



Rakenneosan stabiliteettienta & Levyjäykistys

Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018

Moduuli 2

Tero Lahtela

Käsitteitä

Kiepahduksen / nurjahduksen 1. muoto

Kantava rakenne kiepahtaa tai nurjahtaa yhteen suuntaan

Kiepahduksen / nurjahduksen 2. muoto

Kantava rakenne kiepahtaa tai nurjahtaa s-muotoon

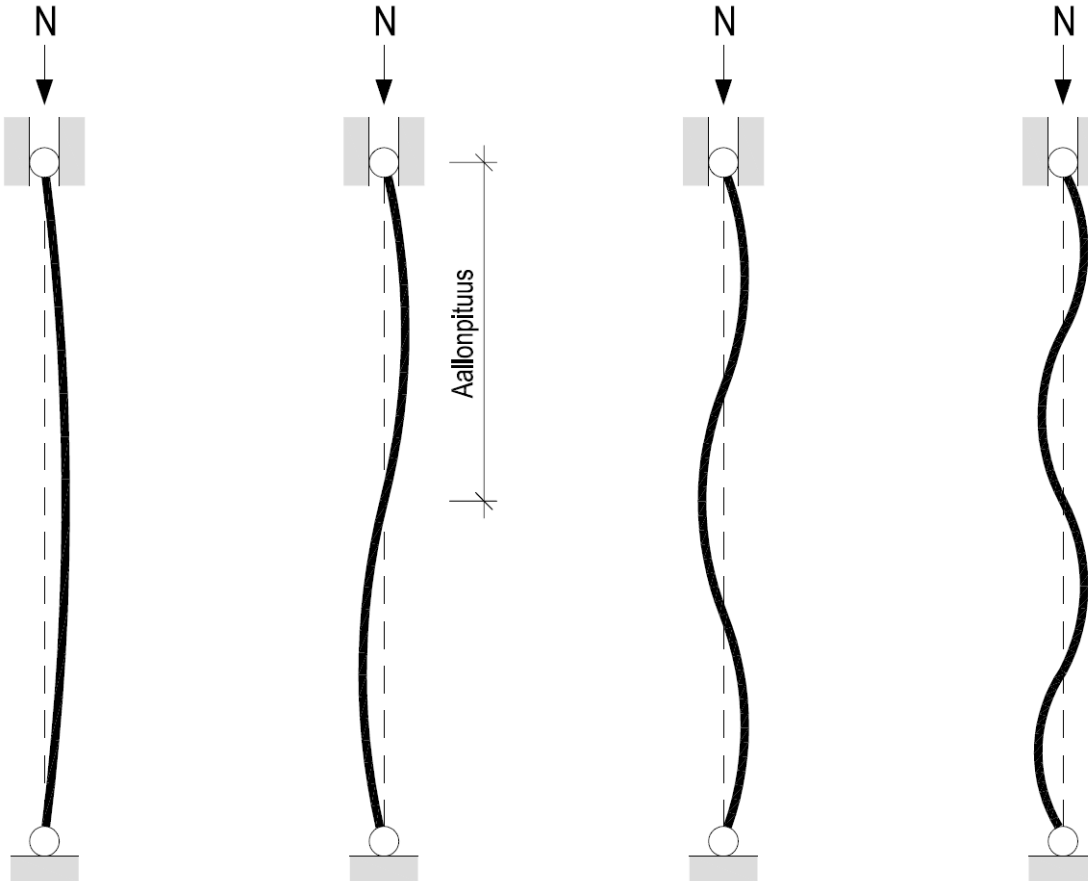
Suljettu jäykistyssysteemi

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

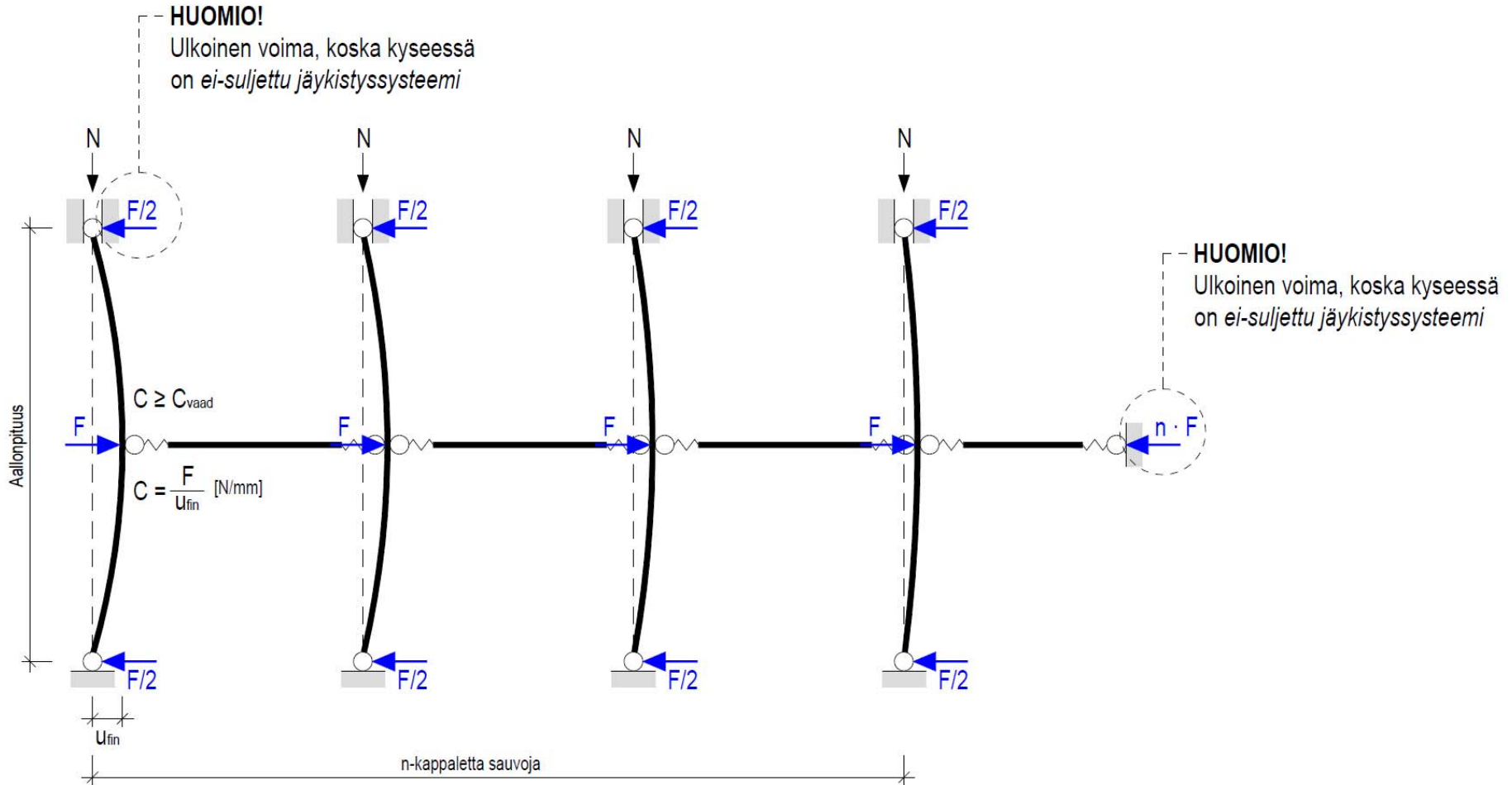
Ei-suljettu jäykistyssysteemi

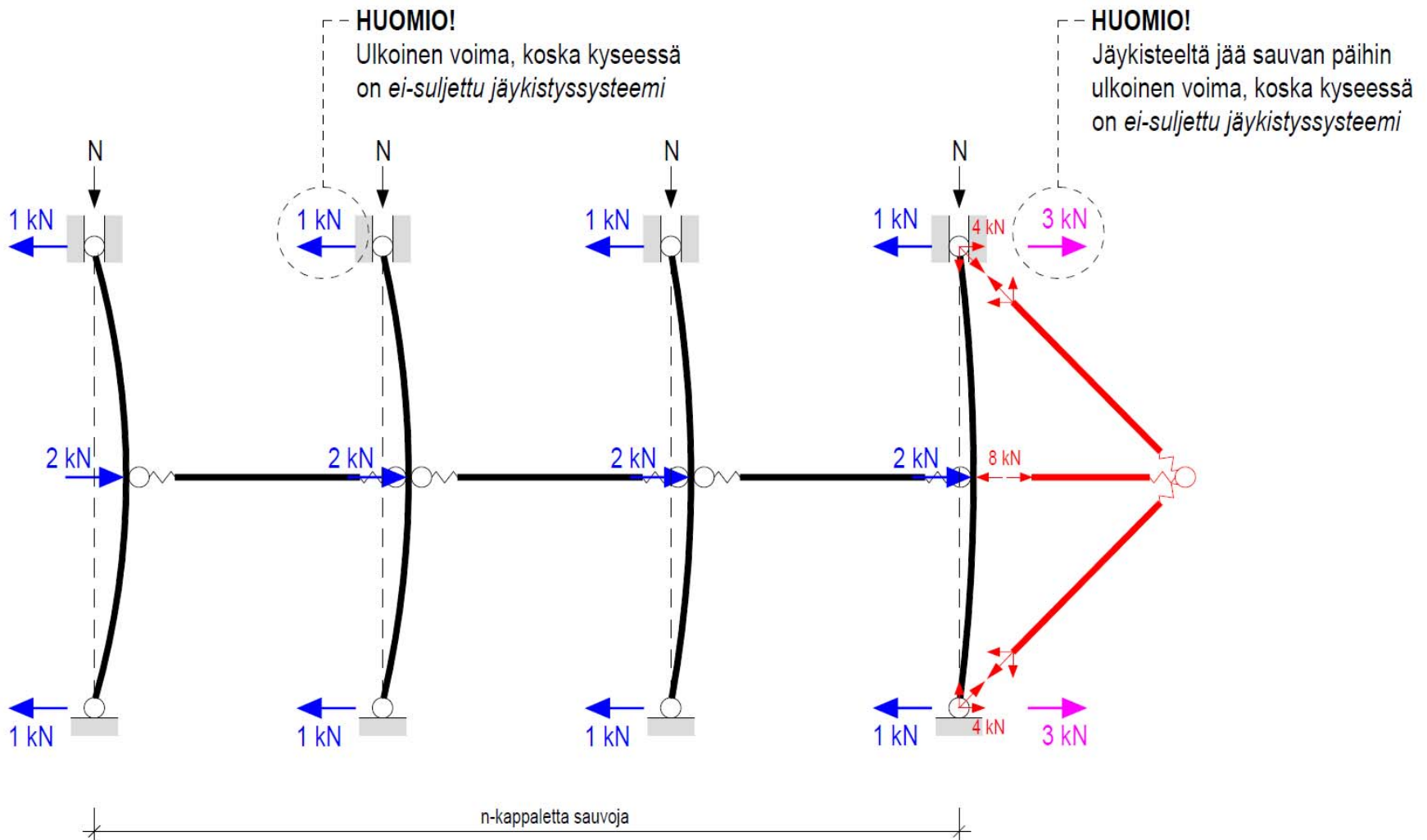
Jäykistävän rakenteen tukireaktioita ei ole palautettu jäykistettävälle rakenteelle/rakennekokonaisuudelle vaan ne aiheuttavat ulkoisia voimia

