

### 1.0 JOHDANTO

Tässä osassa käsitellään yksittäisen kantavan rakenteen ja näistä koostuvan rakennekokonaisuuden nurjahdus-/kiepahdustuentaa sekä primäärirungon kokonaisjäykistystä massiivipuurunkoisessa hallissa. Jäykistyssysteemin rasitusten syntymekanismit käsitellään seuraavien tekijöiden näkökulmasta:

- jäykistyssysteemin sisäiset voimat (syntyvät kiepahduksesta, nurjahduksesta jne.)
- ulkoiset kuormat (tuulikuorma, lisävaakavoima, siltanosturin jarrukuorma jne.)

#### 1.1 Käsitteitä

*Kiepahduksen / nurjahduksen 1. muoto:* Kantava rakenne nurjahtaa tai kiepahtaa yhteen suuntaan

*Kiepahduksen / nurjahduksen 2. muoto:* Kantava rakenne nurjahtaa tai kiepahtaa s-muotoon

*Suljettu jäykistyssysteemi:* Jäykistävän rakenteen tukireaktiot on palautettu jäykistettävälle rakenteelle/rakennekokonaisuudelle nurjahdus-/kiepahdusaallon 0-kohtaan aiheuttamatta ulkoisia voimia

*Ei-suljettu jäykistyssysteemi:* Jäykistävän rakenteen tukireaktioita ei ole palautettu jäykistettävälle rakenteelle/rakennekokonaisuudelle vaan ne aiheuttavat ulkoisia voimia

*Rakennekokonaisuus:* Palkeista tai pilareista tai ristikoista yms. kantavista rakenteista koostuva kokonaisuus

#### 1.2 Vaatimukset jäykistysuunnittelulle

Rakennuksen jäykistysuunnittelu pitää sisällään sekä yksittäisten kantavien rakenteiden ja näistä koostuvan rakennekokonaisuuden että koko rakennuksen jäykistysuunnittelun. Eurokoodi 5 määrittelee, että yksittäisen kantavan rakenteen ja näistä koostuvan rakennekokonaisuuden jäykistysuunnittelussa tulee huomioida nurjahduksen-/kiepahduksen eri muodot (1. muoto ja 2. muoto). Eurokoodi 5 asettaa vaatimuksen myös stabiliteettituen jäykyydelle. Tämä tarkoittaa, että yksittäisen kantavan rakenteen stabiliteettituelle määritetään vaadittava jäykkyys (jousivakio) ja tämän jäykkyysvaatimuksen tulee toteutua suunnitteluratkaisussa huomioiden koko jäykistyssysteemin jäykkyys. Jäykistyssysteemi saa siis joustaa vain tiettyyn rajaan saakka, jotta kyseinen systeemi voisi toimia stabiliteettitukena.

Yksittäisten kantavien rakenteiden ja näistä koostuvan rakennekokonaisuuden jäykistysuunnittelussa on kysymyksessä yleensä seuraavat ilmiöt:

- nurjahdus
- kiepahdus
- yhdistetty nurjahdus ja kiepahdus

Edellä mainituista ilmiöissä jäykistyssysteemiin syntyy voimia kantavan rakenteen stabiliteetin menetyksen seurauksena. Mikäli jäykistyssysteemi on suljettu, voidaan kyseisiä voimia pitää jäykistyssysteemin sisäisinä voimina, jolloin niitä ei tarvitse viedä perustuksille.

Koko rakennuksen jäykistysuunnittelussa on kysymyksessä yleensä seuraavat ilmiöt:

- tuulikuorma pyrkii kaatamaan rakennuksen tai rakennekokonaisuuden (esim. palkistokenttä)
- lisävaakavoima pyrkii kaatamaan rakennuksen tai rakennekokonaisuuden
- hallinosturin jarrukuorma pyrkii kaatamaan rakennuksen tai rakennekokonaisuuden
- ei-suljetun jäykistyssysteemin tukireaktiot eivät palaudu tuettavalle rakenteelle/rakennekokonaisuudelle

Edellä mainitut vaakakuomat aiheuttavat suoraan tai epäsuorasti rasituksia rakennuksen jäykistyssysteemiin. Kyseiset vaakakuomat ovat ulkoisia, joten kyseisten kuormien aiheuttamat voimat tulee aina viedä tapauksesta riippuen perustuksille tai rakenteen/rakennekokonaisuuden tuelle.

Jäykistysuunnittelussa tulee aina huomioida myös palotilanne, mikäli rakennukselle on asetettu palonkestävyysvaatimuksia. Myös muut erilaiset onnettomuustilanteet voivat tulla kysymykseen.

### Katso myös

Osa [1 Hallien paloluokat](#)

Osa [3 Runkotyypit](#)

Osa [16 Rakennetyypit](#)

Osa [17 Liittymädetaljit](#)

## 2.0 JÄYKISTYSSYSTEEMIN VOIMAT

Jäykistyssysteemin voimat syntyvät seuraavista tekijöistä:

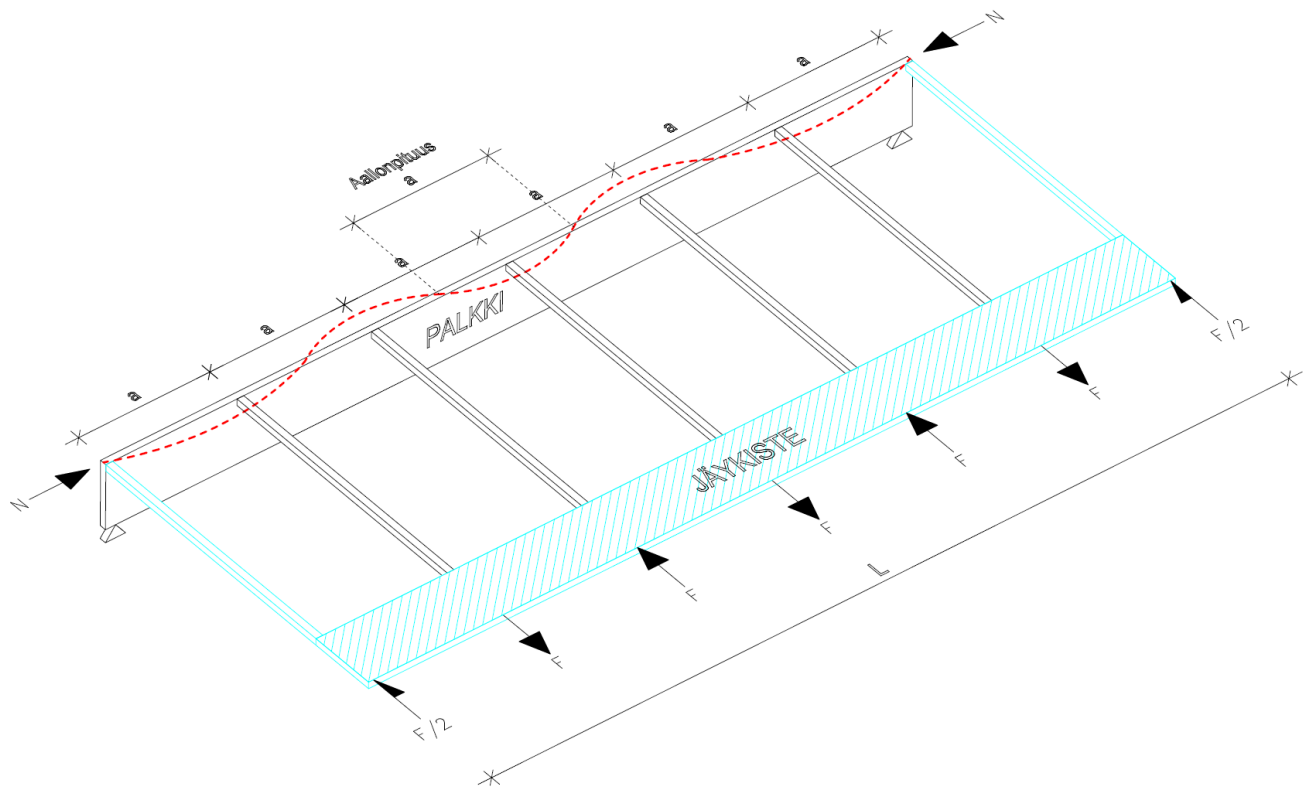
- rakenneosan s-kiepahdus / s-nurjahdus (*sisäinen voima, jos jäykistyssysteemi on suljettu*)
- rakenneosan kiepahdus / nurjahdus (*sisäinen voima, jos jäykistyssysteemi on suljettu*)
- tuulikuorma (*ulkoinen voima*)
- lisävaakavoima (*ulkoinen voima*)
- muut kuormat (esim. siltanosturin jarruvoima) (*ulkoinen voima*)

### 2.1 S-kiepahdus / S-nurjahdus (2. muoto)

S-kiepahdusmuodossa palkin yläreuna kiepahtaa vuorotellen eri suuntiin (kuvat 1 ja 2). Vastaavasti s-nurjahdusmuodossa puristussauva nurjahtaa vuorotellen eri suuntiin (kuvat 3 ja 4). S-muodossa jäykisteeseen syntyvät voimat ovat erisuuntaisia ja näin ollen kumoavat toisiaan. Eurokoodin mukaan s-muodossa stabiliteettituen mitoituksessa käsitellään lyhimpiä kiepahdus-/nurjahdusaallonpituuksia  $a$  ja  $2a$ . Tällöin stabiliteettitukeen syntyy yleensä suurin voima, kun aallonpituudella on vain yksi tuki, joka vastaanottaa voiman  $F$ . Kuten kuvista 1 ja 2 nähdään, syntyy jokaiseen tai joka toiseen stabiliteettitukeen voima  $F$ . Aallonpituuden päissä on aina voiman  $F$  vastakkais-suuntaiset voimat  $F/2$  (tukireaktio), jotka tietyissä tapauksissa kumoavat toisensa (tuen voima  $F=0$ ). Kuvissa 1...4 on esitetty suljettu jäykistyssysteemi, joka vastaanottaa voiman  $F$  ja palauttaa sen tukireaktiot  $F/2$  takaisin tuettavalle rakenneosalle tehden sen stabiiliksi. Suljetussa jäykistyssysteemissä sen ulkopuolelle ei synny ulkoisia voimia, koska kaikki voimat ovat systeemin sisällä.

$$F = \frac{N}{50} \text{ sahatavaralle}$$

$$F = \frac{N}{80} \text{ liimapuulle ja LVL:lle}$$



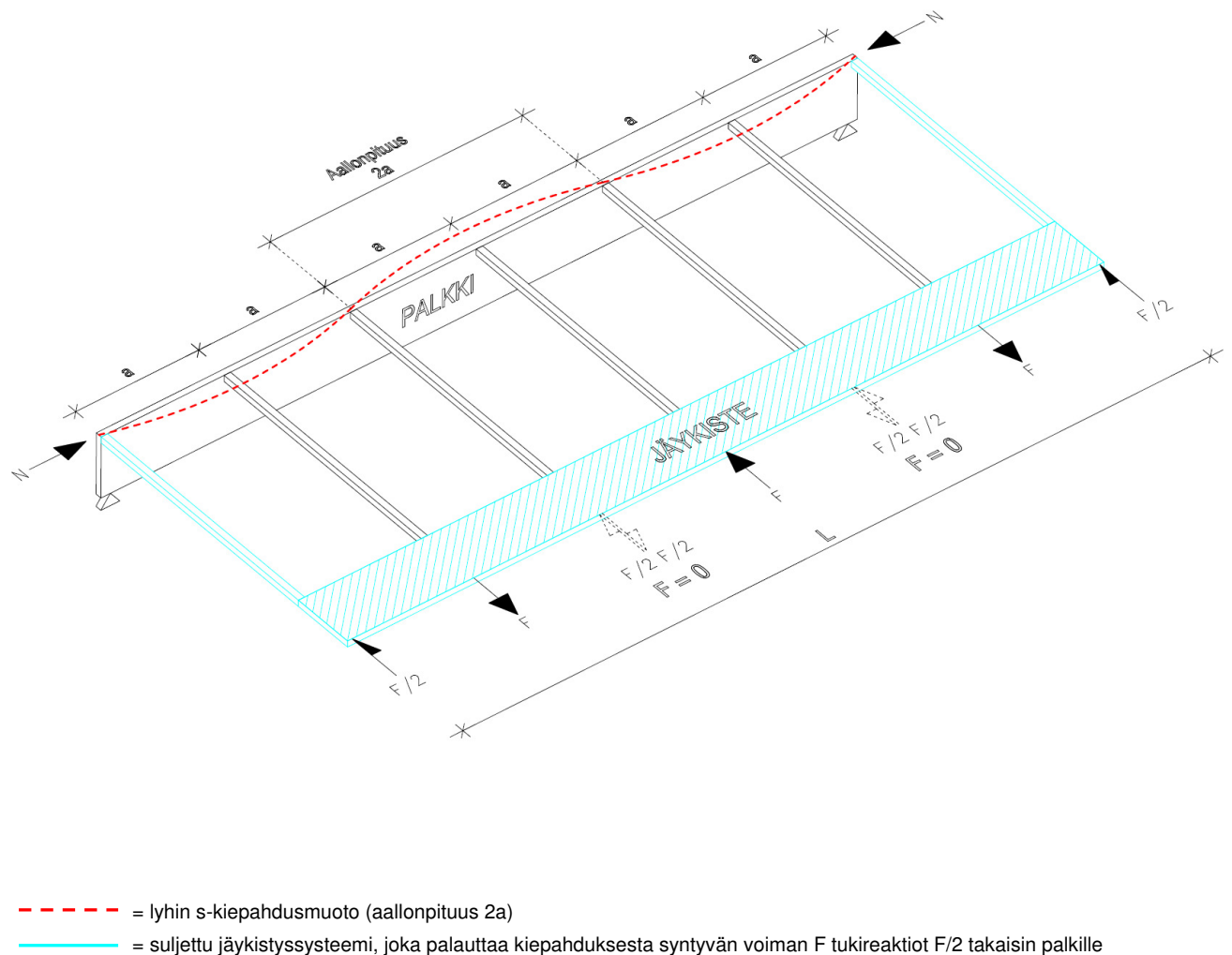
--- = lyhin s-kiepahdusmuoto (aallonpituus a)

— = suljettu jäykistysysteemi, joka palauttaa kiepahduksesta syntyvän voiman F tukireaktiot F/2 takaisin palkille

Kuva 1. Palkin s-kiepahdus (aallonpituus a) ja jäykistysysteemi, jolla palkin yläreuna tehdään stabiiliksi.

$$F = \frac{N}{50} \text{ sahatavaralle}$$

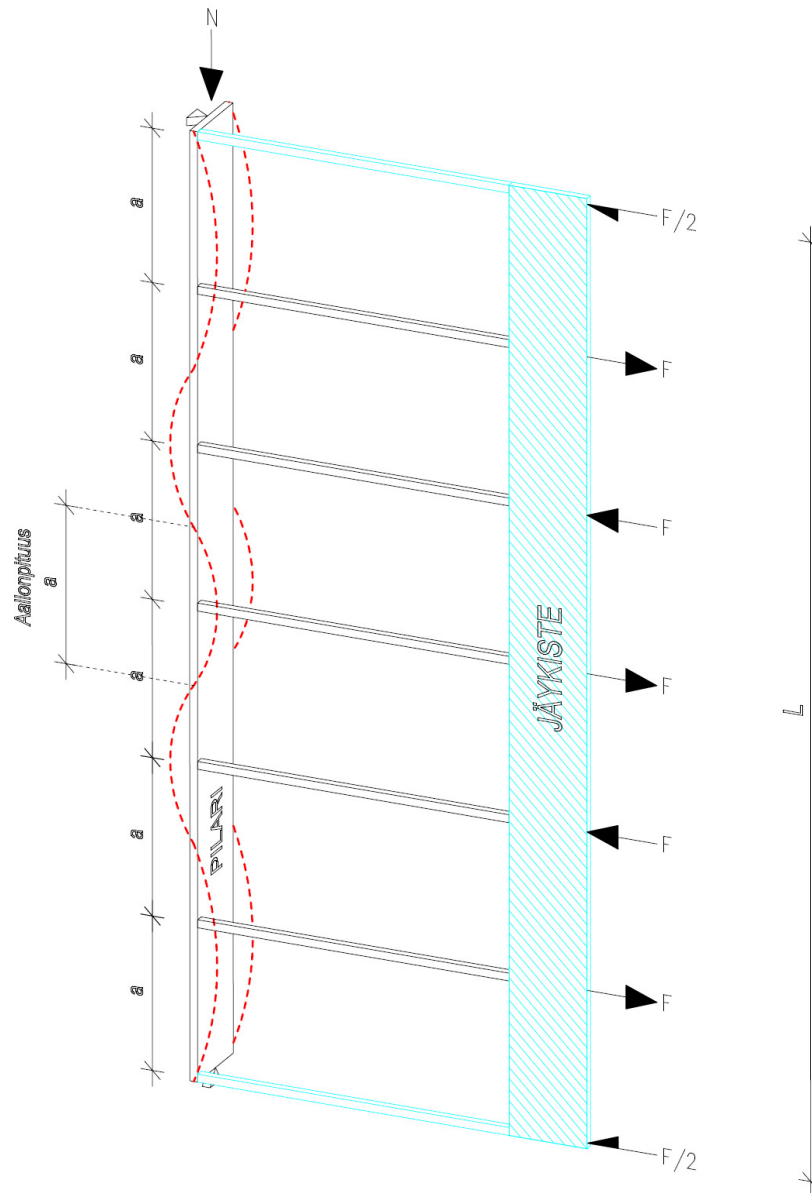
$$F = \frac{N}{80} \text{ liimapuulle ja LVL:lle}$$



Kuva 2. Palkin s-kiepahdus (aallonpituus 2a) ja jäykistyssysteemi, jolla palkin yläreuna tehdään stabiiliksi.

