B1-B2/03Y/S5]

Ympäristöministeriön tulisi huolehtia siitä, että lumen kinostumista erilaisissa sää- ja maasto-olosuhteissa selvitettäisiin lisää ja sen perusteella tehtäisiin suunnitteluohjeisiin tarvittavat päivitykset. [B1/10Y/S3]

Ympäristöministeriön tulisi yhdessä liimapuualan toimijoiden kanssa selvittää liimapuurakenteiden ominaisuuksien mahdollinen heikkeneminen ajan kuluessa. Tutkimustulosten perusteella tulisi liimapuupalkkien tarkastamiseen ja kunnossapitoon liittyvät ohjeet päivittää. [D1/11Y/S1]



Tutkimuskeskus
D1/2011Y

Kooste vuosilta 2010...2011



Kinostuminen; Drivbildning; Snowdrift formation



Teräskehä; Stållram; Steel frame (Kuva: Länsi-Uudenmaan pelastuslaitos)



Eläinsuoja, naulalevyristikot; Djurskydd, spikplåtsfackverk;
Animal shelter, lattices made from nail plates (Kuva: Etelä-Pohjanmaan pelastuslaitos)



Tutkintaselostus

D1/2011Y

Kooste talven 2010–2011 rakennevaurioista



Pressuhalli; Presenninghall; Tarp shelter



Liimapuupalkki; Limträbalk; Glued laminated timber beam



Teräsrakenteinen katos; Skyddstak med stålkonstruktion; Steel-frame shelter
(Kuva: Risto Tonteri)



Tutkintaselostus

D1/2011Y

Kooste talven 2010–2011 rakenneaurioista

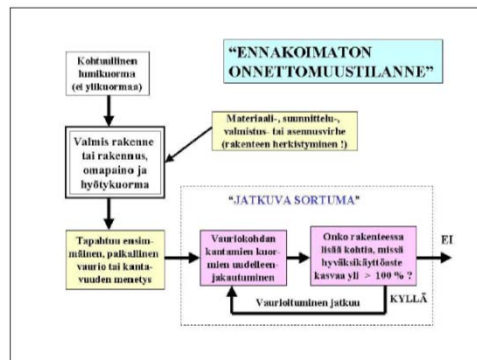
Kooste vuosilta 1980...2005

Laajarunkoiset rakennukset

LAAJARUNKOISTEN LIIKUNTAHALLIEN RAKENTEELLINEN TURVALLISUUS

PROJEKTIRAPORTTI

LAAJARUNKOISTEN TERÄS- TAI PUURAKENTEISTEN LIIKUNTAHALLIEN RAKENTEELLINEN TURVALLISUUS JA KUNNON TARKASTUS



OPETUSMINISTERIÖ
YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
TERÄSRAKENNEYHDISTYS RY
WOOD FOCUS

VERSIO 20.3.2006

Tapio Leino, Markku Korttesmaa
VTT

Taulukko 6. Puu- ja teräsrakenteiden tunnettujen vauriotapausten syitä v. 1980 - 2005.

Puurakenteet (44 kohdetta)		Teräsrakenteet (20 kohdetta)	
Sivuttaistuennan puute	17	Hitsausvirhe	6
Asennusaikainen tuenta	3	Suunnitteluvirhe	14
Muu valmistus/asennusvirhe	7	Yks.kohtien mitoitusvirhe	5
Suunnitteluvirhe	10	Muu valmistusvirhe	3
Yks.kohtien mitoitusvirhe	5	Kuormituspuute	4
Liitosvirheet	11	Jatkuva sortuma	8
Ylikuorma	2	Muu virhe tai puute	4
Jatkuva sortuma	14		
Muu vaurioituminen	5		
Kuivumishalkeamat	4		
Lahovaurio	2		

Taulukosta voi havaita, että teräsrakenteissa korostuvat suunnittelu- ja hitsausvirheet, ja puurakenteissa ongelmia ovat tuottaneet suunnitteluasiat, mutta myös rakenteiden tuenta.

Betonirakennukset

Vuosina 1991–2003 tehdyt HI-palkit ovat riskirakenteita

Onnettomuustutkinta selvitti kauppakeskusten kattosortumien syyt

SEPPÖ MÖLSÄ

Onnettomuustutkintakeskus suosittaa kiinteistönomistajia tarkastamaan yli kymmenen vuotta sitten betonisilla HI-palkeilla rakennetut katot. Ne eivät välttämättä ole mukana RT:n Betoniteollisuuden kartoituksessa, jossa löytyi alle 40 riskikohdetta. Niistä puolesta on tehty luvuina 1994–1995, mutta muutama vielä 2000-luvulla.

Riskikartoitusta vaikeuttaa se, että kattojen vauriot tulevat usein esiin vasta pitkän ajan kuluessa. Siksi riskiä on arvioitu suunnitelmin pohjalta, mikäli ne ovat olleet tallella. Teollisuudella on velvollisuus arkitoida suunnitelmia vain kymmenvuotisivastuun ajan.

Palkkeja madallettiin tilaajien toiveesta liiaka



Tehtaat vastasivat tilaajien vaatimusten mukaisesti palkista lisämällä HI-palkkien yläpääteiden teräsrakenteiden paksuuksia 25 ja 32 millimetriin, mikä lisäsi teräksen purjehärsyyttä. Tällaisia kohteita tehtiin viitisenkymmentä vuosina 1992–2003.

Palkkien

Savonlinnan f

Miksi turvallisuusongemat jäivät selvittämättä

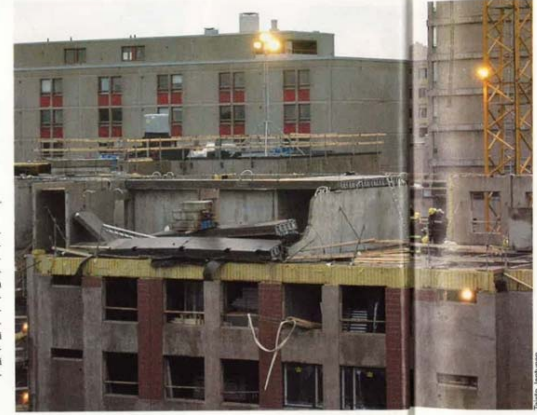
Onnettomuustutkinta vaati selvitystä jo vuonna 1998

Valkeakoskella 1996 tapahtunut massasäiliön kaatumisongnettomuus sai onnettomuustutkintakeskuksen huolestumaan rakentamisemme turvallisuudesta. Ympäristöministeriötä kehoitettiin käynnistämään laaja selvitys, jolla piti kartoittaa suomalaisen rakentamisen turvallisuustason puutteet. Selvitys jäi tekemättä. Ympäristöministeriön entinen kehittämisjohtaja Risto Mäkinen vastaa miksi.

SEPPÖ MÖLSÄ

■ Tutkintalautakunta esitti, että ympäristöministeriön tulisi käynnistää laaja selvitys, jolla kartoitetaan suomalaisen rakentamisen todellinen turvallisuustaso. Ministeriön tuli siihen liittyen käynnistää ohjelma, jolla vallitsevaa kulttuuria (asenteita ja arvoja, toimintatapoja ja toiminnan pelisääntöjä) ryhdyttiin kehittämään rakenteiden ja rakentamisen turvallisuuden varmistamiseksi ja parantamiseksi. Tutkintalautakunta esitti myös, että rakennushankkeiden pilkkomisesta ja vastuun jakamisesta sekä hankkeiden äärimmillään vietyä kilpailutamisesta aiheutuvat ongelmat tulisi kartoittaa ja korjata.

Rakenteiden turvallisuutta ei koettu ongelmaksi



Uutiset kantavien rakenteiden pettämisistä saivat vaihtelevaa jatkos julkisuuden lopulta. Hartelan asuinrakennustyömaalla Helsingin Itä-Pasilassa ontelolaatta putosi työntömiehen päälle ja surmasi tämän. VTT selvittää parhaillaan, mikä kolme ontelolaattaa putosi kerrosta alemmaksi.

Hengenvaarallinen teräsrakenne

Hallista tehty virhelista täytti puolitoin A-nelosta. Virheitä oli tehty sekä teräsrakenteiden suunnittelussa, konepajajähtämissä että asennuksessa.

Suunnittelu oli hajautettu erikokoisella tavalla. Insinööritoimisto oli hankkeen eräänlainen päätöteuttaja. Suhtikin ratkaisu laaki mallilla rakennus suunnitteli- ja aihankkija. Varsinaisen rakenteiden suunnittelija ei kuitenkaan valinnut mallia

Teräsrakennukset

- Suurin osa teräsrakennesortumista on tapahtunut ”tyyppihalleissa”
- Tyyppihalleissa havaittu systemaattisia virheitä



Puurakennukset

- Suurin osa puuhallisortumista on tapahtunut NR-katolla varustetuissa halleissa



Alkusortuman lähteitä



Kuva: Reijo Mustonen



Kuva: KPM-Engineering



Kuva: www.dlubal.com



Kuva: Puuinfo

Seuraamusluokat

CC1

- 1- ja 2-kerroksinen rakennus, jossa tilapäisesti ihmisiä

CC2a

- Rakennus, jossa enintään 4 maanpäällistä kerrosta tai enintään 16 m korkea
- Max 2-krs. asuinrakennus kuitenkin luokkaan CC1

CC2b

- Rakennus, joka ei kuulu luokkaan CC1, CC2a, CC3

CC3a

- Asuin-, toimisto-, liikeyrakenus, jossa 9-15 kerrosta (kellari mukana)
- Muut saman tyyppiset rakennukset, joissa 9-15 kerrosta (kellari mukana)

CC3b

- Muut rakennukset, joissa yli 8 kerrosta (kellari mukana)
- Konserttisali, teatteri, urheilu, näyttelyhalli, katsomo
- Raskaasti kuormitetut tai suuria jännevälejä sisältävä rakennus, jossa ihmisiä
- Erikoisrakenteet tapauskohtaisesti harkinnan mukaan

CC1



Kuva: Puiinfo

CC2a



Kuva: Puiinfo

CC2b



Kuva: Puiinfo

CC2a



Kuva: Puiinfo

CC2a
CC3b, jos katsomo



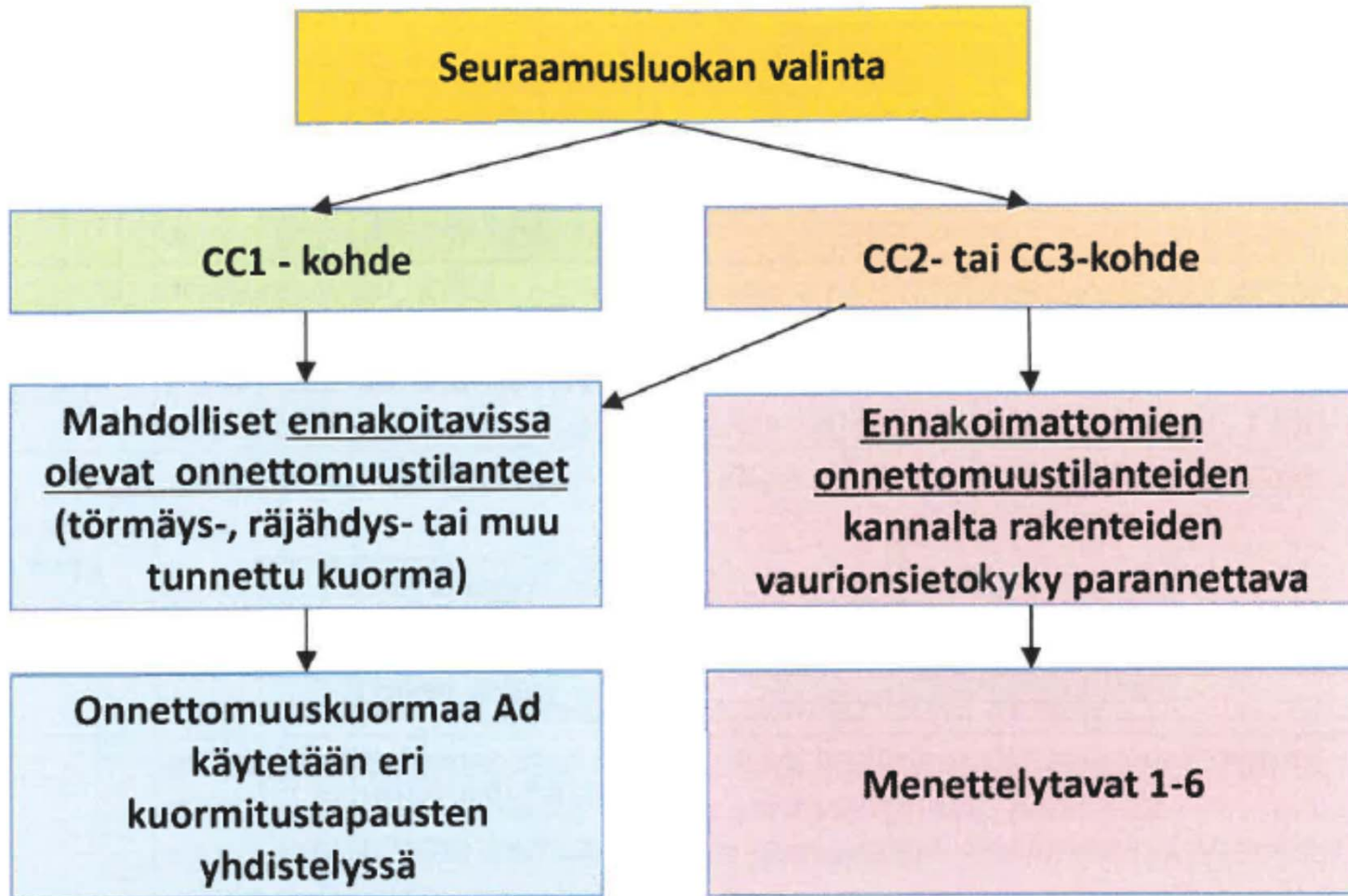
Kuva: Erkylän Kartanon talli

CC2a

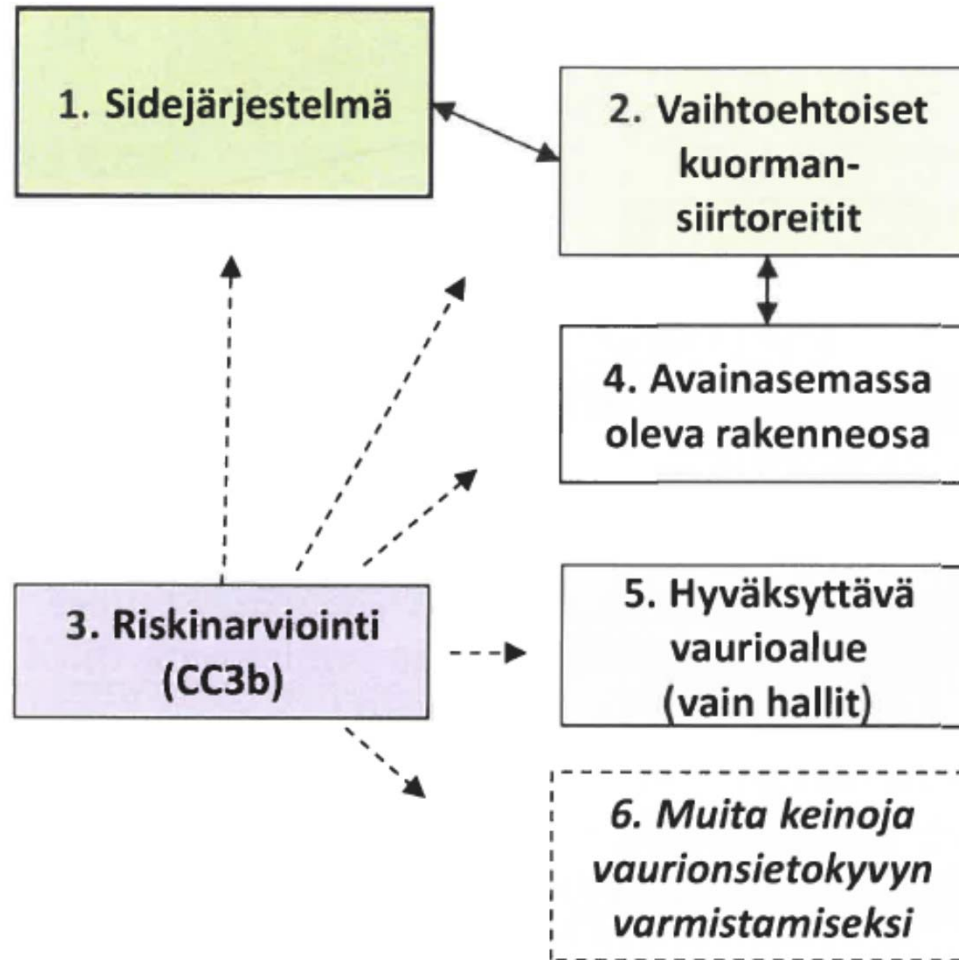


Kuva: Jouni Pitkäranta

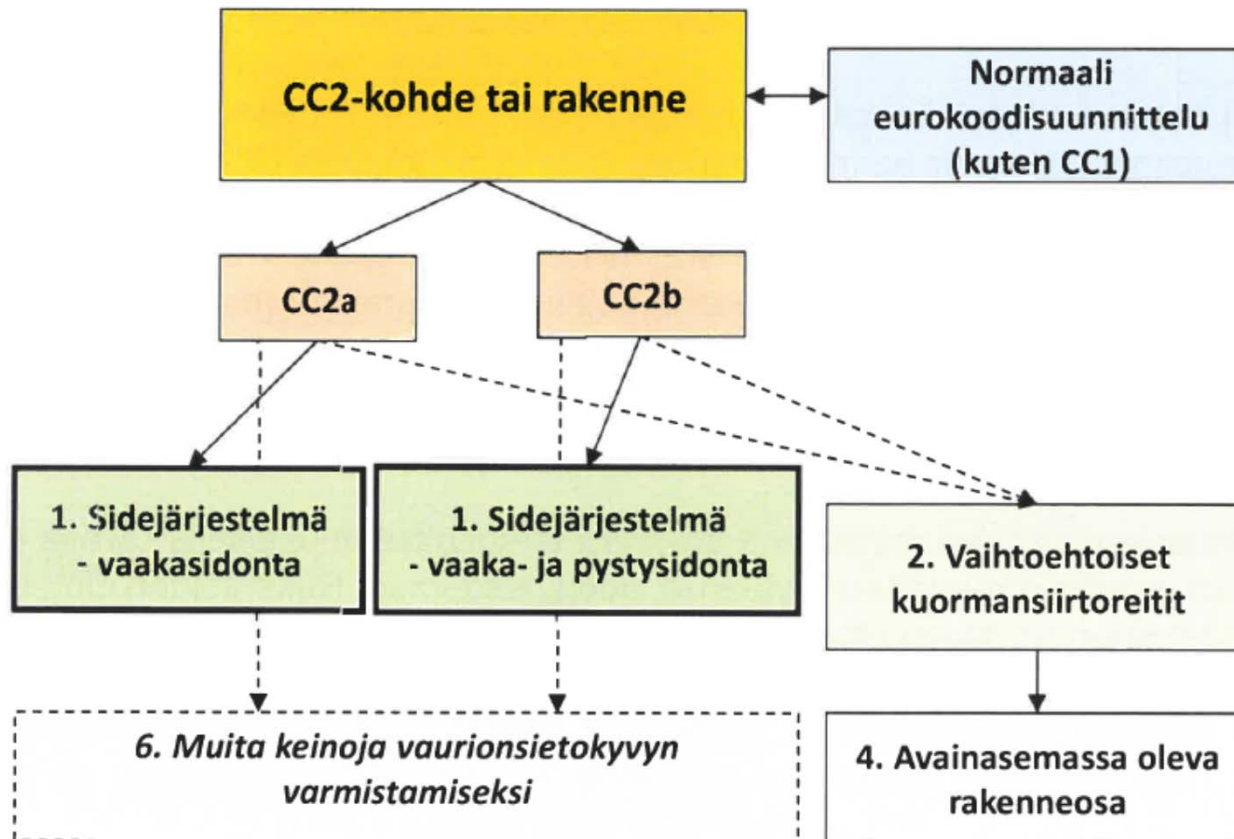
Onnettomuustilanteiden hallinta

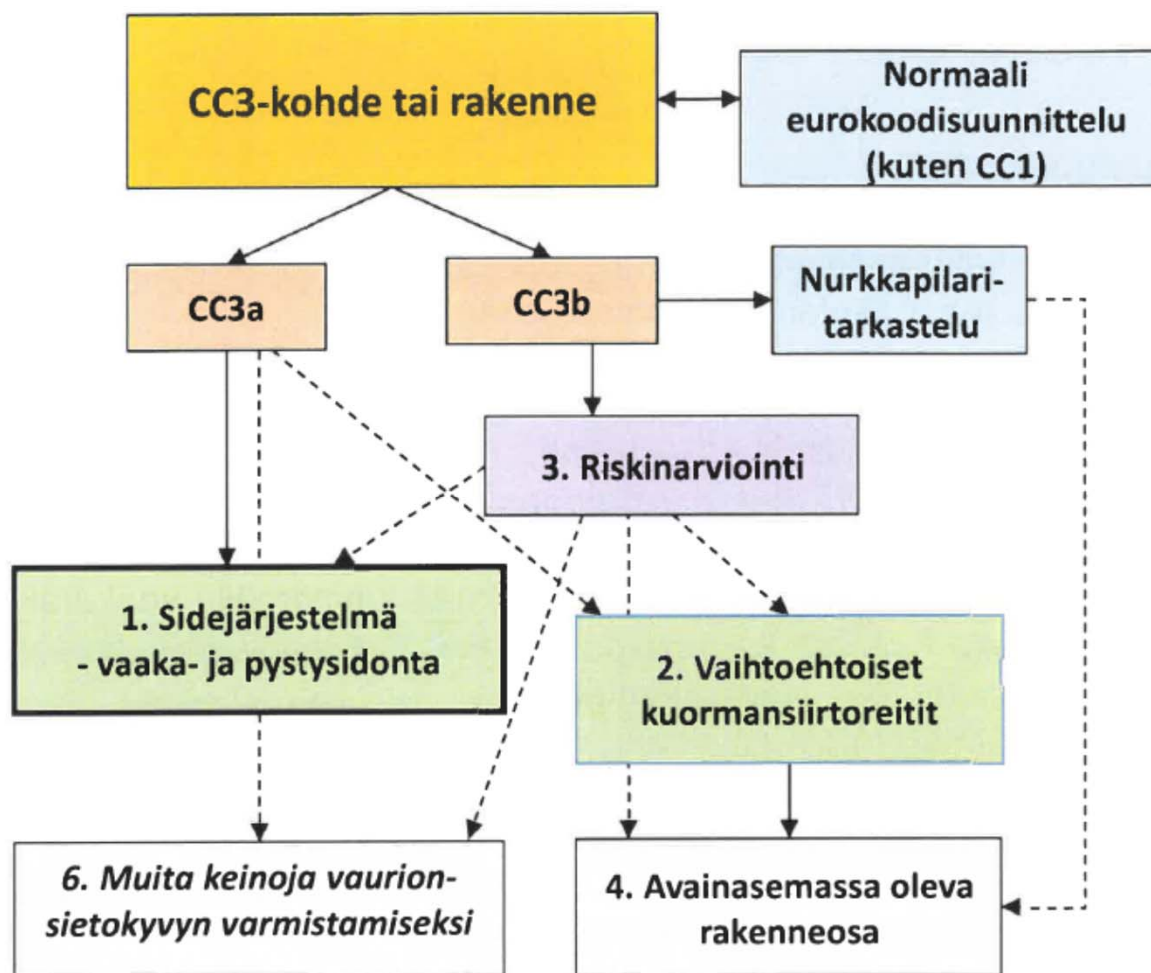


Menettelytavat 1...6



Monikerroksiset rakennukset





Puukerrostalo

Seuraamusluokka CC2a

Menetelmä 1

- Vaakasidonta tai vaakarakenteen sidonta seiniin

Menetelmä 2

- Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti



Seuraamusluokka CC2b

Menetelmä 1

- Vaakasidonta tai vaakarakenteen sidonta seiniin
- Pystysidonta

Menetelmä 2

- Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti



Käytännön menetelmät

Monikerroksiset rakennukset

Seuraamusluokka	Menetelmä 1	Menetelmä 2
CC1	Toimenpiteitä ei tarvita	Toimenpiteitä ei tarvita
CC2a	Vaakasidonta tai Vaakarakenteen sidonta seiniin	Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti
CC2b	Vaakasidonta tai Vaakarakenteen sidonta seiniin + Pystysidonta	Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti
CC3a	Vaakasidonta tai Vaakarakenteen sidonta seiniin + Pystysidonta	Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti
CC3b	Riskiarviointi ennakoitavista ja ennakoimattomista vaaratilanteista + Riskiarvion tuloksesta riippumatta vähintään CC3a vaatimukset täytettävä	