Nurjahdus- ja kiepahdusmuotoja

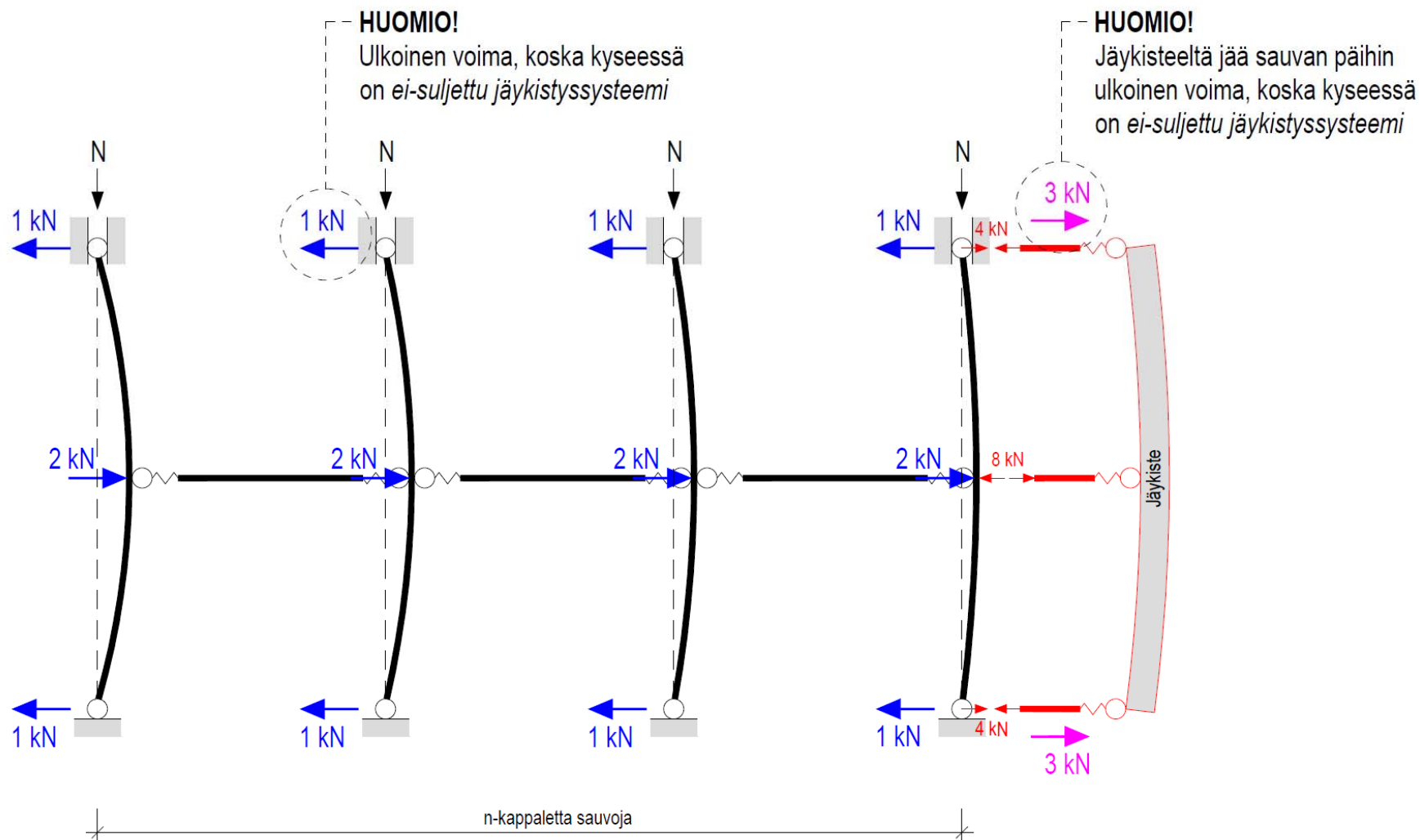


Jäykistysysteemi



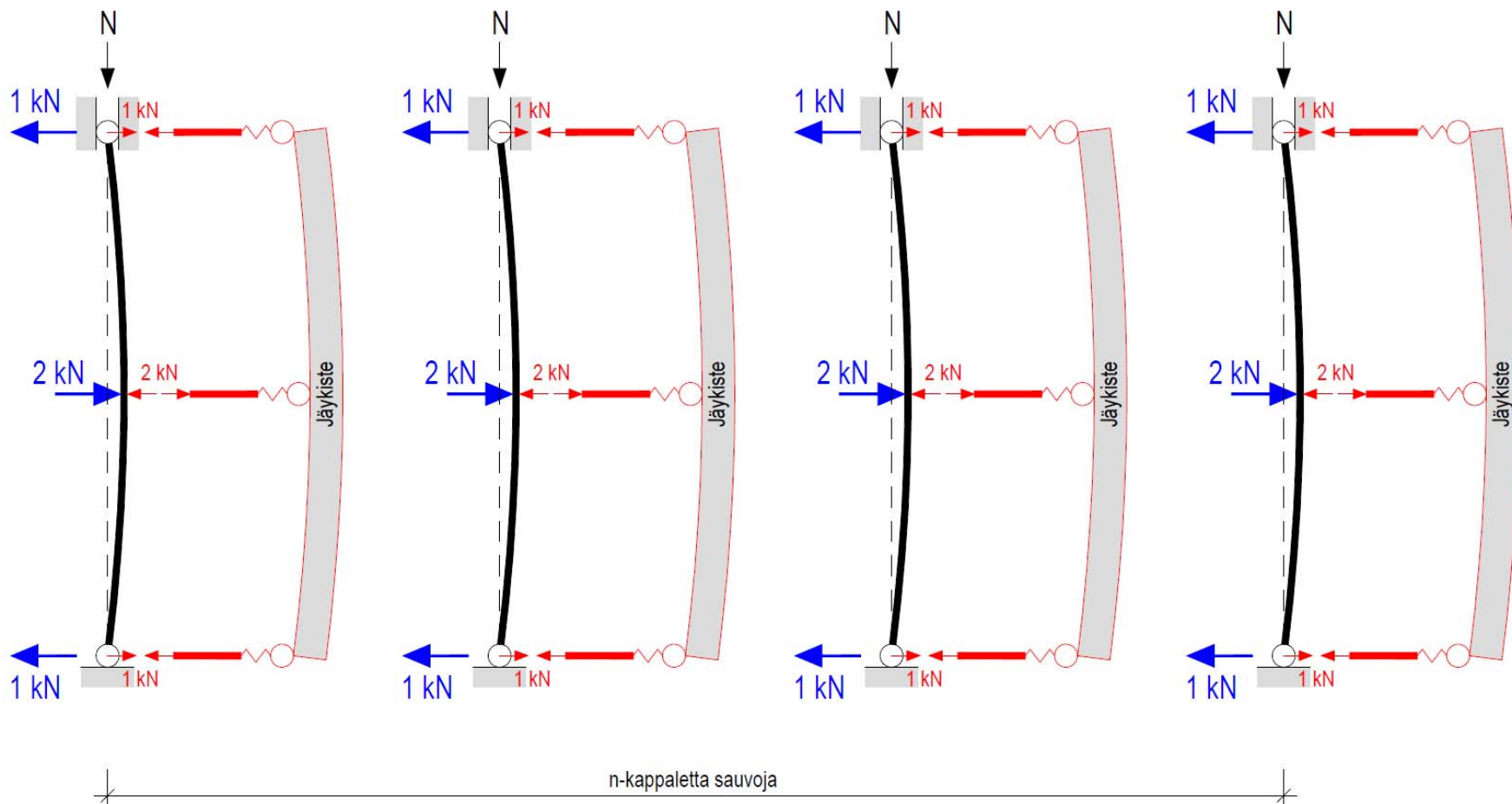


- Esimerkkivoimat nurjahduksesta / kiepahduksesta
- Esimerkkivoimat jäykisteessä
- Ulkoiset esimerkkivoimat jäykisteeltä



HUOMIO!

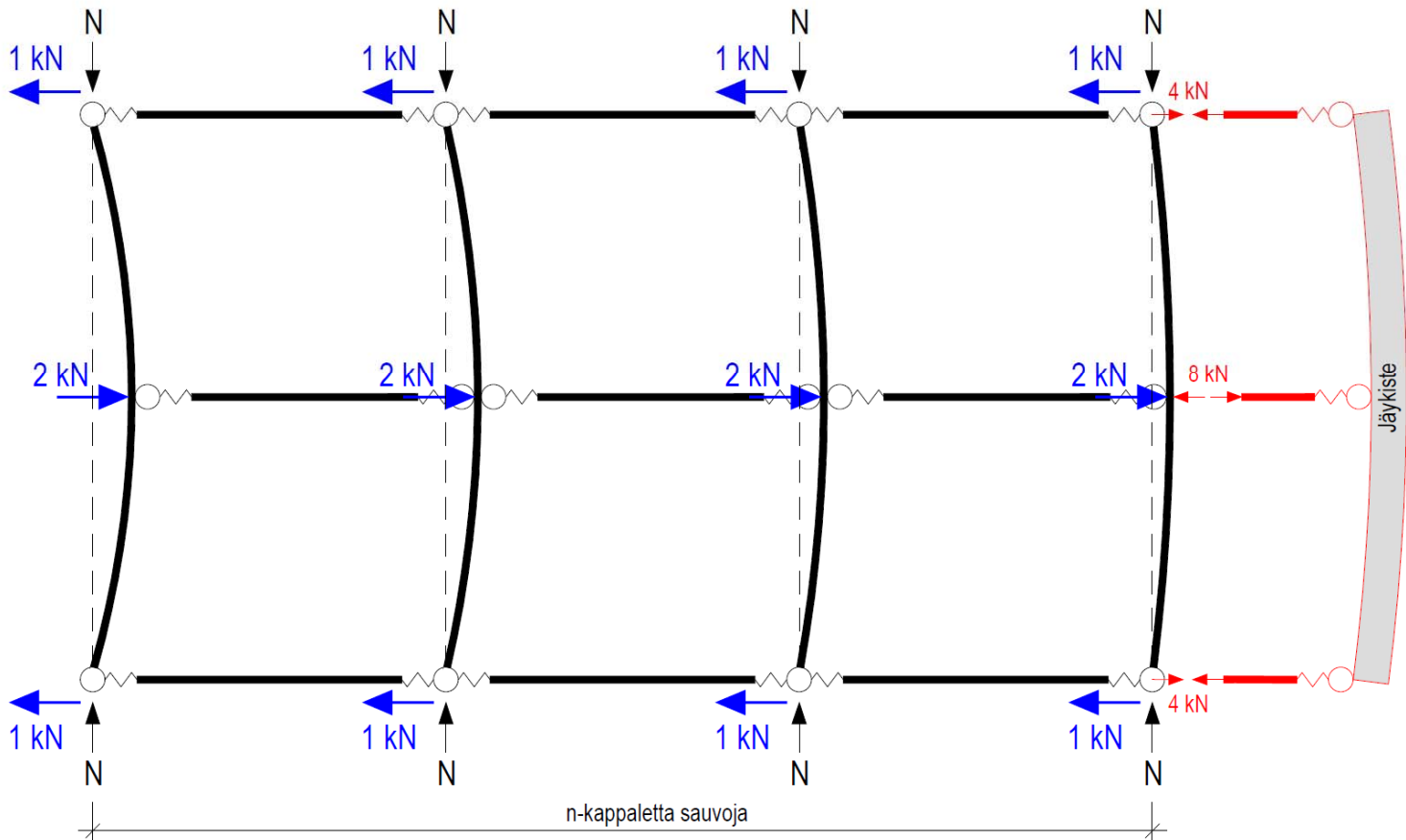
Kyseessä on *suljettu jäykistysysteemi*, joten sauvojen päihin ei tule ulkoisia voimia nurjahduksesta / kiepahduksesta



- Esimerkkivoimat nurjahduksesta / kiepahduksesta
- Esimerkkivoimat jäykisteessä

HUOMIO!

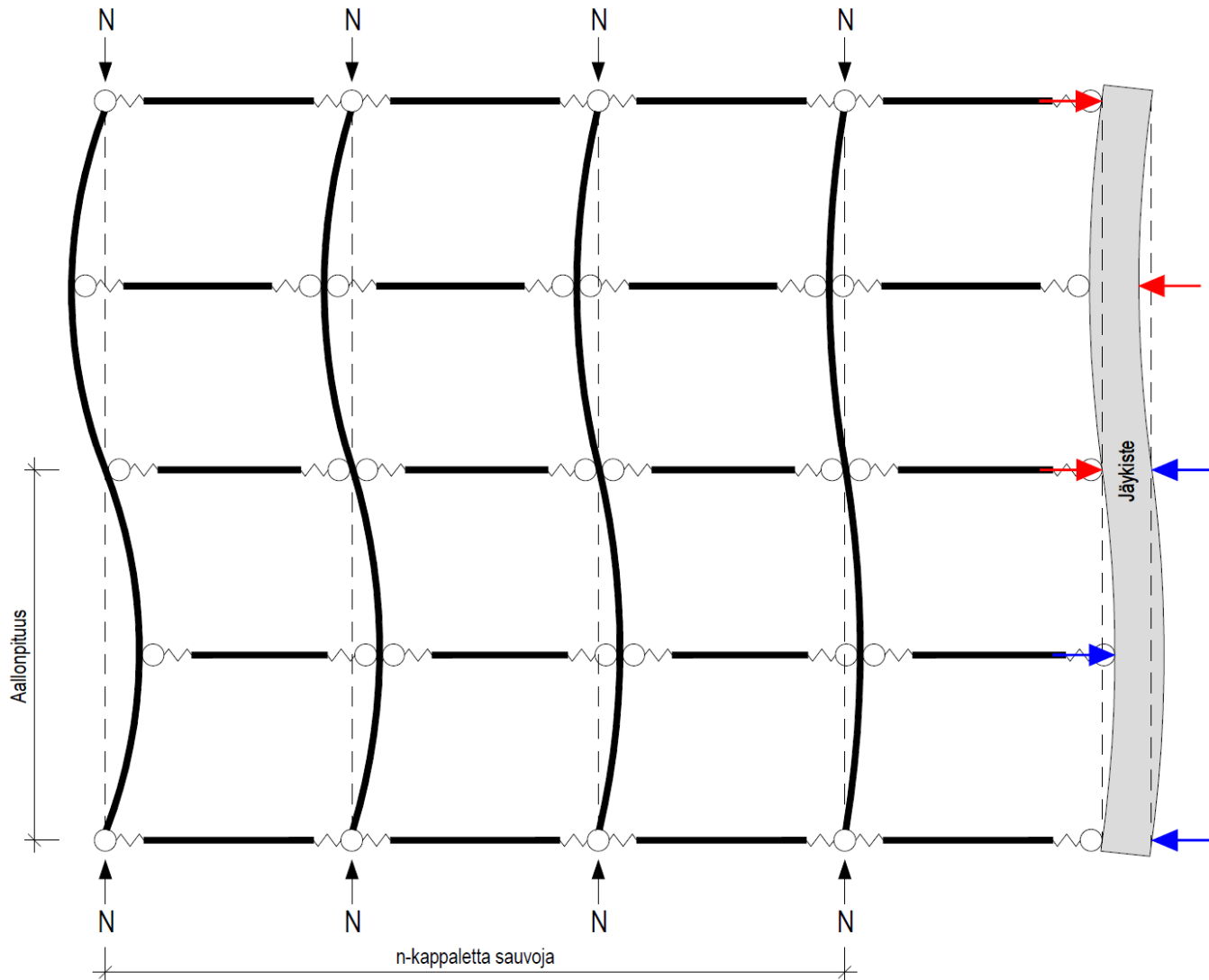
Kyseessä on *suljettu jäykistyssysteemi*, joten sauvojen päihin ei tule ulkoisia voimia nurjahduksesta / kiepahduksesta