$$F = \frac{N}{50} \text{ sahataralle}$$

$$F = \frac{N}{80} \text{ liimapuulle ja LVL:lle}$$



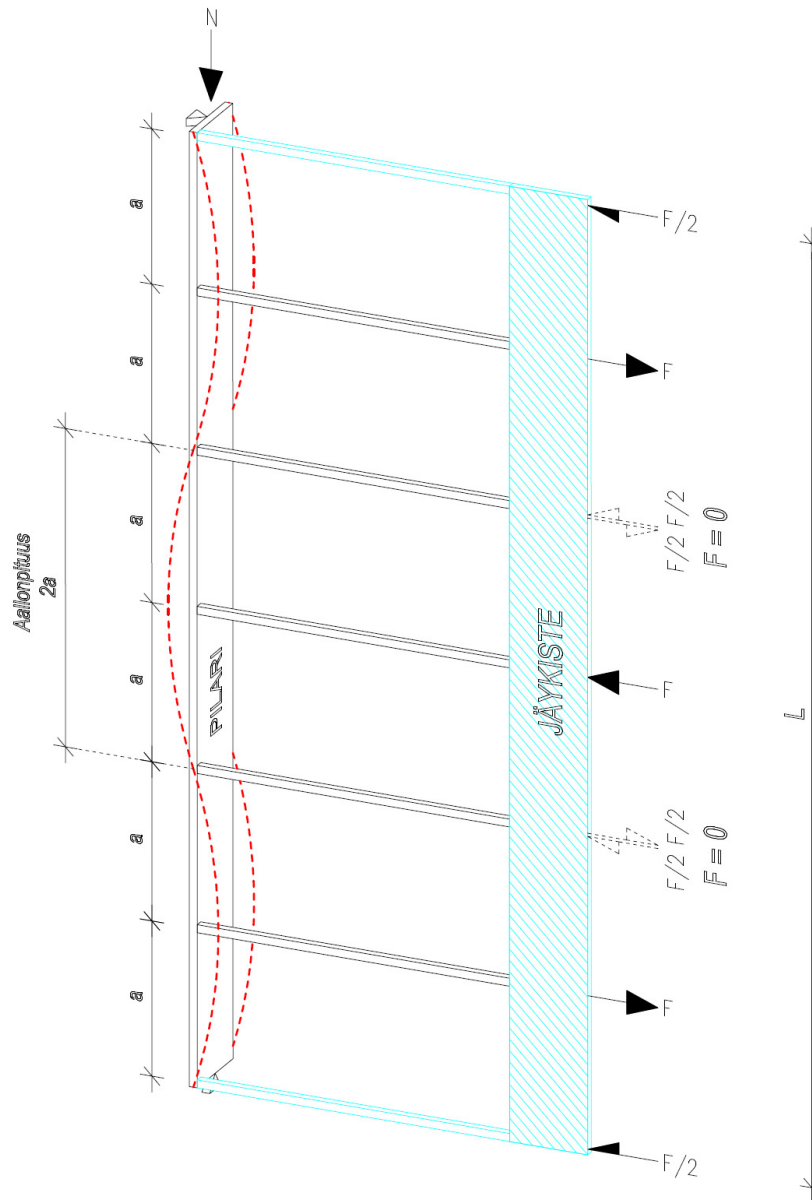
--- = lyhin s-nurjahdusmuoto (aallonpituus a)

— = suljettu jäykistyssysteemi, joka palauttaa nurjahduksesta syntyvän voiman F tukireaktiot F/2 takaisin pilarille

Kuva 3. Pilarin s-nurjahdus (aallonpituus a) ja jäykistyssysteemi, jolla pilari tehdään stabiiliksi.

$$F = \frac{N}{50} \text{ sahataralle}$$

$$F = \frac{N}{80} \text{ liimapuulle ja LVL:lle}$$

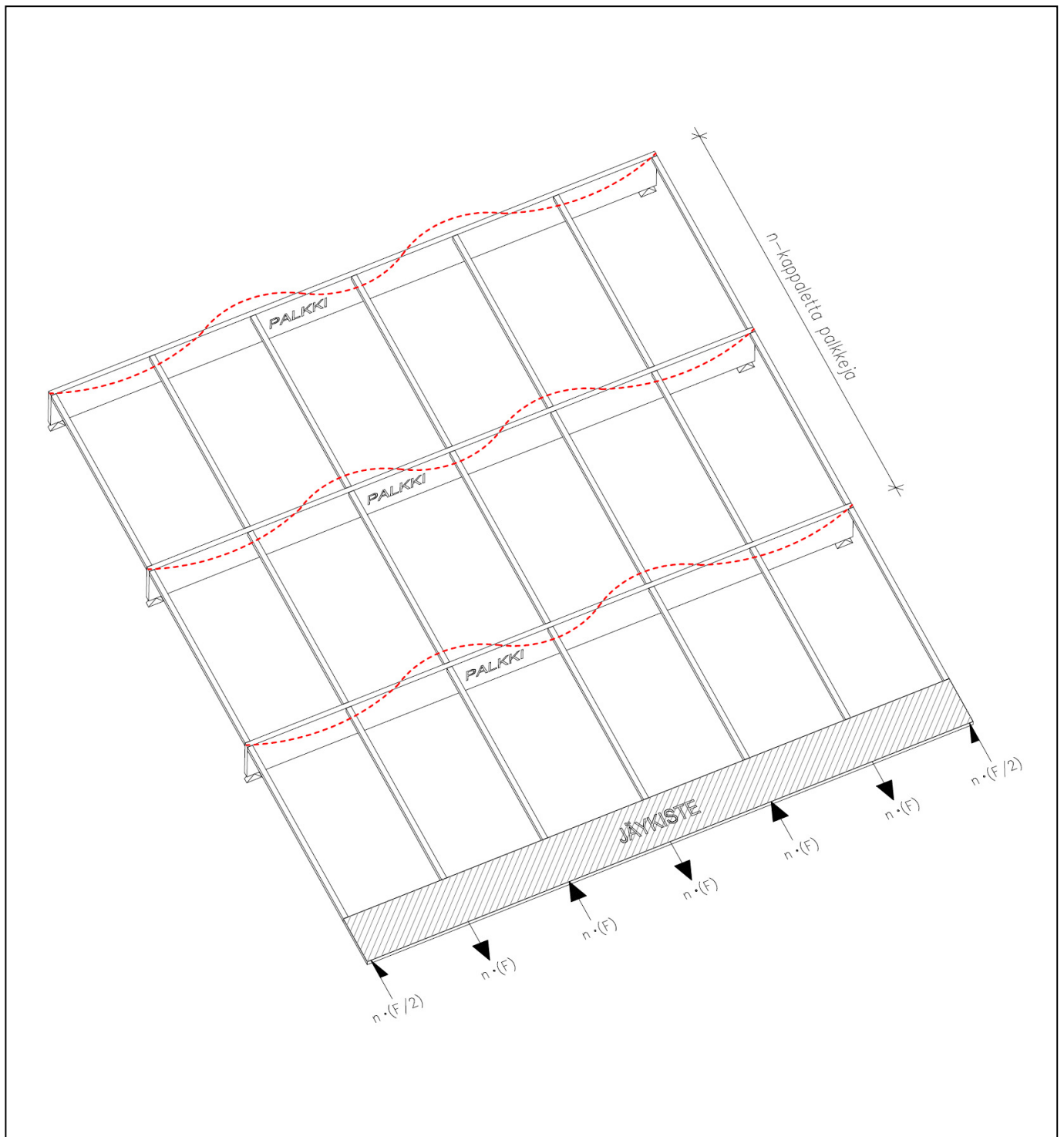


--- = lyhin s-nurjahdusmuoto (aallonpituus 2a)

— = suljettu jäykistysysteemi, joka palauttaa nurjahduksesta syntyvän voiman  $F$  tukireaktiot  $F/2$  takaisin pilarille

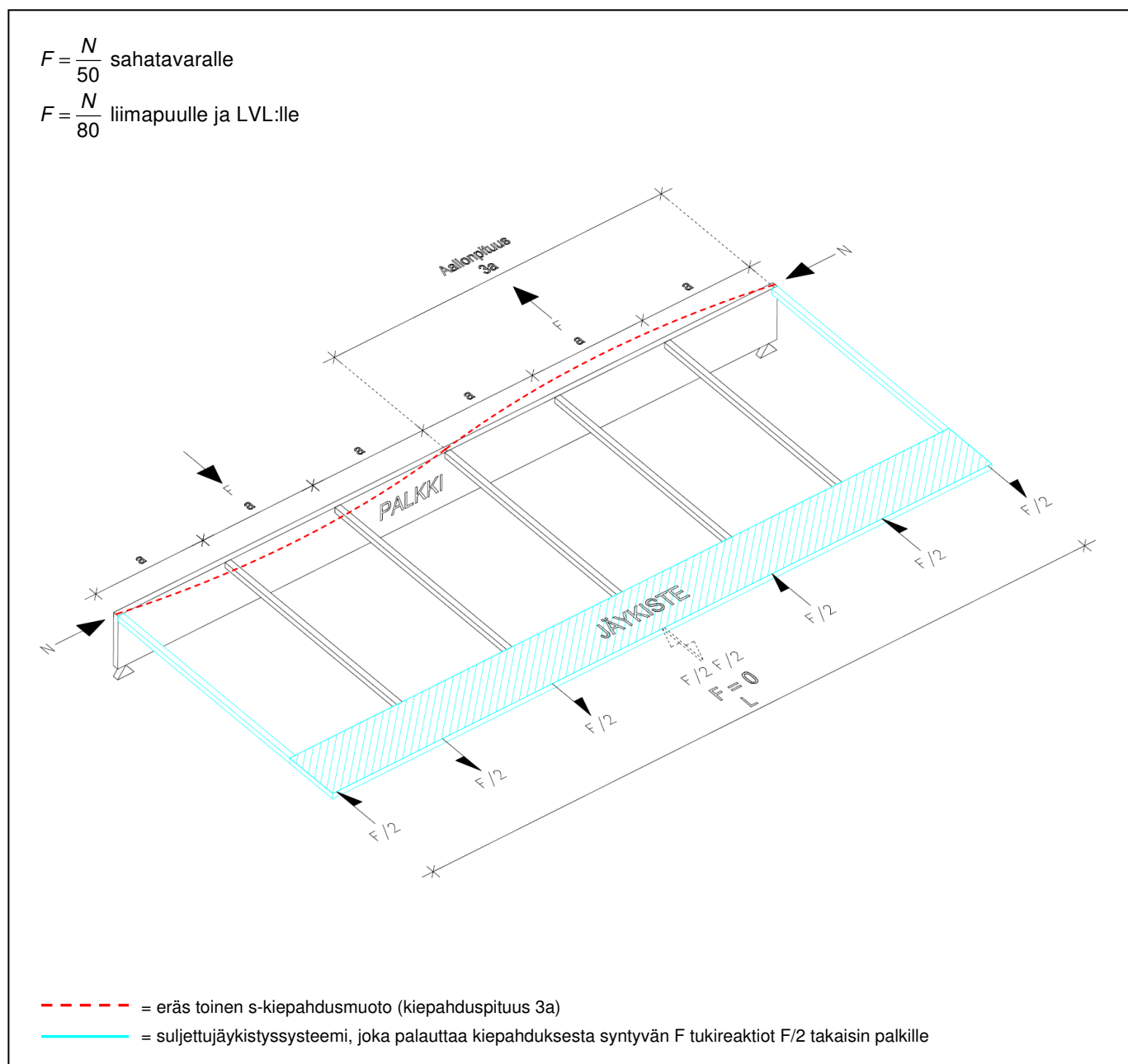
Kuva 4. Pilarin s-nurjahdus (aallonpituus 2a) ja jäykistysysteemi, jolla pilari tehdään stabiiliksi.

Kuten edellä todettiin, lyhimpien aallonpituuksien  $a$  tai  $2a$  mukaan tarkasteltu s-kiepahdus ja s-nurjahdus aiheuttaa stabiliteettitukeen suurimman voiman, koska jokainen stabiliteettituki yksin yrittää pitää rakenneosaa stabiilina. Tästä johtuen s-muoto tavallisesti mitoittaa tuettavan rakenneosan ja sen stabiliteettituen välisen liitoksen. Tapauksessa, jossa tuettavia rakenneosia on useita rinnakkain ja näiden stabiliteettituenta tehdään samalla jäykisteellä (kuva 5) syntyy jäykisteen ja stabiliteettituen liitokseen hyvin suuri voima ( $n \cdot F$ ).



Kuva 5. Esimerkki rakennekokonaisuudesta, jossa s-kiepahduksesta syntyvät sisäiset voimat kertyvät jäykisteelle.

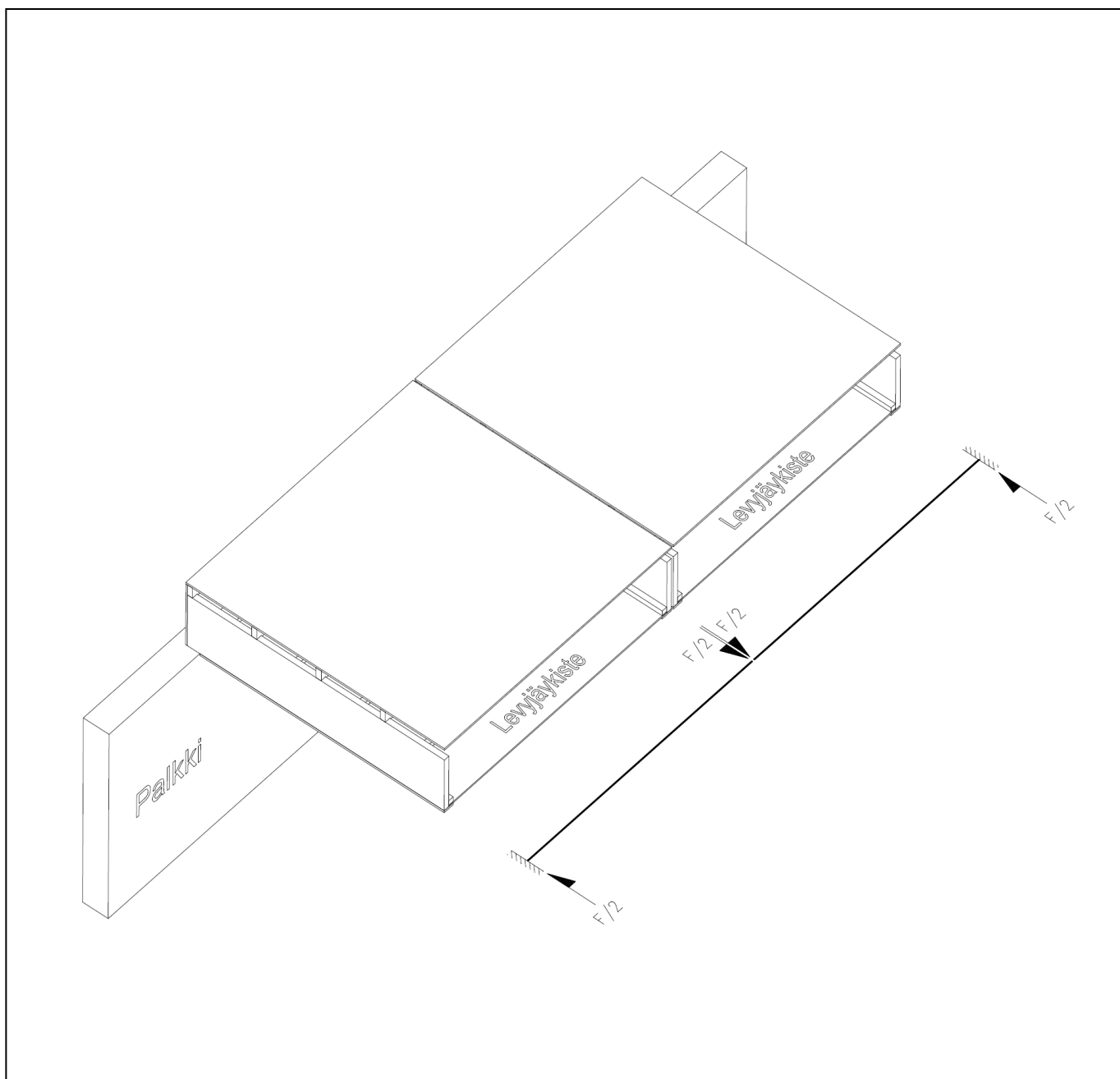
Kuten edellä todettiin, eurokoodin mukaan stabiileittituen voima määritetään lyhimpien kiepahdus-/nurjahdus-aallonpituuksien mukaan. Tällöin mitoitus on varmalla puolella eikä erilaisia aallonpituuksia tarvitse erikseen määrittää. Lyhimpien aallonpituuksien käyttö johtaa kuitenkin hyvin suuriin tuentavoimiin ja joissakin tapauksissa tällä tavalla tarkastellut rakenteet ovat toteuttamiskelvottomia (liitoksia ei saada kestämaan). Kyseinen eurokoodin mitoitusmenetelmä, jossa käytetään lyhimpiä aallonpituuksia  $a$  ja  $2a$ , ei millään tavalla huomioi rakenneseosan dimensioita ja jäykkyyttä tuettavassa suunnassa suhteessa tuentaväliin. Tästä johtuen esimerkiksi poikkileikkaukseltaan 90x405 olevan liimapuupalkin sivuttaistuenta mitoitetaan samalla tavalla kuin poikkileikkaukseltaan 240x1980 olevan liimapuupalkin. Hyvin epätodennäköistä kuitenkin on, että esimerkiksi poikkileikkaukseltaan 240x1980 oleva 2500 mm:n välein kiepahdustuettu liimapuupalkki pystyisi kiepahtamaan 2500 mm:n välein s-kiepahdusmuotoon. Sama voidaan todeta järeistä puristussauvoista. Tapauksessa, jossa kiepahdus-/nurjahdusaallonpituus on mittaa  $2a$  suurempia (kuva 6), syntyy stabiileittitukiin huomattavasti pienempiä voimia, koska tällöin aallonpituudella on useampia tukia vastaanottamassa voimaa  $F$ . Jotta stabiileittitukien mitoituksessa voitaisiin käyttää mittaa  $2a$  suurempaa aallonpituutta, tulisi ensin määrittää lyhin aallonpituus, joka mitoitettavaan rakenneseosaan voi syntyä. Tätä on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.0.



Kuva 6. Palkin s-kiepahdus (aallonpituus  $3a$ ) ja jäykistysysteemi, jolla palkin yläreuna tehdään stabiiliksi.

S-kiepahdus / s-nurjahdus tulisi hallita rakenneosakohtaisesti eli tuettavan rakenneosan päällä tulisi olla sellainen rakenne (esim. kattorakenne), joka pystyy vastaanottamaan voiman  $F$  ja palauttamaan sen tukireaktiot (voima  $F/2$ ) takaisin rakenneosalle kuvien 1...4 periaatteella. Mikäli rakenneosan päällä ei ole edellisen kaltaista rakennetta, tulee kaikkien vierekkäisten palkkien s-kiepahduksesta syntyvät voimat  $F$  kerryttää jäykisteelle (ks. kuva 5). Tällöin jäykisteelle syntyy nopeasti suuria voimia, jolloin liitosten ja tukirakenteiden kestävyys sekä näiden jäykkyyden riittävyys tulevat ongelmiksi.