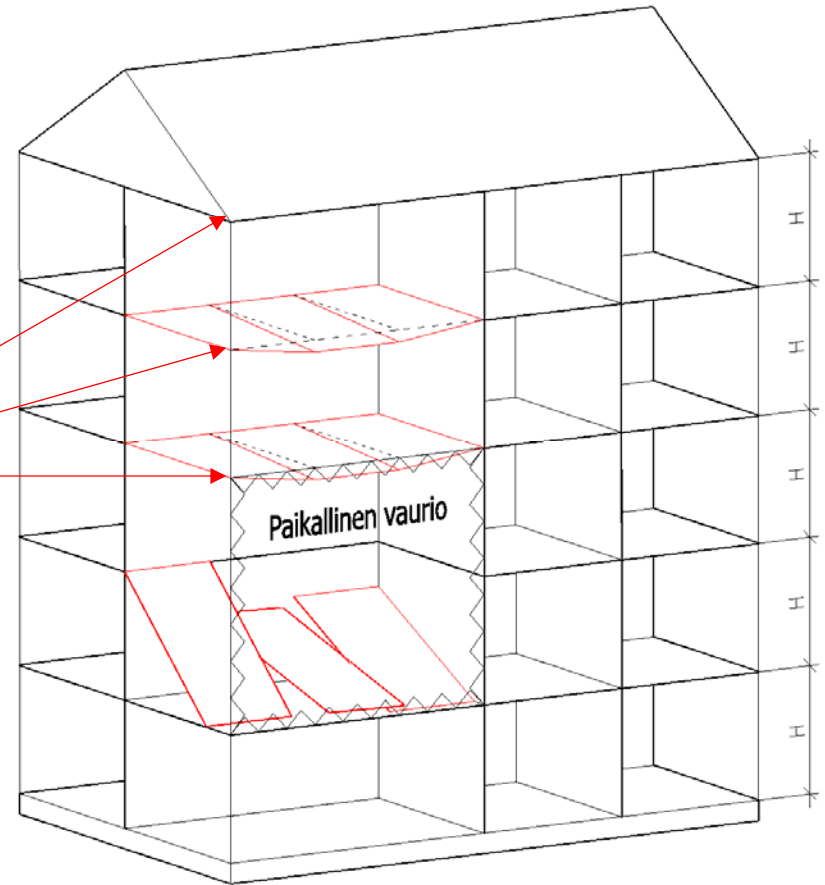
Paikallinen vaurio

Monikerroksiset rakennukset

- Max 15 % kyseisen kerroksen lattiapinta-alasta, kuitenkin max 100 m²
- Paikallinen vaurio voi tapahtua kahdessa päällekkäisessä kerroksessa

Ylemmät rakenteet eivät saa sortua, vaikka niiden tukirakenteita poistuu

(sidonta tai vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti)



10/16 Ympäristöministeriön asetus rakenteiden onnettomuuskuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-7

4 §

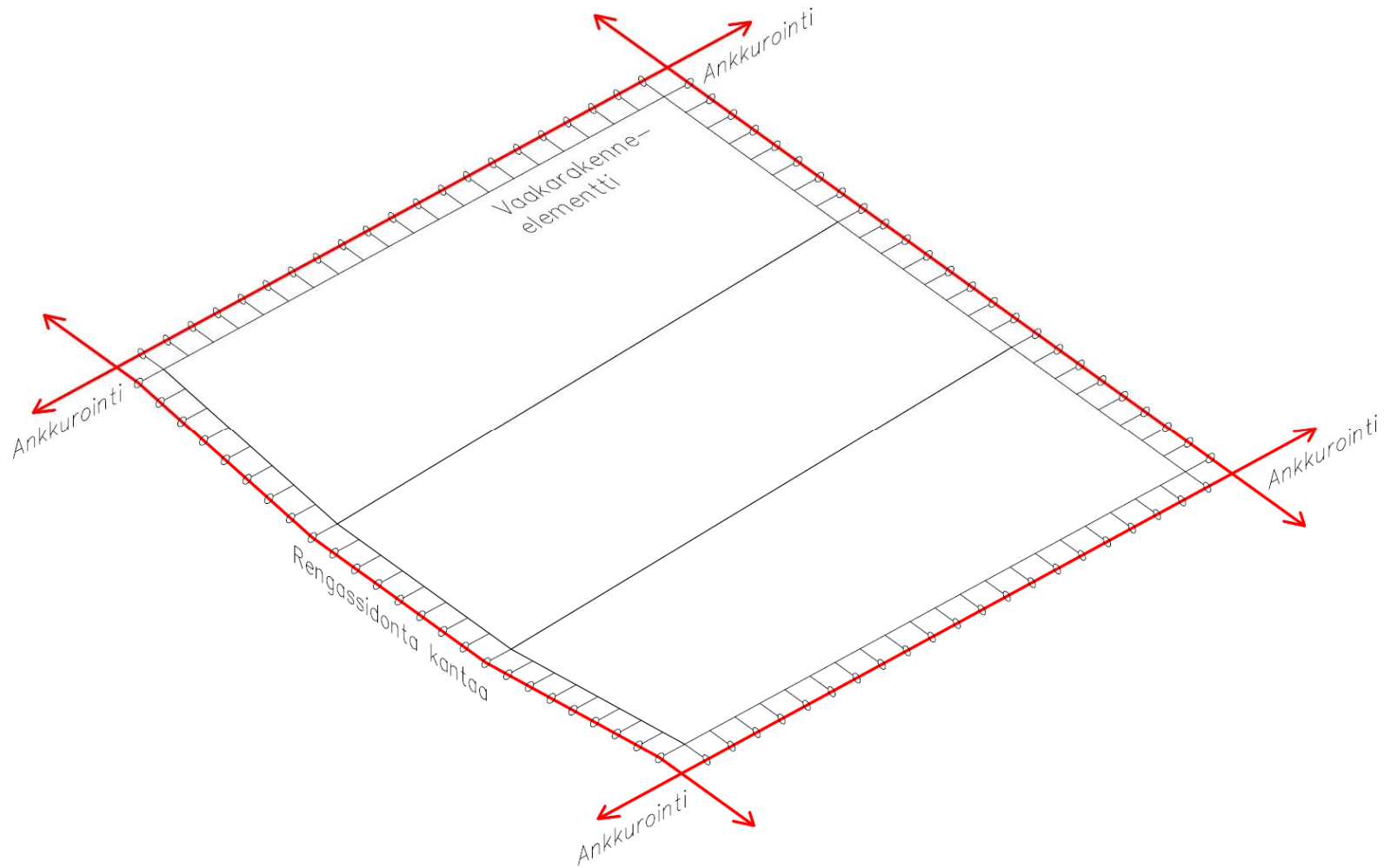
Onnettomuusmitoitustilanteet – paikallisen vaurion laajuuden rajaaminen

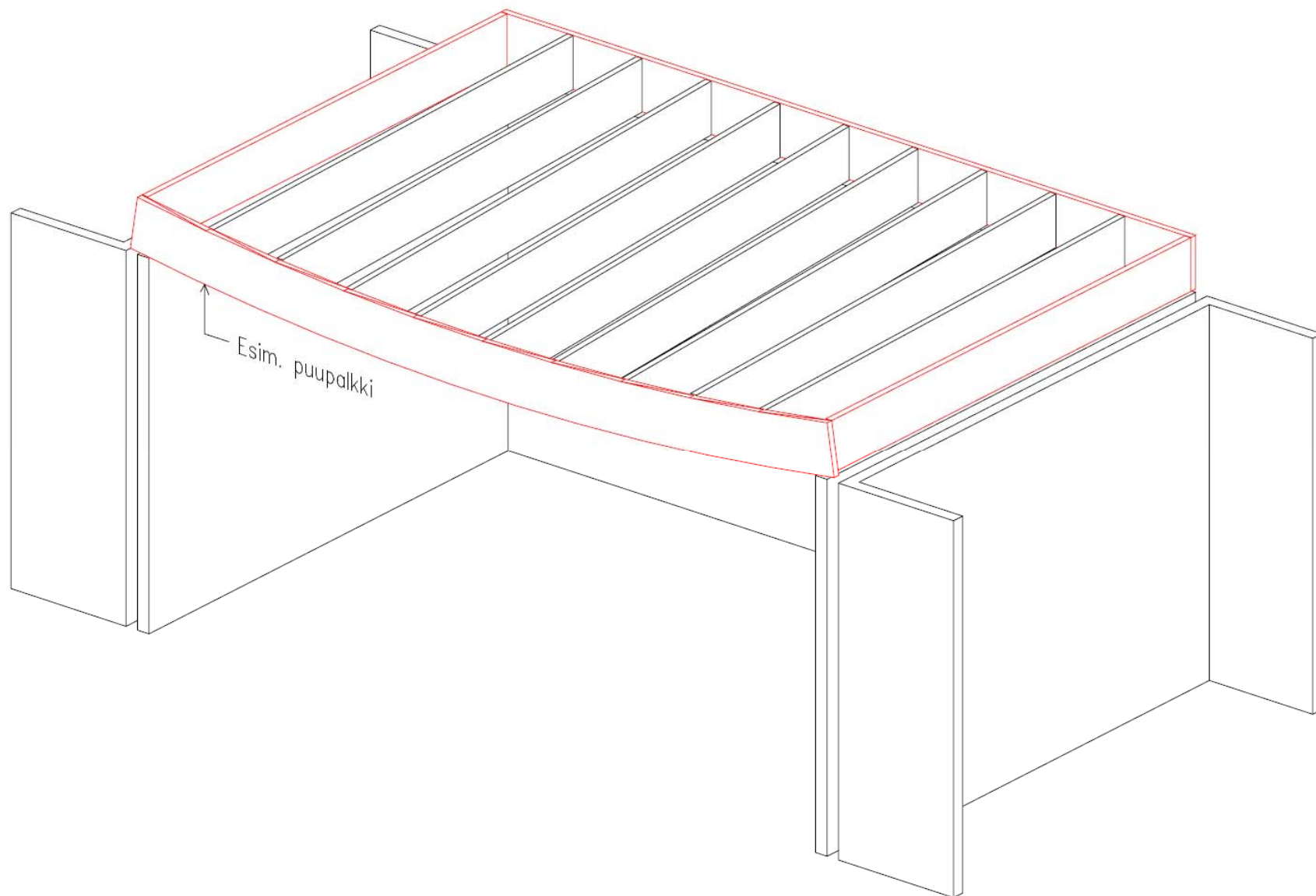
Standardin kohdan 3.3(2) huomautuksen 2 mukaisen paikallisen vaurioitumisen hyväksyttävä raja riippuu rakennustyyppistä:

1) Monikerroksisissa rakennuksissa paikallisen vaurion laajuus yhdessä kerroksessa voi olla enintään 15 prosenttia kyseisen kerroksen lattiapinta-alasta ja enintään 100 m²/krs. Vaurio voi tapahtua kahdessa päällekkäisessä kerroksessa; tai