- Esimerkkivoimat nurjahduksesta / kiepahduksesta
- Esimerkkivoimat jäykisteessä

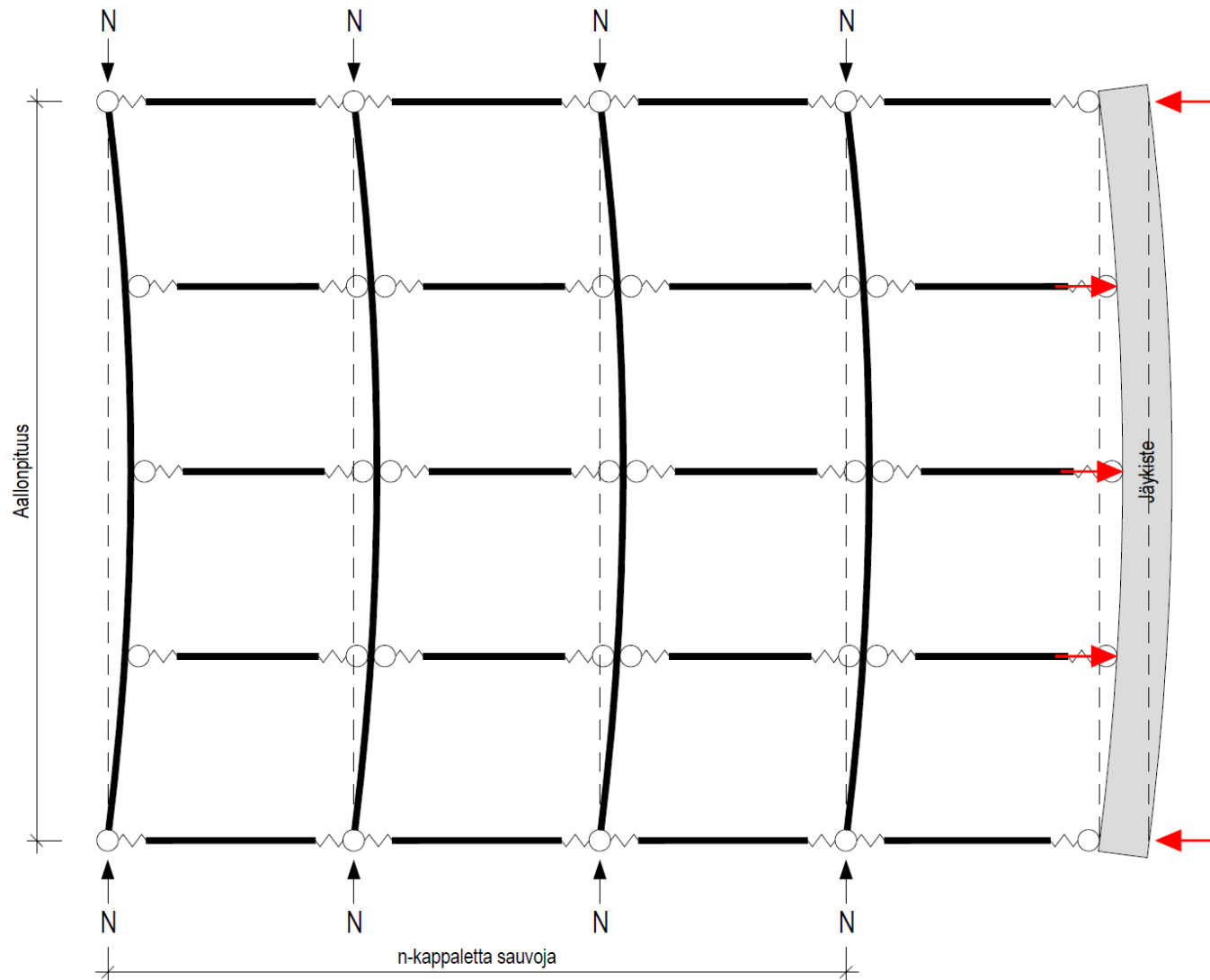
HUOMIO!

Kyseessä on *suljettu jäykistyssysteemi*, joten sauvojen päihin ei tule ulkoisia voimia nurjahduksesta / kiepahduksesta



HUOMIO!

Kyseessä on *suljettu jäykistyssysteemi*, joten sauvojen päihin ei tule ulkoisia voimia nurjahduksesta / kiepahduksesta



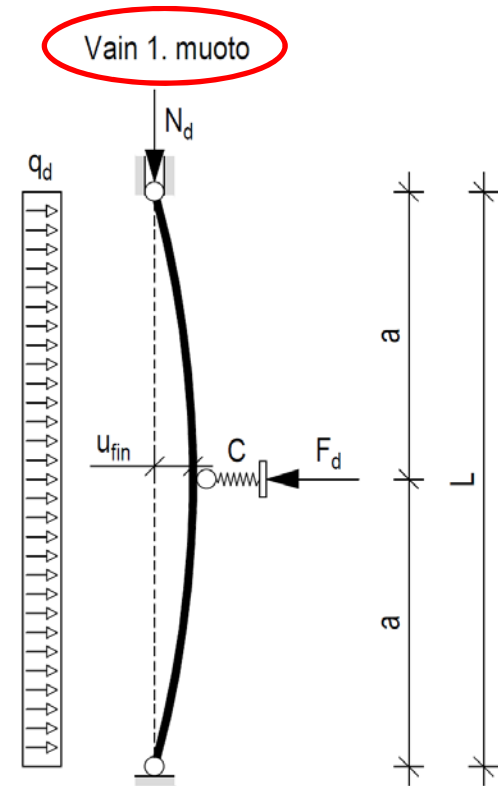
Ei jatkuvasti tuettu sauva (perustapaus) $m=2$

Määritetään

- Tuen jäykkyysvaatimus $C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right)\right) \cdot \frac{N_d}{a}$
- Tuen voima $\begin{cases} F_d = \frac{N_d}{50} & (\text{sahatavara}) \\ F_d = \frac{N_d}{80} & (\text{GL, LVL, CLT}) \end{cases}$
- Jäykistyskuorma $q_d = k_\ell \cdot \frac{n \cdot N_d}{50 \cdot \ell}$

Tarkastetaan

- Tuen jäykkyys C liitossiirtymineen ($K_{u,fin}$)
- Tuen kestävyys voimalle F_d
- $u_{fin} \max L/500$ (MRT) jäykistyskuormalle q_d (sis. tuuli yms. ulkoiset kuormat)



Jatkuvasti tuettu sauva $m > 2$ $\ell_s \leq 0,5 \cdot L$

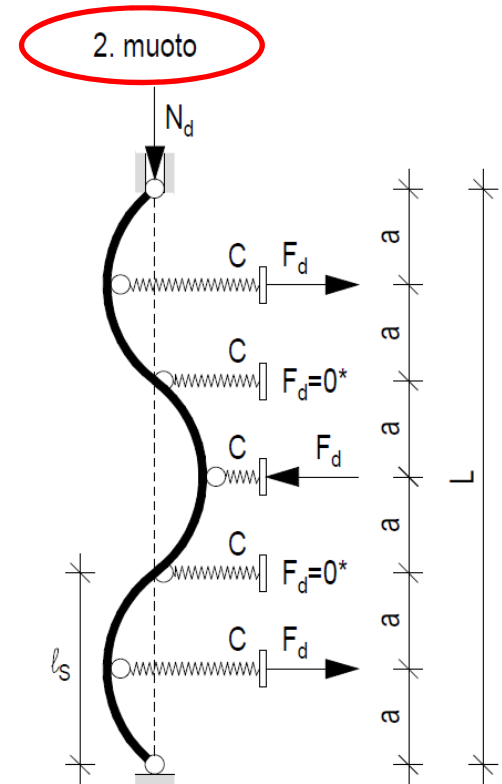
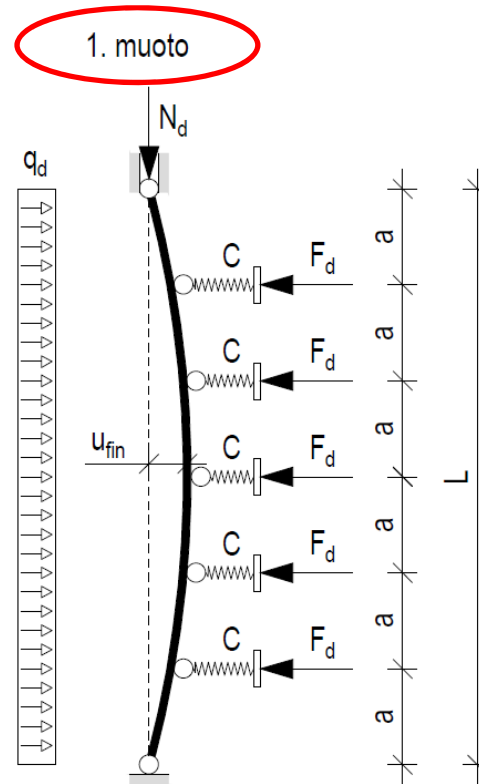
$$\ell_s = \max \left\{ \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C}{a \cdot E_{0,05} \cdot I_z}}}, \frac{a}{\ell_s - a} \right\} \quad k_{S,red} = \frac{a}{\ell_s - a}$$

Määritetään

- Tuen jäykkyysvaatimus $C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a}$
- Jäykistyskuorma $q_d = k_\ell \cdot \frac{n \cdot N_d}{50 \cdot \ell}$
- Tuen voima $\begin{cases} F_d = k_{S,red} \cdot \frac{N_d}{50} & (\text{sahatavara}) \\ F_d = k_{S,red} \cdot \frac{N_d}{80} & (\text{GL, LVL, CLT}) \\ F_d = q_d \cdot a & \end{cases}$

Tarkastetaan

- Tuen jäykkyys C liitossiirtymineen ($K_{u,fin}$)
- Tuen kestävyys voimalle $\max F_d$
- $u_{fin} \max L/500$ (MRT) jäykistyskuormalle q_d (sis. tuuli yms. ulkoiset kuormat)



* Kiinnitetään kuitenkin voimalle F_d

Jatkuvasti tuettu sauva $m > 2$ $\ell_s > 0,5 \cdot L$

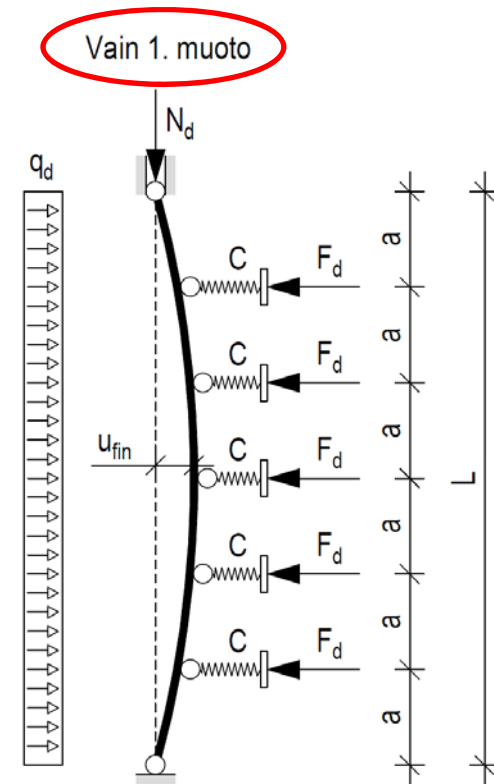
$$\ell_s = \max \left\{ \frac{\pi}{\sqrt[4]{\frac{C}{a \cdot E_{0,05} \cdot I_z}}}, 2a \right\}$$

Määritetään

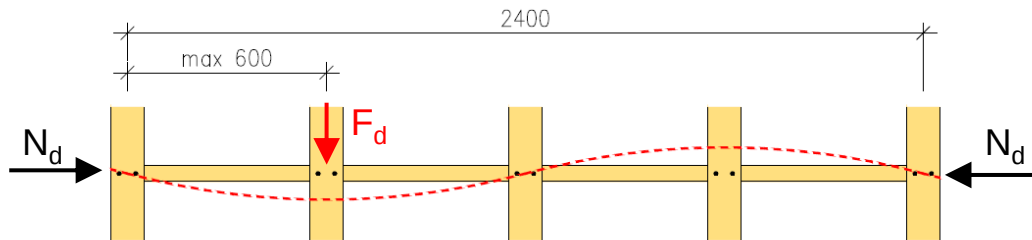
- Tuen jäykkyysvaatimus $C \geq \left(2 + 2 \cdot \cos \left(\frac{180^\circ}{m} \right) \right) \cdot \frac{N_d}{a}$
- Jäykistyskuorma $q_d = k_\ell \cdot \frac{n \cdot N_d}{50 \cdot \ell}$
- Tuen voima $F_d = q_d \cdot a$