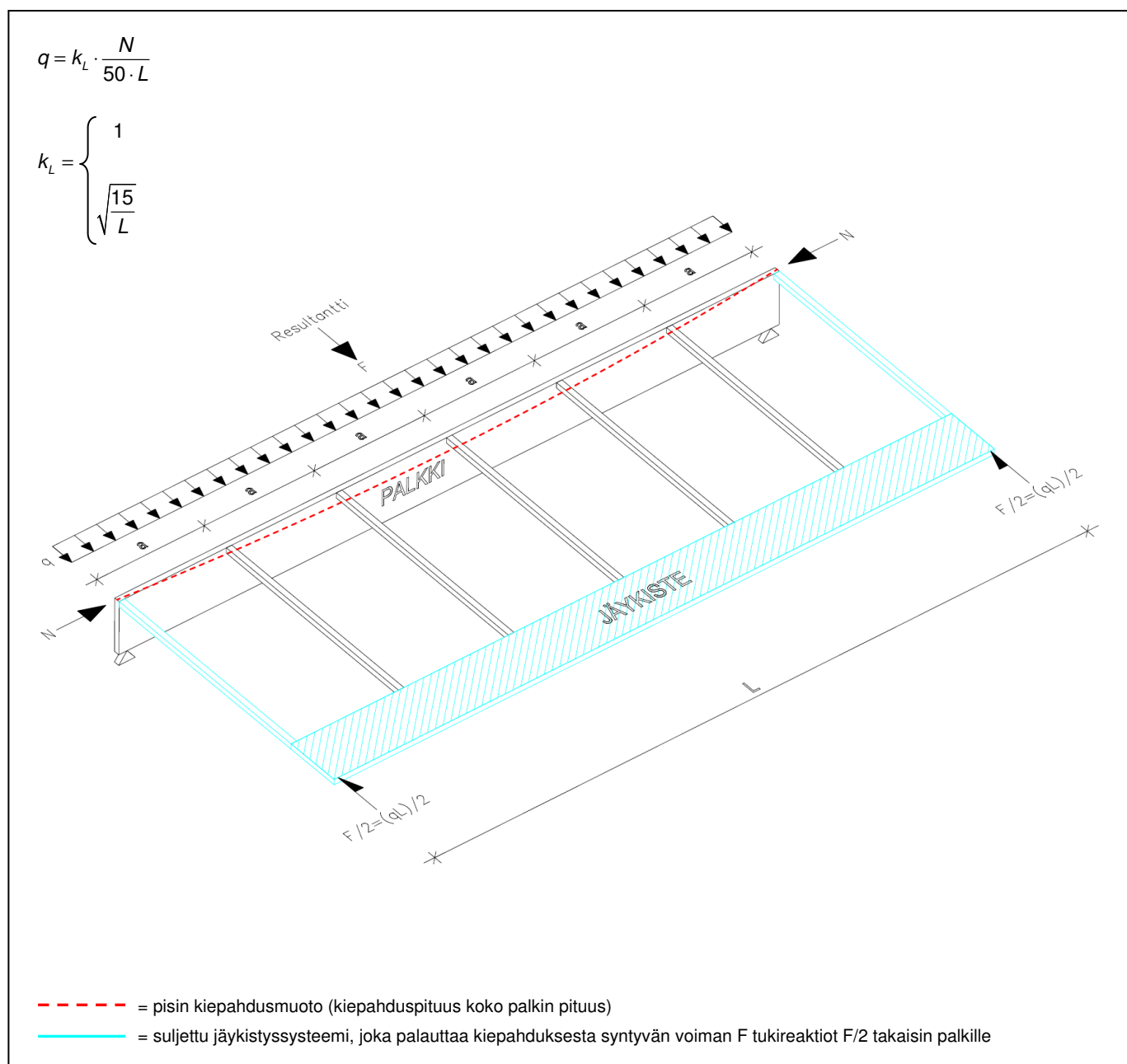
Kuvassa 7 on esitetty esimerkki siitä, kuinka s-kiepahduksesta syntyvät voimat voidaan vastaanottaa esimerkiksi kattoelementillä, jossa on levyjäykiste. Kattoelementin reunapalkit toimivat kiepahdustukena, jotka vastaanottavat voiman  $F$ . Voima  $F$  jakautuu kattoelementin levyjäykisteen avulla viereisille reunapalkkeille, jotka palauttavat voiman  $F/2$  takaisin palkille. Tällä tavalla kattoelementti stabiloi palkin yläreunan s-kiepahduksen näkökulmasta palkkikohtaisesti eikä tästä synny ulkoisia voimia (suljettu jäykistysysteemi). Kuten kuvasta 7 havaitaan, niin kattoelementin levytys toimii ulokkeena, joka siirtää voiman kattoelementin reunapalkkien välillä. Mikäli kattoelementin levytystä halutaan käyttää tähän tarkoitukseen myös palotilanteessa, tulee jäykistävä levytys sijoittaa elementtiin siten, että se on palosuojattu koko palonkestoajan. Kuvan 7 periaatetta voidaan käyttää myös puristussauvojen tuentaan s-nurjahduksen näkökulmasta (esimerkiksi seinäelementit tukevat pilarin).



Kuva 7. Kattoelementtien levytystä voidaan hyödyntää s-kiepahdustukena.

### 2.2 Kiepahdus / nurjahdus (1. muoto)

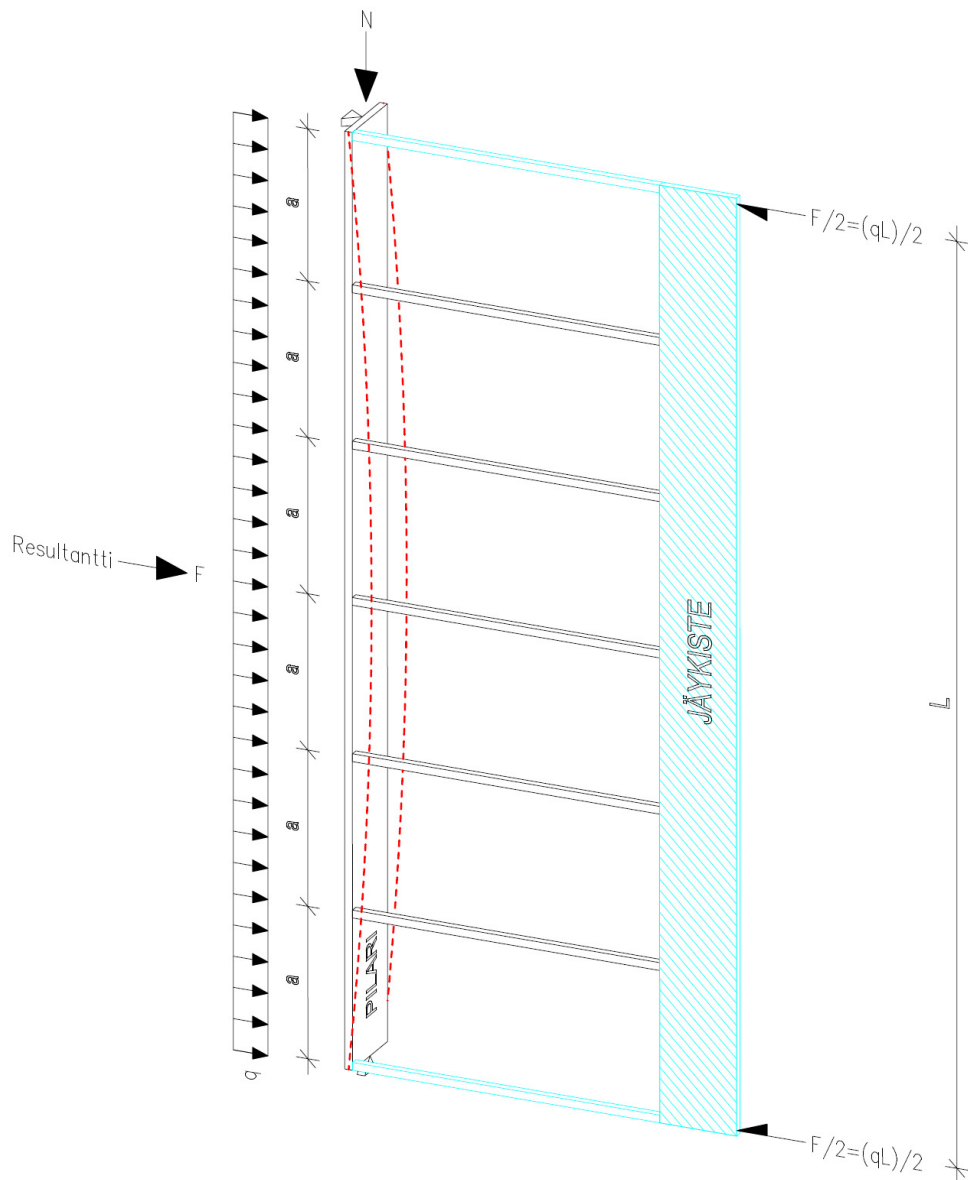
Pisimmän aallonpituuden mukaan tapahtuvassa kiepahdusmuodossa palkin yläreuna kiepahtaa yhteen suuntaan (kuva 8). Vastaavasti pisimmän aallonpituuden mukaan tapahtuvassa nurjahdusmuodossa puristussauva nurjahtaa yhteen suuntaan (kuva 9). Kiepahduksessa/nurjahduksessa stabiliteettitukiin syntyvät voimat ovat samansuuntaisia ja ne muodostavat tasaisesti jakautuneen kuorman  $q$ . Kuten kuvista 8 ja 9 nähdään, syntyy jokaiseen tukeen voima  $F = (a \cdot q)$  ja mitan  $L$  päässä on aina vastakkaissuuntainen voima  $F/2 = (qL)/2$  (tukireaktio). Kuvissa 8 ja 9 on esitetty jäykistyssysteemi, joka vastaanottaa voiman  $q$  ja palauttaa sen tukireaktiot takaisin tuettavalle rakenneosalle tehden sen stabiiliksi. Suljetussa jäykistyssysteemissä sen ulkopuolelle ei synny ulkoisia voimia, koska kaikki voimat ovat systeemin sisällä.



Kuva 8. Palkin kiepahdus (aallonpituus  $L$ ) ja jäykistyssysteemi, jolla palkin yläreuna tehdään stabiiliksi.

$$q = k_L \cdot \frac{N}{50 \cdot L}$$

$$k_L = \begin{cases} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{L}} \end{cases}$$

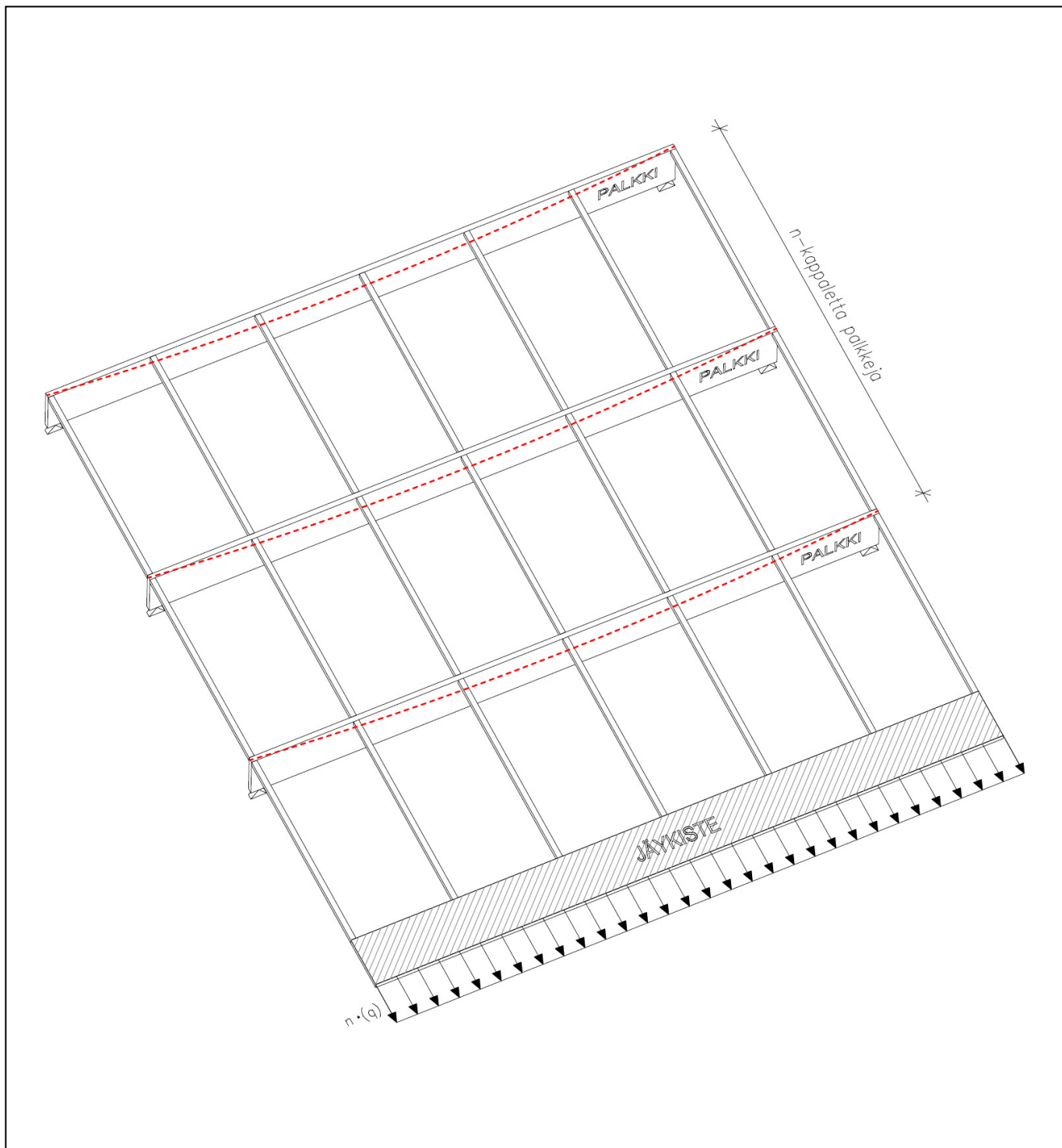


--- = pisin nurjahdusmuoto (nurjahduspituus koko pilarin pituus)

— = suljettu jäykistysysteemi, joka palauttaa nurjahduksesta syntyvän voiman  $F$  tukireaktiot  $F/2$  takaisin pilarille

Kuva 9. Pilarin nurjahdus (aallonpituus  $L$ ) ja jäykistysysteemi, jolla pilari tehdään stabiiliksi.

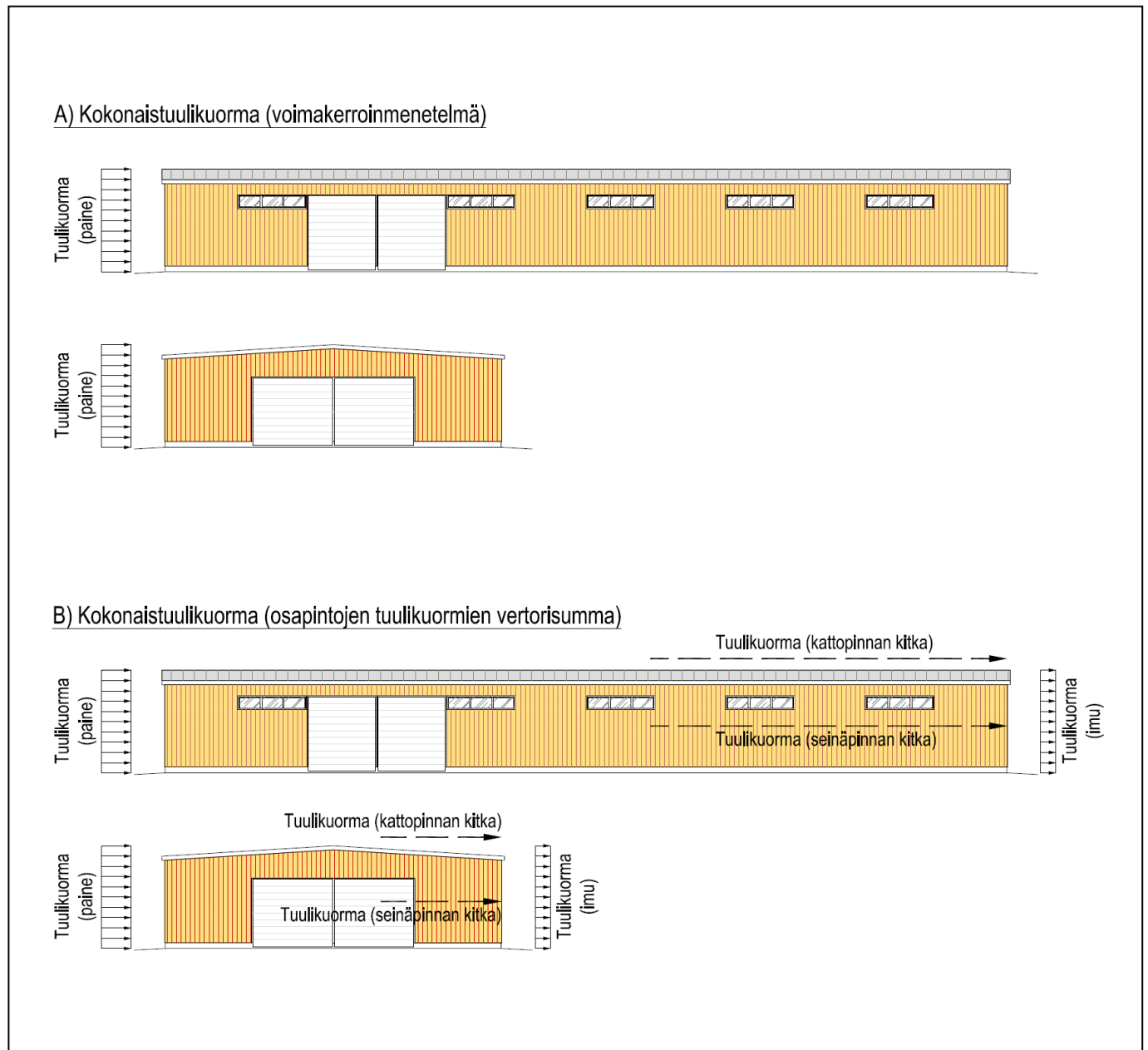
Pisimmän aallonpituuden  $L$  mukaan tarkasteltu kiepahdus ja nurjahdus aiheuttavat jäykisteeseen suuren voiman, koska kaikki rakenneosat kiepahtavat tai nurjahtavat samaan suuntaan. Yksittäiseen stabiliteettitukeen syntyvä voima on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin s-muodon tapauksessa. Tämä johtuu siitä, että aallonpituus on nyt koko rakenneosan pituus ja tällä pituudella on useita tukia, jotka vastaanottavat kiepahduksesta / nurjahduksesta syntyvät tuentavoimat. Yhteen suuntaan tapahtuva kiepahdus / nurjahdus mitoittaa tavallisesti jäykisteeseen, koska kaikki stabiliteettituet kuormittuvat samansuuntaisella voimalla. Tapauksessa, jossa tuettavia rakenneosia on useita rinnakkain ja näiden stabiliteettituenta tehdään samalla jäykisteellä (kuva 10) syntyy jäykisteeseen suuri voima ( $n \cdot q$ ).