Vaakasidonta

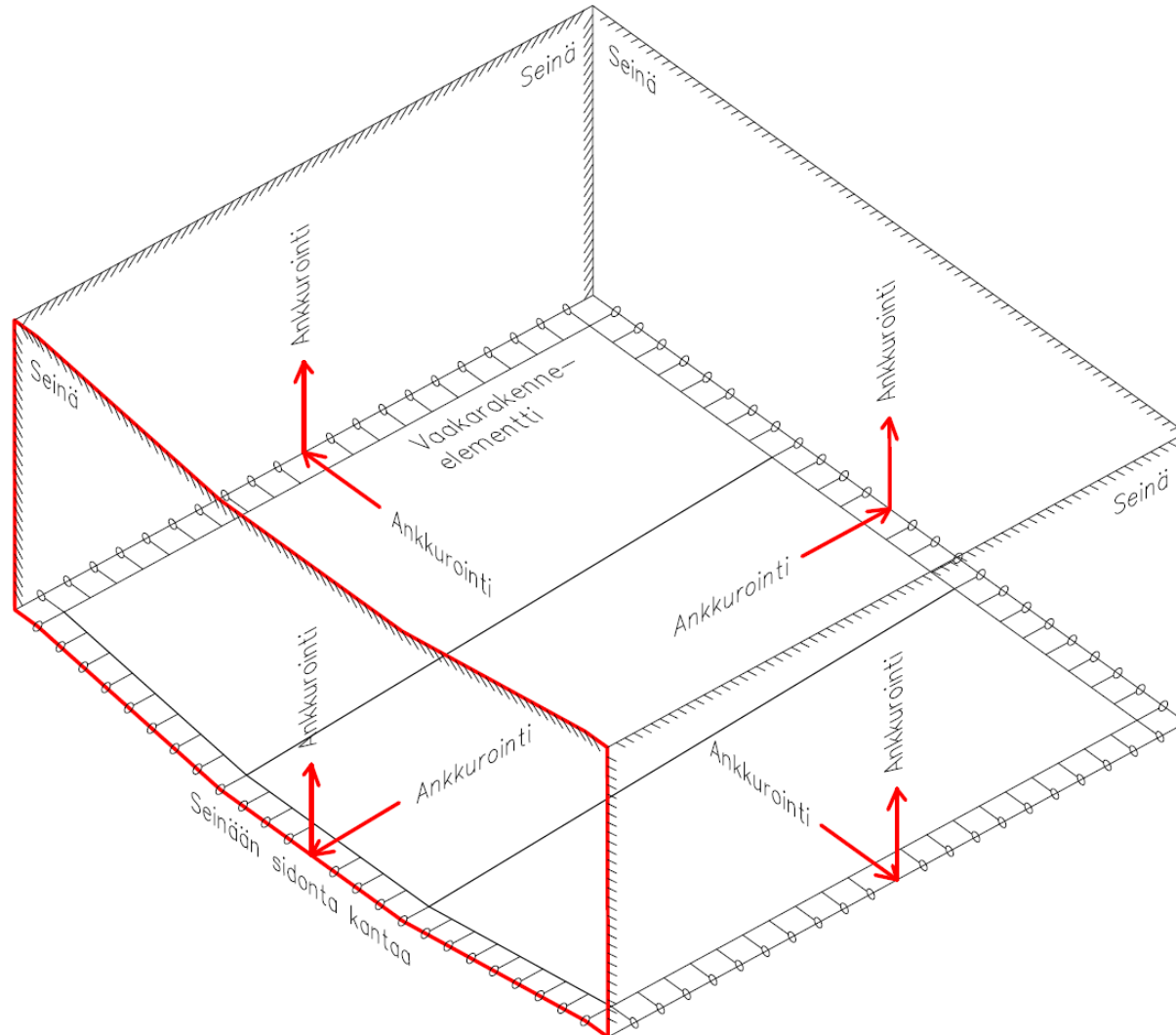
Rengassidonta

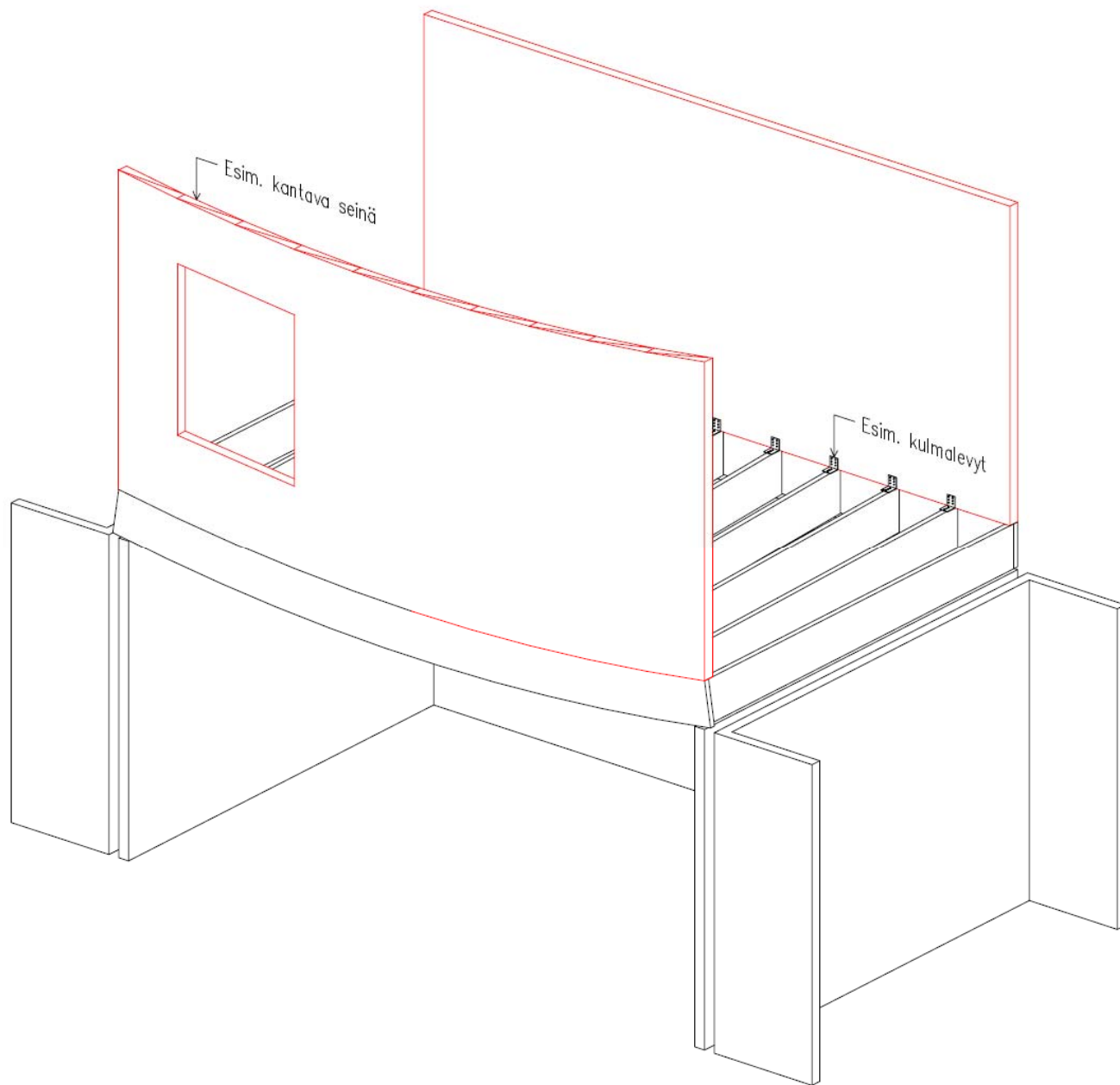




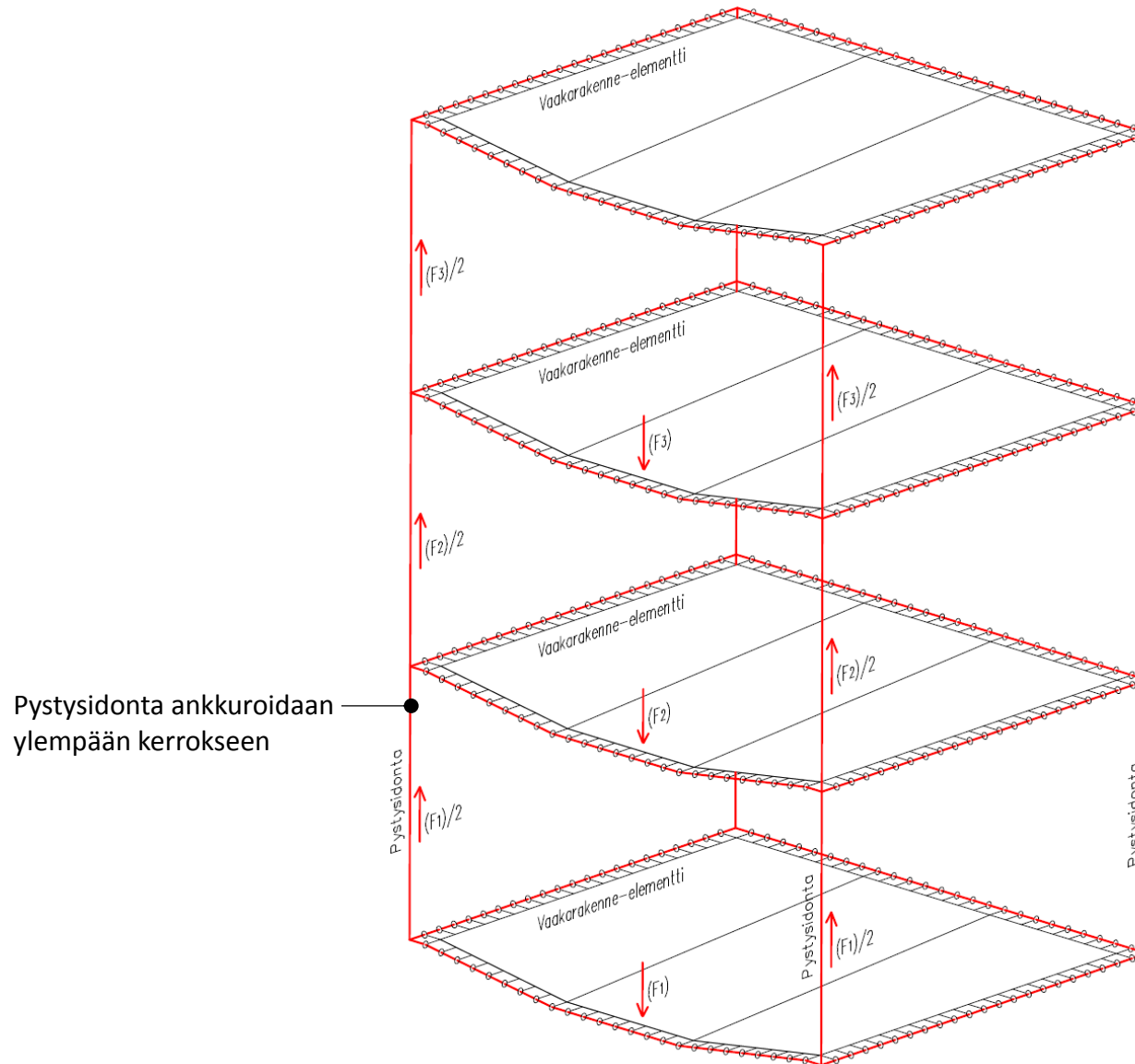
Vaakasidonta

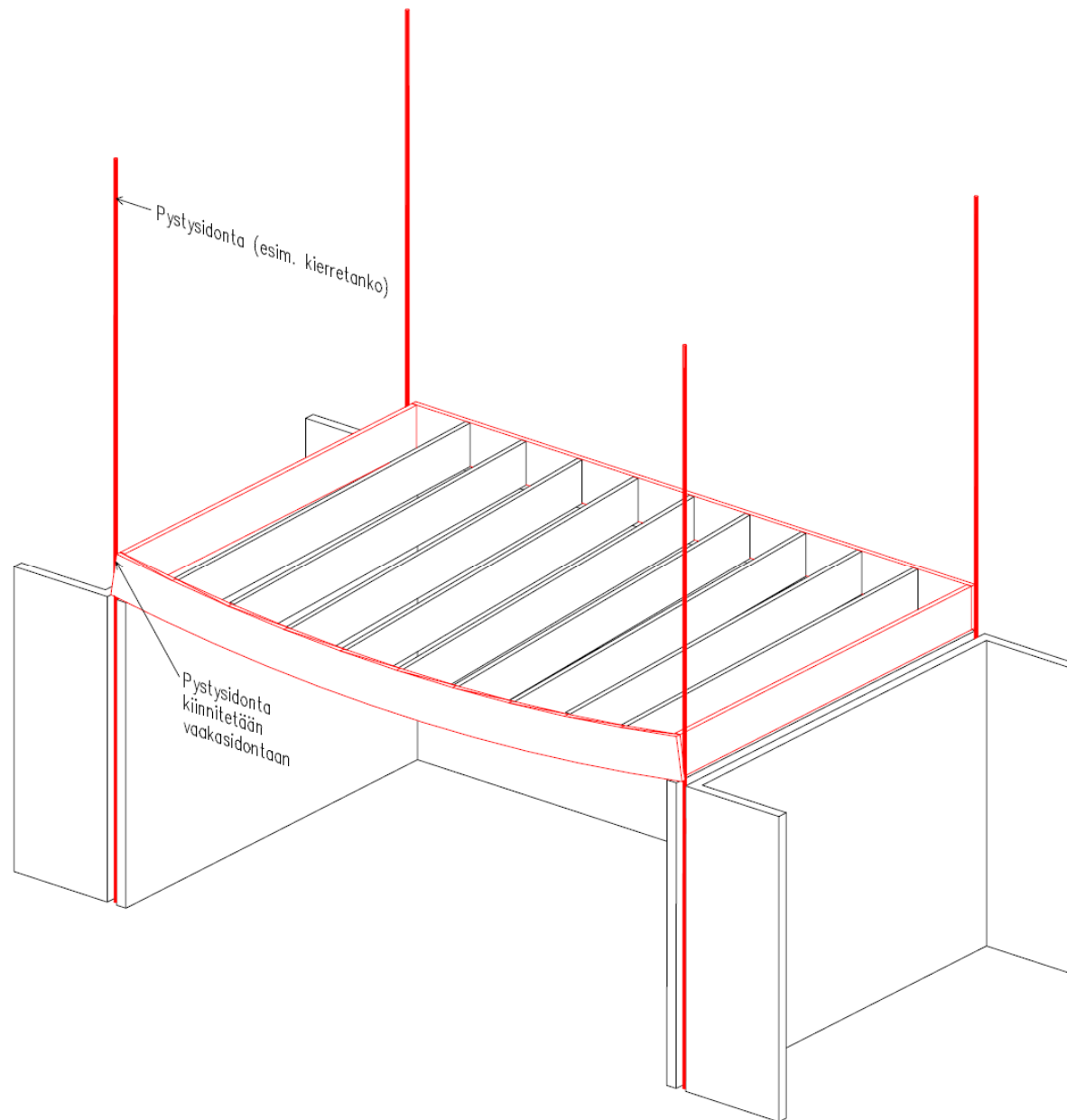
Sidonta seiniin

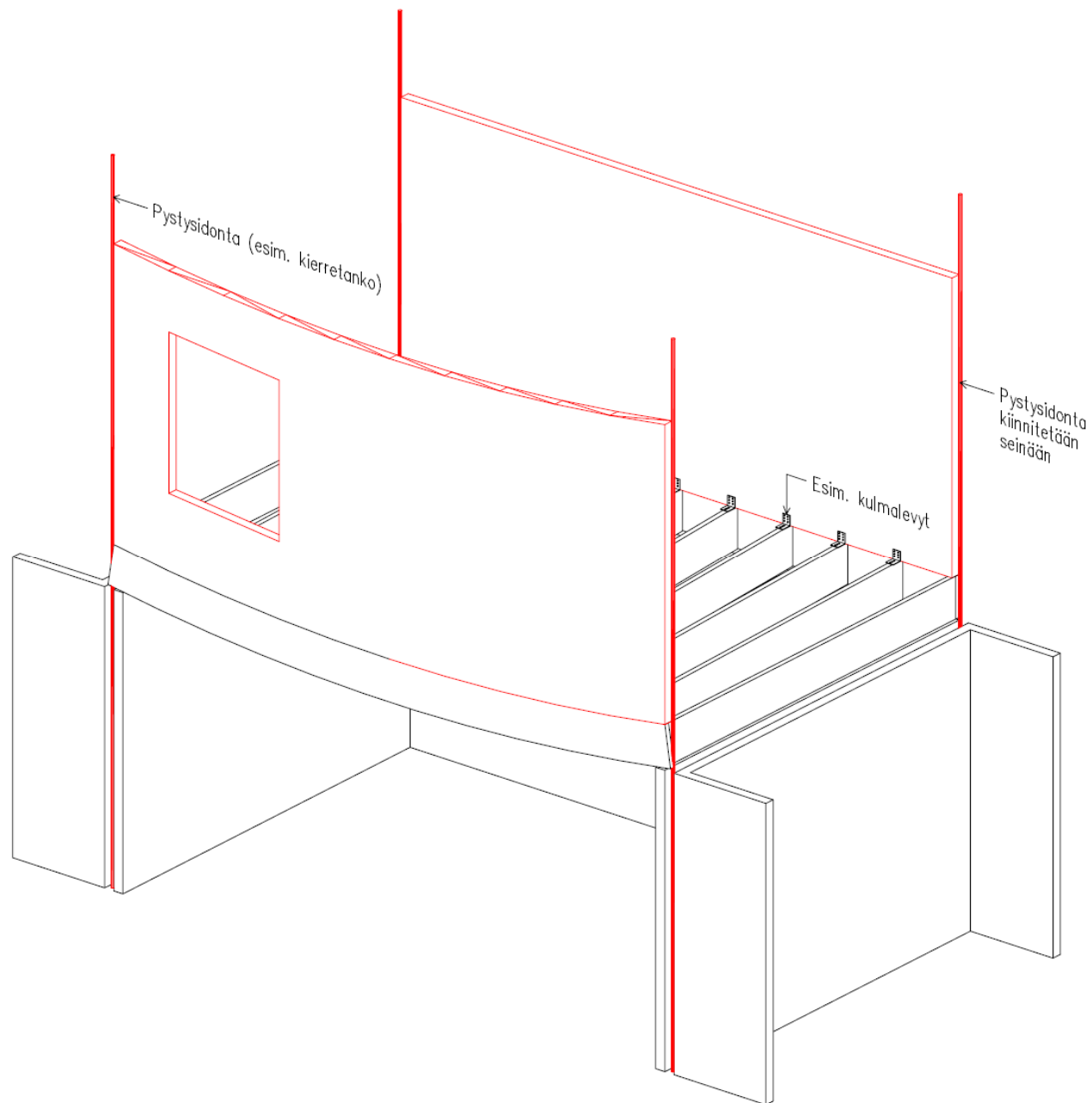




Pystysidonta

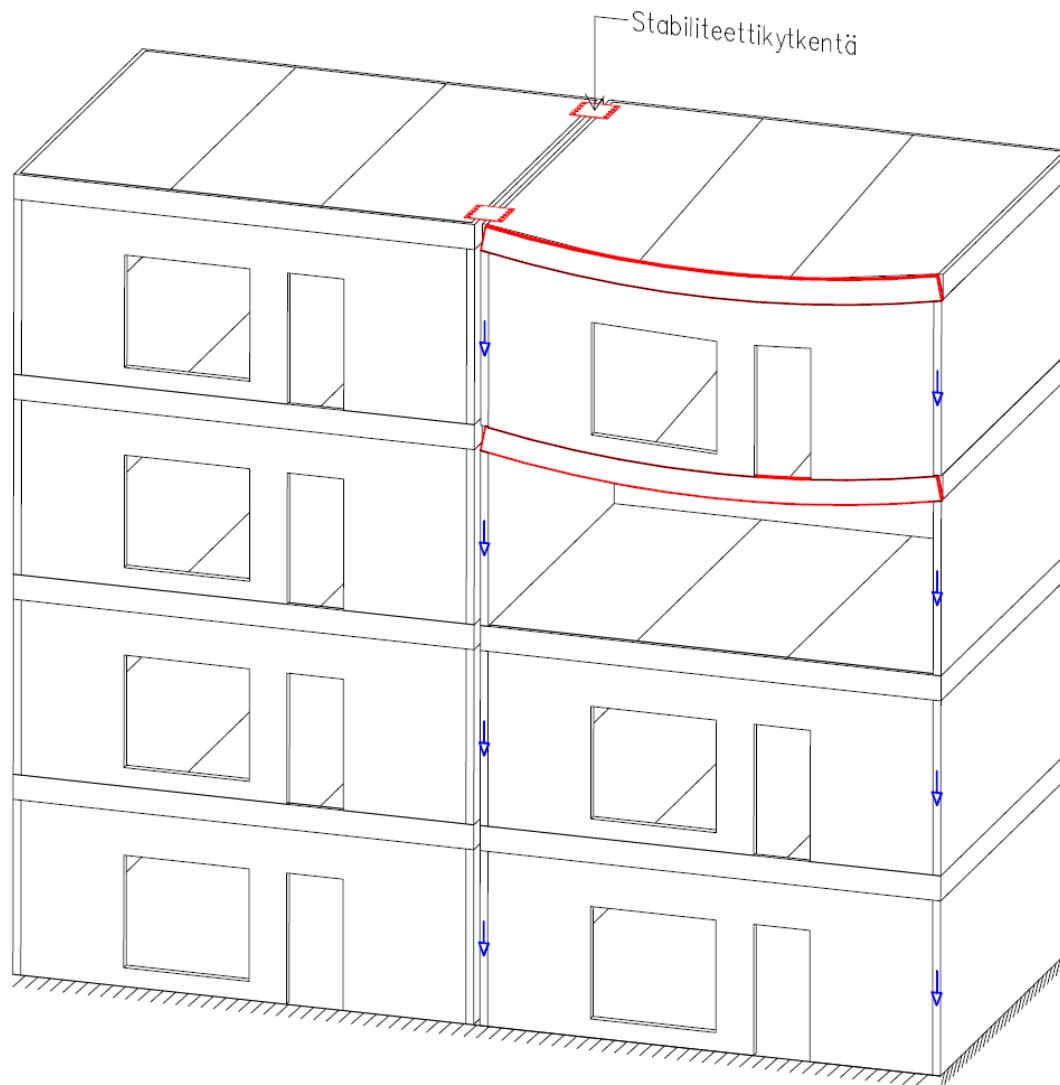


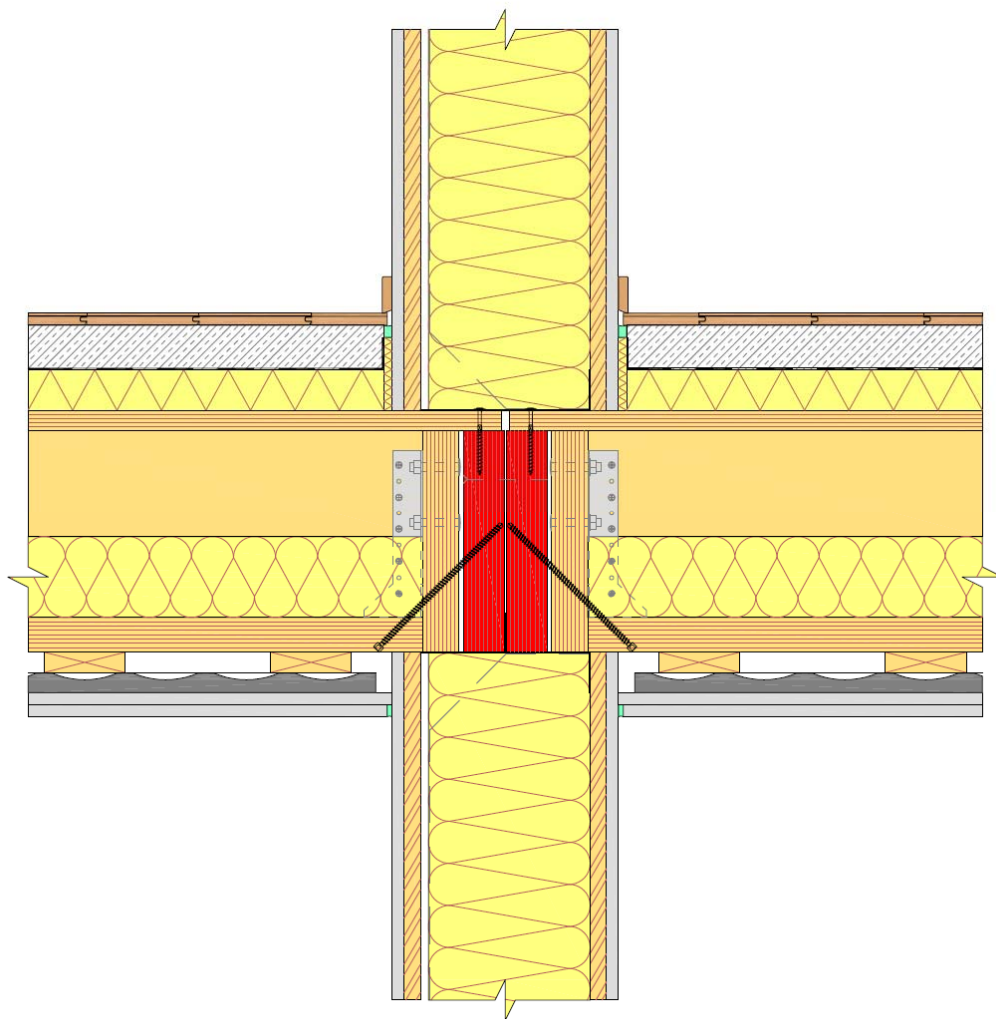
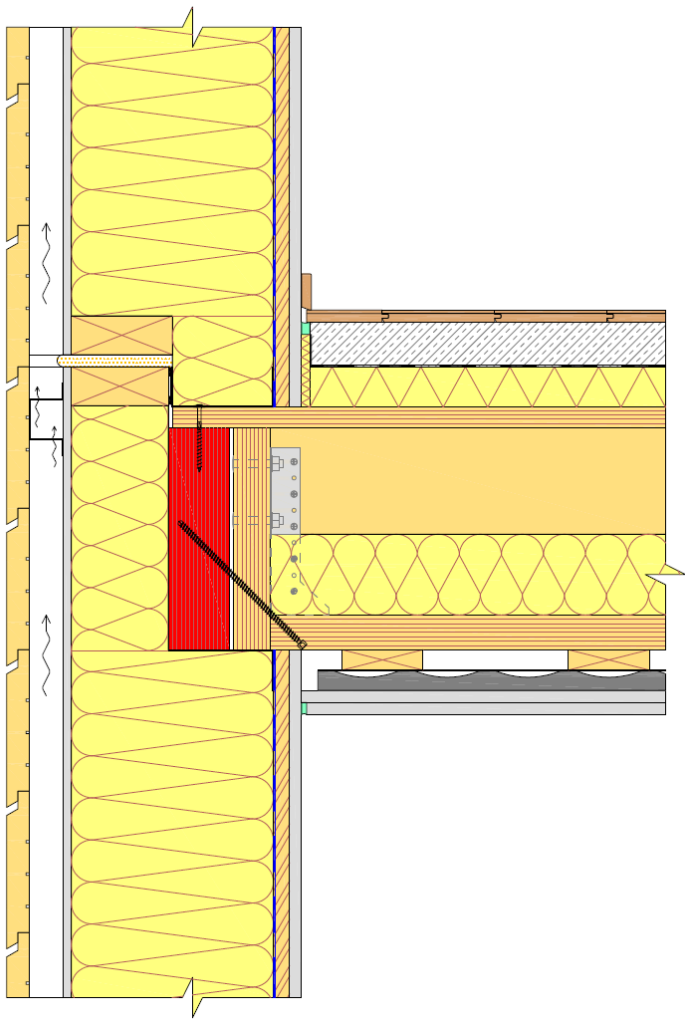


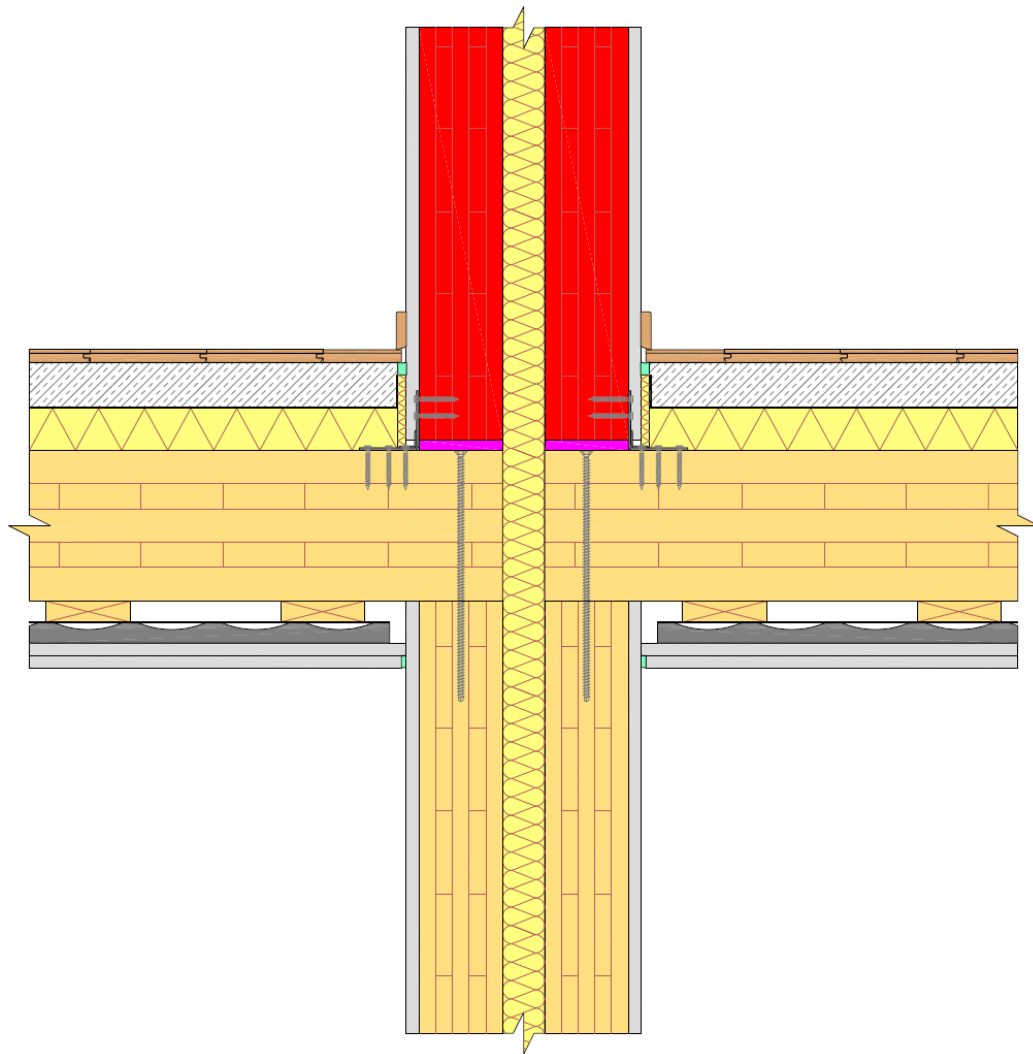


Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti

Suurelementit

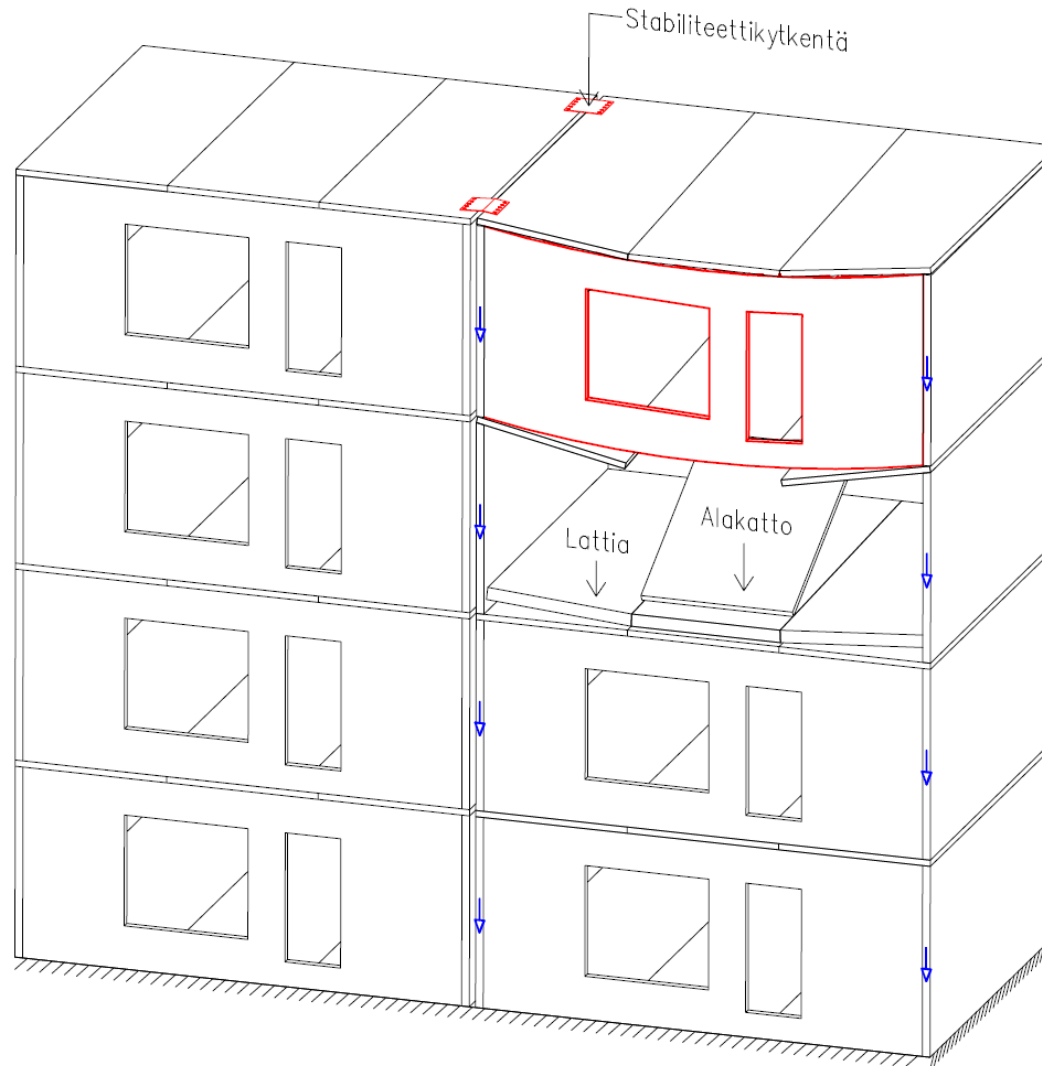


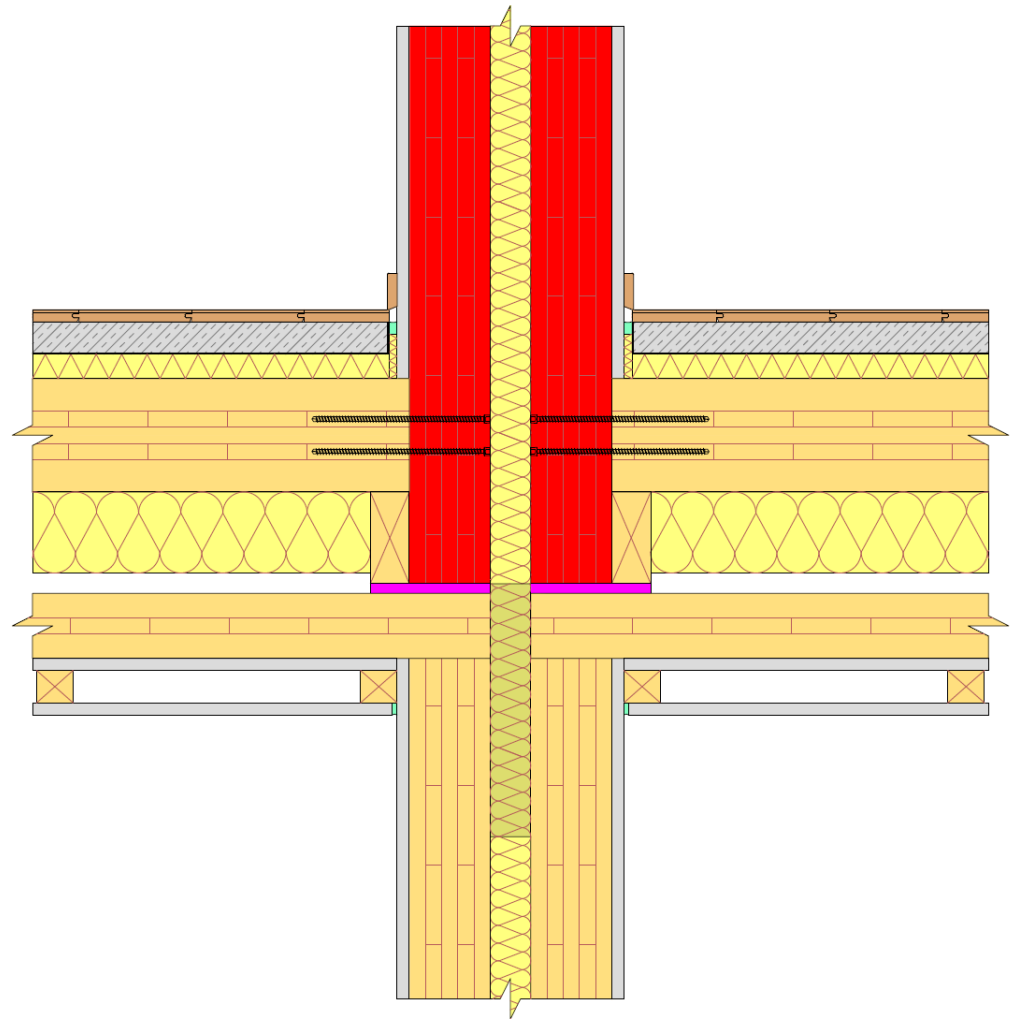
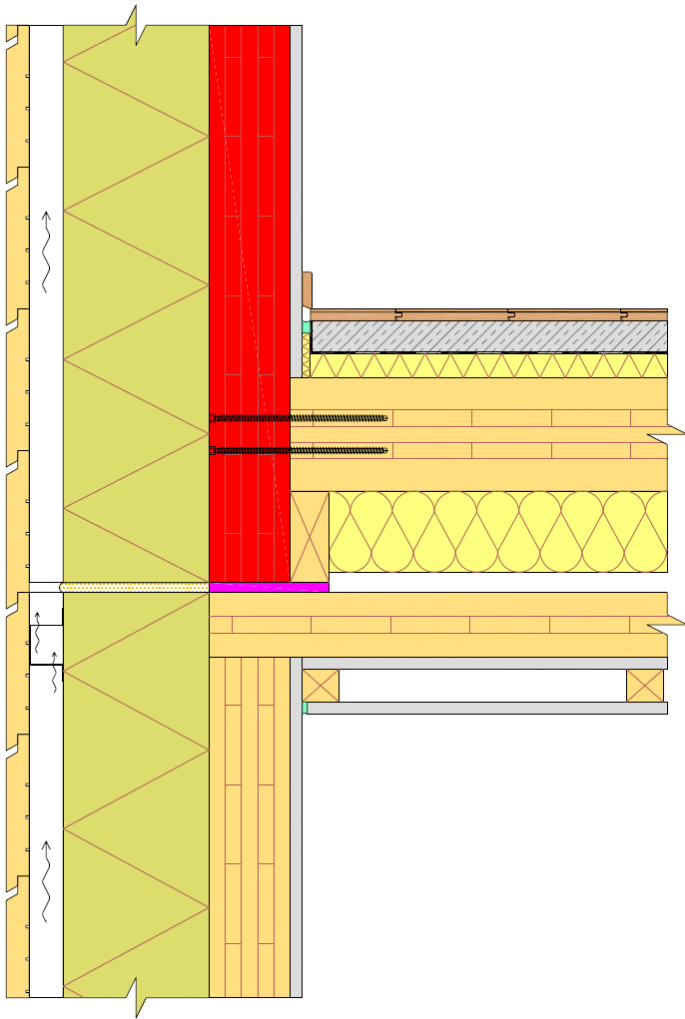




Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti

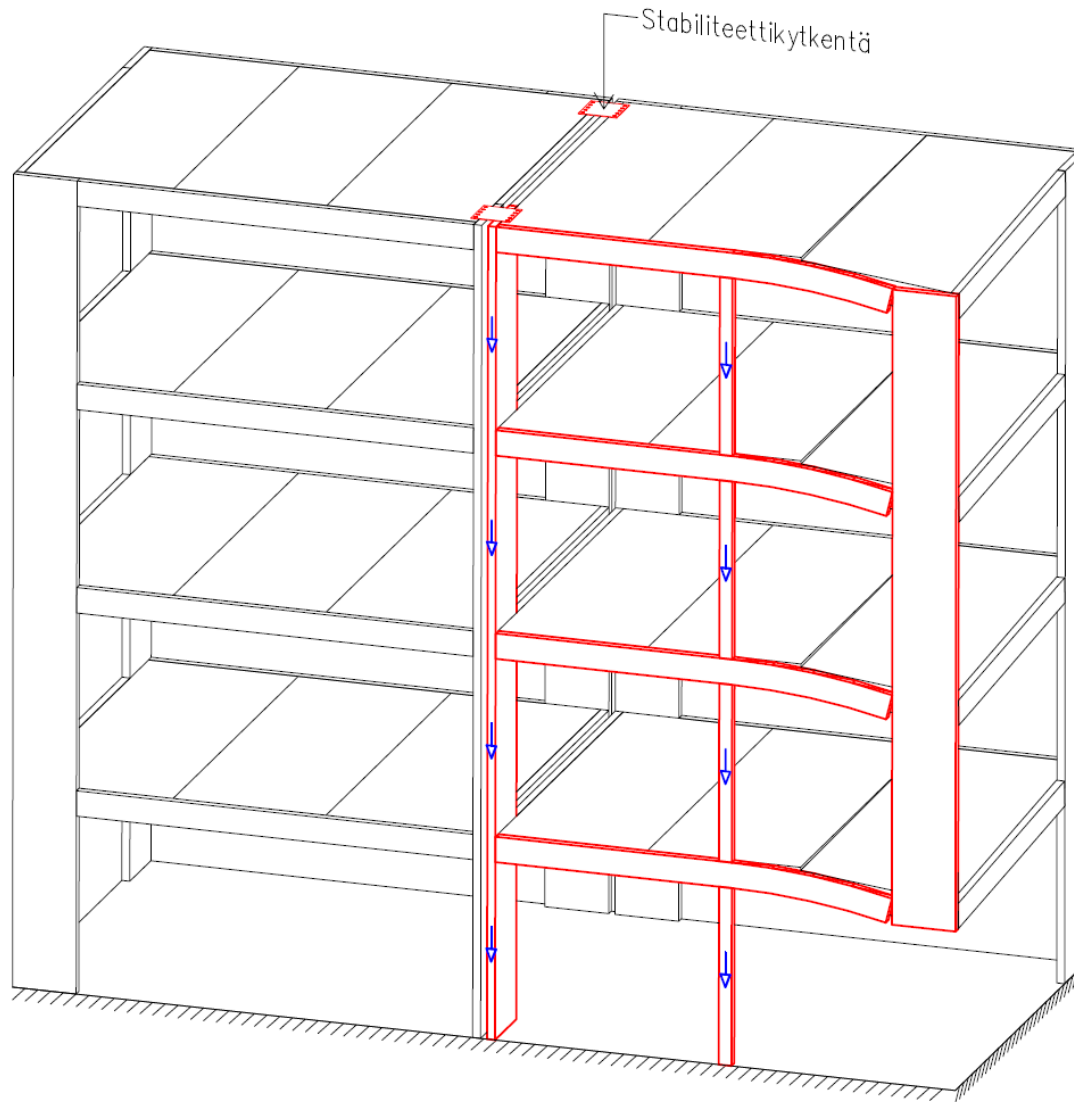
Tilaelementit

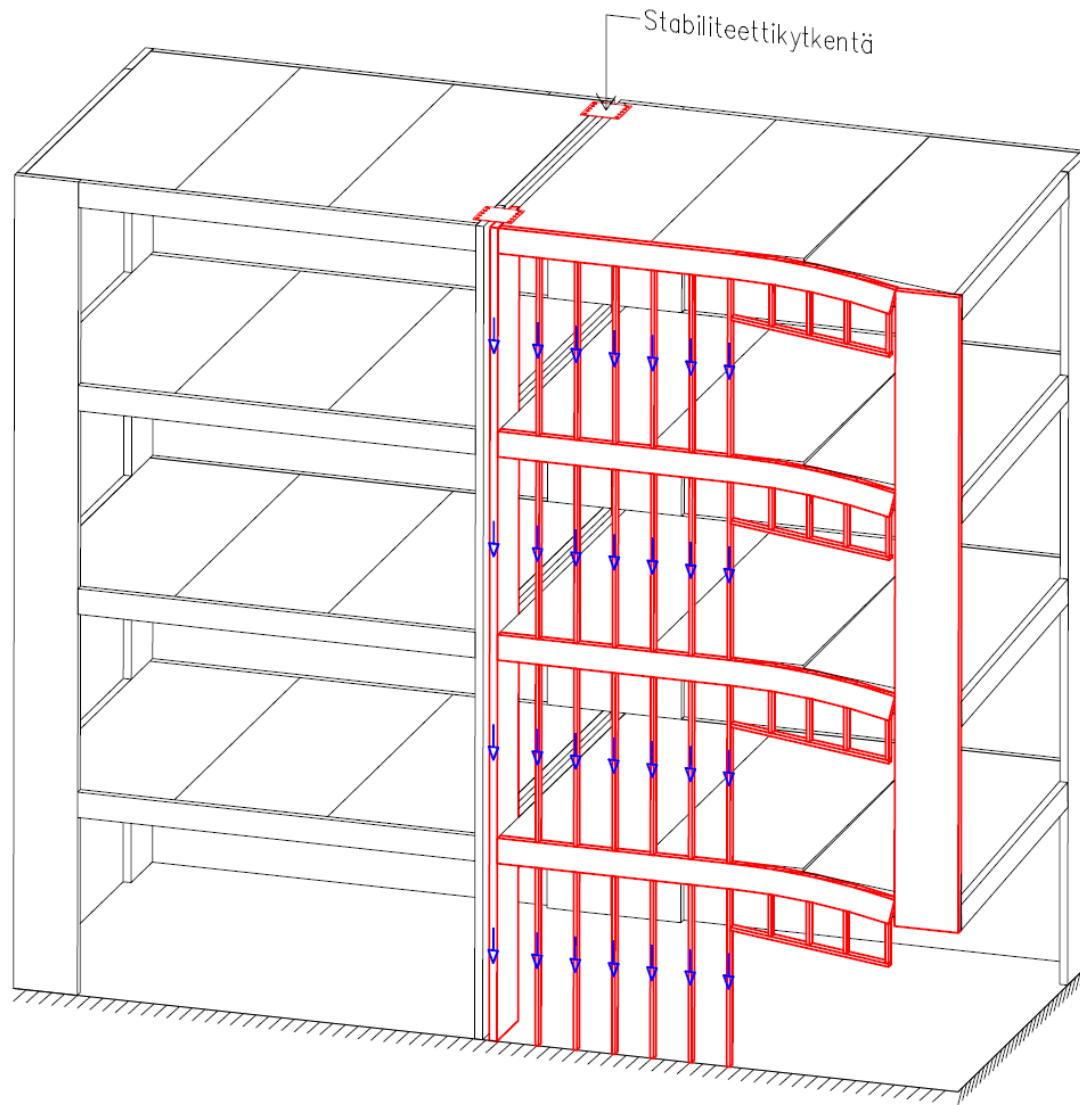


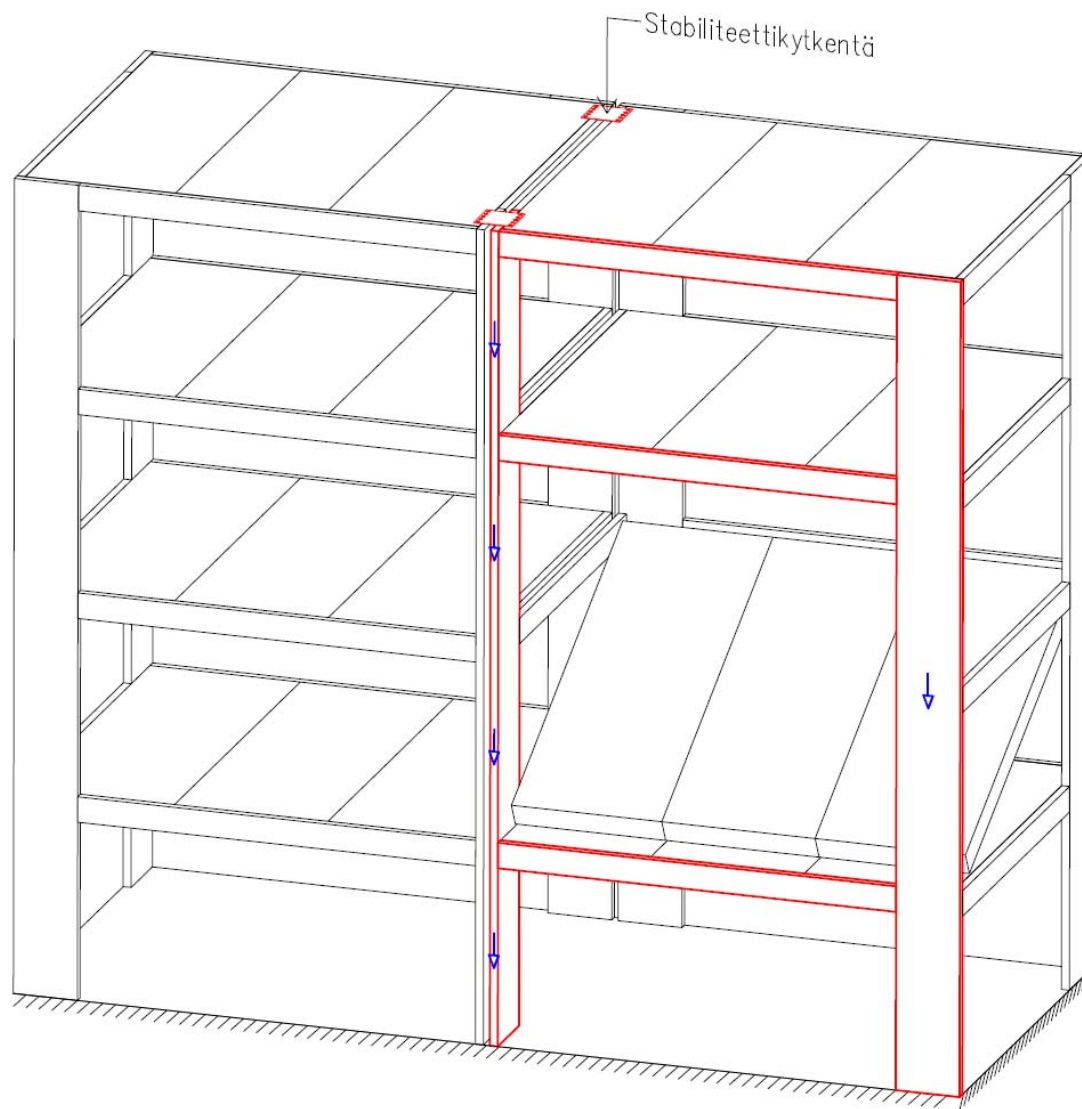


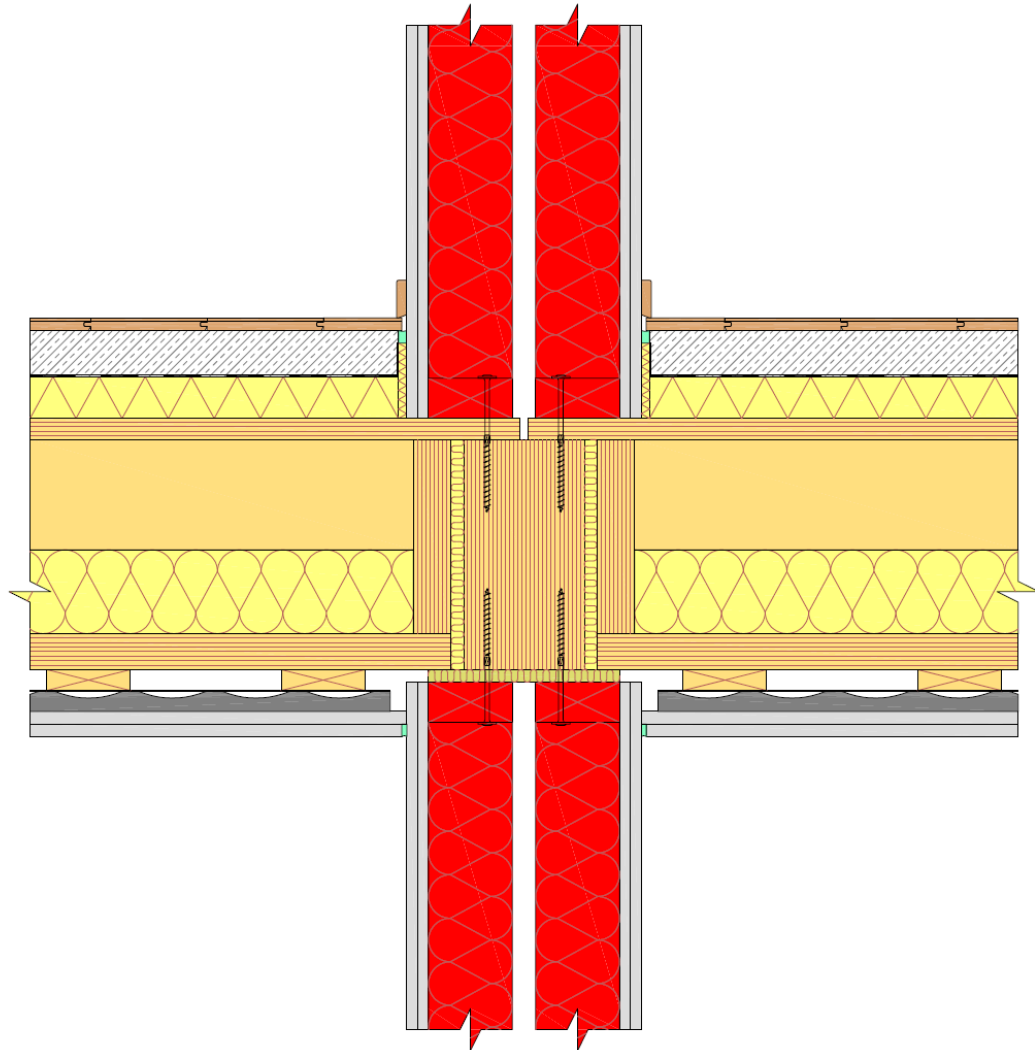
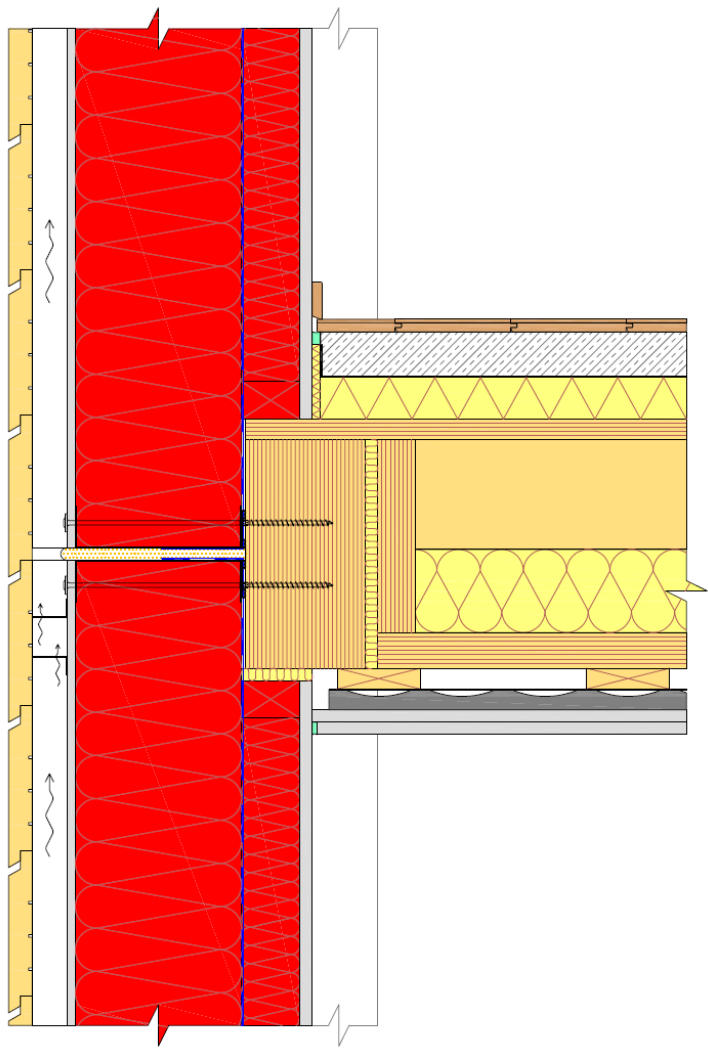
Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti

Pilari-palkkirunko









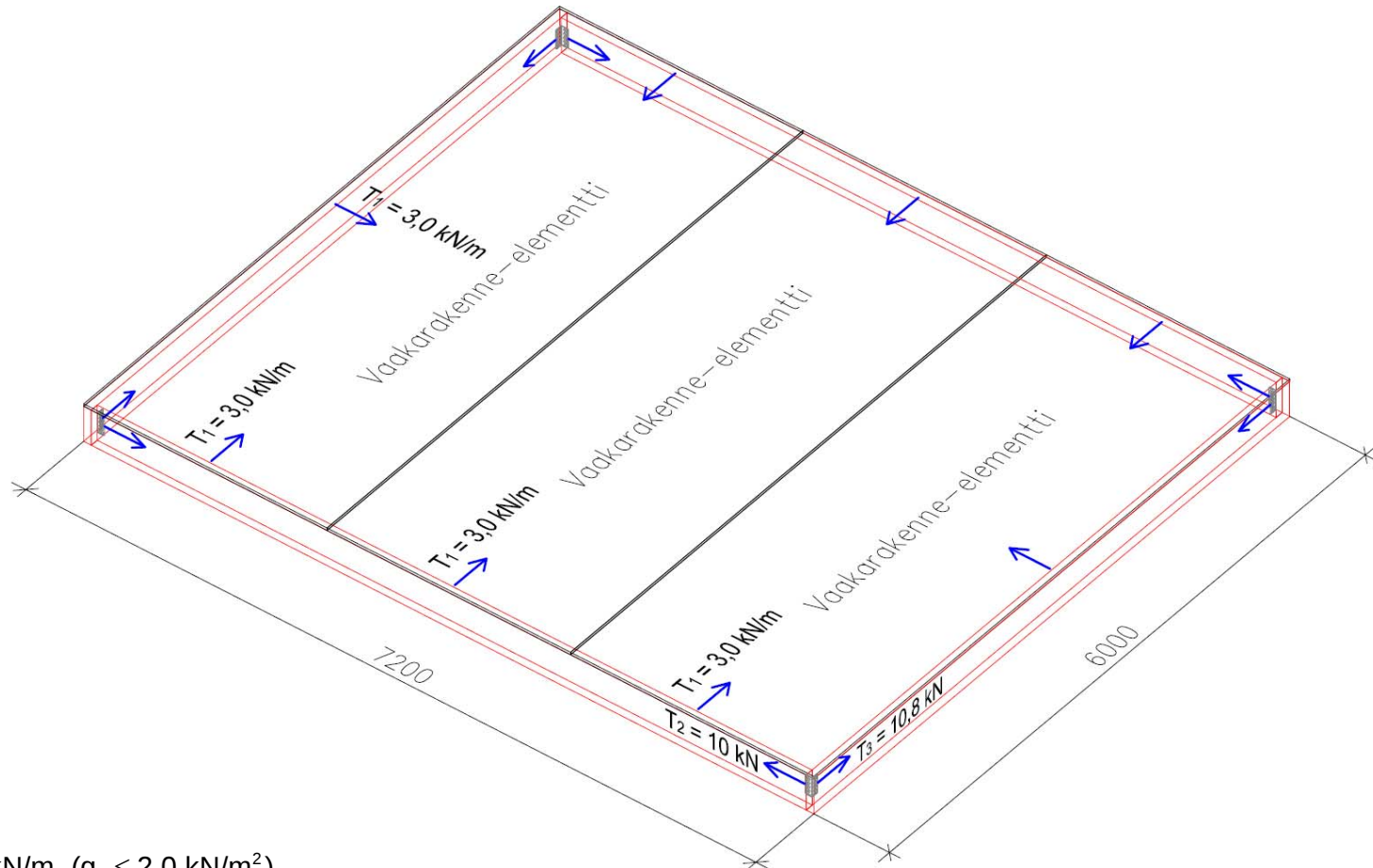
Suosituksukset puukerrostaloon



Seuraamusluokka	Suurelementti (ranka)	Suurelementti (CLT)	Tilaelementti	Pilari-palkki
CC2a	Rengassidonta	Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti	Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti	Rengassidonta
CC2b	Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti	Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti	Vaihtoehtoinen kuormansiirtoreitti	Rengassidonta + Pystysidonta

Rengassidonta CC2a

Rankarunko (voimat esimerkkejä)



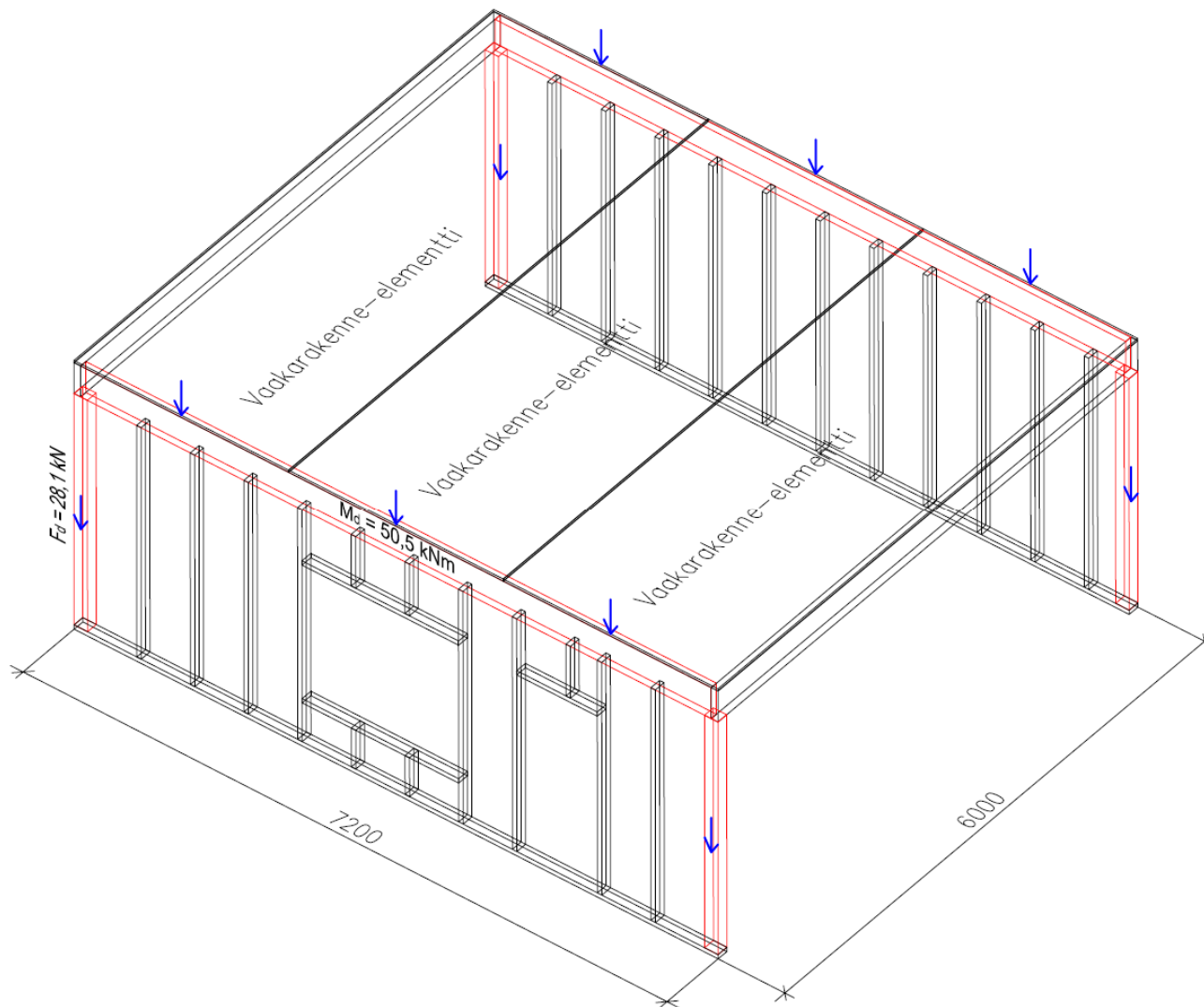
$$T_1 = 3 \text{ kN/m} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

$$T_2 = 3 \text{ kN/m} \cdot \frac{6 \text{ m}}{2} = 9 \text{ kN} \Rightarrow 10 \text{ kN (min)} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

$$T_3 = 3 \text{ kN/m} \cdot \frac{7,2 \text{ m}}{2} = 10,8 \text{ kN} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

Vaihtoehtoinen kuormansiirto CC2b

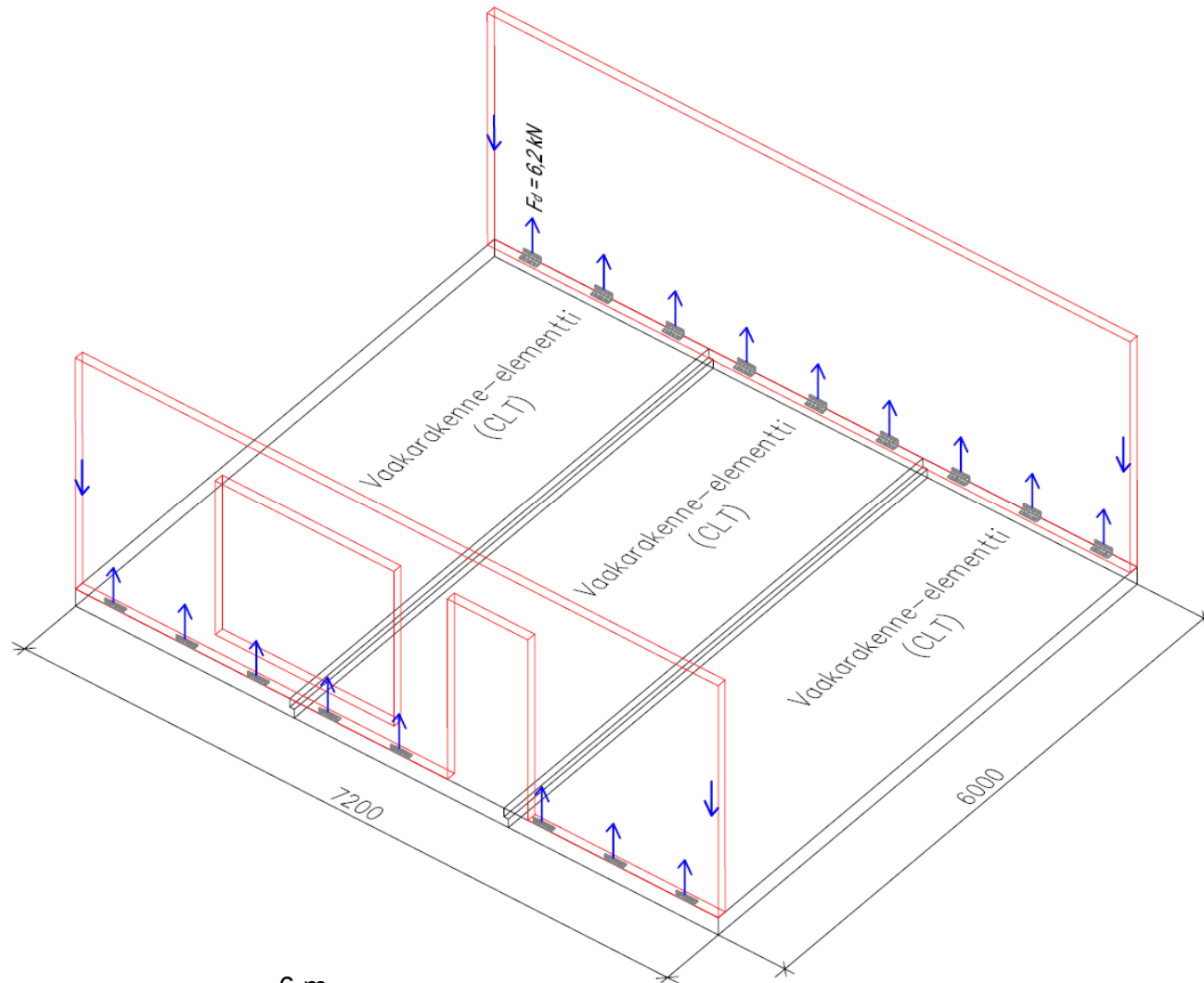
Rankarunko (voimat esimerkkejä)