Tarkastetaan

- Tuen jäykkyys C liitossiirtymineen ($K_{u,fin}$)
- Tuen kestävyys voimalle F_d
- $u_{fin} \max L/500$ (MRT) jäykistyskuormalle q_d (sis. tuuli yms. ulkoiset kuormat)



Jäykkyysvaatimus



TAPAUS 1

Liimapuu GL30cs 42x270

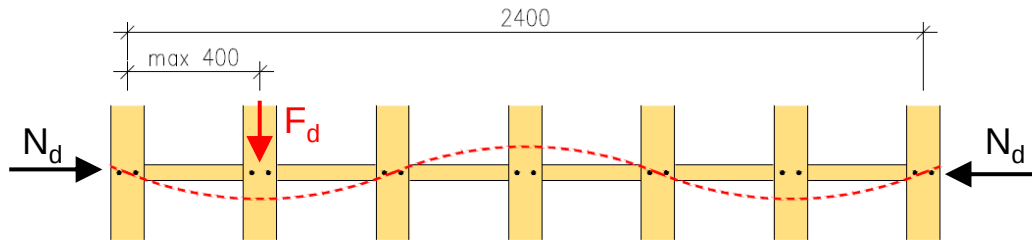
$N_d = 155 \text{ kN}$

Käyttöaste 100 % (k600 jaolla)

$$k = \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{13,7}{0,92 \cdot 14,9} = 1,0 \quad (\text{RIL 205-1-2017, kaava 9.35.1S})$$

$$F_d = k \cdot \frac{N_d}{80} = 1,0 \cdot \frac{155}{80} = 1,9 \text{ kN}$$

$$C = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{4}\right) \right) \cdot \frac{155}{0,6} = 882 \text{ N/mm}$$



TAPAUS 2

Liimapuu GL30cs 42x270

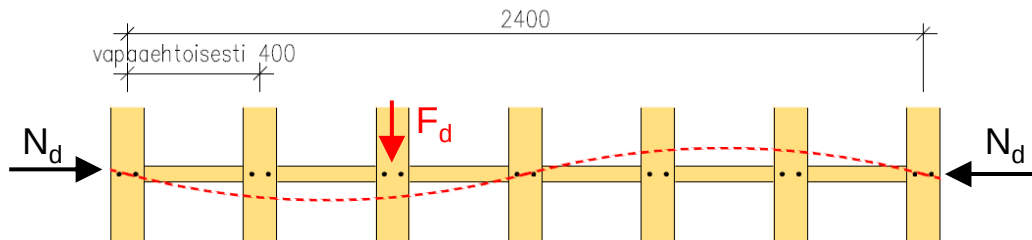
$N_d = 165 \text{ kN}$

Käyttöaste 100 % (k400 jaolla)

$$k = \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{14,6}{0,97 \cdot 14,9} = 1,0 \quad (\text{RIL 205-1-2017, kaava 9.35.1S})$$

$$F_d = k \cdot \frac{N_d}{80} = 1,0 \cdot \frac{165}{80} = 2,0 \text{ kN}$$

$$C = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{6}\right) \right) \cdot \frac{165}{0,4} = 1540 \text{ N/mm}$$



TAPAUS 3

Liimapuu GL30cs 42x270

$N_d = 155 \text{ kN}$

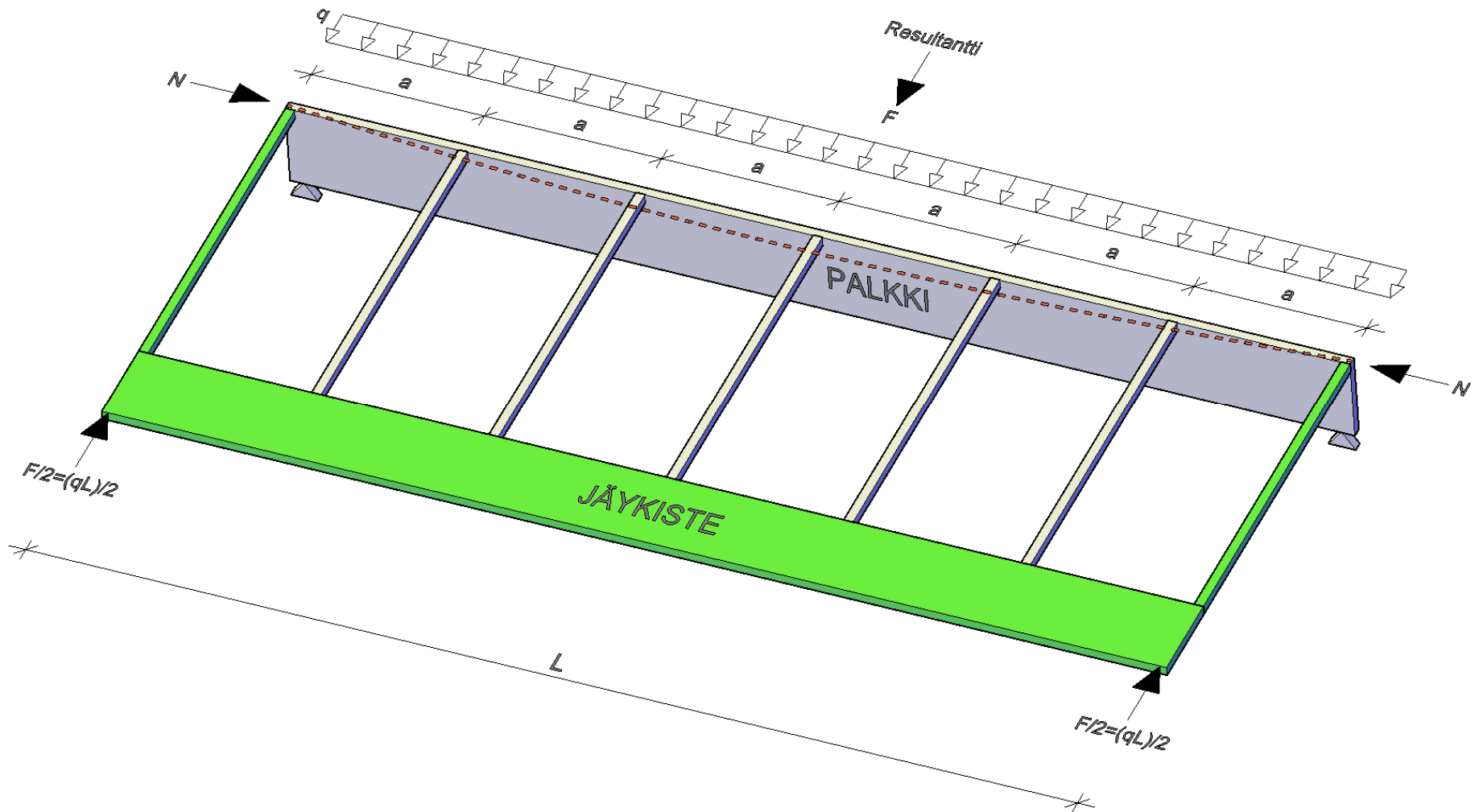
Käyttöaste 94 % (k400 jaolla)

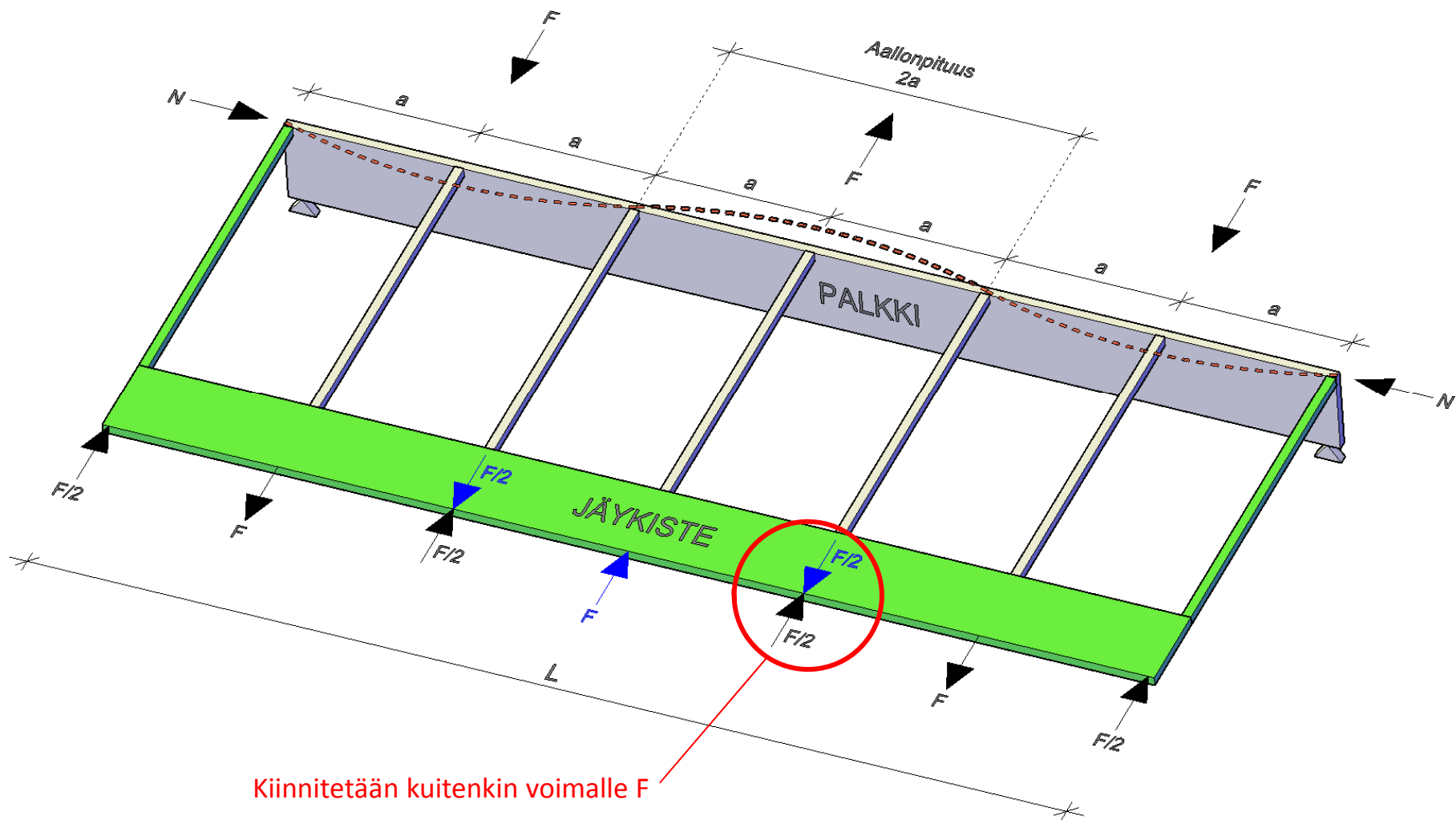
$$k = \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{13,7}{0,97 \cdot 14,9} = 0,94 \quad (\text{RIL 205-1-2017, kaava 9.35.1S})$$