Kuva 10. Esimerkki rakennekokonaisuudesta, jossa kiepahduksesta syntyvät sisäiset voimat kertyvät jäykisteelle.

### 2.3 Tuulikuorma

Tuulikuorma on aina ulkoinen kuorma ja se täytyy johtaa jäykisteiden kautta perustuksille. Rakennuksen jäykistys-suunnittelussa tarvittava kokonaistuulikuorma voidaan määrittää kahdella erilaisella tavalla (ks. kuva 11). Voimakerroinmenetelmä sisältää rakenneosien pintojen kitkan vaikutuksen.



Kuva 11. Kokonaistuulikuorman määrittämismenetelmät.

### 2.4 Lisävaakavoima

Eurokoodi 5 ei tunne lisävaakavoimaa, mutta se tulisi huomioida rakenteiden mitoituksessa. Rakennuksen leveys-suunnassa lisävaakavoima voidaan huomioida alla esitetyillä vaihtoehtoisilla menetelmillä. Kuvassa 12 on esitetty lisävaakavoiman huomioimiseen liittyviä ehtoja.

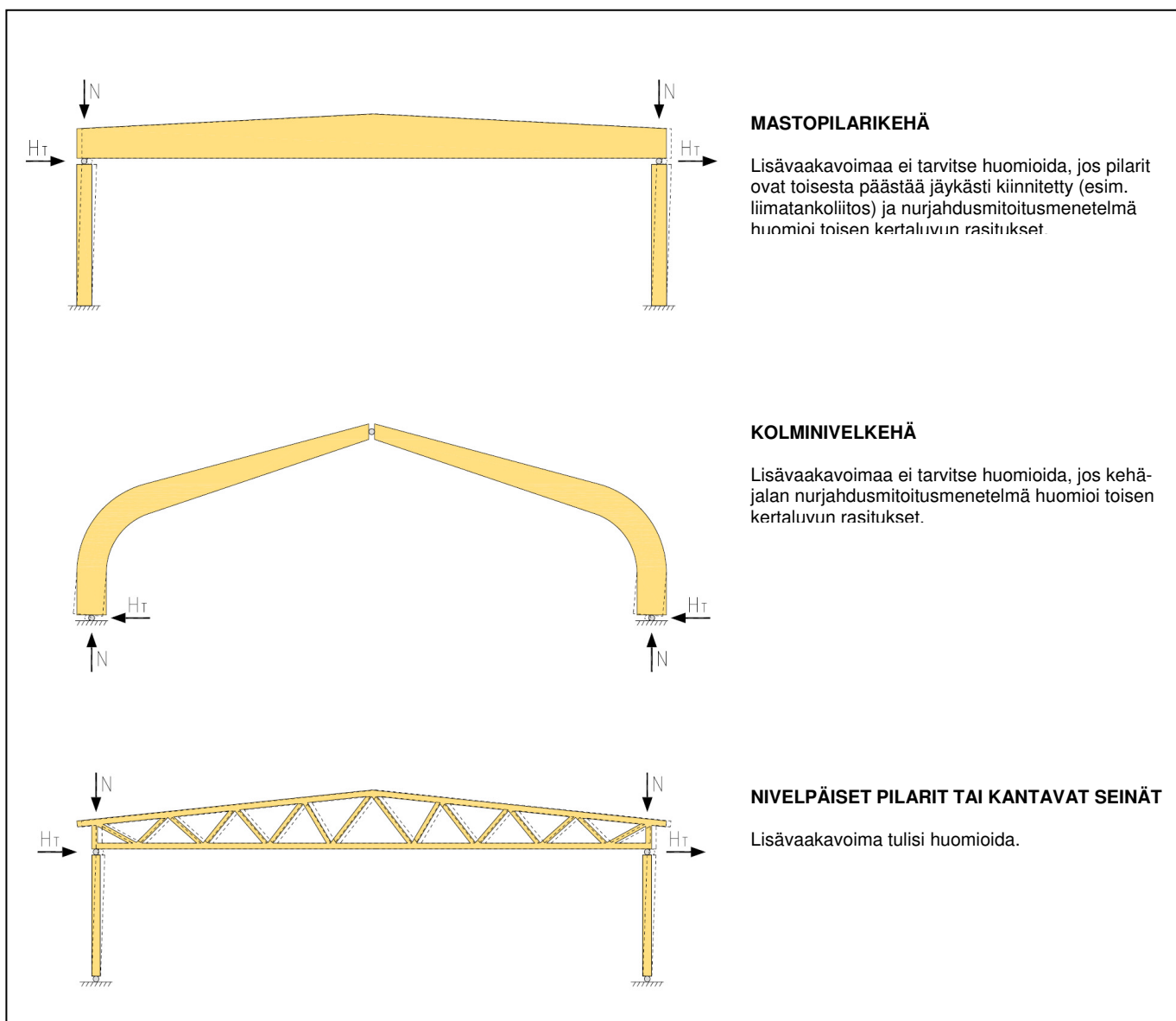
$$H_T = \frac{N}{150} \quad (\text{RIL 201-1-2011}) \quad \text{tai}$$

$$H_T = \alpha \cdot \sum N_i \quad (\text{Liimapuukäsikirja})$$

$$\alpha = 0,003 + \frac{0,012}{\sqrt{n}}$$

$n$  = yhteistoiminnassa vaikuttavien pilarien määrä  
(mukaan lukien nivelpäiset pilarit)

$\sum N_i$  = nivelpäisten pilarien yhteenlaskettu kuorma



Kuva 12. Lisävaakavoiman huomioiminen rakennuksen leveys-suunnassa.

Rakennuksen pituussuunnassa lisävaakavoima voidaan huomioida alla esitetyillä vaihtoehtoisilla menetelmillä. Lisävaakavoima  $H_L$  kannattaa määrittää viivakuormaksi (kN/m) pääkannattimen yläreunaan, josta se johdetaan jäykisteiden avulla perustuksille.

$$H_L = \frac{B}{L} \cdot \frac{N}{150} \geq \frac{N}{250} \quad (\text{RIL 201-1-2011})$$

$B$  = rakennuksen leveys

$L$  = rakennuksen pituus

tai

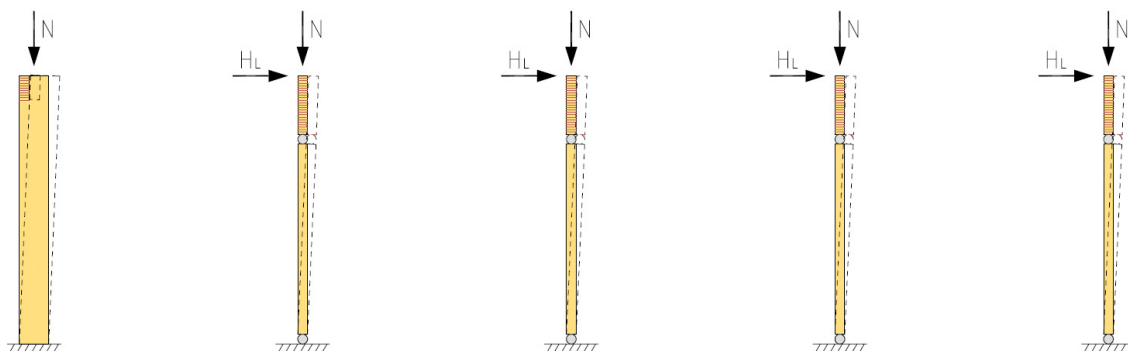
$$H_L = \alpha \cdot \sum N_i \quad (\text{Liimapuukäsikirja})$$

$$\alpha = 0,003 + \frac{0,012}{\sqrt{n}}$$

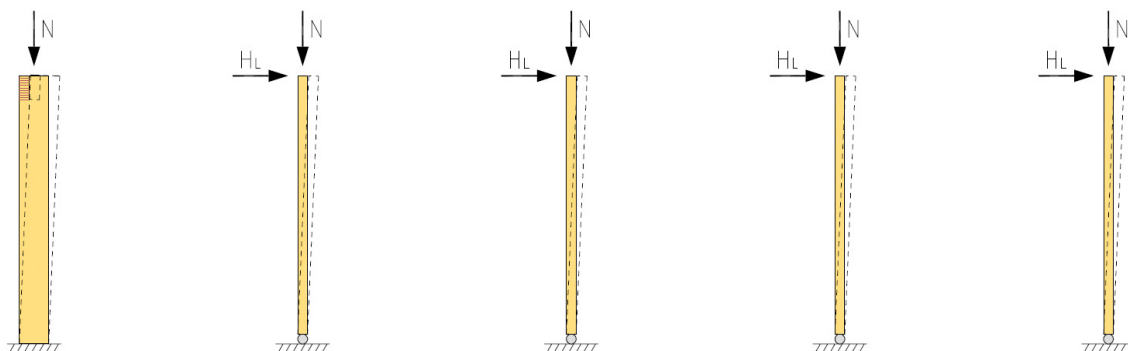
$n$  = yhteistoiminnassa vaikuttavien pilarien määrä  
(mukaan lukien nivelpäiset pilarit)

$\sum N_i$  = nivelpäisten pilarien yhteenlaskettu kuorma

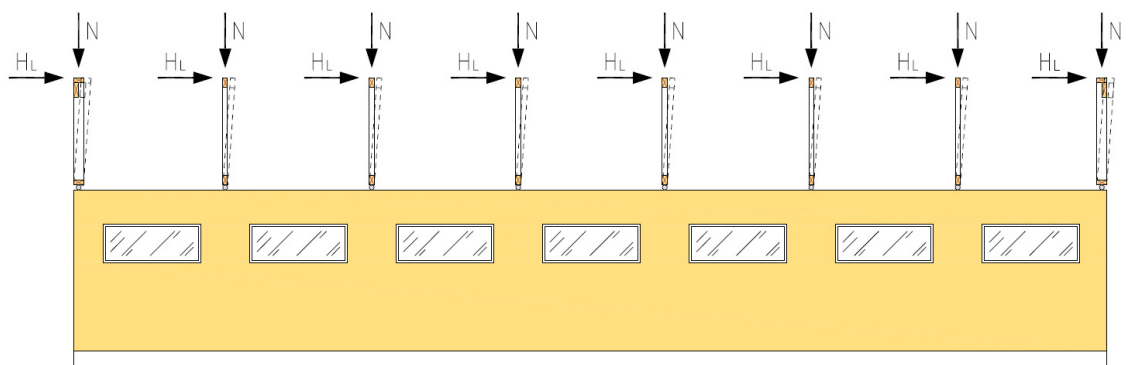
### PILARIT + PÄÄKANNATIN + PÄÄTYSEINÄ (masto)



### KOLMINIVELKEHÄ / KAARI + PÄÄTYSEINÄ (masto)



### KANTAVAT SEINÄT + PÄÄKANNATIN

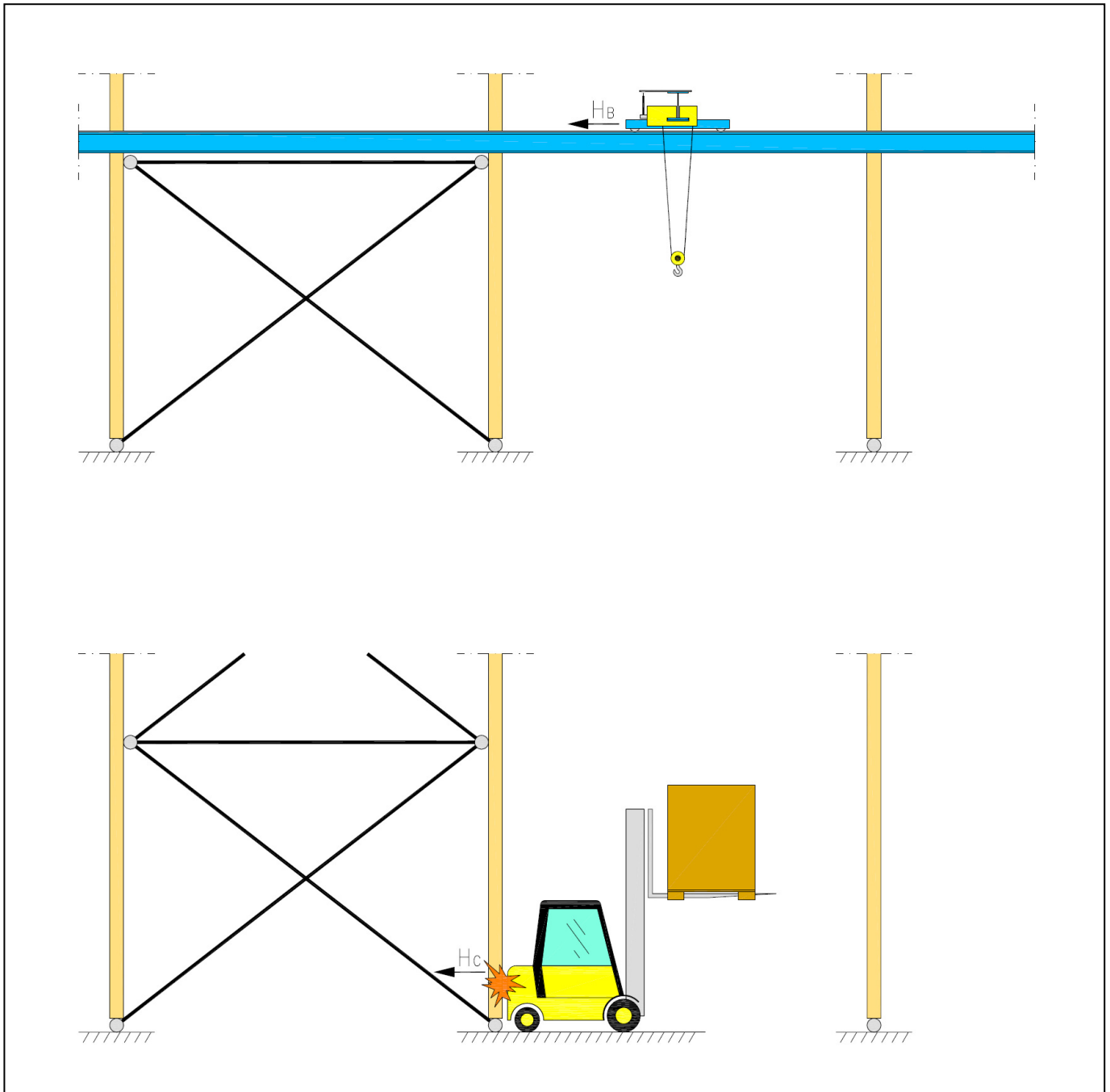


Kuva 13. Lisävaakavoiman huomioiminen rakennuksen pituussuunnassa.

### 2.5 Muut ulkoiset vaakakuormat

Rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen jäykisterakenteita saattaa kuormittaa myös seuraavat ulkoiset vaakakuormat:

- siltanosturin jarrukuorma
- törmäyskuormat



Kuva 14. Muita jäykisterakenteiden kuormia.

### 3.0 STABILITEETTITUENNAN MITOITUS

Seuraavissa kohdissa esitetään eurokoodi 5:ssä esitetyt stabiliteettituennan mitoitusmenetelmät. Tämän lisäksi esitetään lausunnossa VTT-S-05262-14 esitetty eurokoodia täydentävä tarkempi s-kiepahduksen / s-nurjahduksen stabiliteettituennan mitoitusmenetelmä. Molemmat mitoitusmenetelmät ovat hyväksytyjä ja ne ovat vaihtoehtoisia.