Vaihtoehtoinen kuormansiirto CC2a ja CC2b

CLT-runko (voimat esimerkkejä)

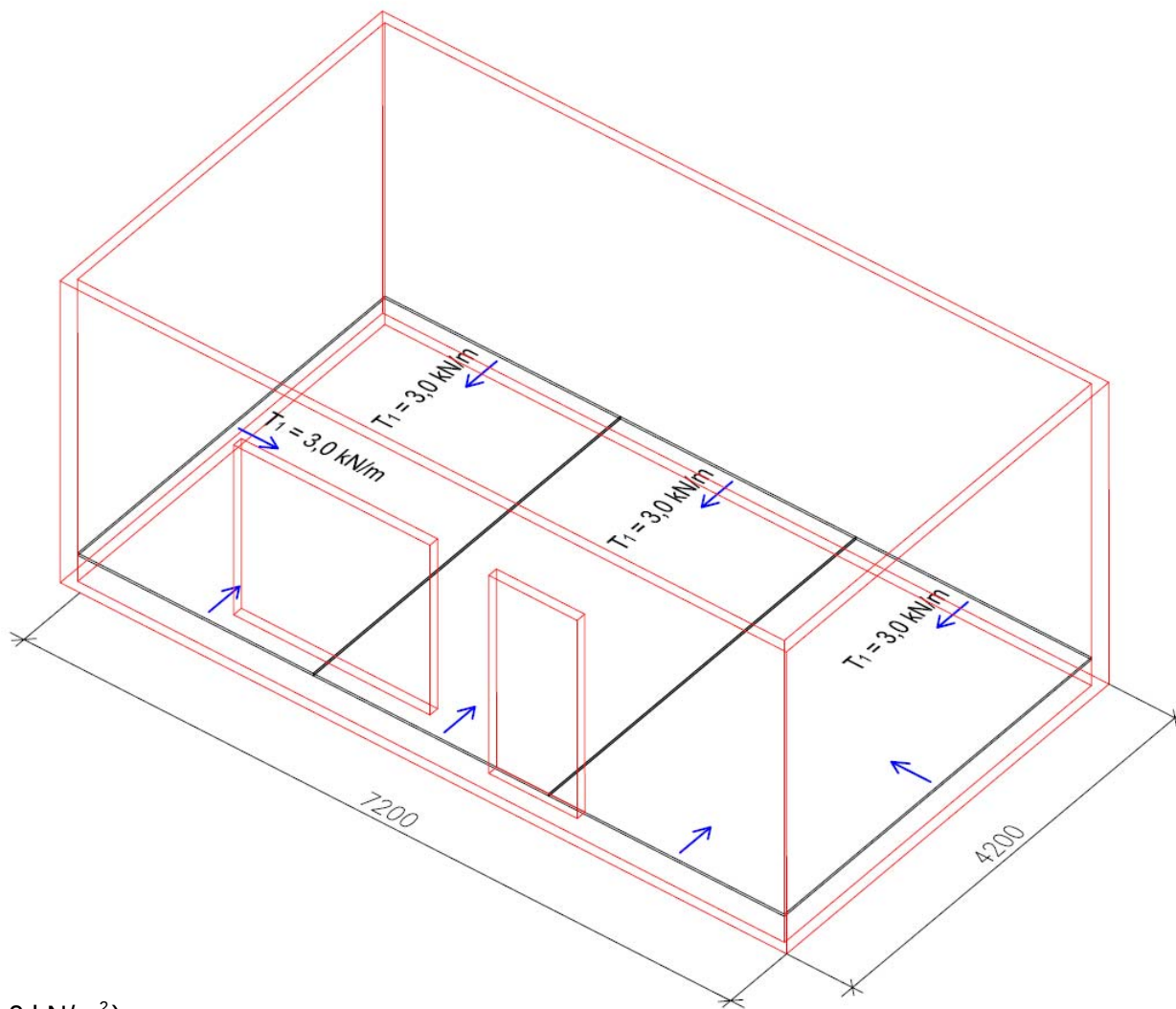


$$F_d = (2,0 \text{ kN/m}^2 + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) \cdot \frac{6 \text{ m}}{2} \cdot 0,8 \text{ m} = 6,2 \text{ kN}$$



Vaakasidonta seiniin CC2a

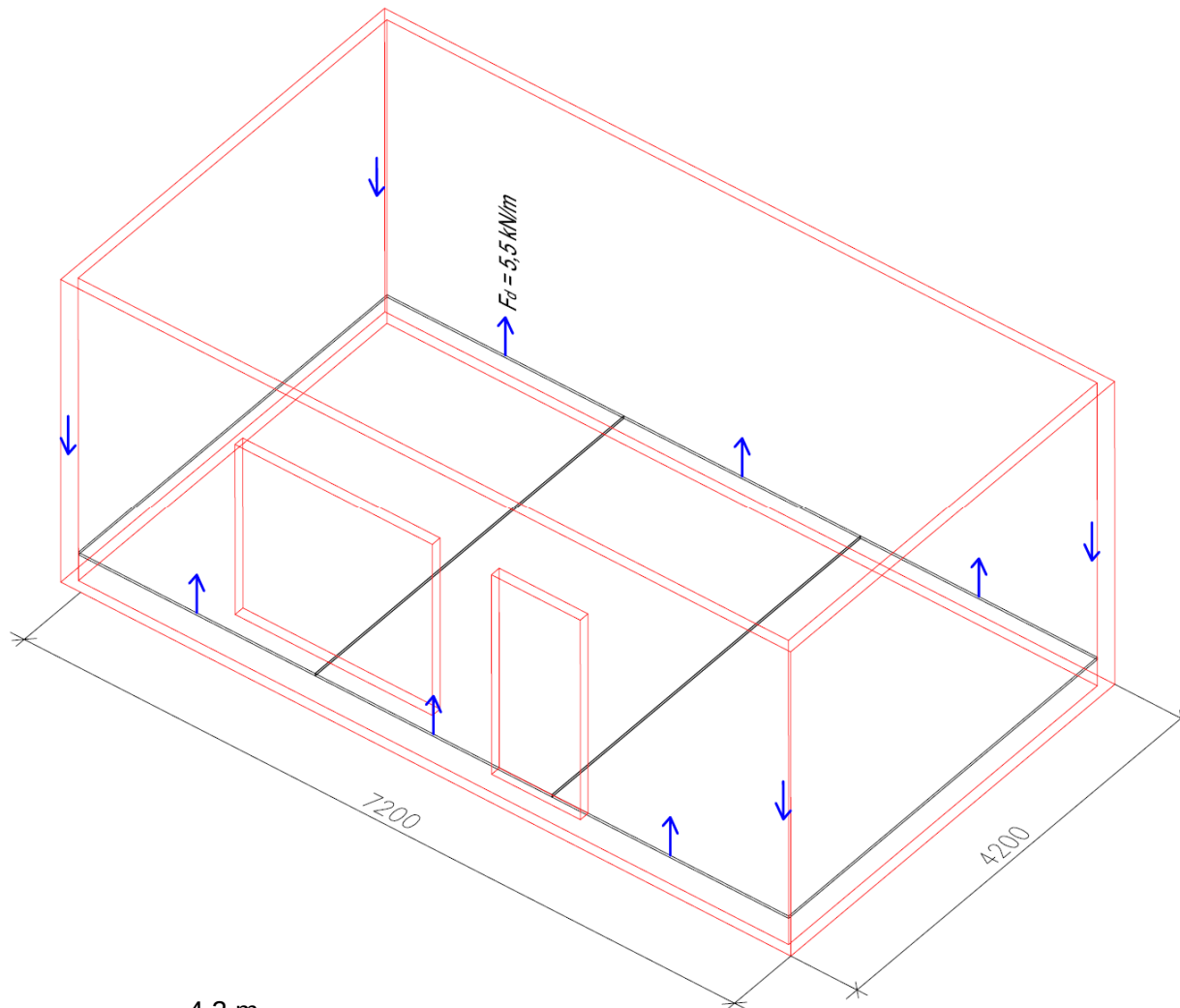
Tilaelementit



$$T_1 = 3 \text{ kN/m} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

Vaihtoehtoinen kuormansiirto CC2b

Tilaelementit (voimat esimerkkejä)



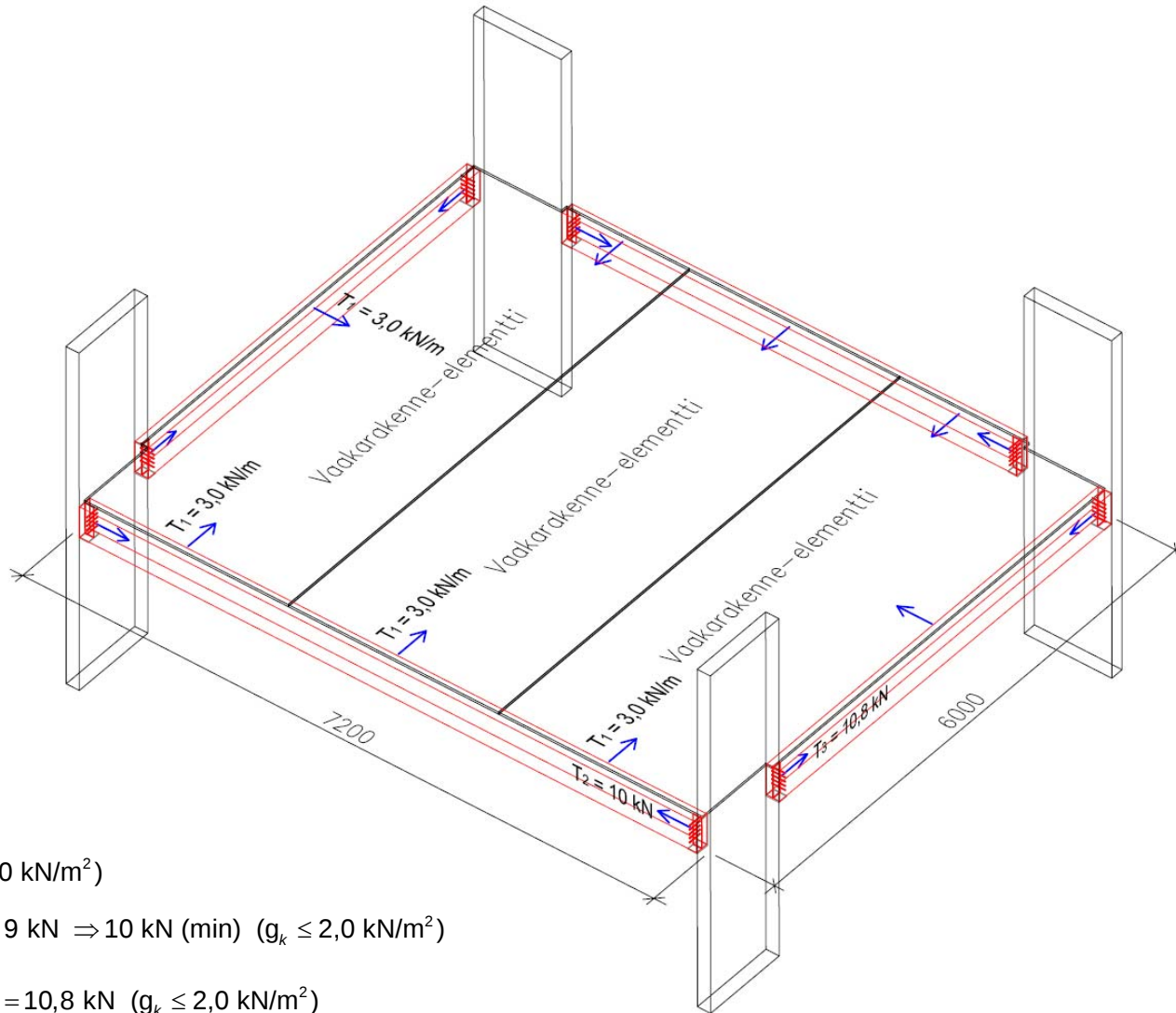
$$F_d = (2,0 \text{ kN/m}^2 + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) \cdot \frac{4,2 \text{ m}}{2} \cdot 1,0 \text{ m} = 5,5 \text{ kN/m}$$



Kuusi - CE - H-05-101-1

F701

Pilari-palkki-runko



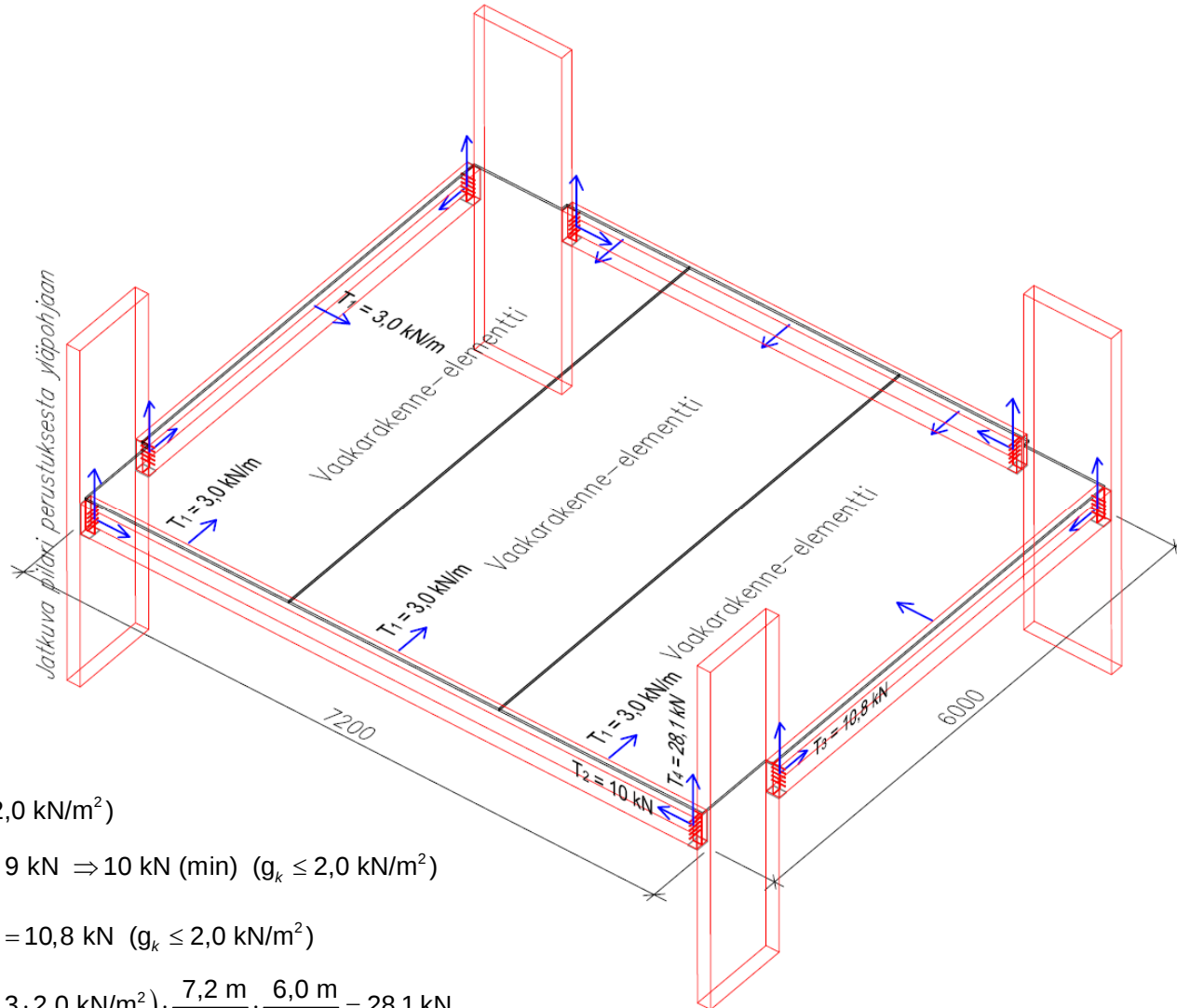
$$T_1 = 3 \text{ kN/m} \quad (g \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

$$T_2 = 3 \text{ kN/m} \cdot \frac{6 \text{ m}}{2} = 9 \text{ kN} \Rightarrow 10 \text{ kN (min)} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

$$T_3 = 3 \text{ kN/m} \cdot \frac{7,2 \text{ m}}{2} = 10,8 \text{ kN} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

Rengassidonta + Pystysidonta CC2b

Pilari-palkki-runko (voimat esimerkkejä)



$$T_1 = 3 \text{ kN/m} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

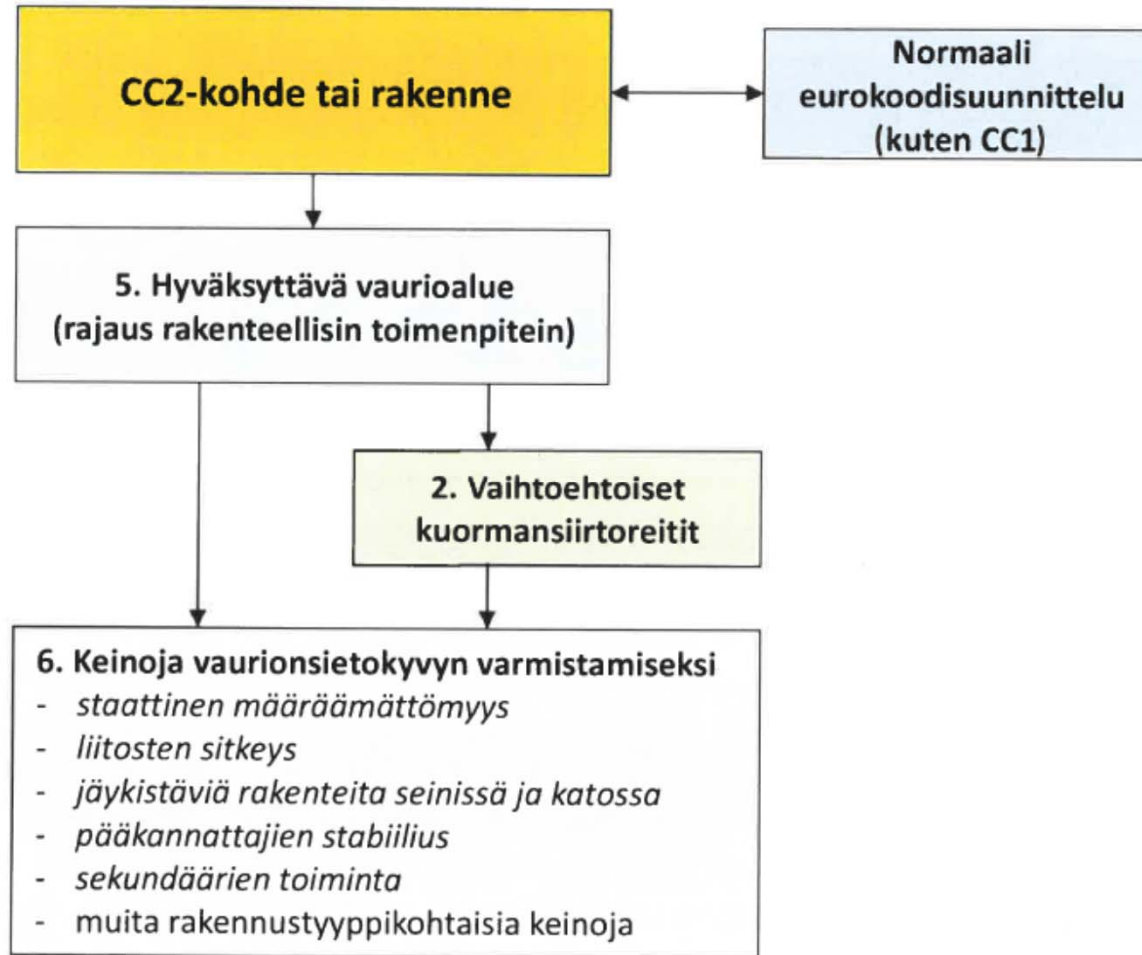
$$T_2 = 3 \text{ kN/m} \cdot \frac{6 \text{ m}}{2} = 9 \text{ kN} \Rightarrow 10 \text{ kN (min)} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

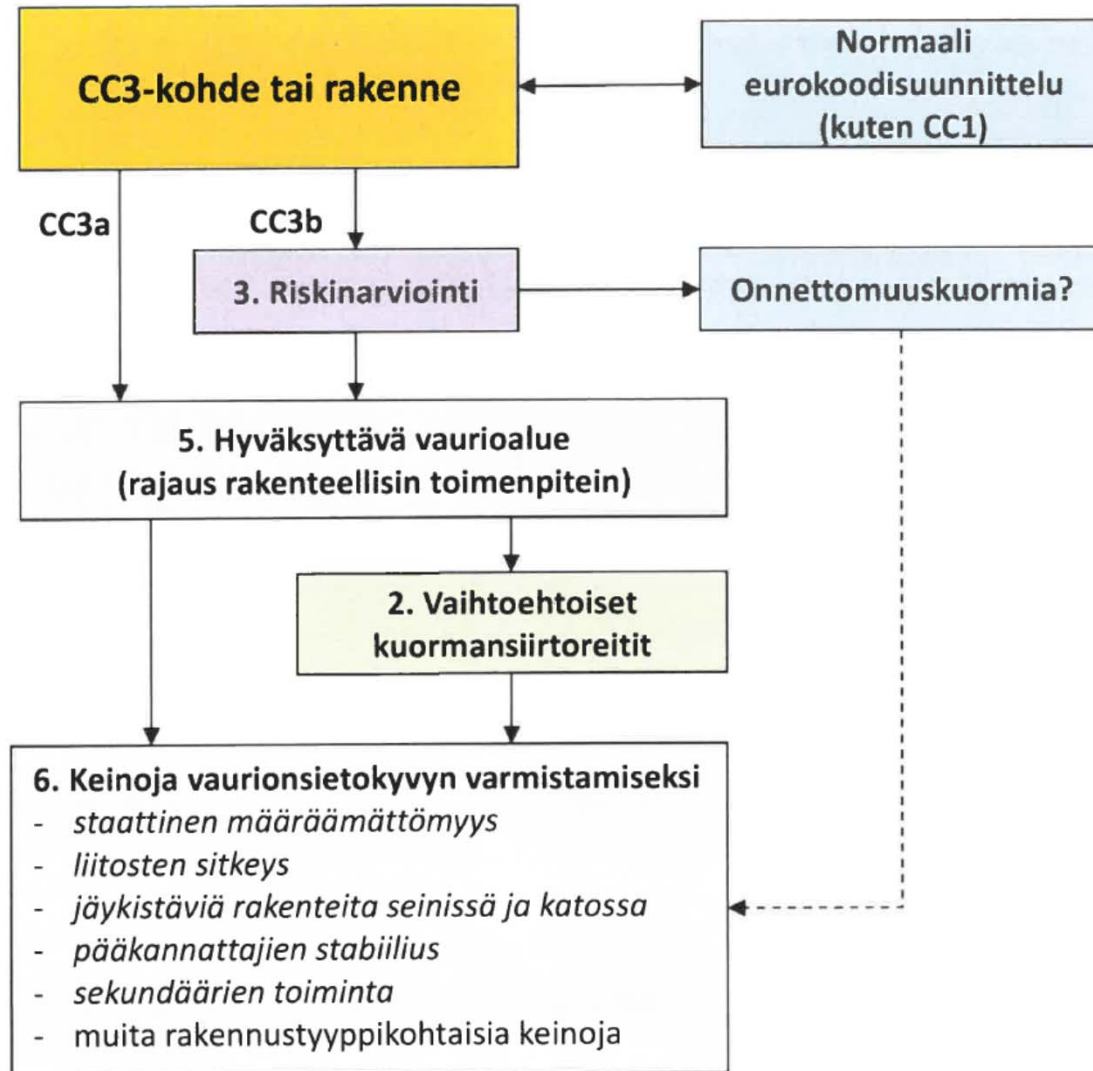
$$T_3 = 3 \text{ kN/m} \cdot \frac{7,2 \text{ m}}{2} = 10,8 \text{ kN} \quad (g_k \leq 2,0 \text{ kN/m}^2)$$

$$T_4 = (2,0 \text{ kN/m}^2 + 0,3 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2) \cdot \frac{7,2 \text{ m}}{2} \cdot \frac{6,0 \text{ m}}{2} = 28,1 \text{ kN}$$



Hallirakennukset





Käytännön menetelmät

1-kerroksiset hallirakennukset

Seuraamusluokka	Menetelmä 1	Rakenteelliset menetelmät	Menetelmä 2
CC1	Toimenpiteitä ei tarvita		Toimenpiteitä ei tarvita
CC2a	Paikallisen vaurion rajaaminen rakenteellisin keinoin sallittuun rajaan	• Staattisen määräämättömyyden lisäys • Rakenneliitosten sitkeys • Riittävästi jäykistäviä rakenteita • Pääkannattimien stabiilius vaurion jälkeen • Sekundäärirakenteet, jotka eivät aiheuta sortuma-alueen laajenemista	Vaihtoehtoiset kuormansiirtoreitit
CC2b			
CC3a			
CC3b	Riskiarviointi ennakoitavista ja ennakoimattomista vaaratilanteista + Riskiarvion tuloksesta riippumatta vähintään CC3a vaatimukset täytettävä		

Paikallinen vaurio

10/16 Ympäristöministeriön asetus rakenteiden onnettomuuskuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-7

4 §

Onnettomuusmitoitustilanteet – paikallisen vaurion laajuuden rajaaminen

2) Hallimaisissa rakennuksissa paikallisen vaurion laajuus voi pilarin vaurioituessa olla enintään pilariin tukeutuvien pääkannattajien yhteenlaskettu pituus kertaa pääkannattajien väli kerrottuna kahdella. Pääkannattajien ollessa ulkoseinälinjalla paikallisen vaurion laajuus voi olla pilariin tukeutuvien pääkannattajien yhteenlaskettu pituus kertaa pääkannattajien väli.