$$F_d = k \cdot \frac{N_d}{80} = 0,94 \cdot \frac{155}{80} = 1,8 \text{ kN}$$

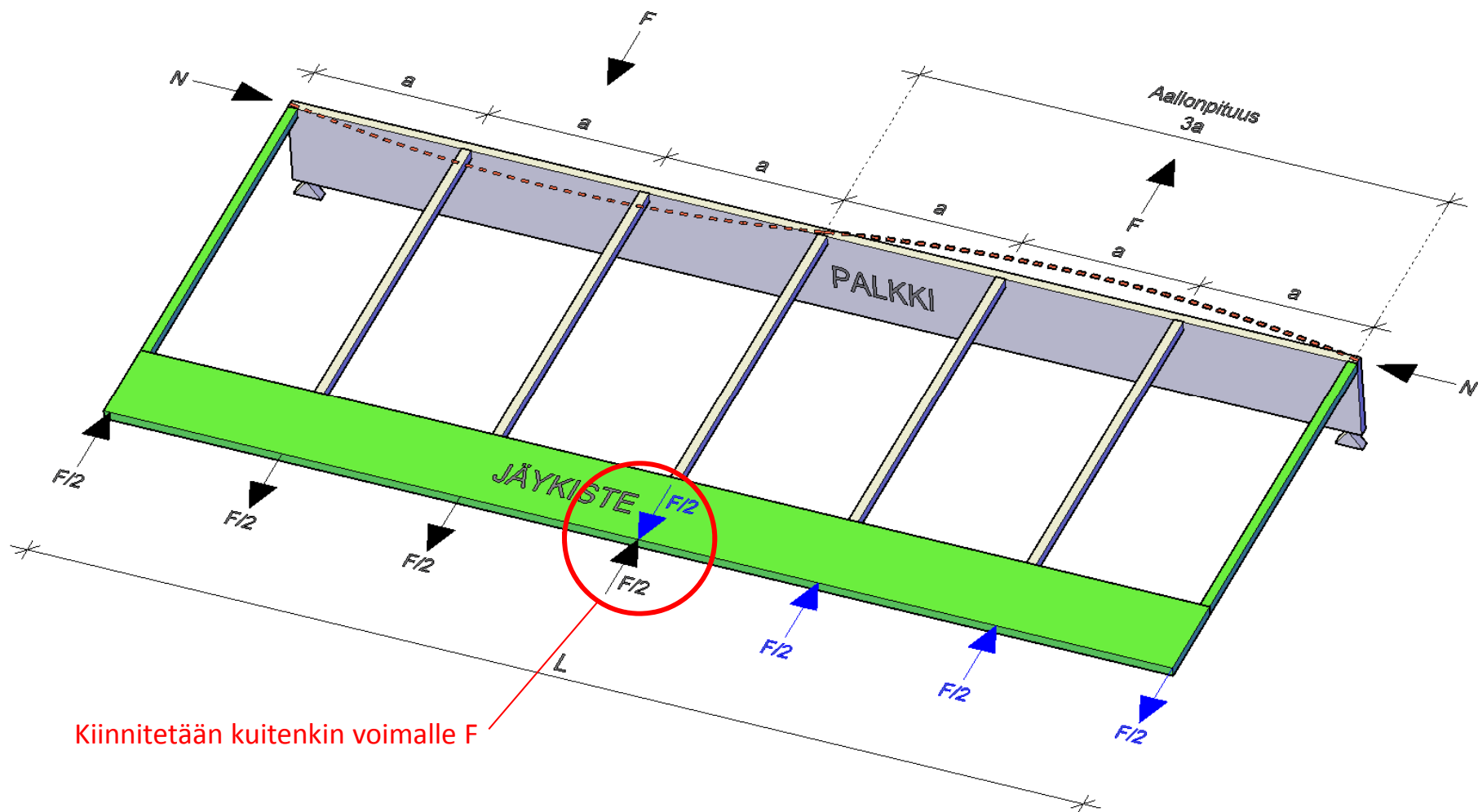
$$C = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{m}\right) \right) \cdot \frac{N_d}{a} = \left(2 + 2 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ}{6}\right) \right) \cdot \frac{155}{0,4} = 1446 \text{ N/mm}$$

Suljettu jäykistyssteemi

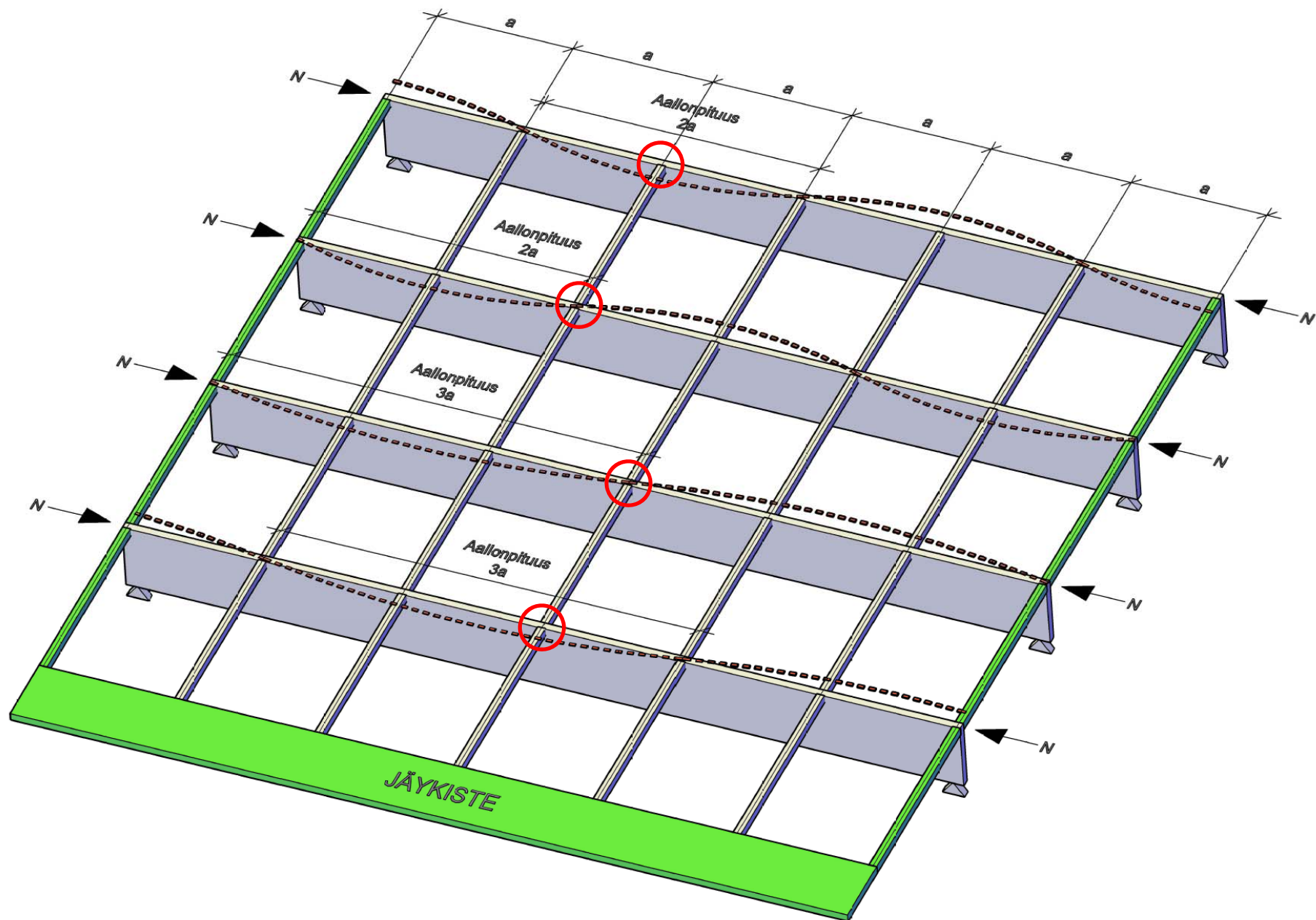




Kiinnitetään kuitenkin voimalle F



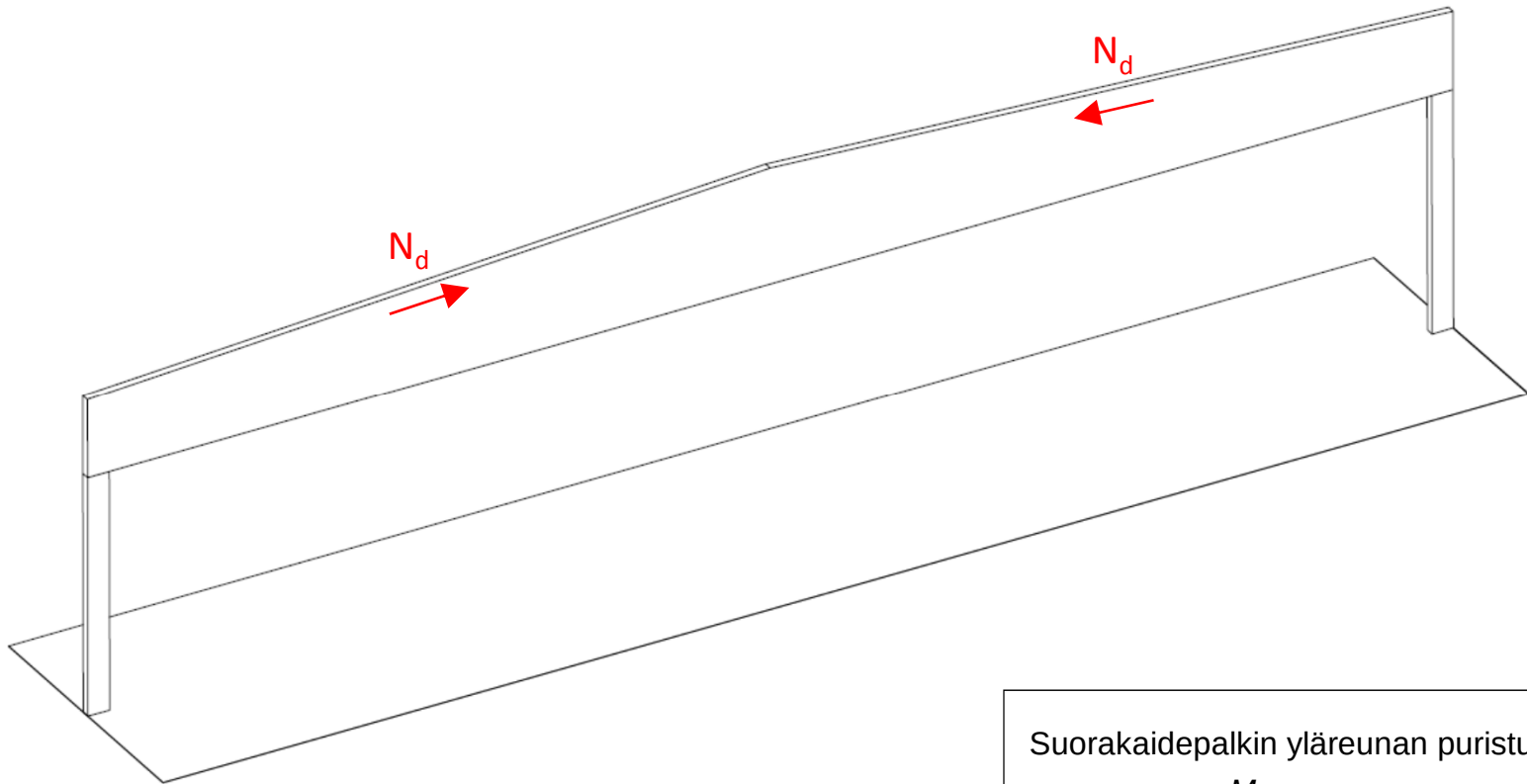
Kiinnitetään kuitenkin voimalle F



Esimerkkejä tuettavista rakenneosista

Palkki

- puristetun reunan kiepahdustuenta (myös nurjahdus mahdollinen)



Suorakaidepalkin yläreunan puristusvoima

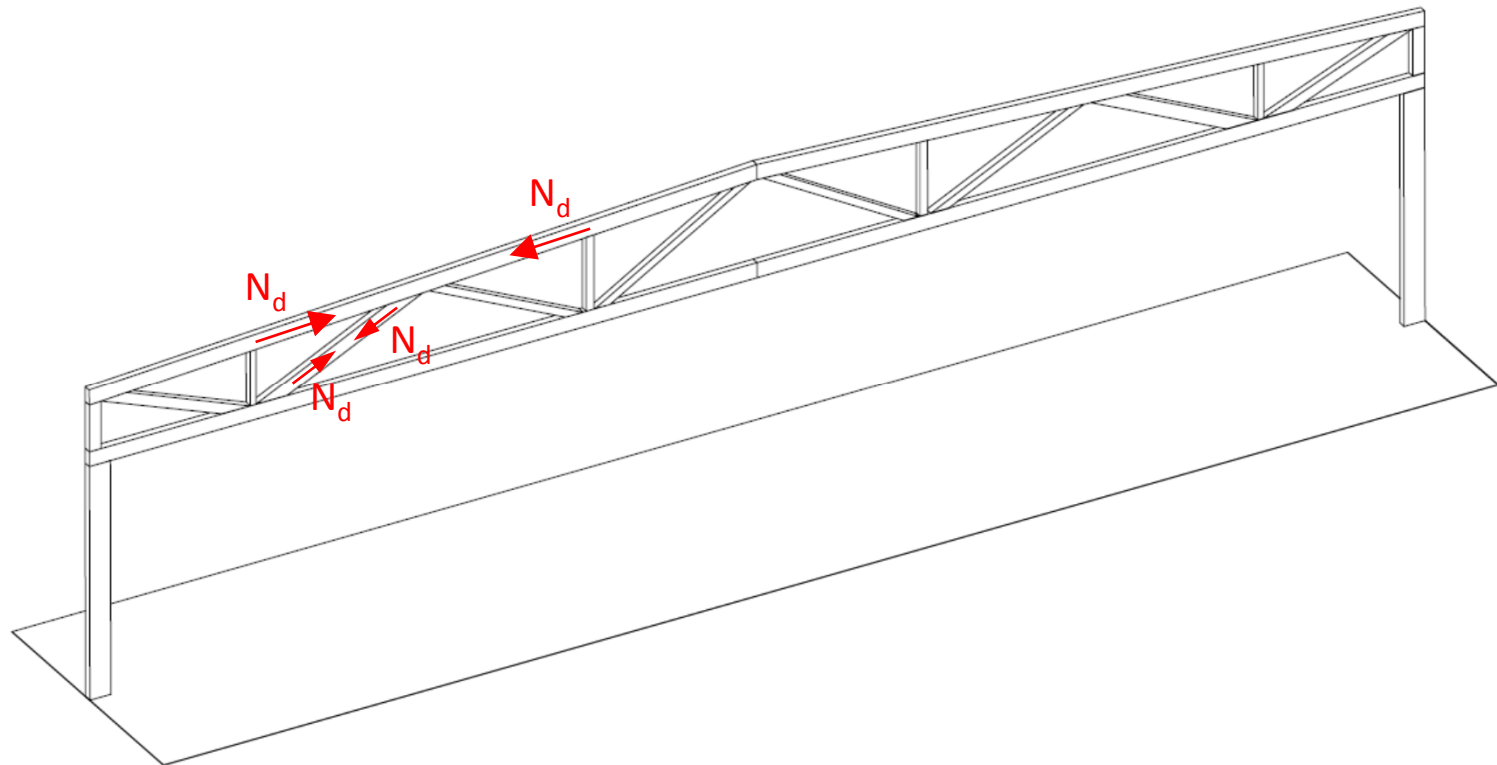
$$N_d = (1 - k_{crit}) \cdot \frac{M_d}{h}$$

k_{crit} määritetään tukemattomalle palkille



Ristikko

- puristetun paarteen nurjahdustuenta (myös kiepahdus mahdollinen)
- puristetun uumasauvan nurjahdustuenta (tarvittaessa)