#### 3.1 S-kiepahdus / S-nurjahdus (EC 5)

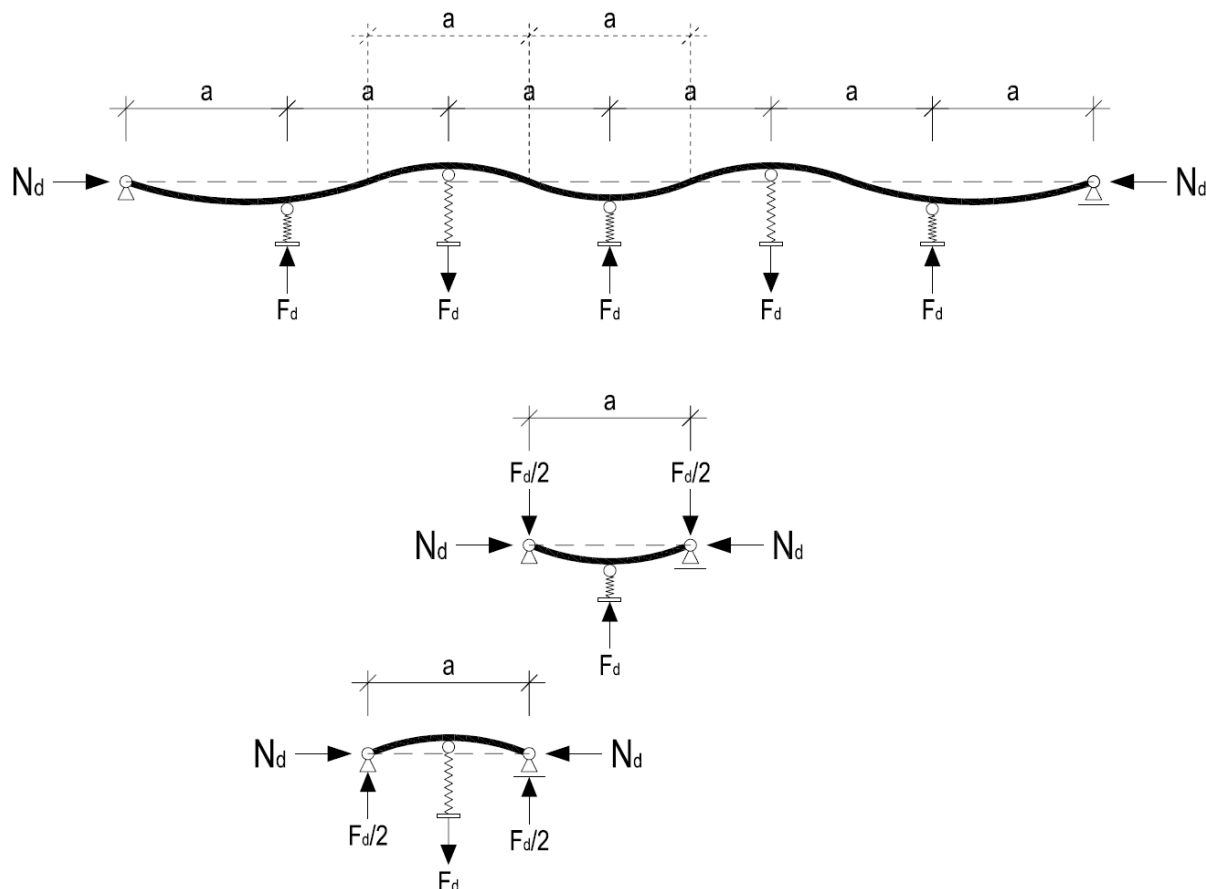
Tapauksessa, jossa aallonpituutena käytetään lyhimpiä mittoja  $a$  ja  $2a$ , saadaan yksittäisessä tuessa vaikuttava voima määritettyä alla esitetyillä kaavoilla. Jokaisessa tuessa vaikuttaa sama voima, koska jokainen tuki toimii yksin (ks. kuvat 15 ja 16).

$$F_d = \frac{N_d}{50} \text{ sahataravalle}$$

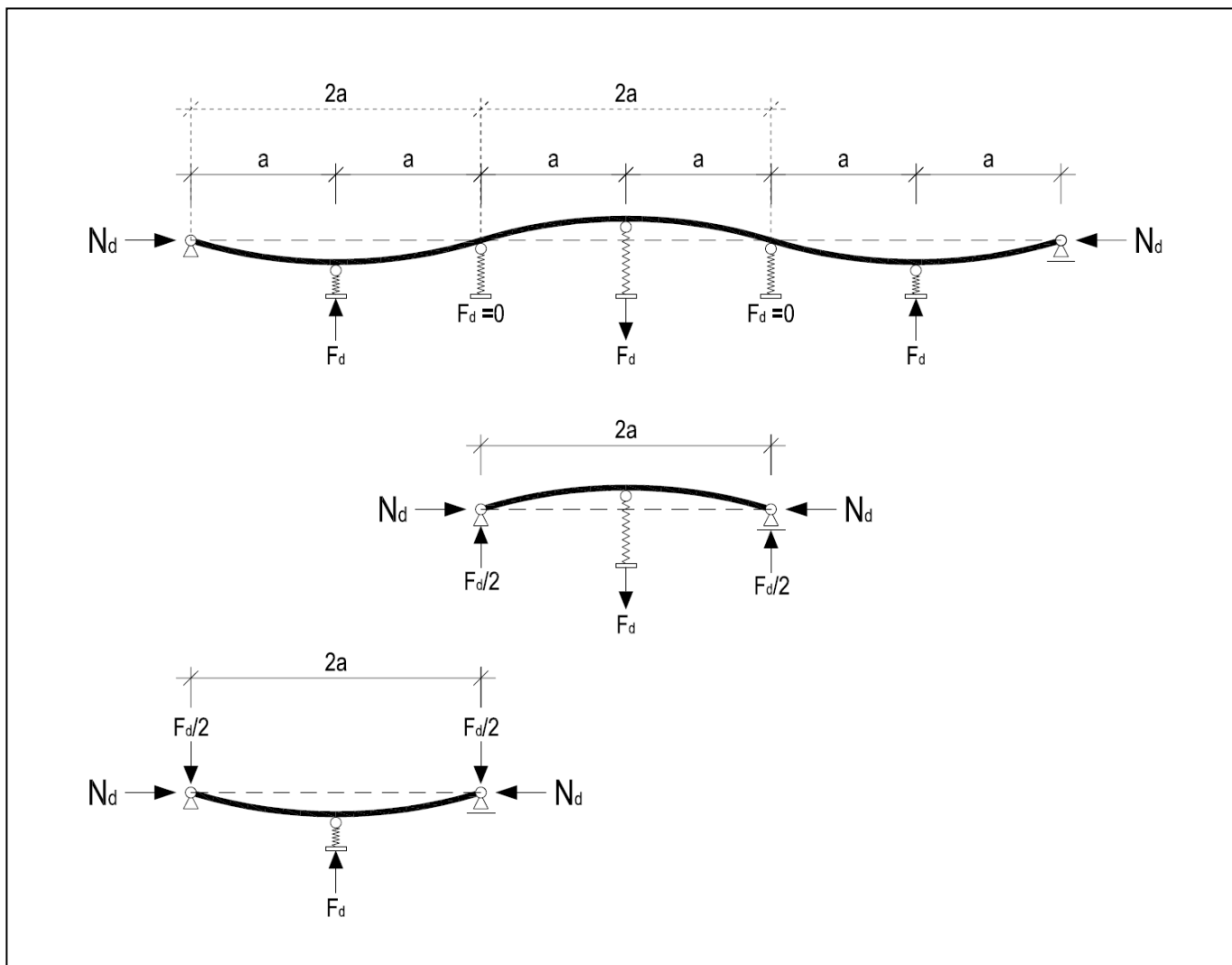
$$F_d = \frac{N_d}{80} \text{ liimapuulle ja LVL:lle}$$

Voimaa  $F_d$  saadaan pienentää käyttöastekertoimella  $k$ , mikäli tukiväli  $a$  ei ole rakenneosan poikkileikkauksen kannalta suurin mahdollinen.

$$k = \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$



Kuva 15. Eräs kiepahdus- / nurjahdusmuoto (aallonpituus  $a$ ).



Kuva 16. Eräs kiepahdus- / nurjahdusmuoto (aallonpituus  $2a$ ).

Puurakenteissa stabiliteettituet ovat tavallisesti joustavia johtuen mm. liitosten (puikkoliittimet) joustavuudesta. Rakenneseosan stabiliteettituennan mitoituksessa tulee huomioida tuen joustavuus. S-kiepahduksen ja s-nurjahduksen näkökulmasta yksittäisen tuen jousijäykkyys määritetään alla esitetyllä kaavalla.

$$C_{vaad} \geq \left( 2 + 2 \cos \left( \frac{180^\circ}{m} \right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} \quad (\text{RIL 205-1-2009})$$

$m$  = välein  $a$  poikittaistuettujen kenttien lukumäärä ( $m \geq 2$ )

$N_d$  = poikittaistuettavassa rakenneosassa keskimäärin vaikuttavan puristusvoiman mitoitusarvo

$a$  = tukiväli

Yksittäisen tuen jousijäykkyyttä määritettäessä tulee huomioida koko tukijärjestelmän siirtymän vaikutus. Kuvassa 17 on esitetty yksinkertaistettu malli siitä kuinka tukijärjestelmän joustavuus vaikuttaa yksittäisen tuen jousijäykkyyteen. Kyseissä kuvassa tukijärjestelmä koostuu sauvojen 1...4 välissä olevista vaakasauvoista, jotka on kiinnitetty joustavalla liitoksella pystysauvoihin. Itse vaakasauvat ja jäykiste oletetaan joustamattomiksi. Kaikki neljä pystysauvaa kuormittuvat samaan aikaan ja stabiloiva voima  $\Sigma F_d$ , kertyy jäykisteelle. Jäykisteestä laskettuna sauva 1 on kauimmainen sauva ja se siirtyy eniten, koska sen tuentareitillä on useita joustavia liitoksia. Kuvasta 17 voidaan havaita, että yksittäisen tukipisteen tuenta tulisi ratkaista siten, että voimaa  $F_d$  ei tarvitse kuljettaa pitkää matkaa, koska voima  $F_d$  kasvaa koko ajan jäykistettä kohti mentäessä. Tästä aiheutuu tavallisesti ongelmia puurakenteiden liitosten kestävyuden näkökulmasta. Lisäksi tuentasysteemin monimutkaisuus ja joustavien rakenneosien suuri määrä tekevät mitoittamisesta työlästä.

$$C = \frac{F_d}{u_{fin}}$$

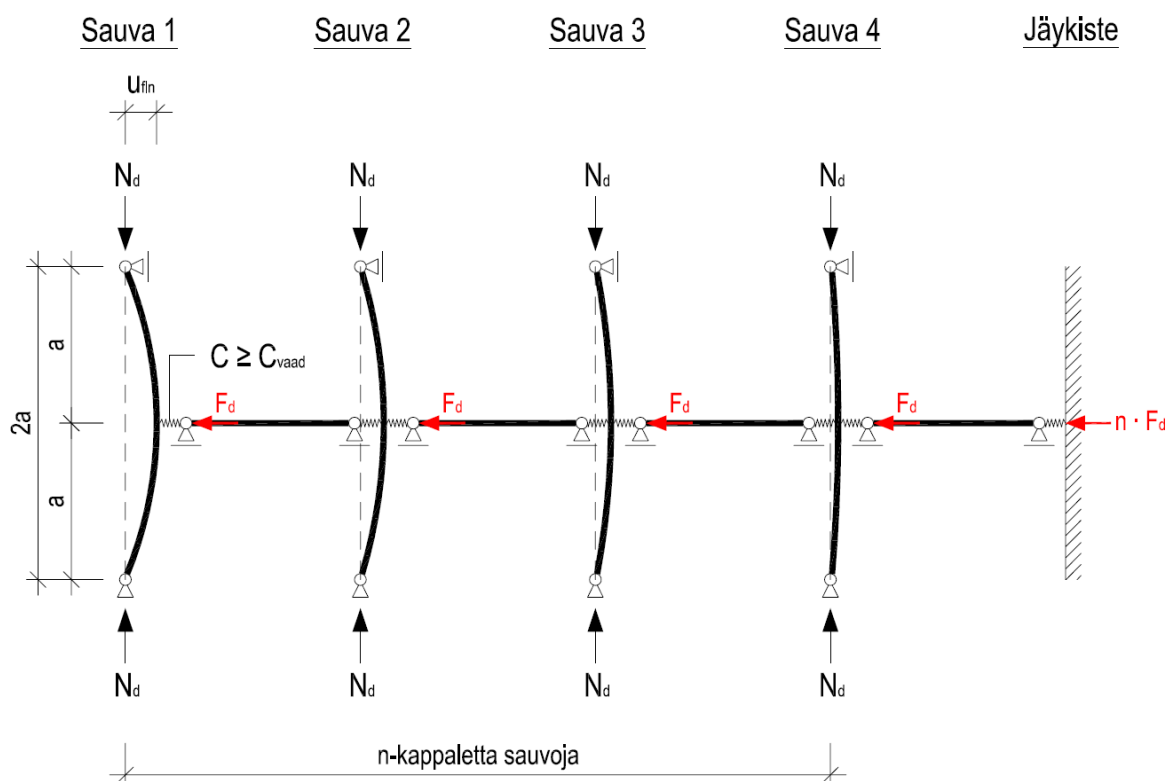
$C$  = tuen jäykkyys

$F_d$  = tuessa vaikuttava voima

$u_{fin}$  = tukipisteen siirtymä lopputilassa (viruma huomioiden)

Liitossiirtymät määritetään lopputilan siirtymäkertoimella

$$K_{ser,fin} = \frac{\frac{2}{3} \cdot K_{ser}}{(1 + \psi_2 \cdot K_{def})}$$



Kuva 17. Yksittäisen tukipisteen jousijäykkyyden määrittäminen toisiinsa kytkettyjen vierekkäisten puristettujen sauvojen tapauksessa.

### 3.2 S-kiepahdus / S-nurjahdus (VTT-S-05262-14)

Stabiileettituen voima  $F_{d,tuki}$ , voidaan määrittää tarkemmin seuraavassa esitetyllä eurokoodia täydentävällä mitoitust menetelmällä. Kyseisessä mitoitust menetelmässä määritetään ensin lyhin kiepahdus- / nurjahdusaallonpituus (kriittinen aallonpituus), joka rakenneosaan voi syntyä. Kriittisen aallonpituuden määrittämisessä huomioidaan nyt myös rakenneosan jäykkyys tuettavassa suunnassa, joka määritetään alla esitetyllä kaavalla.

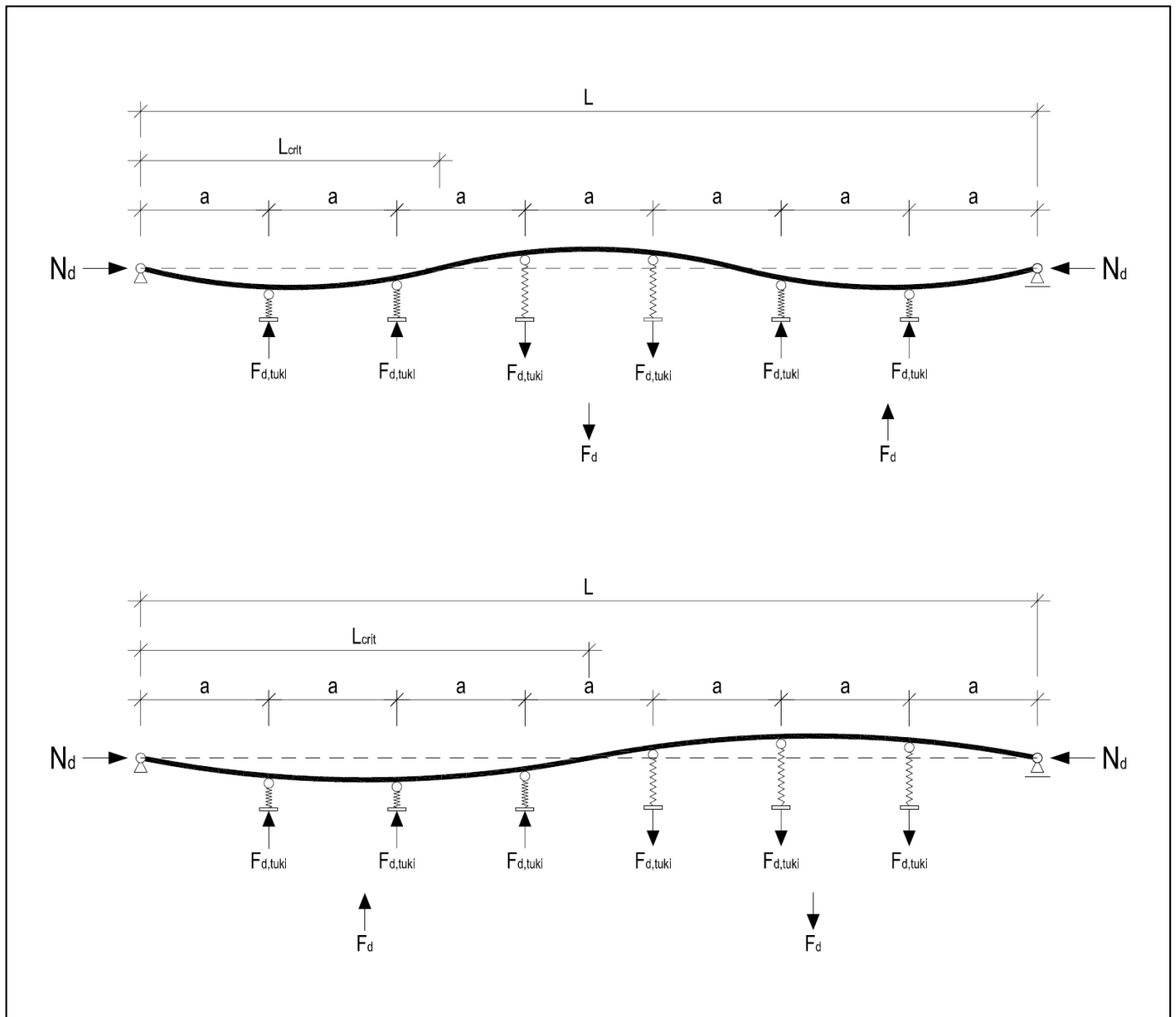
$$L_{crit} = \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C_{vaad}}{a \cdot E_{0,05} \cdot I}}} \geq 2 \cdot a$$

$C_{vaad}$  = eurokoodi 5:n mukainen stabiileettituetta vaadittava jousijäykkyys

$a$  = tukiväli

$E_{0,05}$  = tuettavan rakenneosan kimmomoduulin ominaisarvo tuettavassa suunnassa

$I$  = tuettavan rakenneosan jähyysmomentti tuettavassa suunnassa



Kuva 18. Eräitä kriittisiä aallonpituuksia.

Kriittisen aallonpituuden määrittämisen jälkeen stabiileettitukeen syntyvä voima  $F_{d,tuki}$  voidaan määrittää alla esiteyllä kaavalla.

$$F_{d,tuki} = \frac{F_d}{\frac{L_{crit}}{a} - 1}$$

$$F_d = \frac{N_d}{50} \text{ sahataralle}$$

$$F_d = \frac{N_d}{80} \text{ liimapuulle ja LVL:lle}$$

$L_{crit}$  = kriittinen aallonpituus

$a$  = tukiväli

S-kielähdusta / s-nurjahdusta **ei tapahdu**, mikäli seuraava ehto on voimassa. Mikäli s-muotoa ei tapahdu, mitoite-  
taan jäykistysjärjestelmä pelkästään kohdan 3.3 mukaan.

$$L_{crit} > \frac{L}{2}$$

Tuentasysteemin jousijäykkyys tarkastetaan kuvan 17 periaatteella.