Jos hallimaisen rakennuksen pääkannattajana toimii kaari tai vastaava rakenne, jossa ei ole erillisiä pilareita, paikallisen vaurion laajuus saa olla pääkannattajan pituus kertaa pääkannattajien väli kerrottuna kahdella. Pääkannattajan ollessa ulkoseinälinjalla paikallisen vaurion laajuus voi olla pääkannattajan pituus kertaa pääkannattajan väli.

Mikäli hallimaisen rakennuksen pystyrunkona käytetään kantavia seiniä, paikallisen vaurion laajuus voi olla seinän kannattamien vaakarakenteiden pituus kerrottuna mitalla $2H$, jossa H on kantavan seinän korkeus.

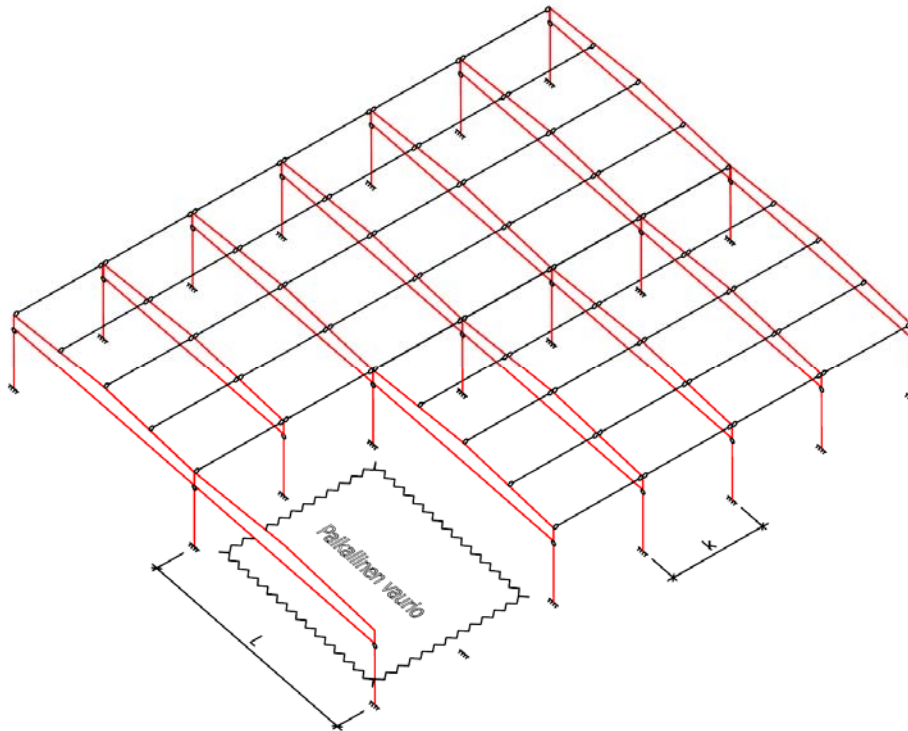
Vaurio voi tapahtua hallimaisissa rakennuksissa vain yhdessä kerroksessa.

Puuhalli

Seuraamusluokka CC2 ja CC3

Menetelmä

- Paikallisen vaurion rajaaminen



Paikallinen vaurio

Yksilaivainen halli

Menetettävä rakenneosa: mastopilarikehän reunapilari, kaari, 3-nivelkehä

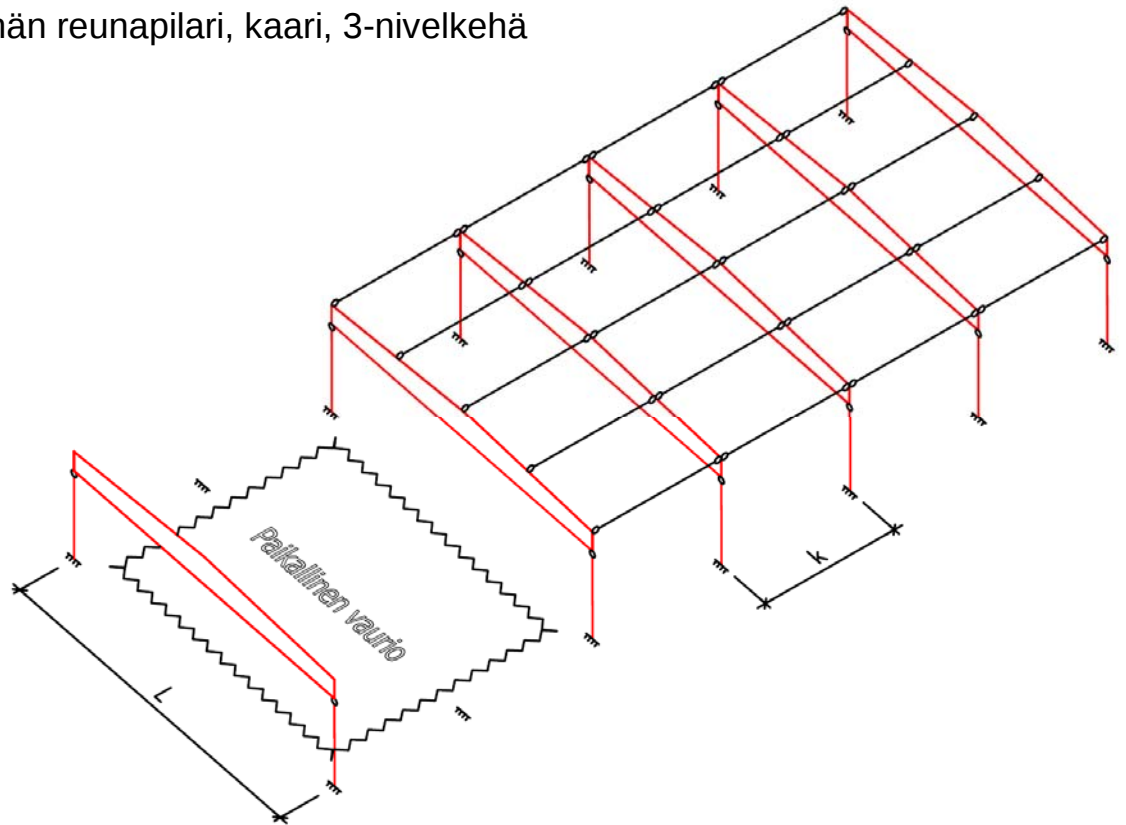
$$A = 2 \cdot (L \cdot k)$$

jossa

A = sallittu paikallisen vaurion laajuus

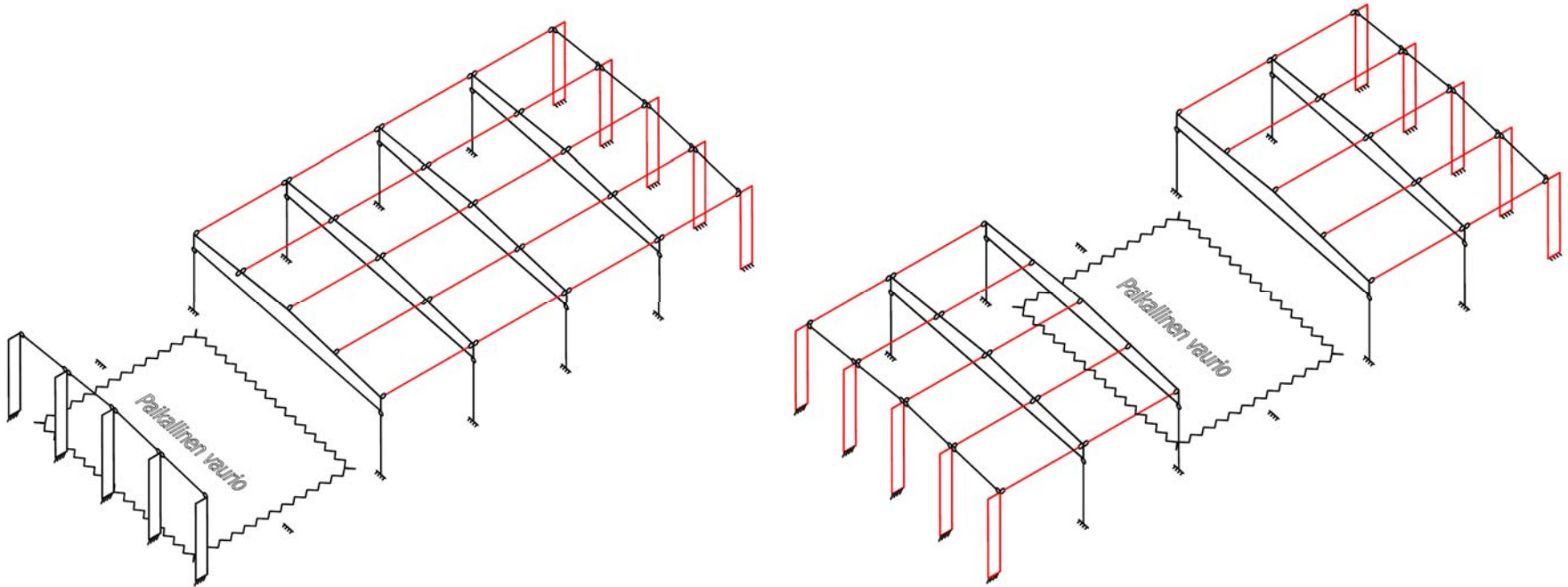
L = pääkannattimen jänneväli

k = pääkannatinjako



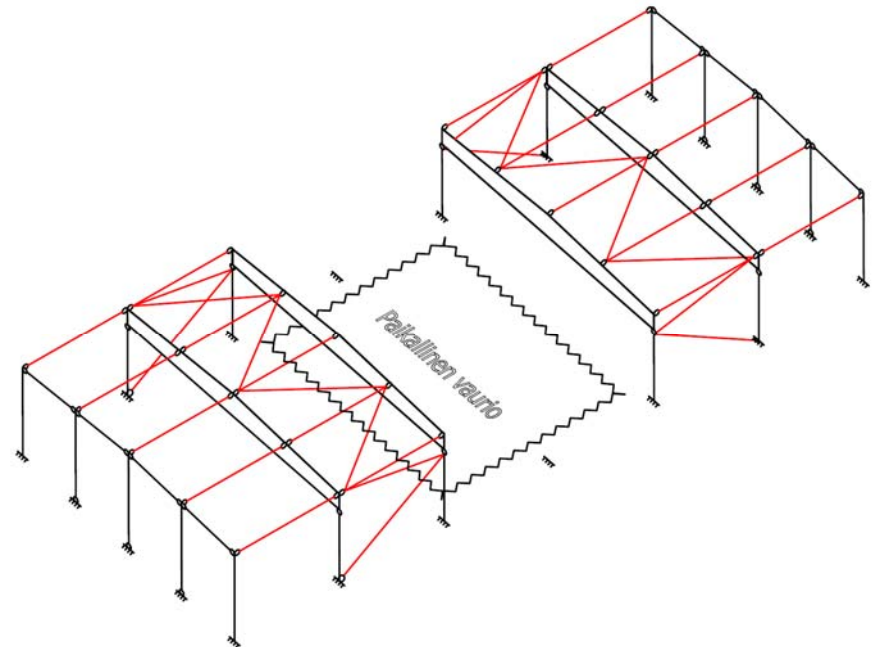
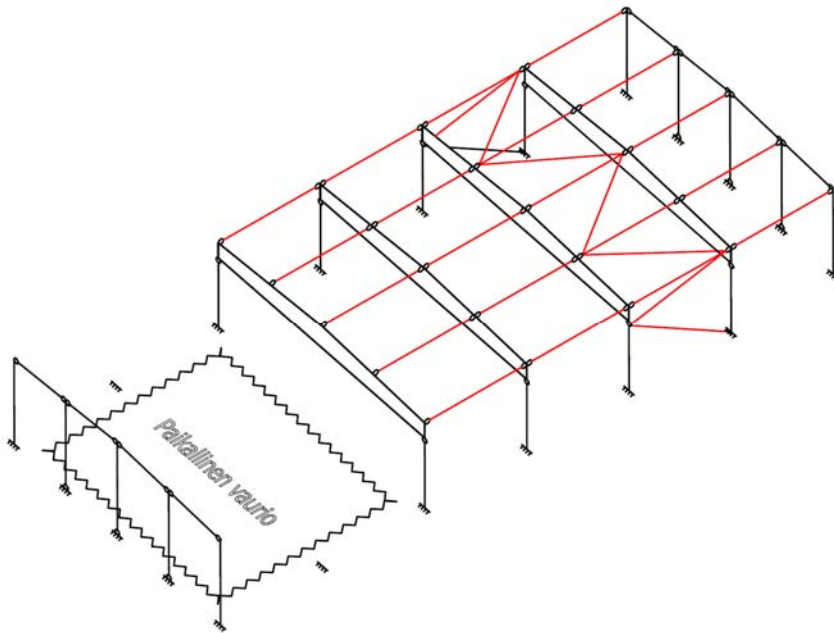
Pituussuuntainen jäykistäminen