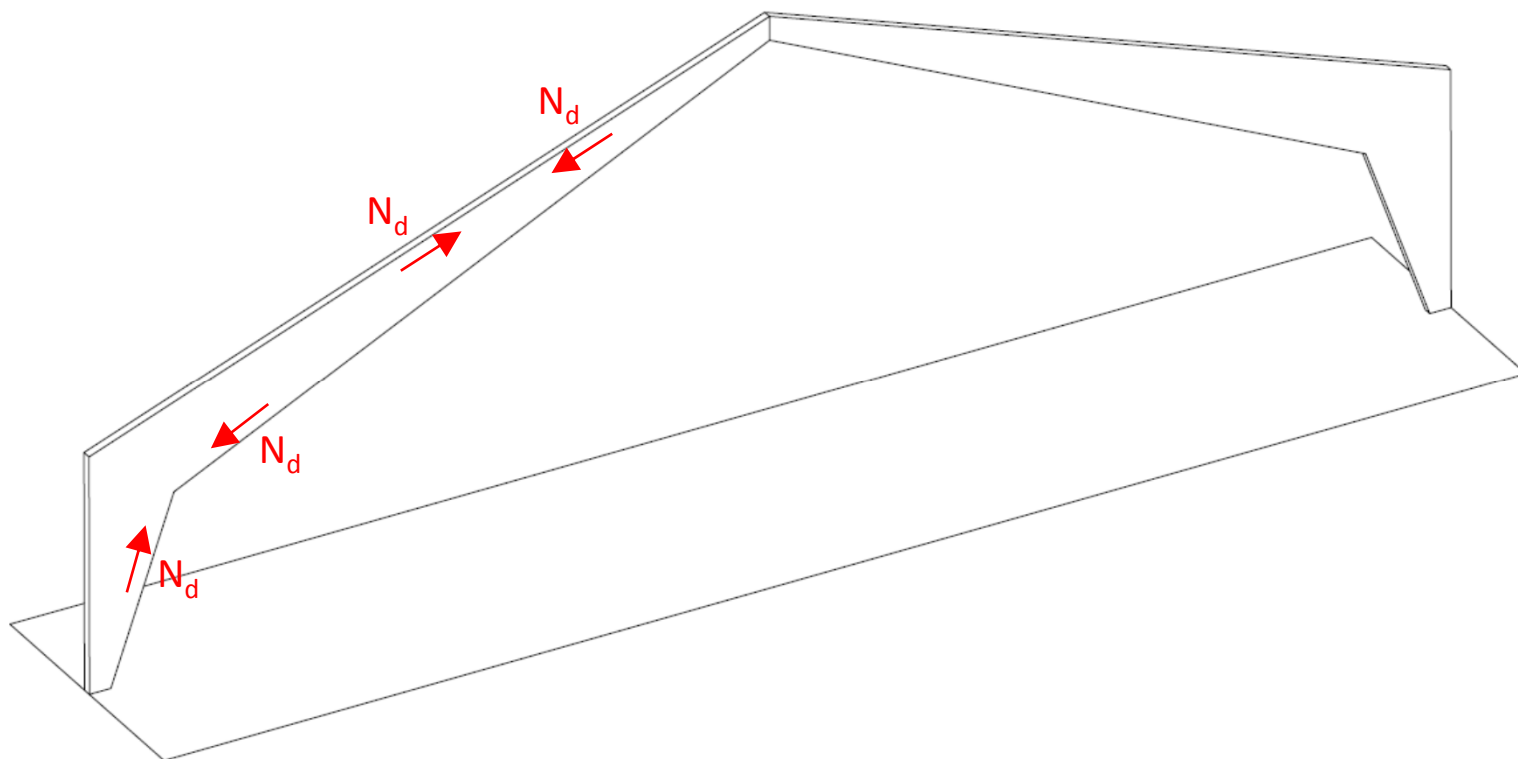


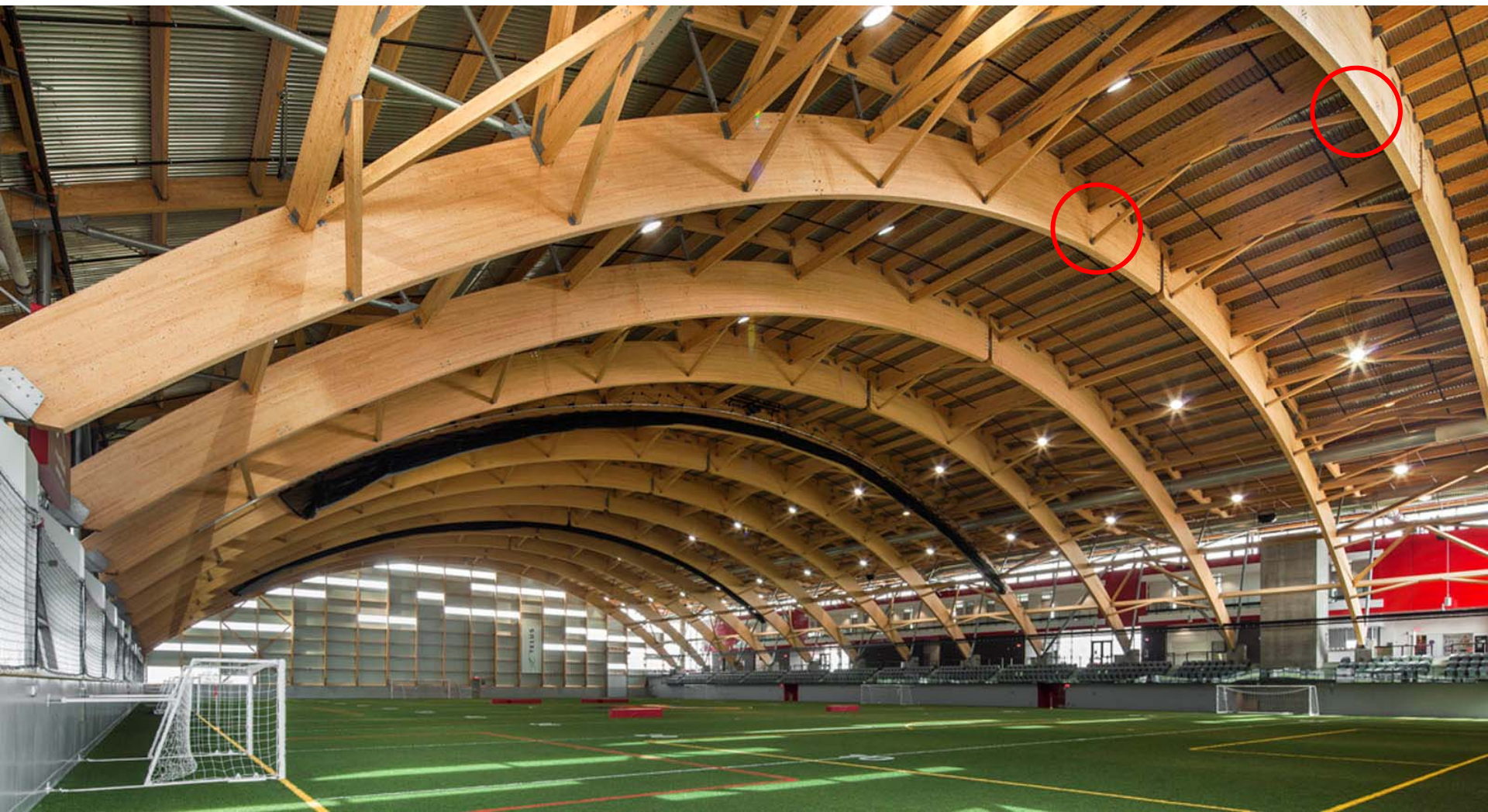




Kehä (kaari)

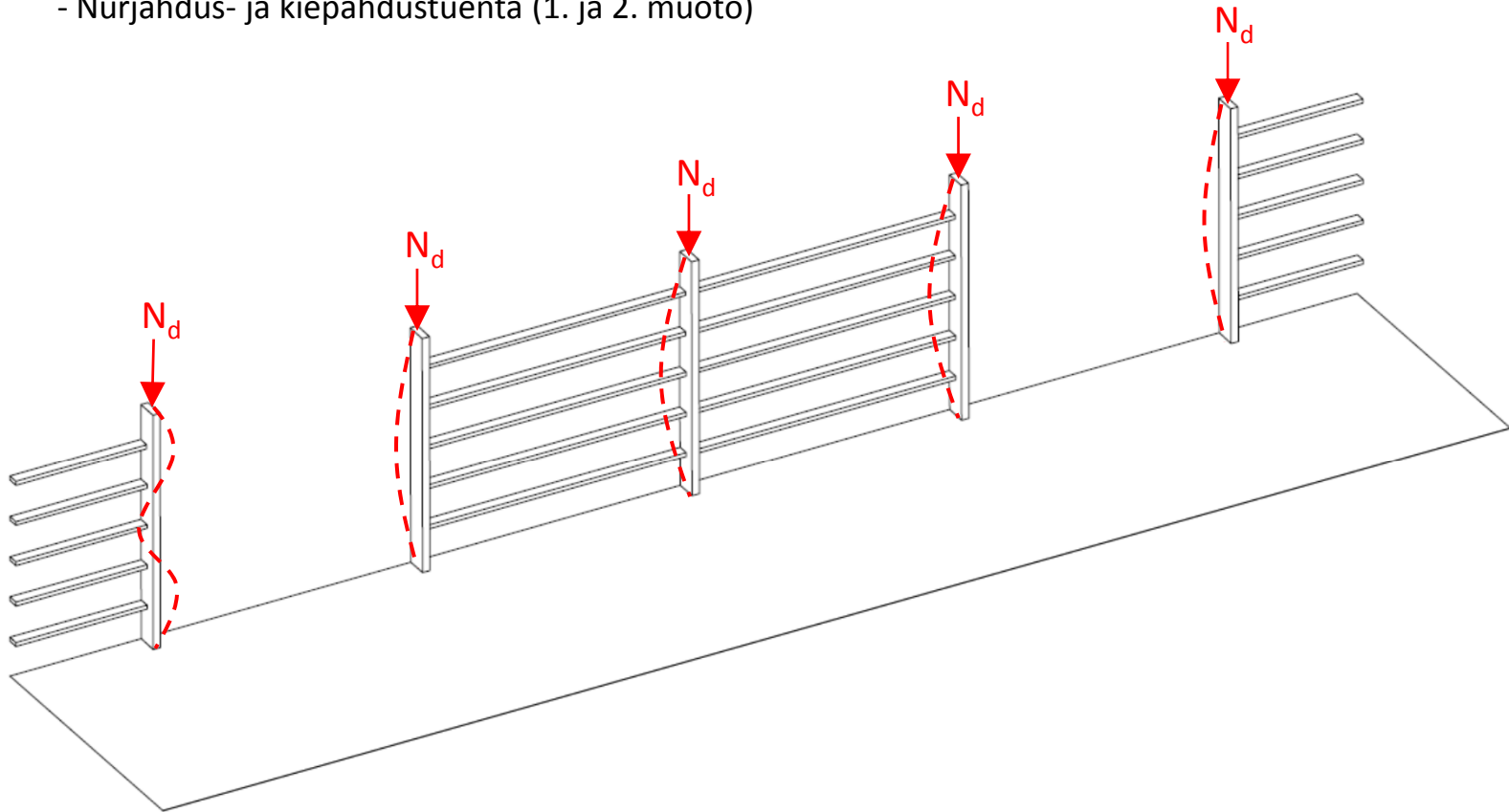
- puristetun reunan nurjahdus- ja kiepahdustuenta





Pilarit

- Nurjahdus- ja kiepahdustuenta (1. ja 2. muoto)