### 3.3 Kielähdus / Nurjahdus (EC 5)

Tapauksessa, jossa kielähdus / nurjahdus tapahtuu yhteen suuntaan, määritetään stabiileettituen voima  $F_{d,tuki}$  alla  
esitetyillä kaavoilla.

$$q = k_L \cdot \frac{N_d}{50 \cdot L} \quad (\text{RIL 205-1-2009})$$

$N_d$  = poikittaistuettavassa rakenneosassa keskimäärin vaikuttavan puristusvoiman mitoitusarvo

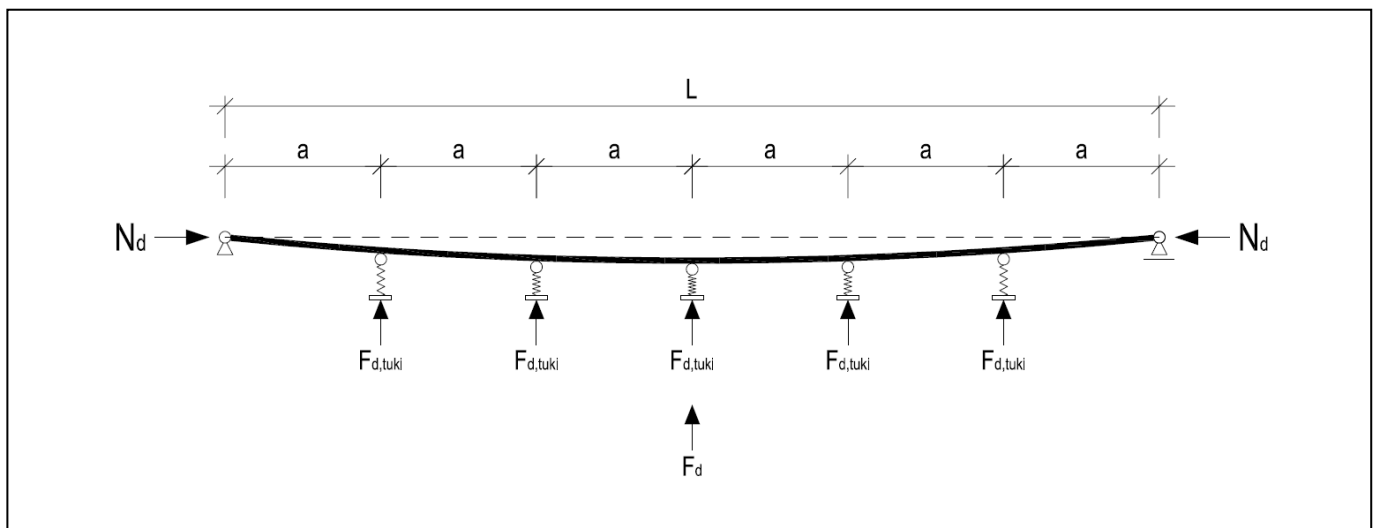
$L$  = jäykistysjärjestelmän jänneväli (aallonpituus) metreinä

$$k_L = \begin{cases} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{L}} \end{cases}$$

$$F_{d,tuki} = q \cdot a$$

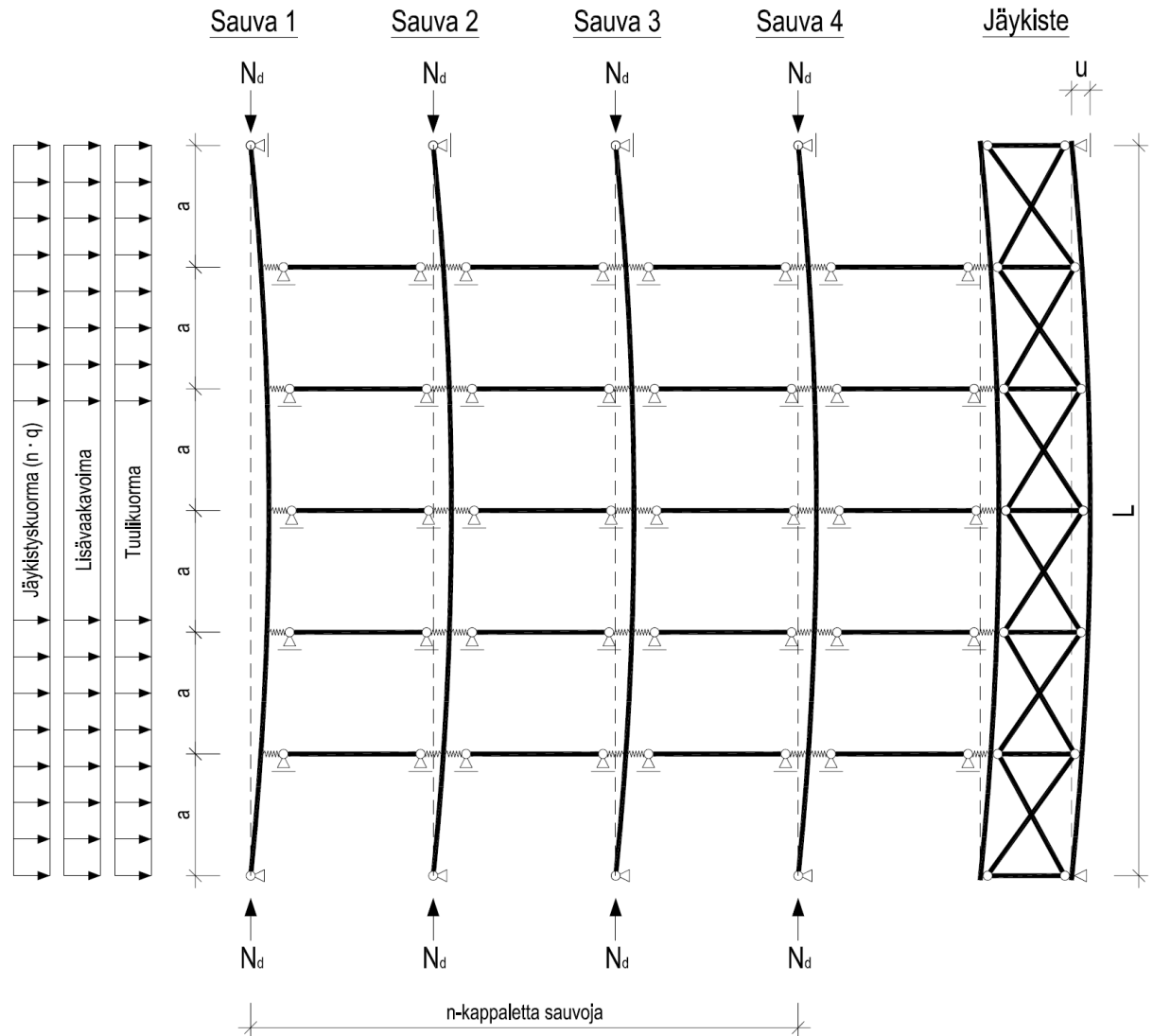
$q$  = jäykistyskuorma

$a$  = tukiväli



Kuva 19. Kielähdus- / nurjahdusmuoto, jossa rakenneosia kielähtää / nurjahduttaa yhteen suuntaan (aallonpituus koko rakenteen pituus).

Rakenneosien yhteen suuntaan tapahtuva kielähdus / nurjahdus mitoittaa tavallisesti rakennekokonaisuuden jäykisteen, koska kaikki rakenneosat kielähtävät / nurjahduttavat samaan suuntaan. Rakennekokonaisuuden jäykisteen mitoituksessa huomioidaan myös ulkoisten kuormien aiheuttamat rasitukset (kuva 20). Jäykisteen taipuma u **murto-  
torajatil**an kuormalle saa olla enintään  $L \leq 500$ . Kyseinen ehto määrittää sen, että jäykiste on riittävän jäykkä yhteen suuntaan tapahtuvan kielähdys- / nurjahduksen näkökulmasta.

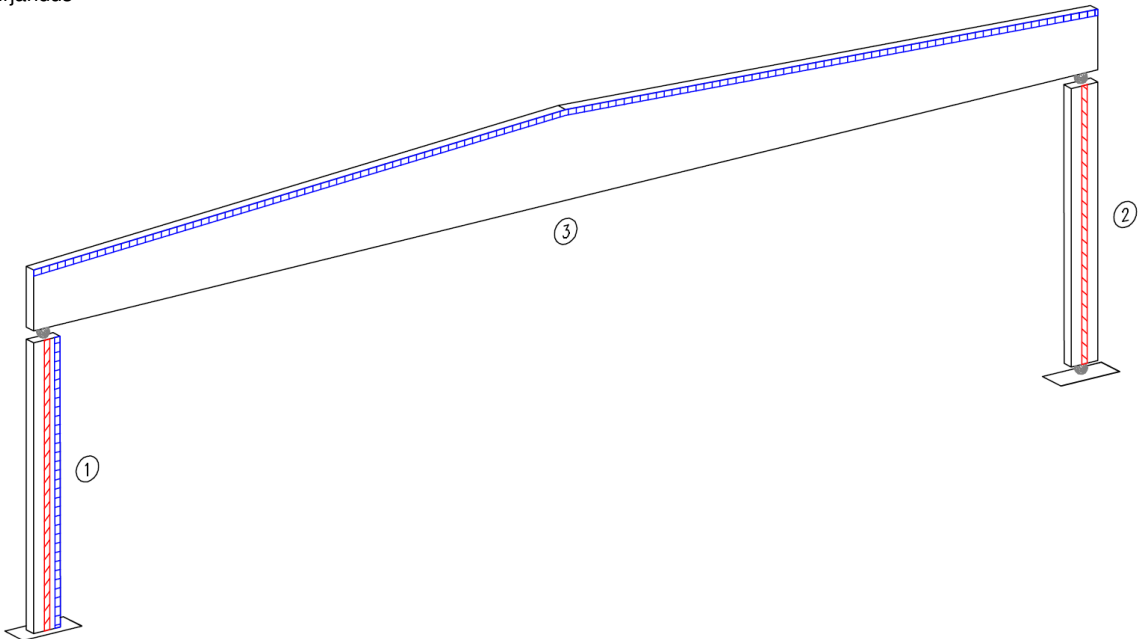


Kuva 20. Jäykisteelle kertyvät kuormat toisiinsa kytkettyjen vierekkäisten rakenneosien tapauksessa.

### 4.0 YKSITTÄISTEN RAKENNEOSIEN STABILITEETTITUENTA

Rakennuksen jäykistykseen suunnittelun perusohjeena voidaan pitää sitä, että ensin tehdään kannatin (pilari, palkki tms.) stabiiliksi (kohta 2.1) ja tämän jälkeen tehdään kantavista rakenteista koostuva rakennekokonaisuus stabiiliksi (kohta 2.2). Taulukoihin 1...3 on koottu kannatintyyppejä, joissa tyypillisesti heikonsuunnan stabiliteettituentaa tarvitaan. Stabiliteettituen tarve on riippuvainen rakenneosien mittasuhteista ja kuormituksista, joten tässä suhteessa taulukoiden 1...3 antama informaatio on periaatteellista.

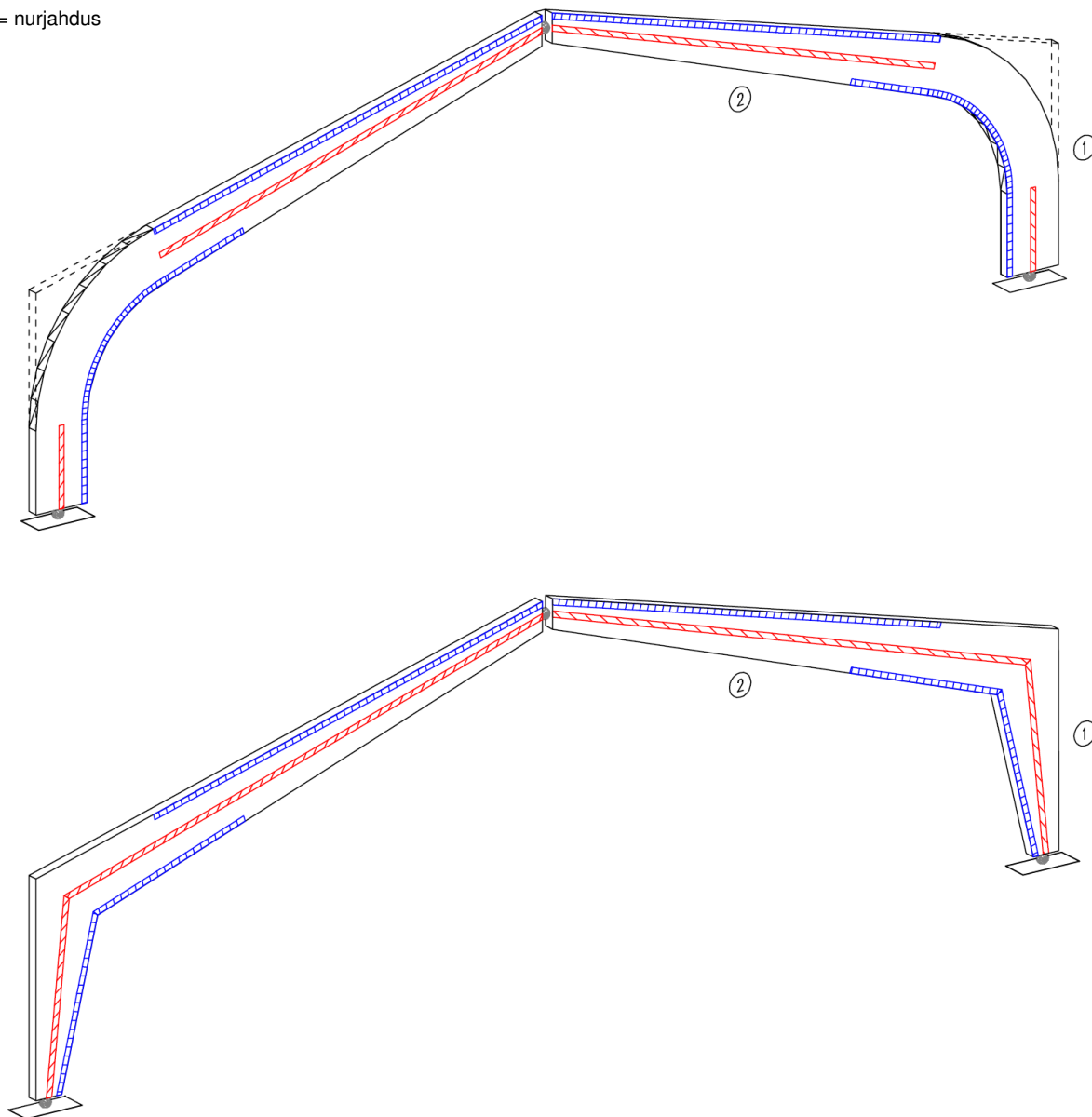
Taulukko 1. Rakenneosan tyypilliset heikonsuunnan stabiliteettituenta vaativat kohdat.

| <div> <div>      = kiepahdus</div> <div>//// = nurjahdus</div> </div>  |             |                               |                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Numero                                                                                                                                                    | Rakenneosa  | Stabiliteetin menettämismuoto | Esimerkkejä stabilointimenetelmistä                      |
| 1                                                                                                                                                         | Mastopilari | Nurjahdus                     | Seinärakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|                                                                                                                                                           |             | S-nurjahdus                   | Seinärakenteen levyjäykiste                              |
|                                                                                                                                                           |             | Sisäreunan kiepahdus          | Poikkileikkauksen suurentaminen                          |
| 2                                                                                                                                                         | Nivelpilari | Nurjahdus                     | Seinärakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|                                                                                                                                                           |             | S-nurjahdus                   | Seinärakenteen levyjäykiste                              |
| 3                                                                                                                                                         | Palkki      | Yläreunan kiepahdus           | Kattorakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|                                                                                                                                                           |             | Yläreunan S-kiepahdus         | Kattorakenteen levyjäykiste                              |

Taulukko 2. Rakenneosan tyypilliset heikonsuunnan stabiliteettituentaa vaativat kohdat.

||||| = kiepahdus

//// = nurjahdus

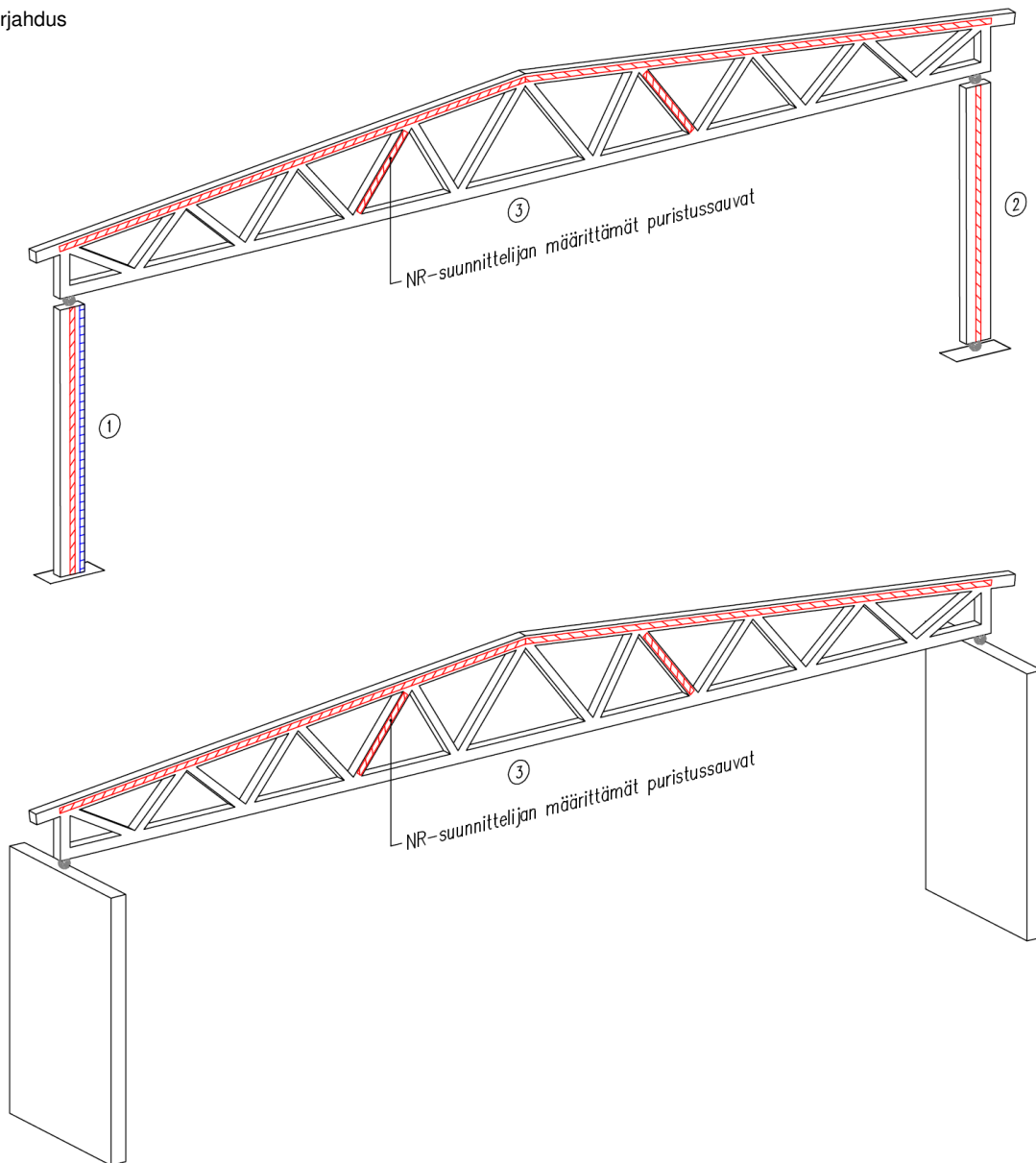


| Numero | Rakenneosa | Stabiliteetin menettämiskihti | Esimerkkejä stabilointimenetelmistä                      |
|--------|------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1      | Kehäjalka  | Nurjahdus                     | Seinärakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|        |            | Sisäreunan kiepahdus          | Poikkileikkauksen suurentaminen tai kiepahdustuet        |
| 2      | Kehäpalkki | Nurjahdus                     | Kattorakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|        |            | S-nurjahdus                   | Kattorakenteen levyjäykiste                              |
|        |            | Yläreunan kiepahdus           | Kattorakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|        |            | Yläreunan S-kiepahdus         | Kattorakenteen levyjäykiste                              |
|        |            | Alareunan kiepahdus           | Poikkileikkauksen suurentaminen tai kiepahdustuet        |