Mastopilarit



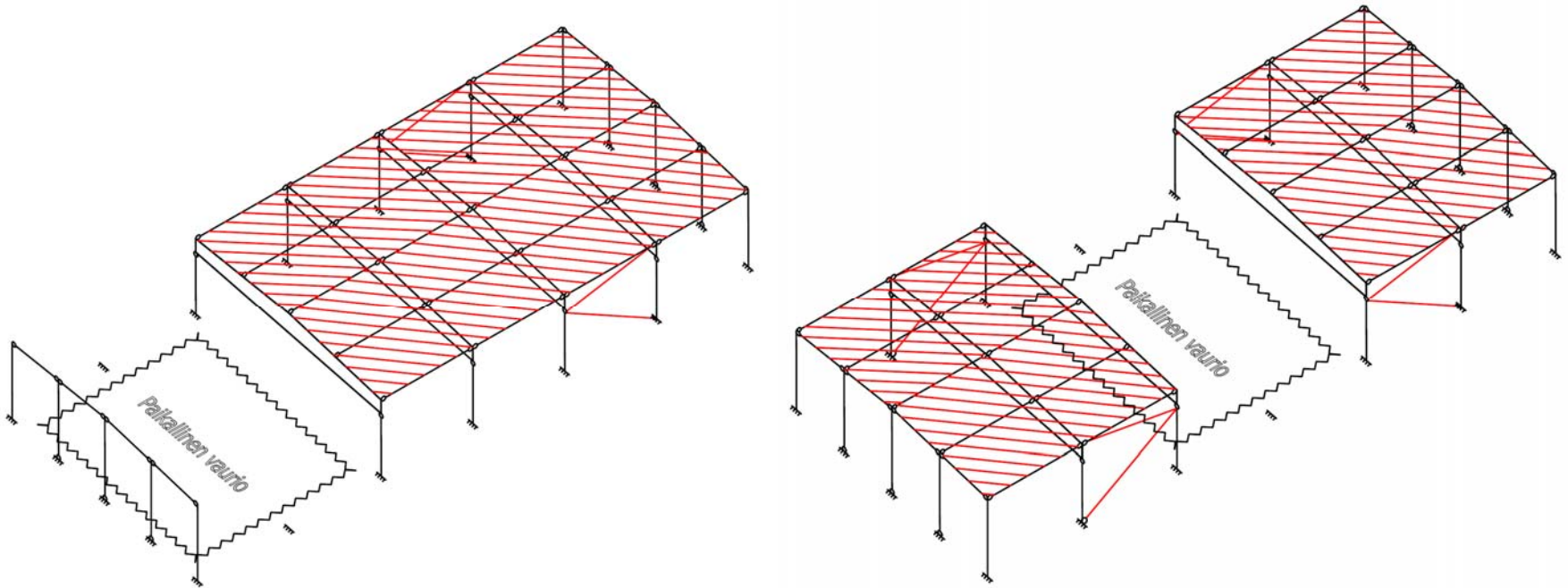
Pituussuuntainen jäykistäminen

Jäykisteristikot



Pituussuuntainen jäykistäminen

Levyjäykistys



Paikallinen vaurio

Monilaivainen halli

Menetettävä rakenneosaa: mastopilarikehän reunapilari, kaari, 3-nivelkehä

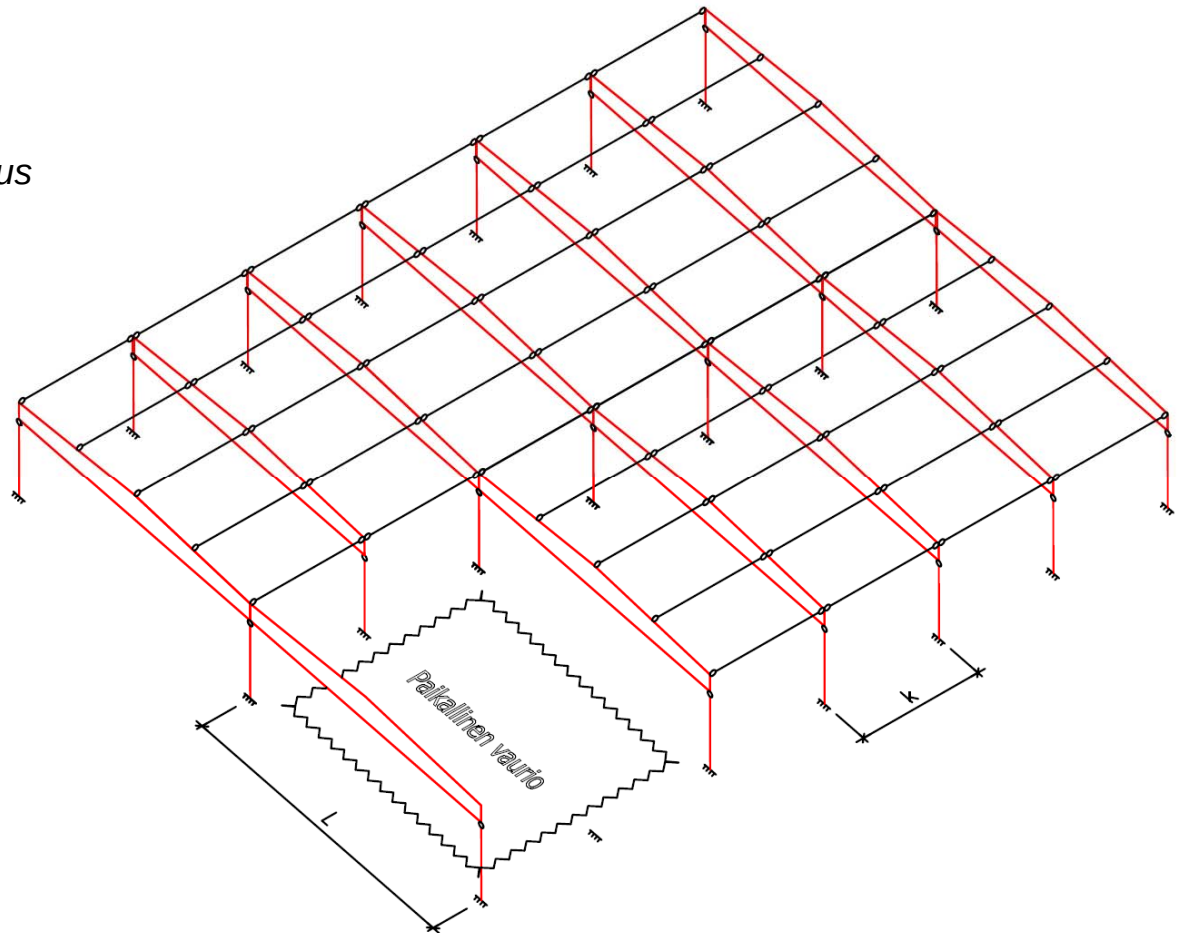
$$A = 2 \cdot (L \cdot k)$$

jossa

A = sallittu paikallisen vaurion laajuus

L = pääkannattimen jänneväli

k = pääkannatinjako



Monilaivainen halli

Menetettävä rakenneosasta: mastopilarikehien keskipilari

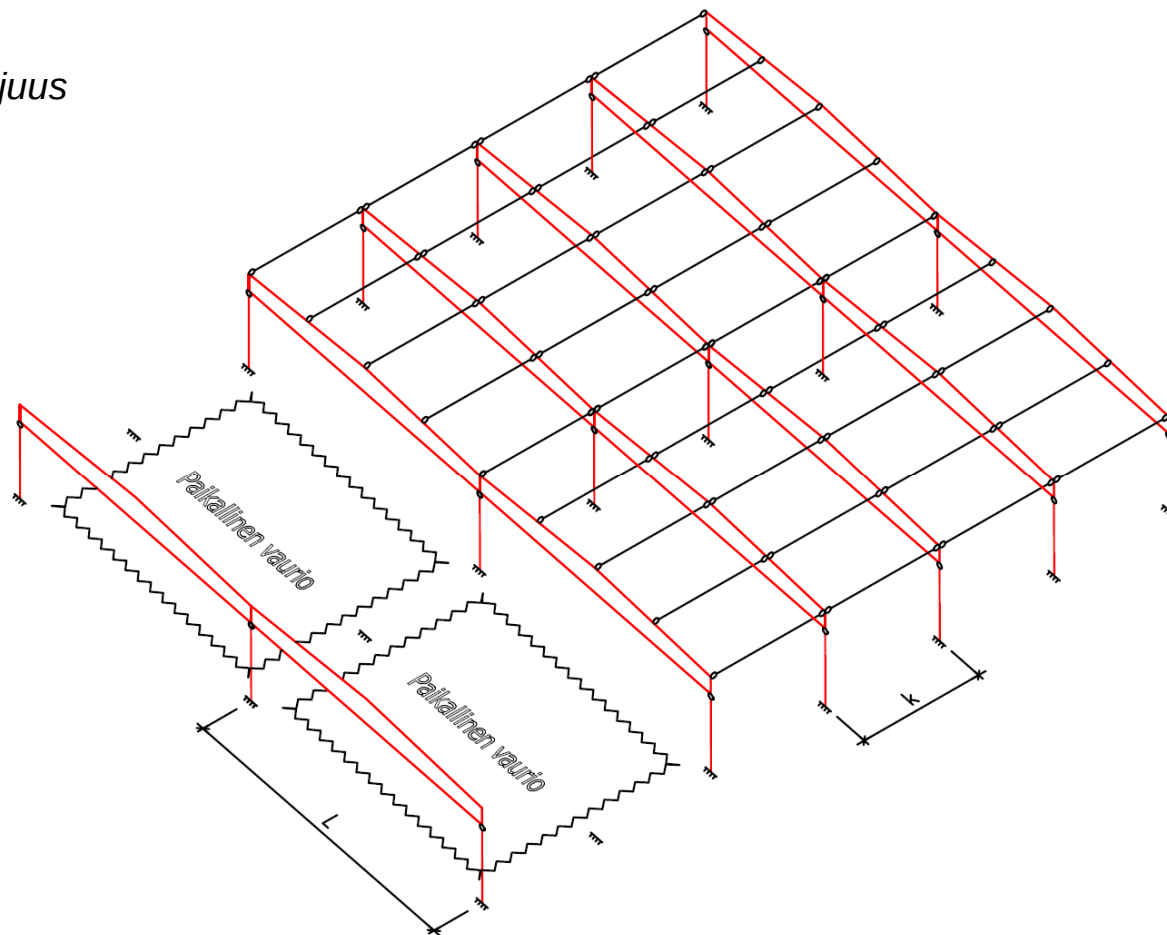
$$A = 4 \cdot (L \cdot k)$$

jossa

A = sallittu paikallisen vaurion laajuus

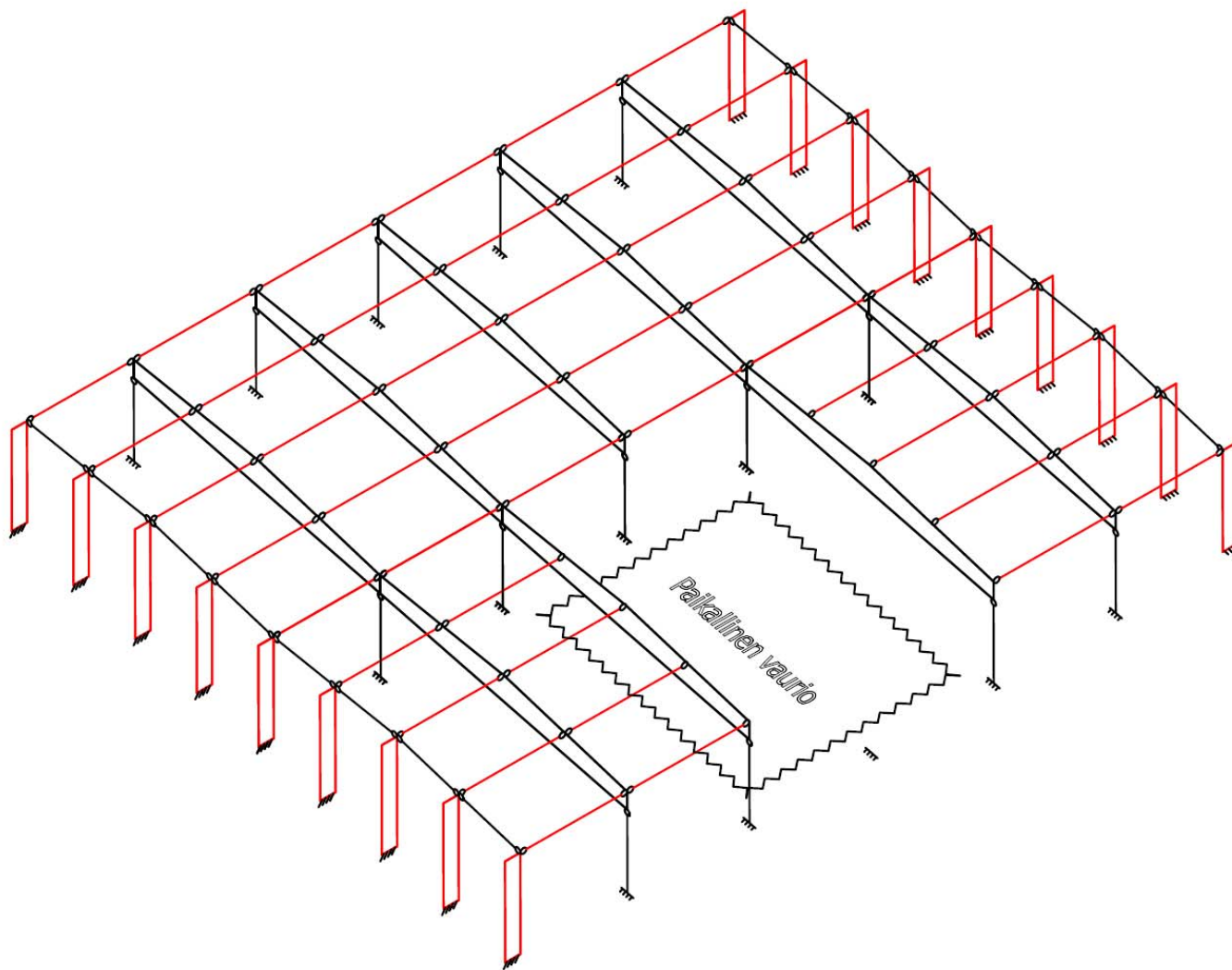
L = pääkannattimen jänneväli

k = pääkannattinjakso



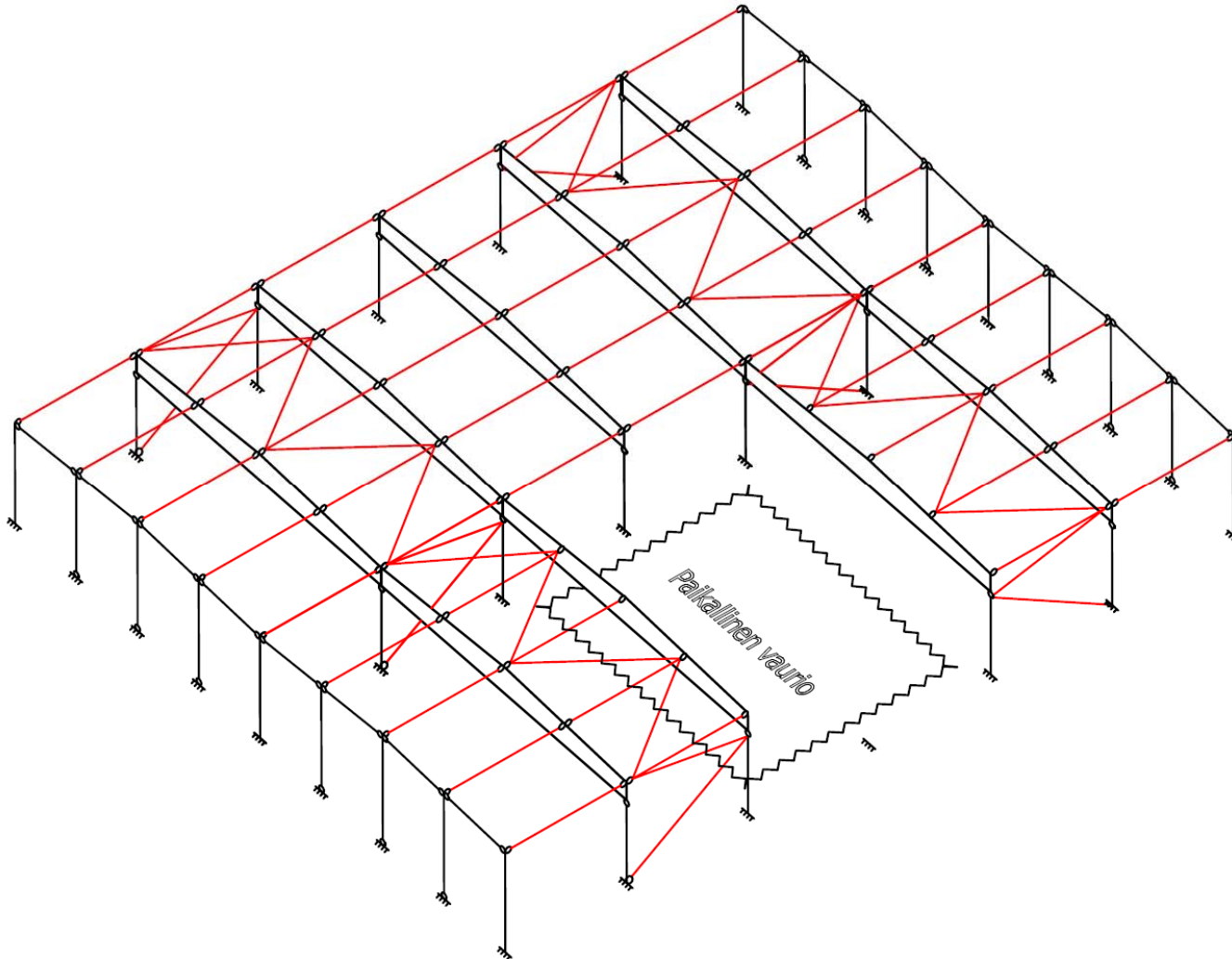
Pituussuuntainen jäykistäminen

Mastopilarit



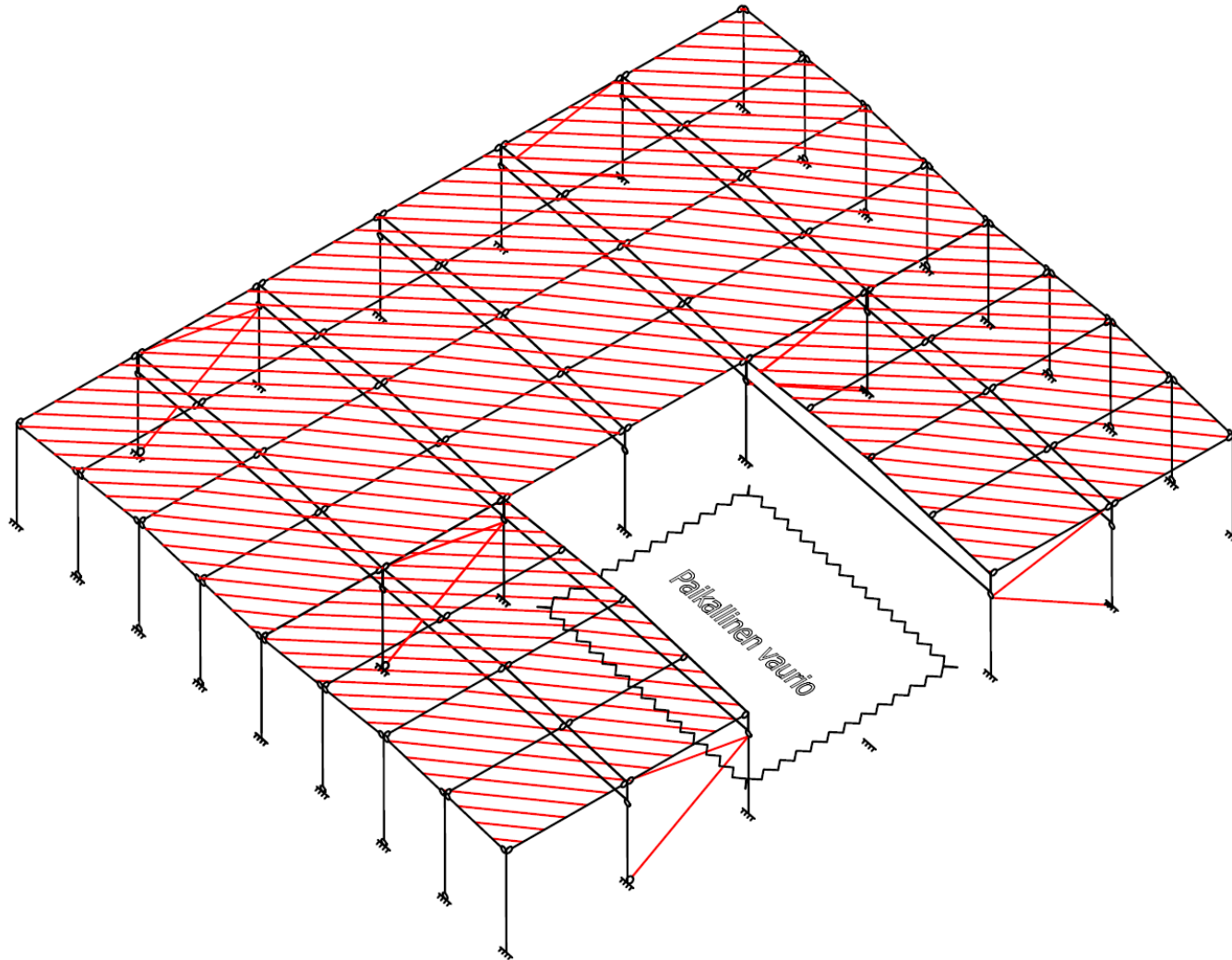
Pituussuuntainen jäykistäminen

Jäykisteristikot



Pituussuuntainen jäykistäminen

Levyjäykistys



Paikallinen vaurio

Pääkannattimet hallin pituussuuntaan

Menetettävä rakenneosaa: reunalinjan pääkannatin

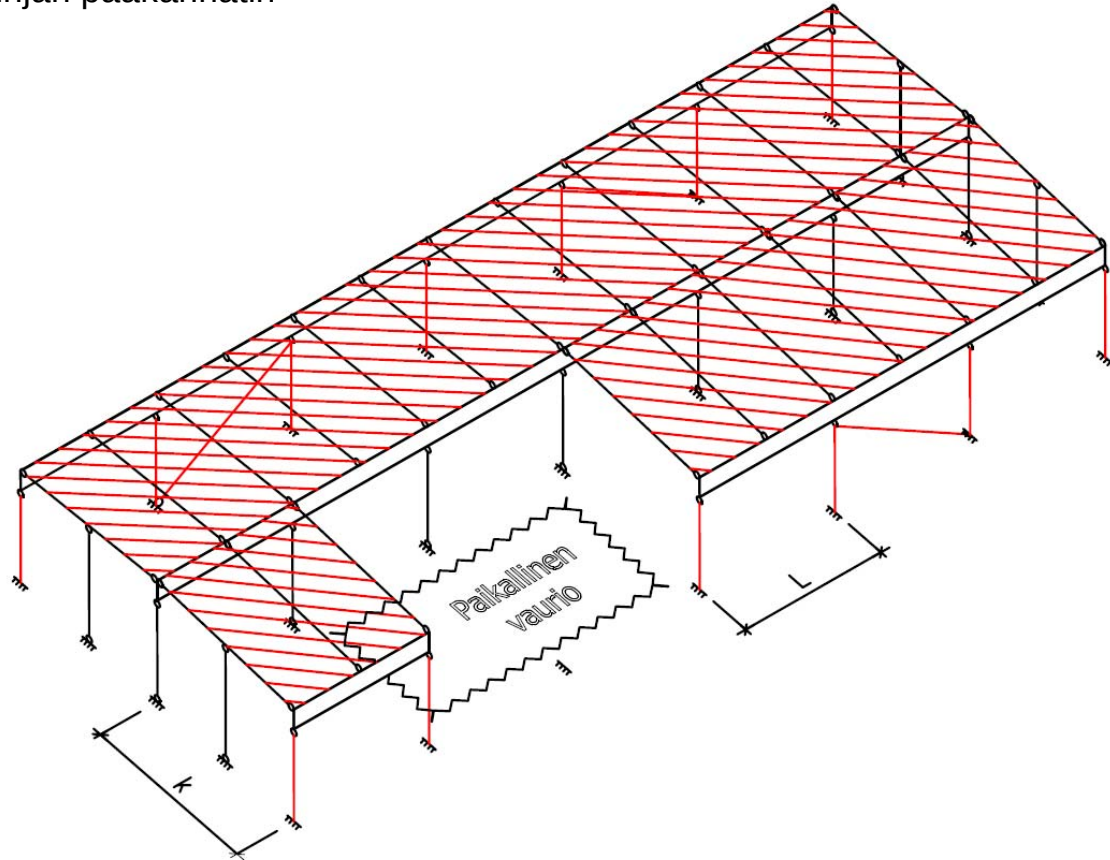
$$A = 2 \cdot (L \cdot k)$$

jossa

A = sallittu vaurion laajuus

L = pääkannattimen jänneväli

k = pääkannatinjako



Pääkannattimet hallin pituussuuntaan

Menetettävä rakenneosa: keskilinjän pääkannatin

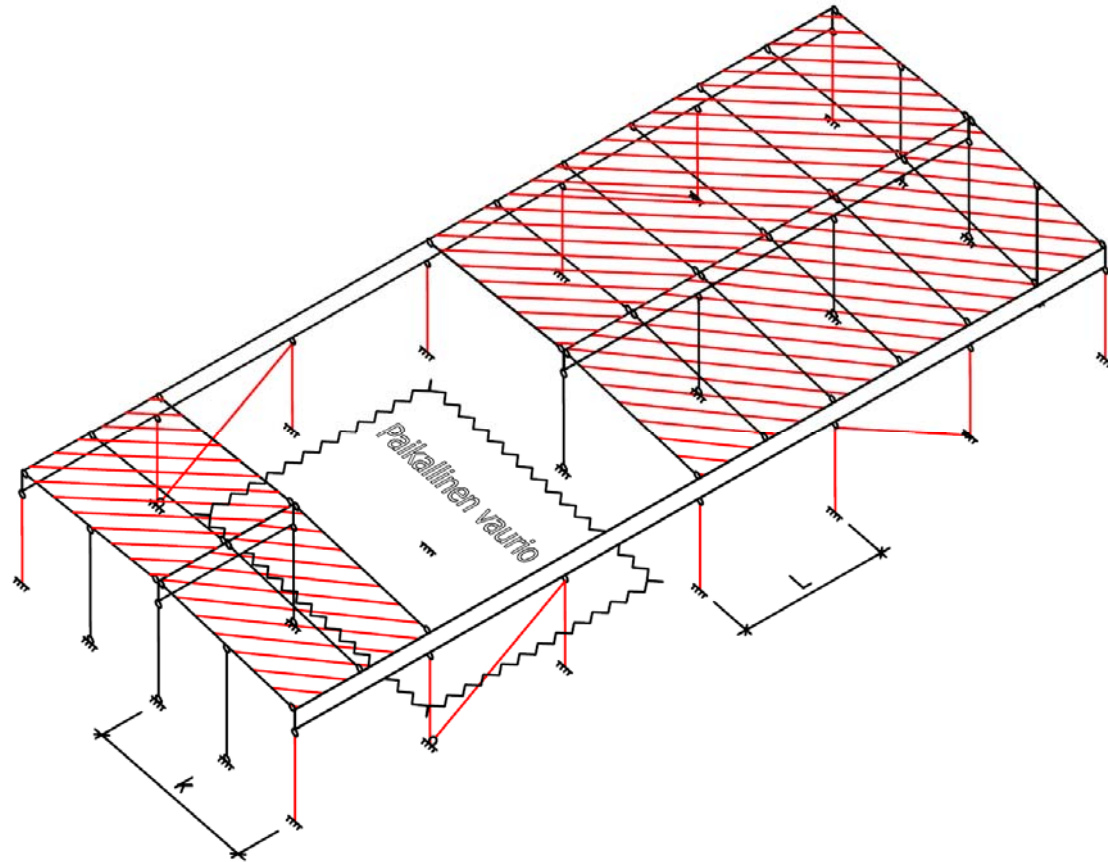
$$A = 4 \cdot (L \cdot k)$$

jossa

A = sallittu vaurion laajuus

L = pääkannattimen jänneväli

k = pääkannatinjako



Kantavaseinäinen halli

Menetettävä rakenneosaa: reunalinjan kantava seinä

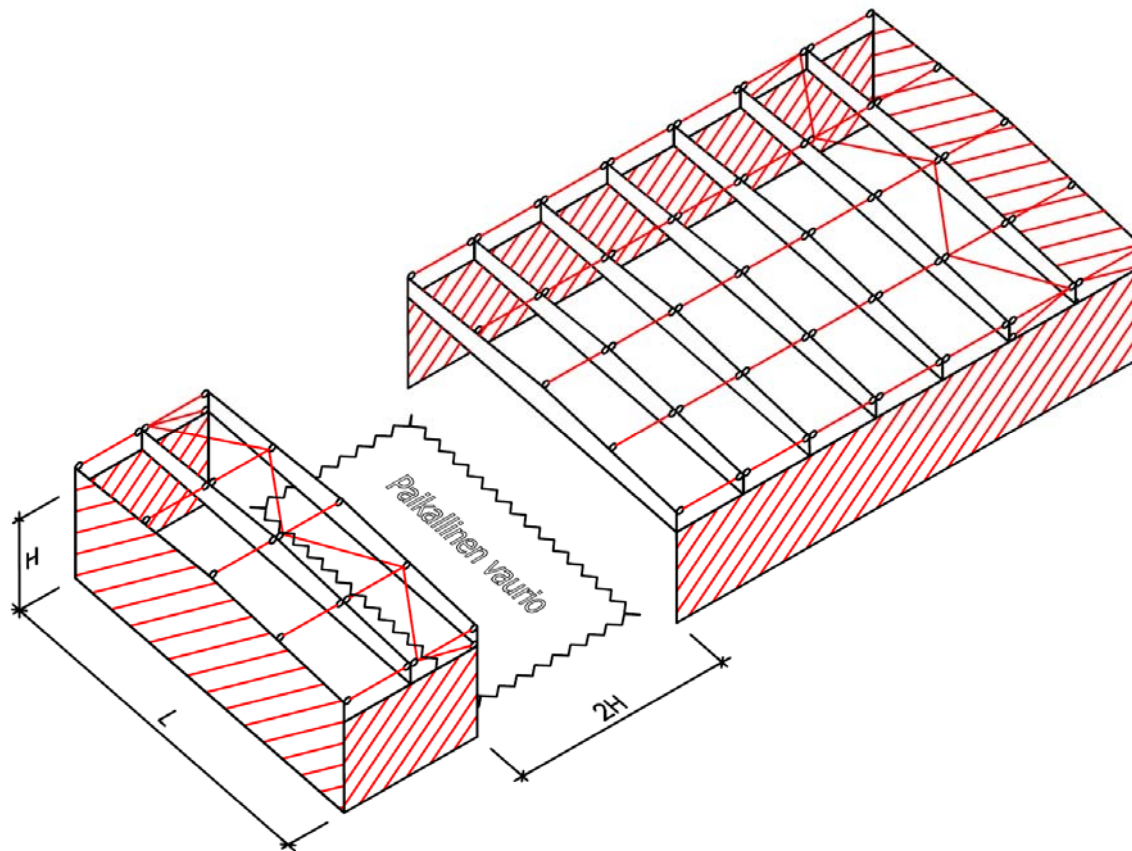
$$A = L \cdot 2 \cdot H$$

jossa

A = sallittu vaurion laajuus

L = pääkannattimen jänneväli

H = kantavan seinän korkeus