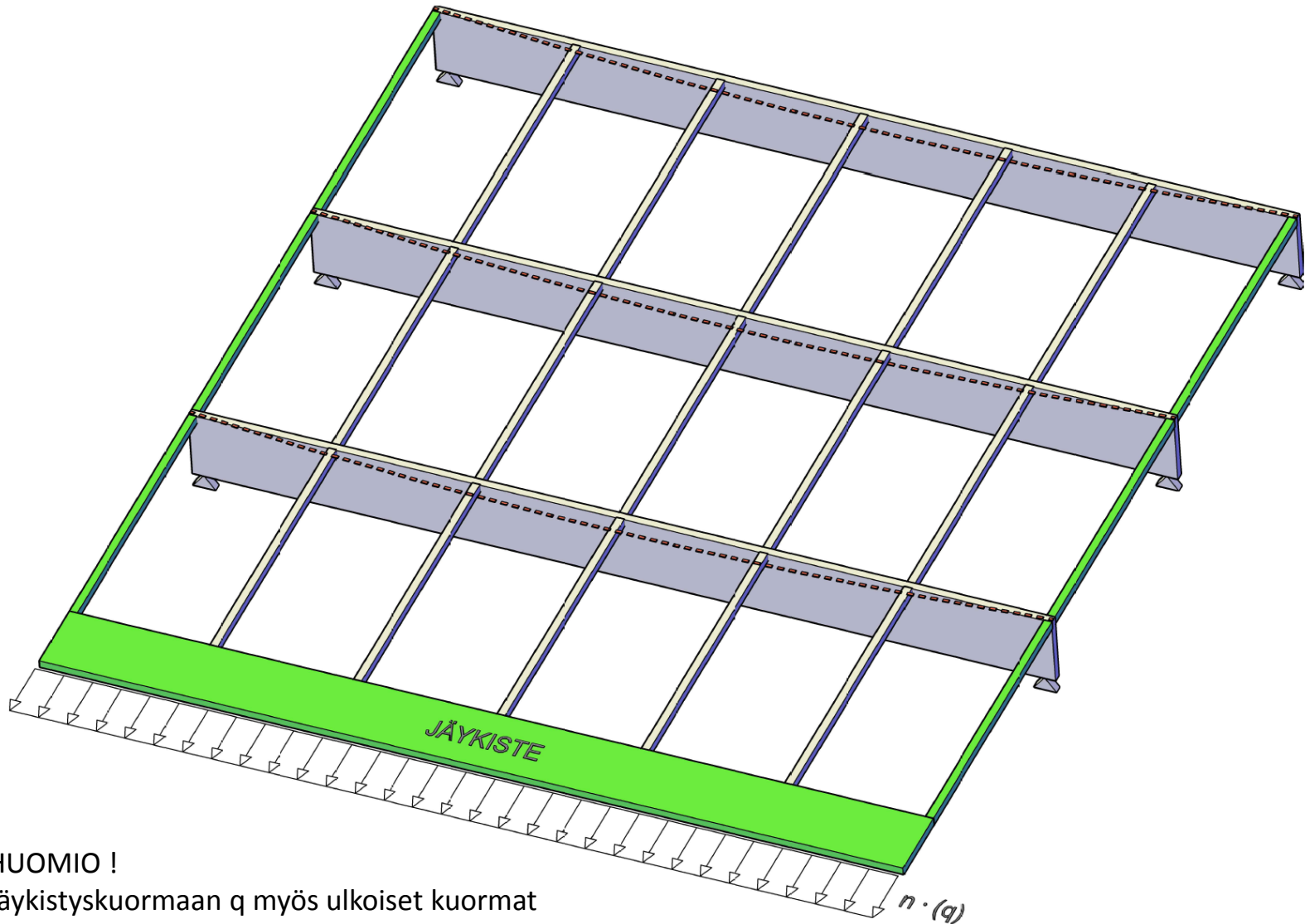






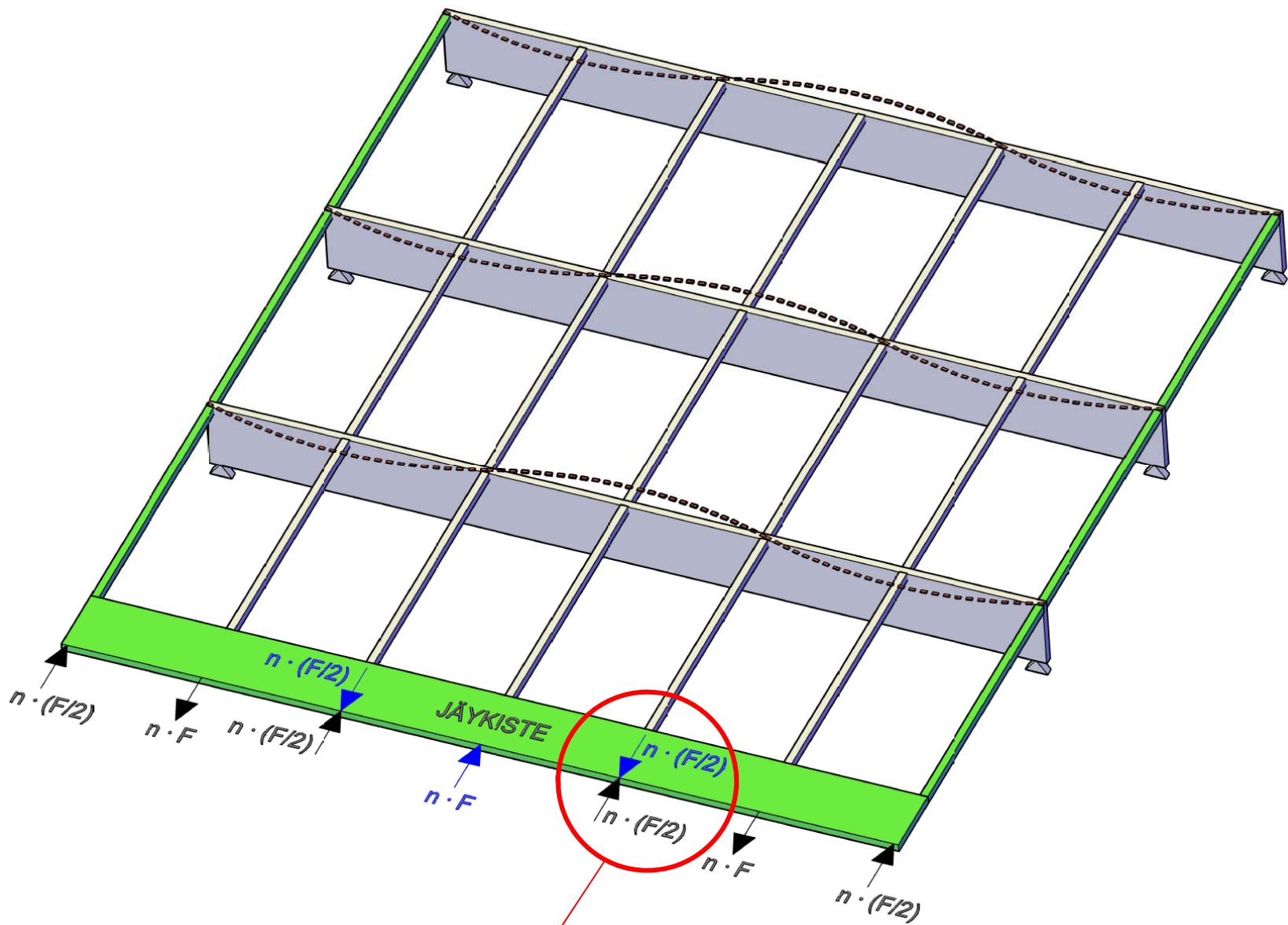
Puristettu reuna

n-kappaletta vierekkäisiä kannattimia



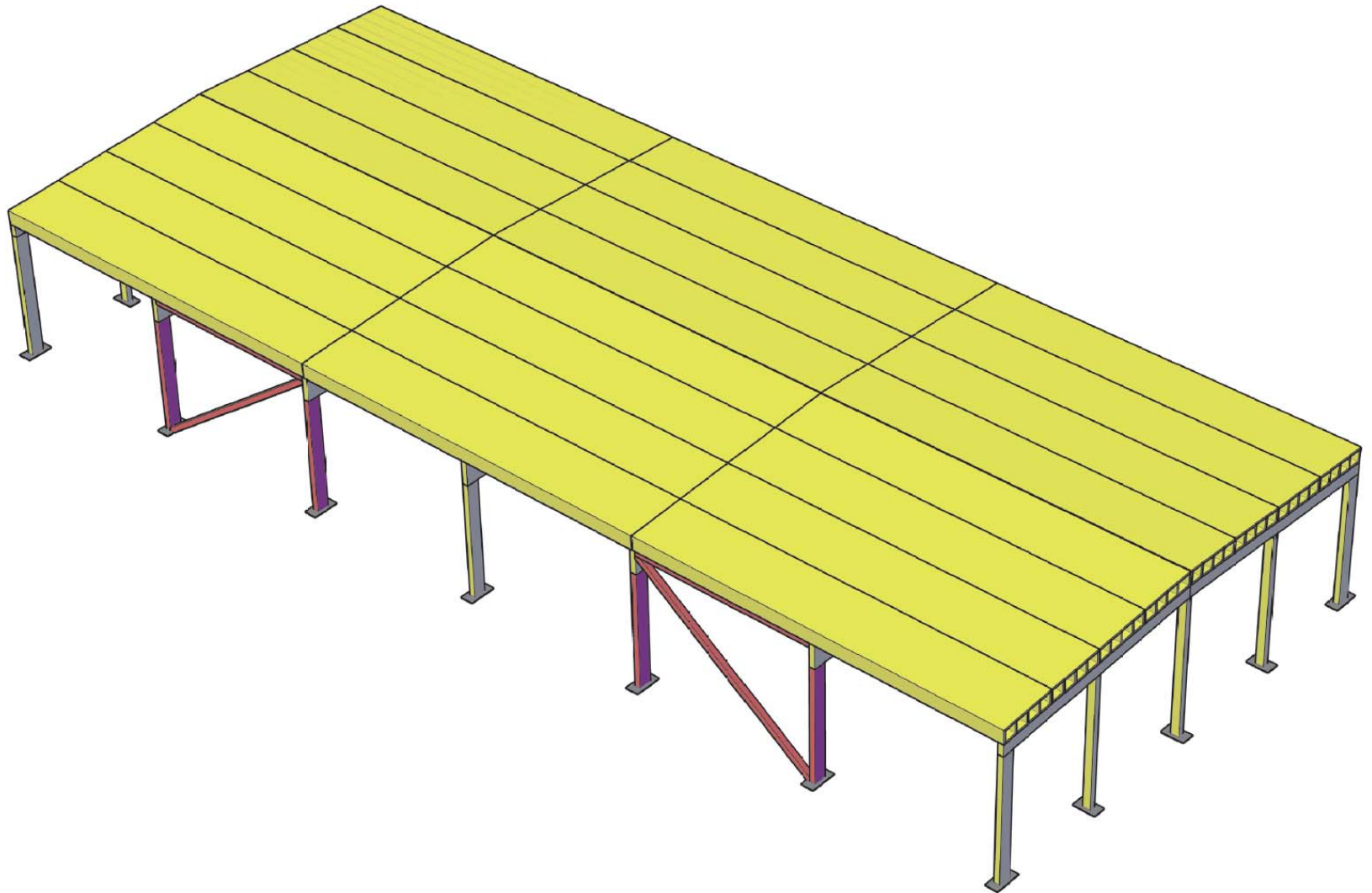
HUOMIO !

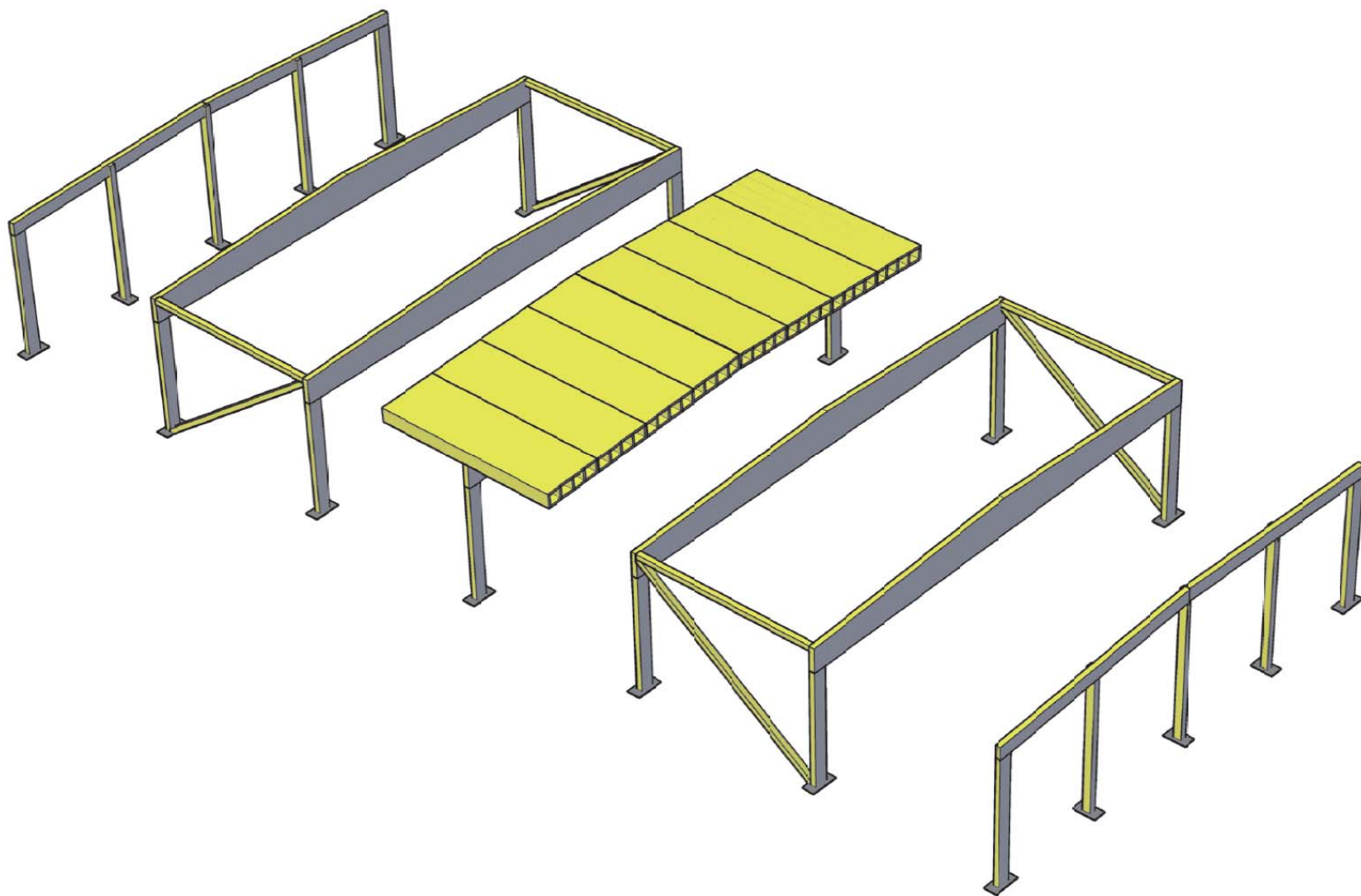
Jäykistyskuormaan q myös ulkoiset kuormat
(esim. lisävaakavoima, tuuli)