Taulukko 3. Rakenneosan tyypilliset heikonsuunnan stabiliteettituentaa vaativat kohdat.

||||| = kiepahdus

//// = nurjahdus



| Numero | Rakenneos   | Stabiliteetin menettämislmiö | Esimerkkejä stabilointimenetelmistä                      |
|--------|-------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1      | Mastopilari | Nurjahdus                    | Seinärakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|        |             | S-nurjahdus                  | Seinärakenteen levyjäykiste                              |
|        |             | Sisäreunan kiepahdus         | Poikkileikkauksen suurentaminen                          |
| 2      | Nivelpilari | Nurjahdus                    | Seinärakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|        |             | S-nurjahdus                  | Seinärakenteen levyjäykiste                              |
| 3      | Ristikko    | Yläpaarten nurjahdus         | Kattorakenteen levyjäykiste tai orret + jäykisteristikko |
|        |             | Yläpaarten S-nurjahdus       | Kattorakenteen levyjäykiste                              |
|        |             | Uumasauvan nurjahdus         | Nurjahdustuet                                            |

### 5.0 RAKENNUKSEN KOKONAIJÄYKISTYS

Rakennuksen kokonaisjäykistystyö toteuttamiseen on useita erilaisia menetelmiä. Kuvissa 21...23 on esitetty tyyppisiä rungon kokonaisjäykistysjärjestelmiä

#### TOIMINTA PITUUSSUUNNASSA

Pituussuunnassa jäykisteenä toimivat päätyseinien mastopilarit ja niiden yläpäässä oleva palkki, joille katto-orret välittävät sisäiset voimat ja ulkoiset kuormat. Myös sisäiset voimat joudutaan siirtämään perustuksille, koska yläpohjassa ei ole sellaista jatkuvaa jäykisterakennetta, joka pystyisi palauttamaan sisäisten voimien tukireaktiot pääkannattimien päihin. Katto-orret ovat **olennainen osa** tässä jäykistysjärjestelmässä, koska ne välittävät kuormat jäykistävälle rakenteille. Katto-orret mitoitetaan taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutukselle. Katto-osien puristus- ja vetorasitus on riippuvainen kattorakenteen jatkuvuudesta, päätyseinien keskinäisestä jäykkyydestä ja siitä millä tavalla tuulikuormat huomioidaan (onko rakennuksen toisessa päädyssä tuulen imukuorma ja onko katolla tuulen kitakuorma).

#### TOIMINTA LEVEYSSUUNNASSA

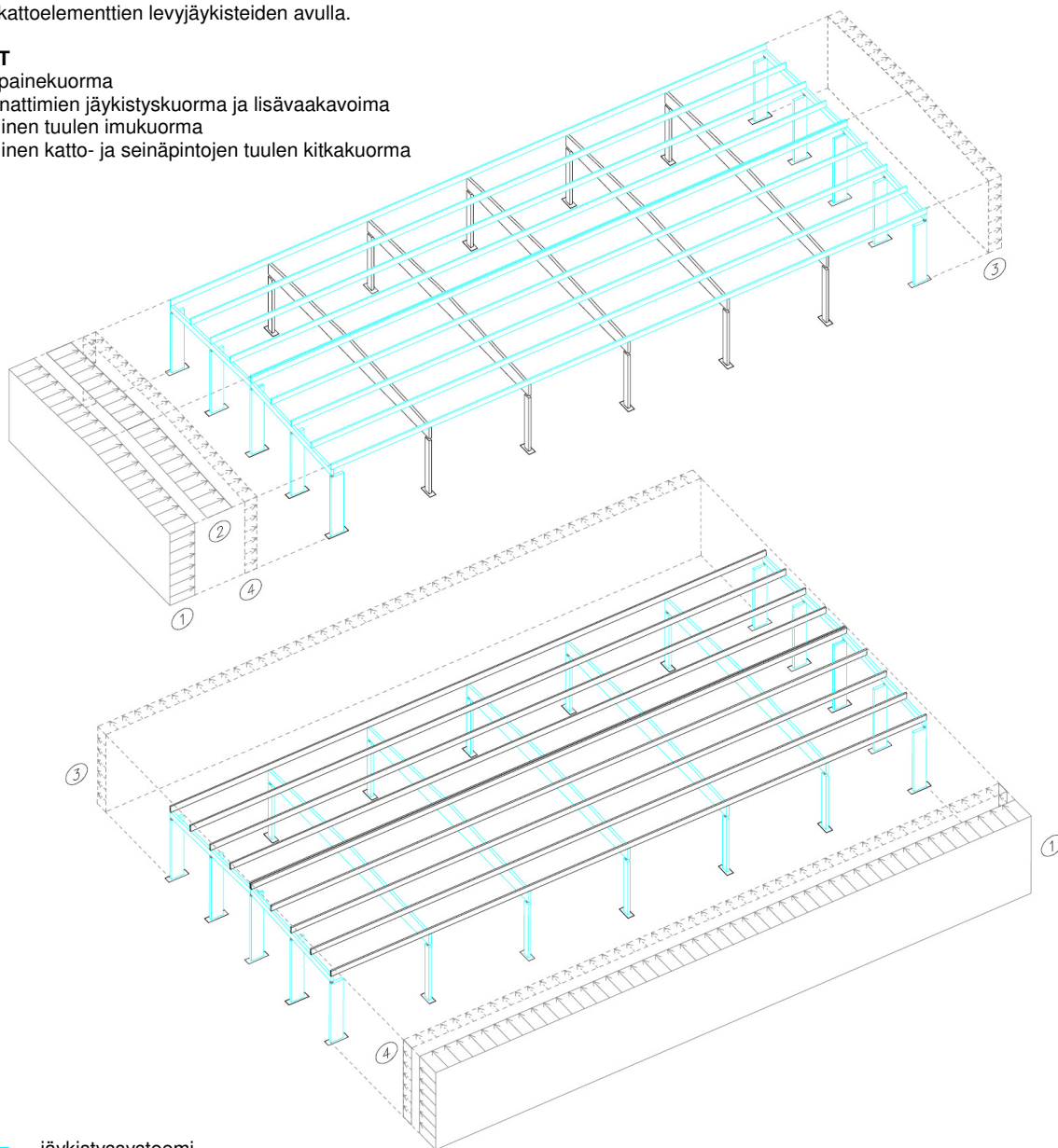
Jokainen kehä, mukaan lukien päätyseinät, toimivat yksittäisinä jäykisteenä, jolloin katto-orret eivät vaikuta jäykistysjärjestelmään. Mikäli päätyseinän pilarit eivät ole riittävän jäykkiä, käytetään erillisiä lisäjäykisteitä (esim. jäykisteristikko).

#### S-KIEPAHDUS

Ratkaistu kattoelementtien levyjäykisteiden avulla.

#### KUORMAT

- 1) Tuulen painekuorma
- 2) Pääkannattimien jäykistyskuorma ja lisävaakavoima
- 3) Mahdollinen tuulen imukuorma
- 4) Mahdollinen katto- ja seinäpintojen tuulen kitakuorma



Kuva 21. Kokonaisjäykistysjärjestelmä tapauksessa, jossa rakennuksen leveys suunnassa jäykisteenä toimii kehärakenne.

### TOIMINTA PITUUSSUUNNASSA

Pituussuunnassa jäykisteenä toimivat kehäväleissä olevat jäykisteristikot, joille katto-orret välittävät sisäiset voimat ja ulkoiset kuormat. Sisäisiä voimia ei tässä tapauksessa tarvitse viedä perustuksille, koska yläpohjassa on sellainen jatkuva jäykisterakenne, joka pystyy palauttamaan sisäisten voimien tukireaktiot pääkannattimien päihin. Katto-orret ovat **olennainen osa** tässä jäykistyssysteemissä, koska ne välittävät kuormat jäykistäville rakenteille. Katto-orret mitoitetaan taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutukselle. Katto-osien puristus- ja vetorasitus on riippuvainen kattorakenteen jatkuvuudesta, jäykisteristikoiden määrästä, jäykisteristikoiden keskinäisestä jäykkyydestä ja siitä millä tavalla tuulikuormat huomioidaan (onko rakennuksen toisessa päädyssä tuulen imukuorma ja onko katolla tuulen kitakuorma).

### TOIMINTA LEVEYSSUUNNASSA

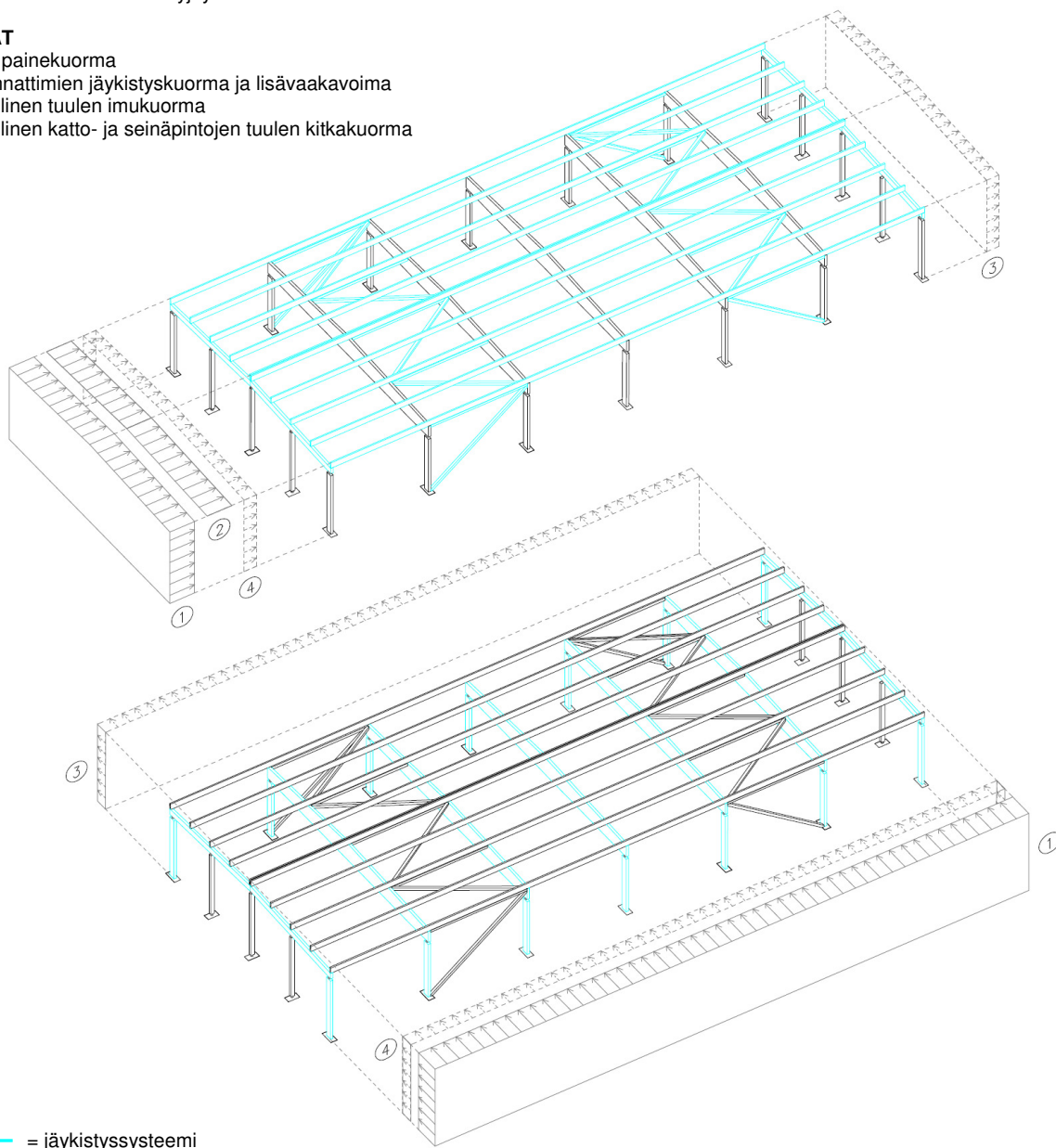
Jokainen kehä, mukaan lukien päätyseinät, toimivat yksittäisinä jäykisteinä, jolloin katto-orret eivät vaikuta jäykistyssysteemiin.

### S-KIEPAHDUS

Ratkaistu kattoelementtien levyjäykisteiden avulla.

### KUORMAT

- 1) Tuulen painekuorma
- 2) Pääkannattimien jäykistyskuorma ja lisävaakavoima
- 3) Mahdollinen tuulen imukuorma
- 4) Mahdollinen katto- ja seinäpintojen tuulen kitakuorma



Kuva 22. Kokonaisjäykistyssysteemi tapauksessa, jossa rakennuksen leveyssuunnassa jäykisteenä toimii kehärakenne.

### TOIMINTA PITUUSSUUNNASSA

Pituussuunnassa jäykisteenä toimivat yläpohjassa ja seinissä olevat levyjäykisteet. Katto-orret välittävät sisäiset voimat ja ulkoiset kuormat yläpohjan levyjäykisteelle. Sisäisiä voimia ei tässä tapauksessa tarvitse viedä perustuksille, koska yläpohjan levyjäykiste palauttaa sisäisten voimien tukireaktiot jokaisen pääkannattimen kohdalla sen päihin. Katto-orret ovat **olennainen osa** tässä jäykistyssysteemissä, koska ne välittävät kuormat yläpohjan levyjäykisteelle. Katto-orsiin ei tule tässä tapauksessa sellaisia puristus- ja vetorasituksia kuin kuvien 21 ja 22 tapauksessa, koska yläpohjassa on jatkuva levyjäykiste, joka vastaanottaa kuormat välittömästi siltä kohdalta, jolta ne välitetään jäykisteelle (tuettavan kannattimen kohdalta).

### TOIMINTA LEVEYSSUUNNASSA

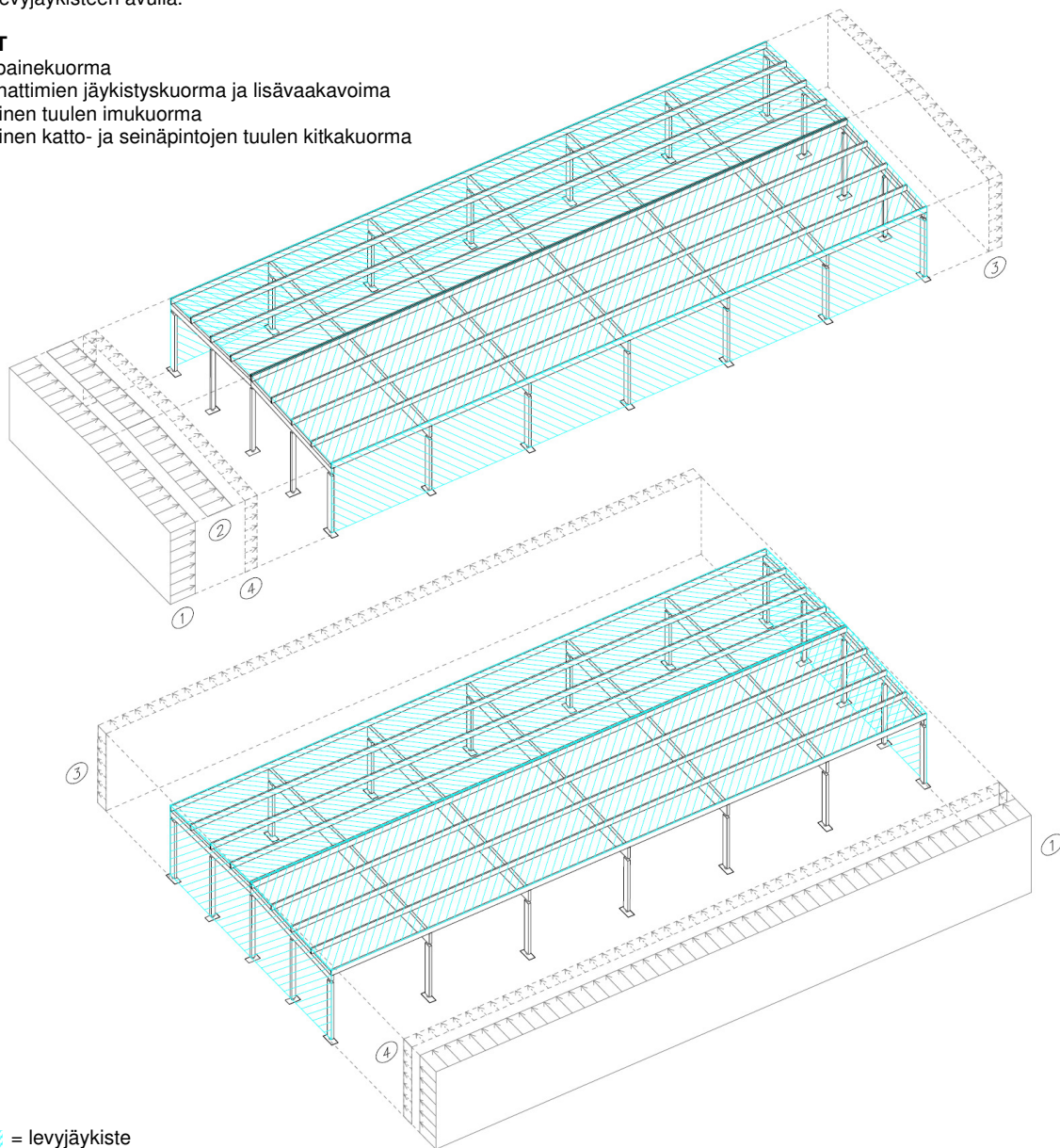
Yläpohjan levyjäykiste vastaanottaa jokaisen kehän (nivelpäiset pilarit) keräämät kuorma ja välittää ne päätyseinien levyjäykisteille. Katto-orret ovat **olennainen osa** tässä jäykistyssysteemissä, koska ne välittävät kuormat yläpohjan levyjäykisteelle.

### S-KIEPAHDUS

Ratkaistu levyjäykisteen avulla.

### KUORMAT

- 1) Tuulen painekuorma
- 2) Pääkannattimien jäykistyskuorma ja lisävaakavoima
- 3) Mahdollinen tuulen imukuorma
- 4) Mahdollinen katto- ja seinäpintojen tuulen kitakuorma



Kuva 23. Kokonaisjäykistyssysteemi tapauksessa, jossa rakennus on levyjäykistetty (kaikki pilarit nivelpäisiä).