Kantavaseinäinen halli

Menetettävä rakenneosa: keskilinjän kantava seinä

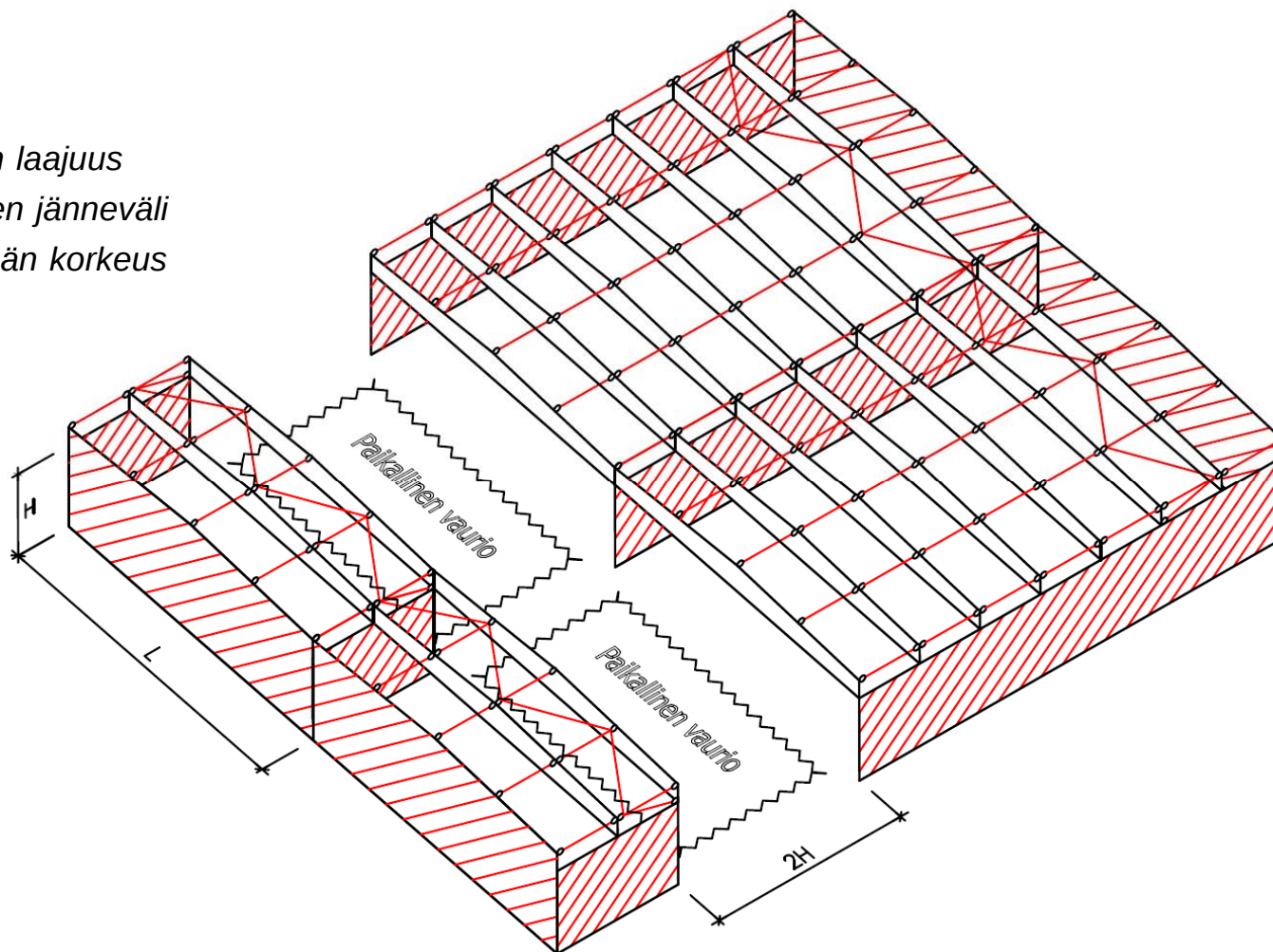
$$A = 2 \cdot (L \cdot 2 \cdot H)$$

jossa

A = sallittu vaurion laajuus

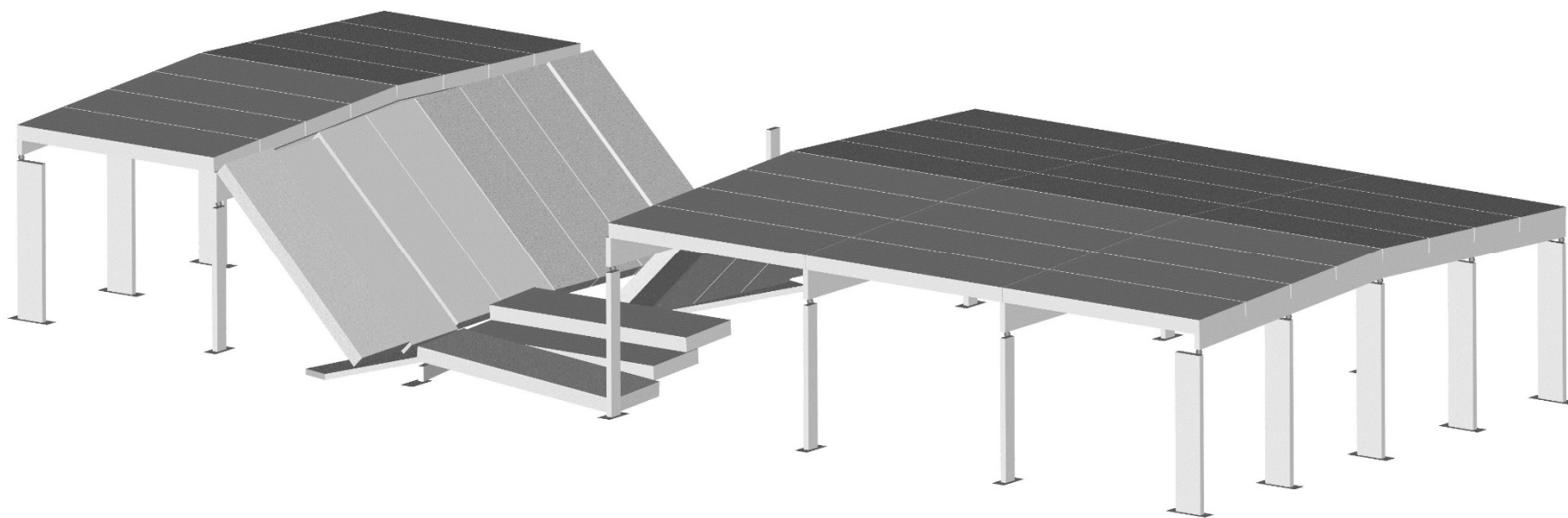
L = pääkannattimen jänneväli

H = kantavan seinän korkeus



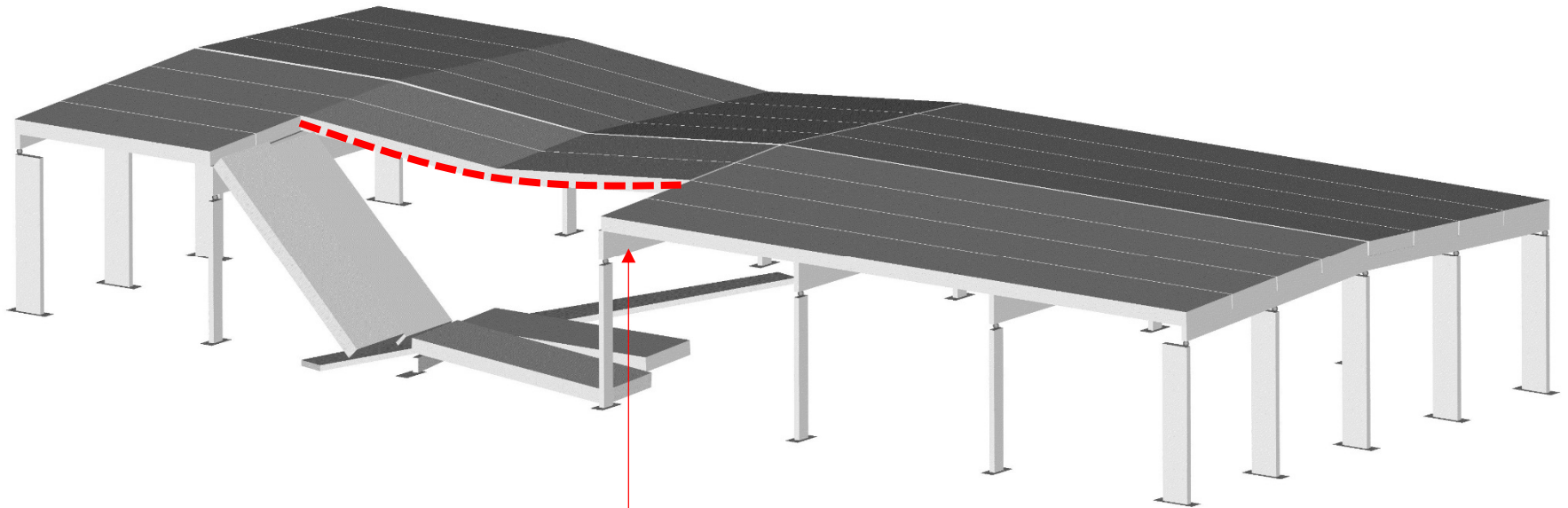
Paikallinen vaurion rajaaminen

1-aukkoiset kattoelementit



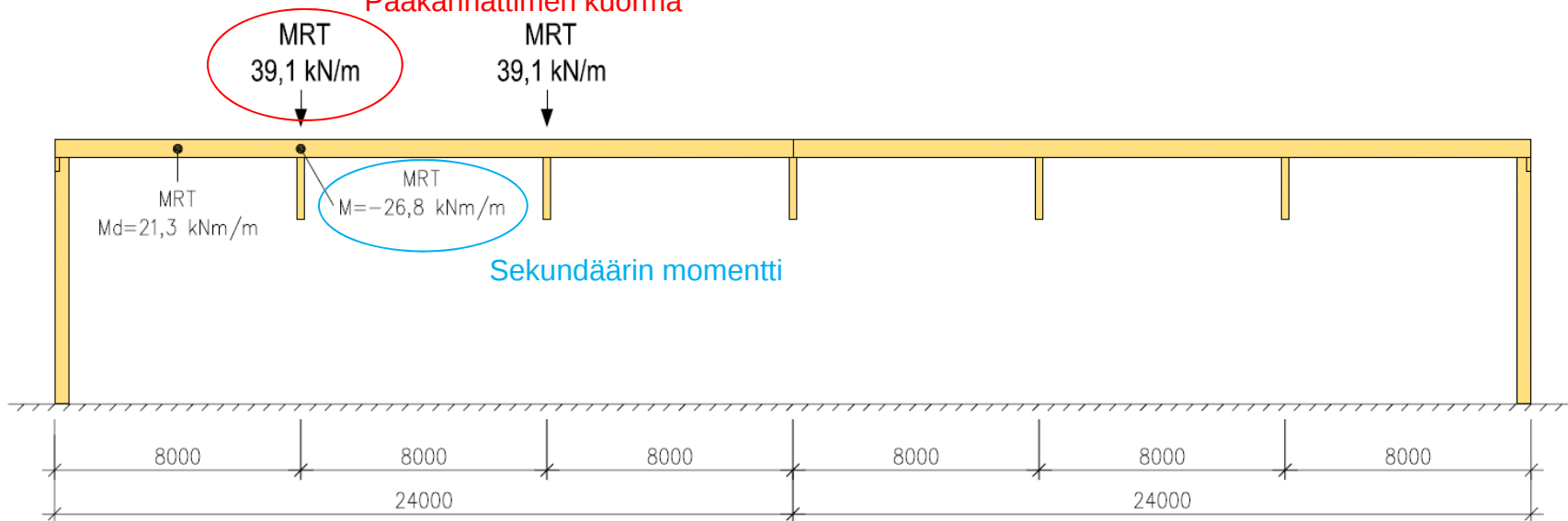
Paikallinen vaurion rajaaminen

Moniaukkoiset kattoelementit

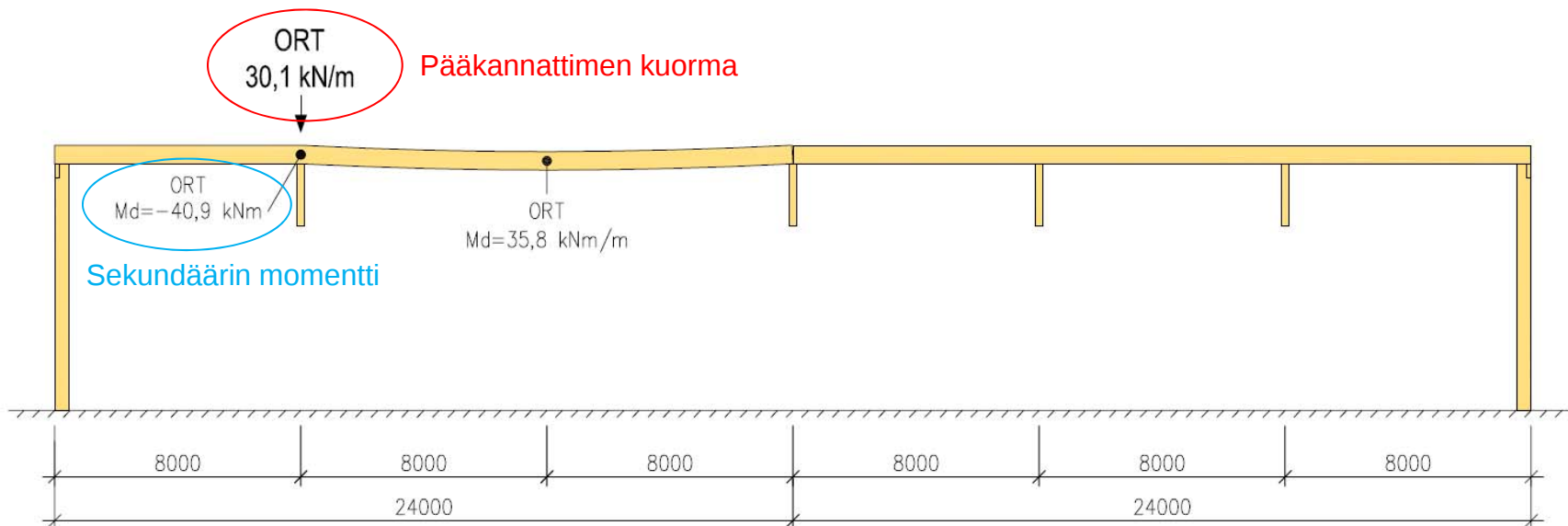


Pääkannattimen kestävyys, kun kattoelementit jäävät kantamaan kuormaa kahden kehävälän matkalle ??

Pääkannattimen kuorma

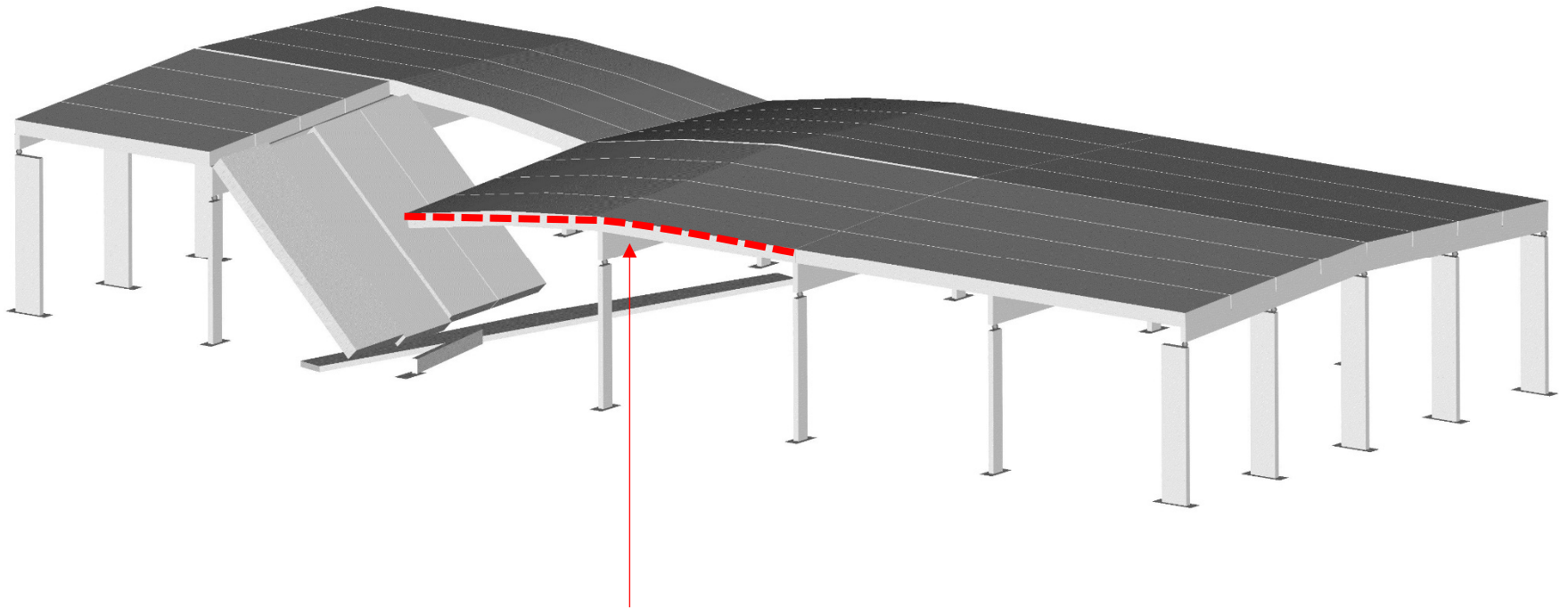


Pääkannattimen kuorma

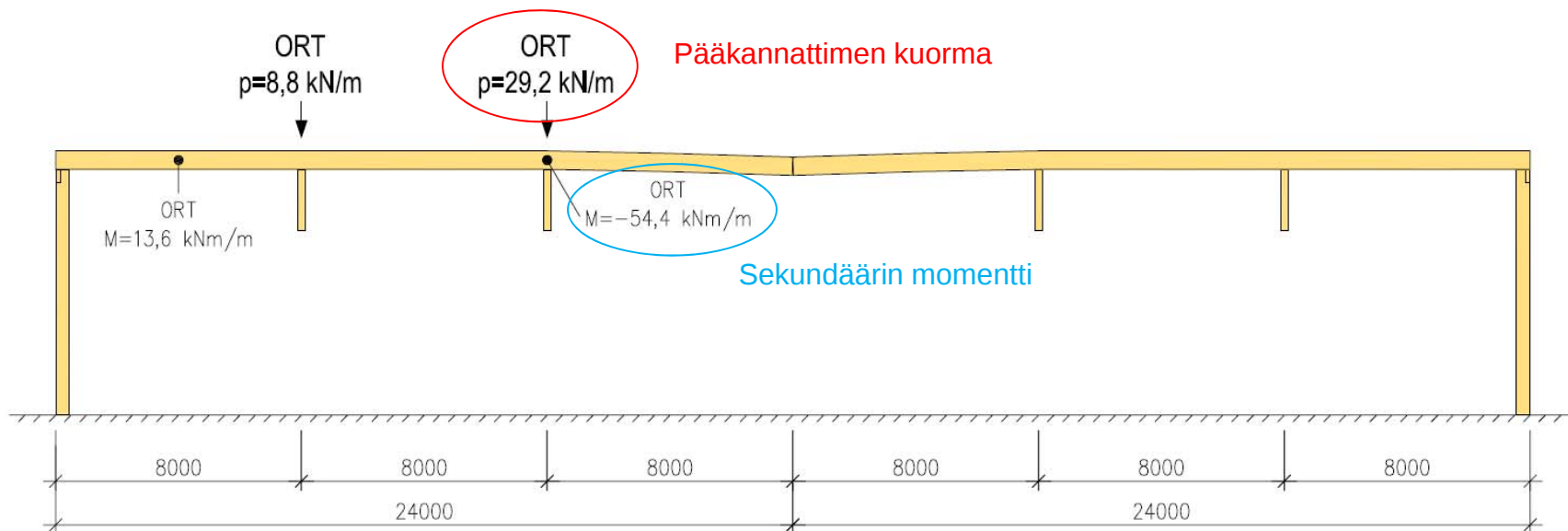
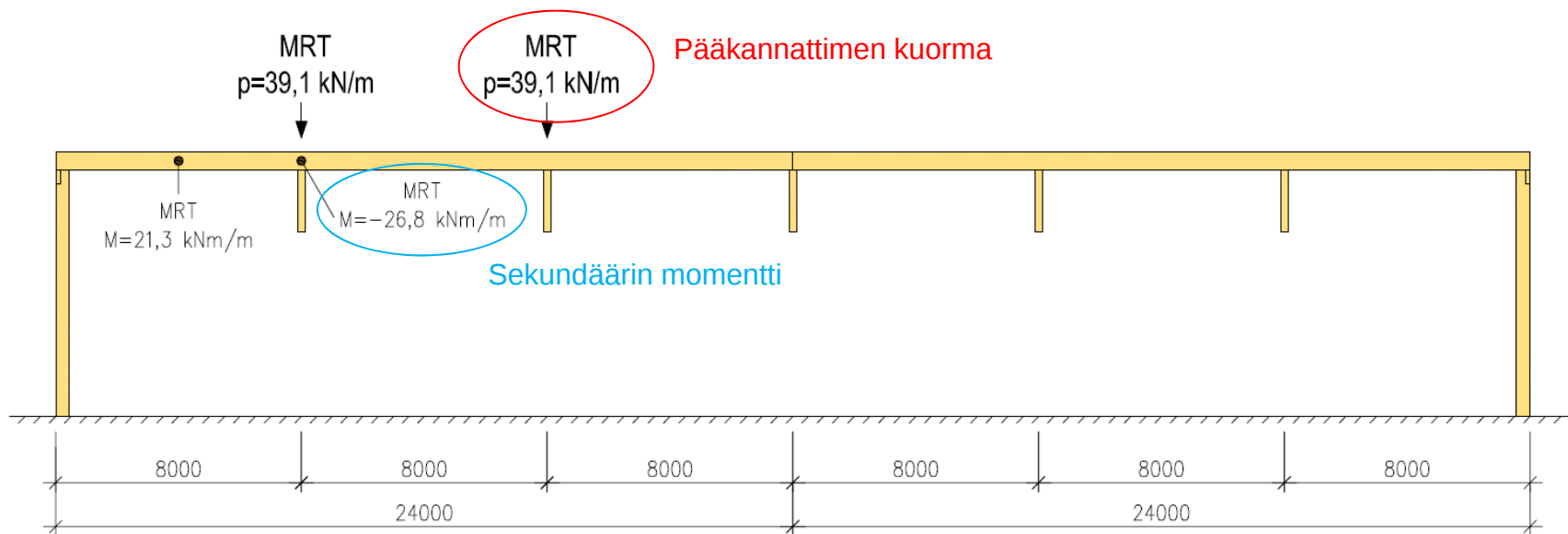


Paikallinen vaurion rajaaminen

Moniaukkoiset kattoelementit

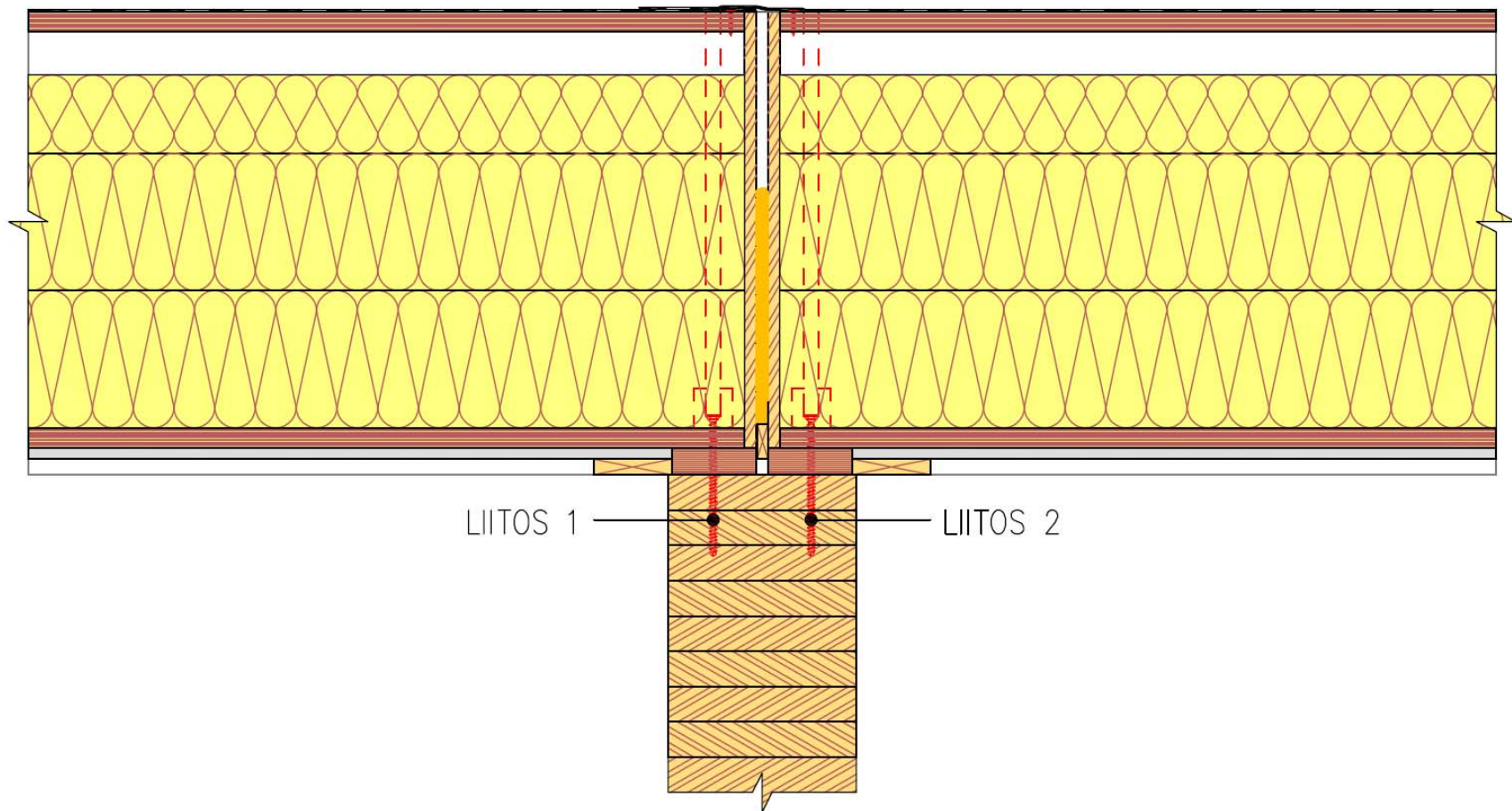


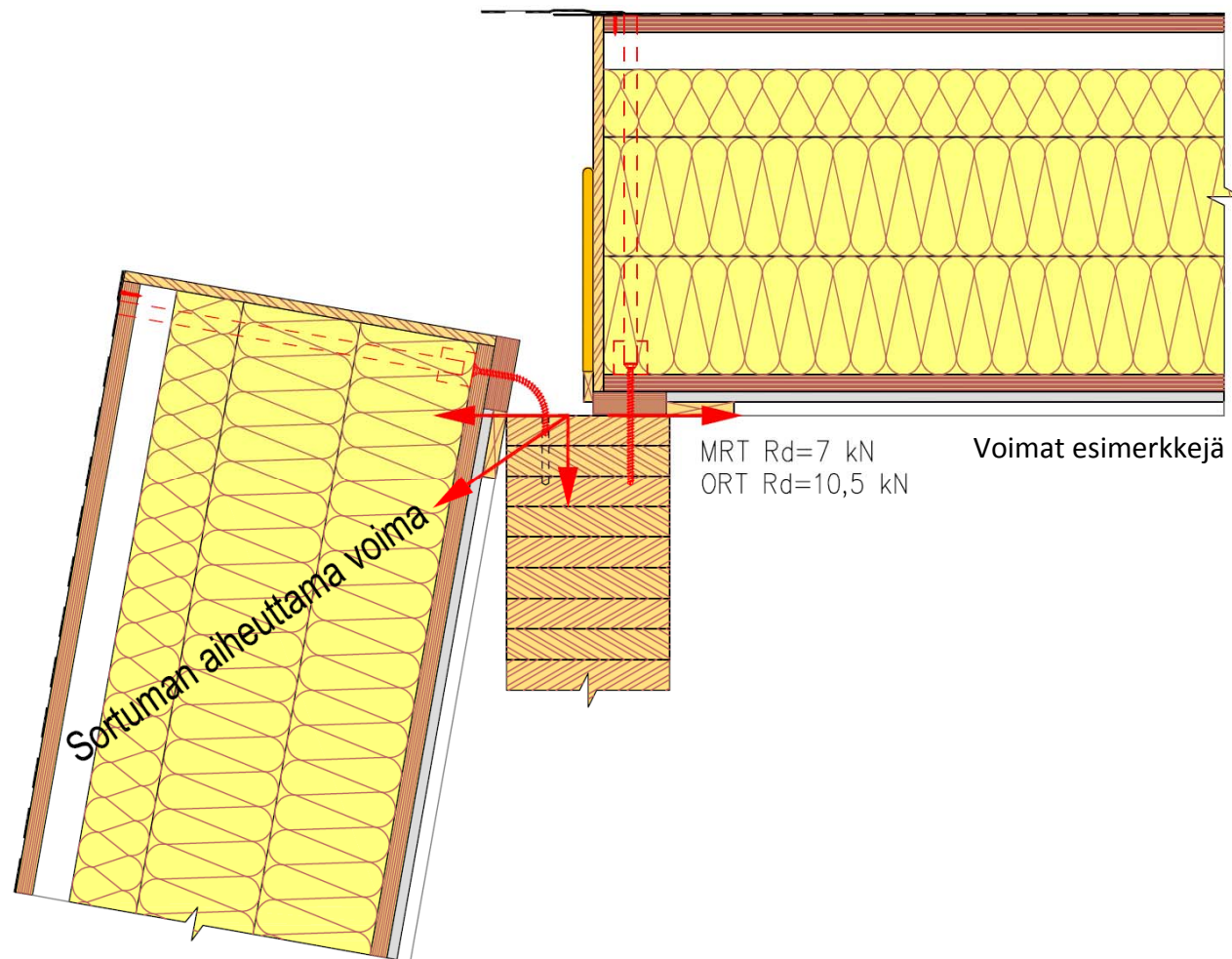
Pääkannattimen kestävyys, kun kattoelementit jäävät kantamaan kuormaa ulokkeena ??



Kattoelementin liitokset

1-aukkoiset kattoelementit





Jos 1-aukkoisen kattoelementin putoaminen aiheuttaa suuremman voiman kuin viereisen 1-aukkoisen kattoelementin liitoksen kestävyys, saattaa myös viereisen kattoelementin liitos rikkoutua ja kattoelementti pudota tuelta, jolloin sortuma jatkuu.

Yhteenveto

1-kerroksinen halli



SUUNNITTELU JATKUVAN SORTUMAN NÄKÖKULMASTA

- Paikallisen vaurion rajaaminen
- Stabiilitetti onnettomuustilanteessa
- Kattorakenteiden liitosten sitkeys ja kestävyys
- 1-aukkoisten kattoelementtien liitosten sitkeys ja kestävyys
- Sekundäärirakenteiden tulisivat olla sellaisia, että ne jäävät ylös, vaikka pääkannatin putoaa