### 6.0 RAKENNUKSEN PITUUSSUUNTAISTEN JÄYKISTERAKENTEIDEN MITOITUS

Jäykisterakenteiden mitoituksessa lujuusteknisen kestävyys lisäksi tulee tarkkailla erityisesti jäykisterakenteiden siirtymiä sekä sitä kuinka voimat siirtyvät jäykisterakenteilta toisille (liitokset). Kuvissa 24...26 on esitetty erilaisten rakennuksen pituussuuntaisten jäykisterakenteiden mitoituksessa huomioitavia seikkoja.

#### PÄÄTYSEINÄN SIIRTYMÄ

Päätyseinän siirtymän suuruuteen vaikuttaa mastopilarien ja niiden yläpäässä olevan palkin dimensioid. Päätyseinässä maksimisiirtymä syntyy mastopilarien taipumasta ja mastopilarien yläpäässä olevan palkin taipumasta mastopilarien välillä. Nämä yhdessä aiheuttavat siirtymän, joka tapahtuu myös pääkannattimessa. Kuten kohdassa 3.3 on esitetty, saa jäykisterakenteen murtorajatilan siirtymä olla enintään  $L/500$ . Tämän enempää pääkannatin ei saa siirtyä yläreunastaan (jännevälillään  $L$ ) vaakasuunnassa kannattimen stabiliteetin näkökulmasta. Päätyseinän käyttörajatilan siirtymä saa olla enintään  $H/300$ , mikäli tälle asetetaan rajoitus.

#### PÄÄTYSEINÄN MASTOPILARIEN JA PALKIN LIITOKSET

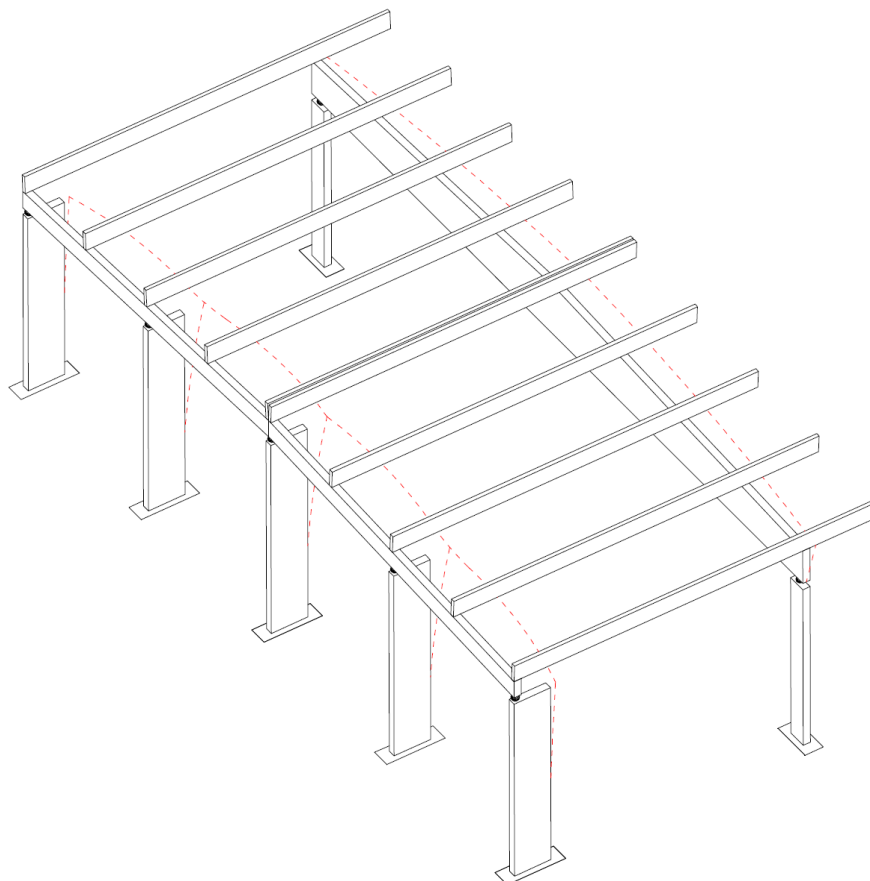
Päätyseinän mastopilarien yläpäässä oleva palkki tulee kiinnittää pilareihin siten, että voimat pystyvät siirtymään katto-orisien ja pilareiden välillä.

#### PÄÄKANNATTIMEN JA MASTOPILARIN LIITOS

Pääkannatin tulee kiinnittää mastopilariin momenttijäykästi, jotta pystykuormat siirtyvät pääkannattimelta pilarille. Pääkannattimen yläreunan siirtymän suuruus vaikuttaa oleellisesti kyseisen liitoksen mitoitukseseen. Mitä enemmän pääkannatin pääsee kallistumaan, sitä enemmän liitokseen syntyy momenttia. Kyseiseen liitokseen syntyy momenttia myös palkin asennusvinoudesta.

#### KATTO-ORSIEN LIITOKSET

Katto-orret tulee kiinnittää päätyseinässä olevaan palkkiin voimalle, jonka päätyseinä vastaanottaa yläpohjan tuulikuormista, lisävaakavoimasta ja jäykistyskuormasta (s-kiöpahdus hoidettu kannatinkohtaisesti). Katto-orrien ja pääkannattimen välinen liitos tulee mitoittaa määräävälle mitoitusvoimalle, joka syntyy pääkannattimen määräävästä kiöpahdusmuodosta ja lisävaakavoimasta. Lisäksi kyseisen liitoksen mitoitukseseen vaikuttaa katto-orrien jatkosten kohdissa olevat voimat ja jatkosrakenteen tyyppi (onko jatkos-osa orressa vai kiertääkö jatkosvoima pääkannattimen kautta).



--- = siirtymätila

Kuva 24. Jäykisterakenteiden mitoituksessa huomioitavia seikkoja, kun pituussuuntainen jäykistys toteutetaan päätyseinän mastopilareilla.

### JÄYKISTERISTIKOIDEN SIIRTYMÄ

Yläpohjan ja seinän jäykisteristikoiden siirtymän suuruuteen vaikuttaa ristikon sauvojen dimensiot ja erityisesti ristikon liitosten siirtymät. Yläpohjan jäykisteristikon maksimisiirtymä syntyy yläpohjan ja seinien jäykisteristikoiden taipumasta. Nämä yhdessä aiheuttavat siirtymän, joka tapahtuu myös pääkannattimessa. Kuten kohdassa 3.3 on esitetty, saa jäykisterakenteen murtorajatilan siirtymä olla enintään  $L/500$ . Tämän enempää pääkannatin ei saa siirtyä yläreunastaan (jänneväliään  $L$ ) vaakasuunnassa kannattimen stabiliteetin näkökulmasta. Päätyseinän käyttörajatilan siirtymä saa olla enintään  $H/300$ , mikäli tälle asetetaan rajoitus.

### PÄÄTYSEINÄN PILARIEN JA PALKIN LIITOKSET

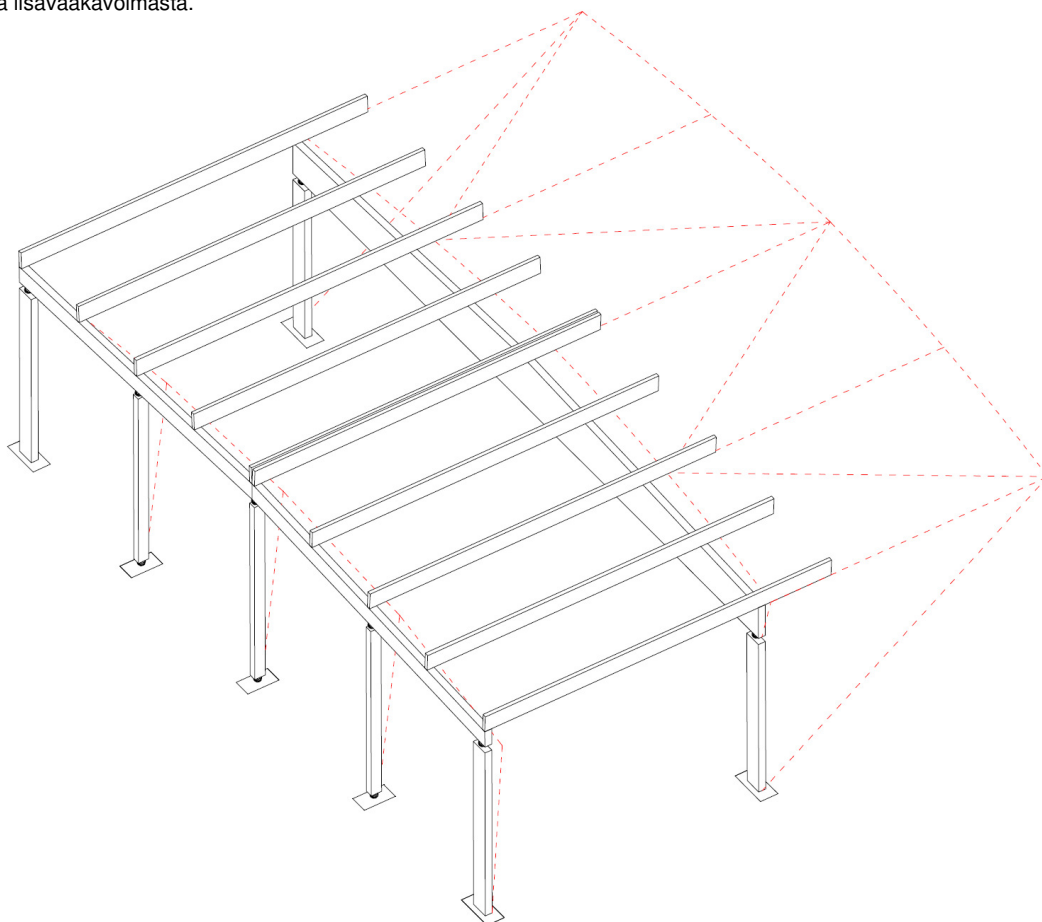
Päätyseinän mastopilarien yläpäässä oleva palkki tulee kiinnittää pilareihin siten, että voimat pystyvät siirtymään katto-orsien ja pilareiden välillä.

### PÄÄKANNATTIMEN JA MASTOPILARIN LIITOS

Pääkannatin tulee kiinnittää mastopilariin momenttijäykästi, jotta pystykuormat siirtyvät pääkannattimelta pilarille. Pääkannattimen yläreunan siirtymän suuruus vaikuttaa oleellisesti kyseisen liitoksen mitoittamiseen. Mitä enemmän pääkannatin pääsee kallistumaan, sitä enemmän liitokseen syntyy momenttia. Kyseiseen liitokseen syntyy momenttia myös palkin asennusvinoudesta.

### KATTO-ORSIEN LIITOKSET

Katto-orret tulee kiinnittää yläpohjan jäykisteristikoon voimalle, jonka jäykisteristikko vastaanottaa yläpohjan tuulikuormista, lisävaakavoimasta ja jäykistyskuormasta (s-kiepahdus hoidettu kannatinkohtaisesti). Katto-orsien ja pääkannattimen välinen liitos tulee mitoittaa määräävälle mitoitusvoimalle, joka syntyy pääkannattimen määräävästä kiepahdusmuodosta ja lisävaakavoimasta. Lisäksi kyseisen liitoksen mitoittamiseen vaikuttaa katto-orsien jatkosten kohdissa olevat voimat ja jatkosrakenteen tyyppi (onko jatkos-osa orressa vai kiertäkö jatkosvoima pääkannattimen kautta). Katto-orsien ja päätyseinän palkin välinen liitos tulee mitoittaa voimalle, joka syntyy päätyseinän tuulikuormasta ja lisävaakavoimasta.



--- = siirtymätila

Kuva 23. Jäykisterakenteiden mitoituksessa huomioitavia seikkoja, kun pituussuuntainen jäykistys toteutetaan erillisillä jäykisteristikoilla.

### LEVYJÄYKISTEEN SIIRTYMÄ

Yläpohjan ja seinän levyjäykisteiden siirtymän suuruuteen vaikuttaa levyn tyyppi ja dimensio sekä erityisesti levyjäykisteen liitosten siirtymät. Yläpohjan levyjäykisteen maksimisiirtymä syntyy yläpohjan ja seinien levyjäykisteiden taipumasta. Nämä yhdessä aiheuttavat siirtymän, joka tapahtuu myös pääkannattimessa. Kuten kohdassa 3.3 on esitetty, saa jäykisterakenteen murtorajatilan siirtymä olla enintään  $L/500$ . Tämän enempää pääkannatin ei saa siirtyä yläreunastaan (jännevälillään  $L$ ) vaakasuunnassa kannattimen stabiliteetin näkökulmasta. Päätyseinän käyttörajatilan siirtymä saa olla enintään  $H/300$ , mikäli tälle asetetaan rajoitus.

### PÄÄTYSEINÄN PILARIEN JA PALKIN LIITOKSET

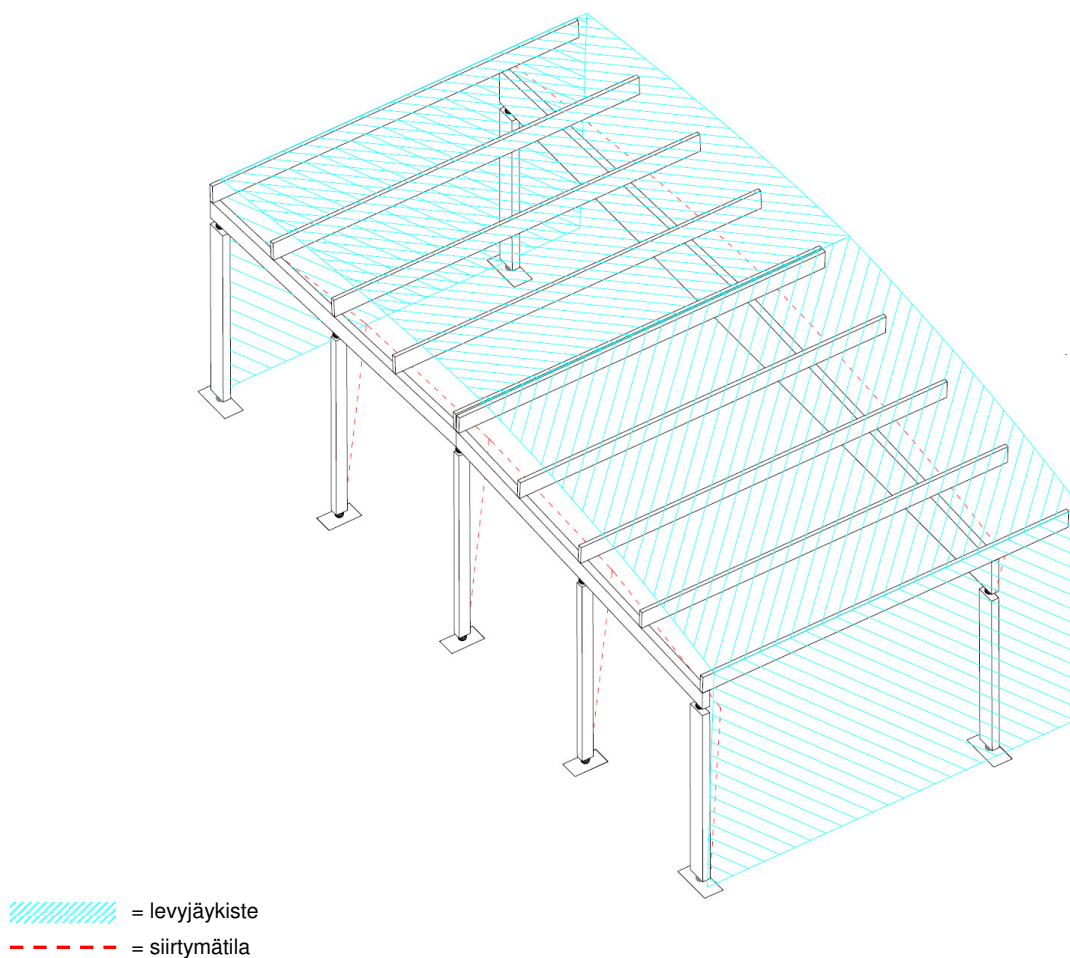
Päätyseinän mastopilarien yläpäässä oleva palkki tulee kiinnittää pilareihin siten, että voimat pystyvät siirtymään katto-orsien ja pilareiden välillä.

### PÄÄKANNATTIMEN JA MASTOPILARIN LIITOS

Pääkannatin tulee kiinnittää mastopilariin momenttijäykästi, jotta pystykuormat siirtyvät pääkannattimelta pilarille. Pääkannattimen yläreunan siirtymän suuruus vaikuttaa oleellisesti kyseisen liitoksen mitoittamiseen. Mitä enemmän pääkannatin pääsee kallistumaan, sitä enemmän liitokseen syntyy momenttia. Kyseiseen liitokseen syntyy momenttia myös palkin asennusvinoudesta.

### KATTO-ORSIEN LIITOKSET

Katto-orsien ja pääkannattimen välinen liitos tulee mitoittaa määräävälle mitoitusvoimalle, joka syntyy pääkannattimen määräävästä kiepahdusmuodosta ja lisävaakavoimasta. Katto-orsien ja päätyseinän palkin välinen liitos tulee mitoittaa voimalle, joka syntyy päätyseinän tuulikuormasta ja lisävaakavoimasta.



Kuva 24. Jäykisterakenteiden mitoituksessa huomioitavia seikkoja, kun pituussuuntainen jäykistys toteutetaan levyjäykisteellä.

## **7.0 RUNGON JÄYKISTÄMINEN PALOTILANTEESSA**

Mikäli rakennuksen rungolta vaaditaan palonkestävyyttä, mitoitetaan jäykistävät rakenteet vaadittuun paloluokkaan. Palotilanteessa rakennuksen jäykistys suunnitellaan palotilanteen kuormituksille. Hallirakennuksessa tulee olla aina vähintään kaksi jäykistesysteemiä (esim. pituussuunnan jäykisteet molemmissa päädyissä), jotka voivat palotilanteessa toimia yksin ja joille kuormitukset voidaan ohjata palotilanteessa. Periaatteena on, että mikäli toinen jäykistesysteemi lopettaa toimintansa palotilanteessa, jää vielä toinen jäykistesysteemi toimintakykyiseksi. Mikäli käytetään vain yhtä jäykistesysteemiä (esim. yksi pituussuuntainen jäykiste hallin keskellä), tulee se palosuoja koko palonkestoajalle.