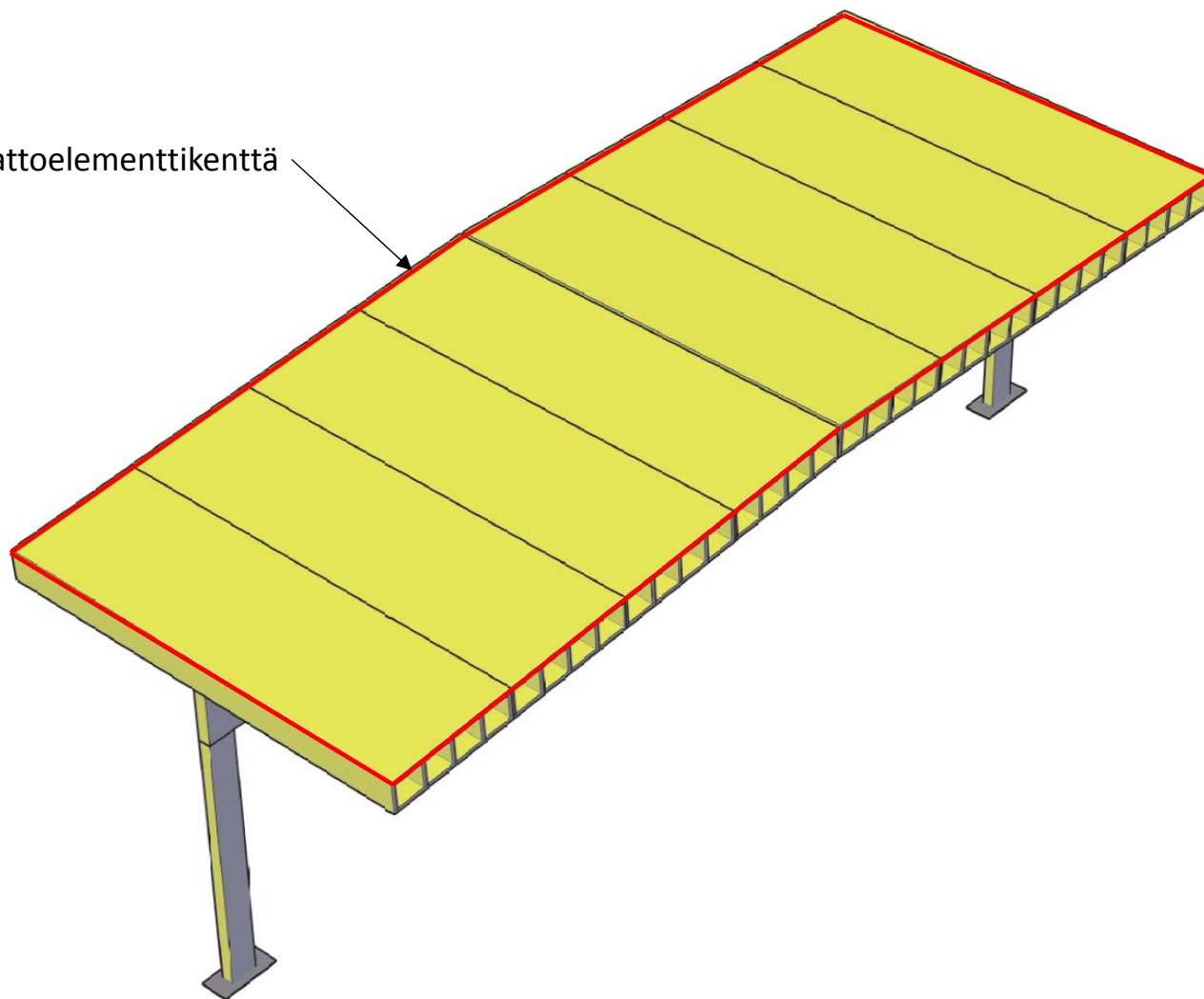
Kiinnitetään kuitenkin voimalle $n \cdot F$

Palkin stabiliteettituenta kattoelementeillä

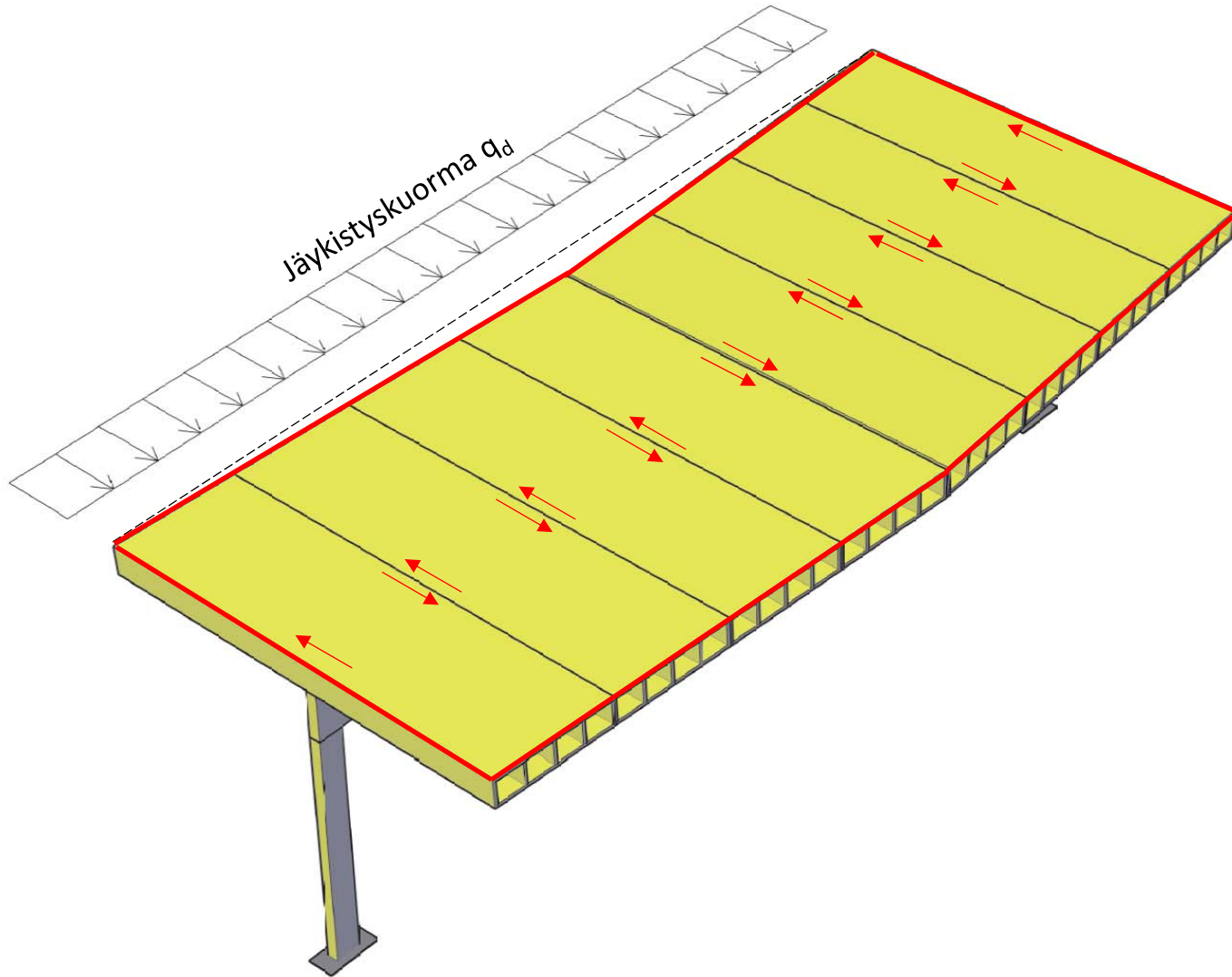




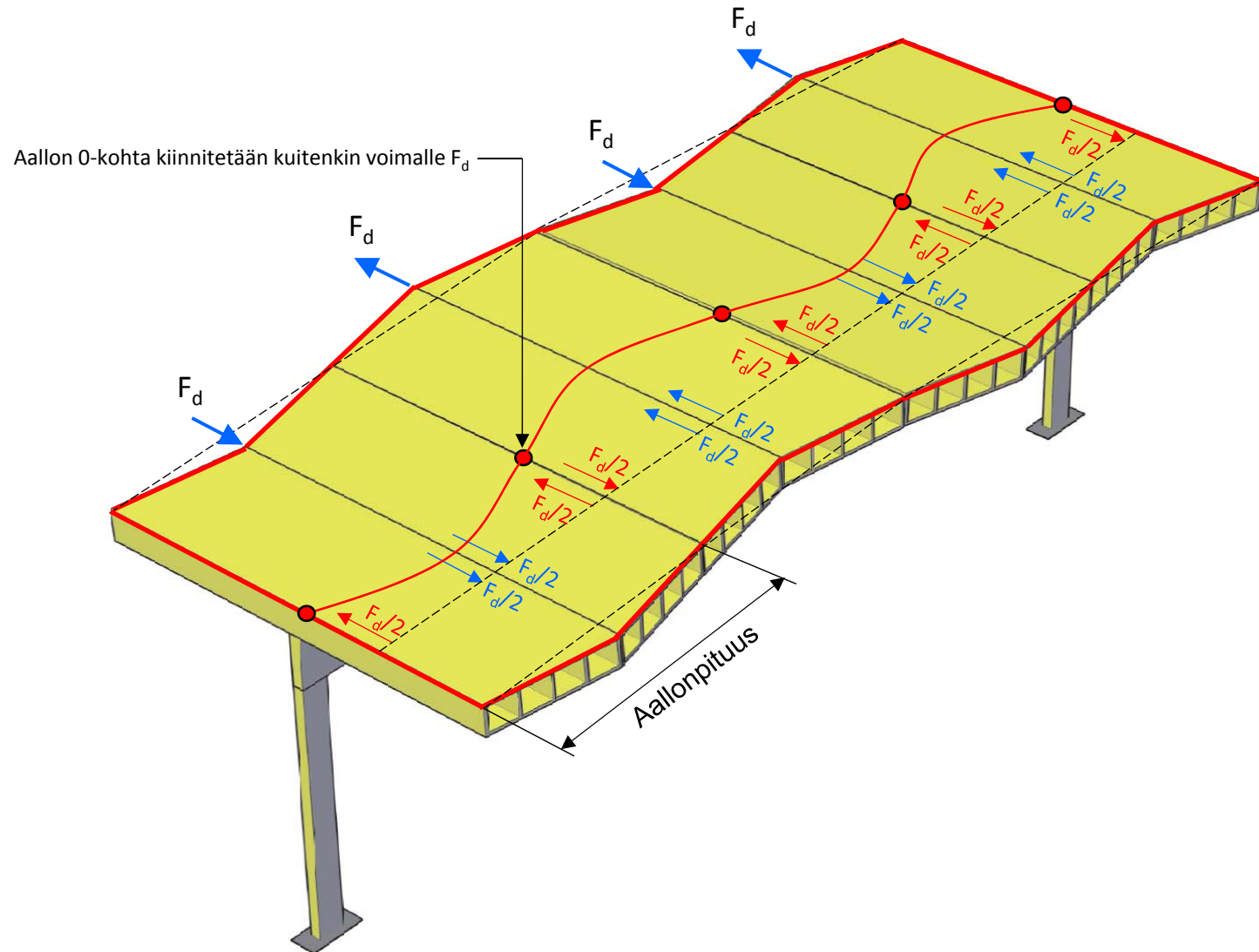
Jäykistävä kattoelementtikenttä

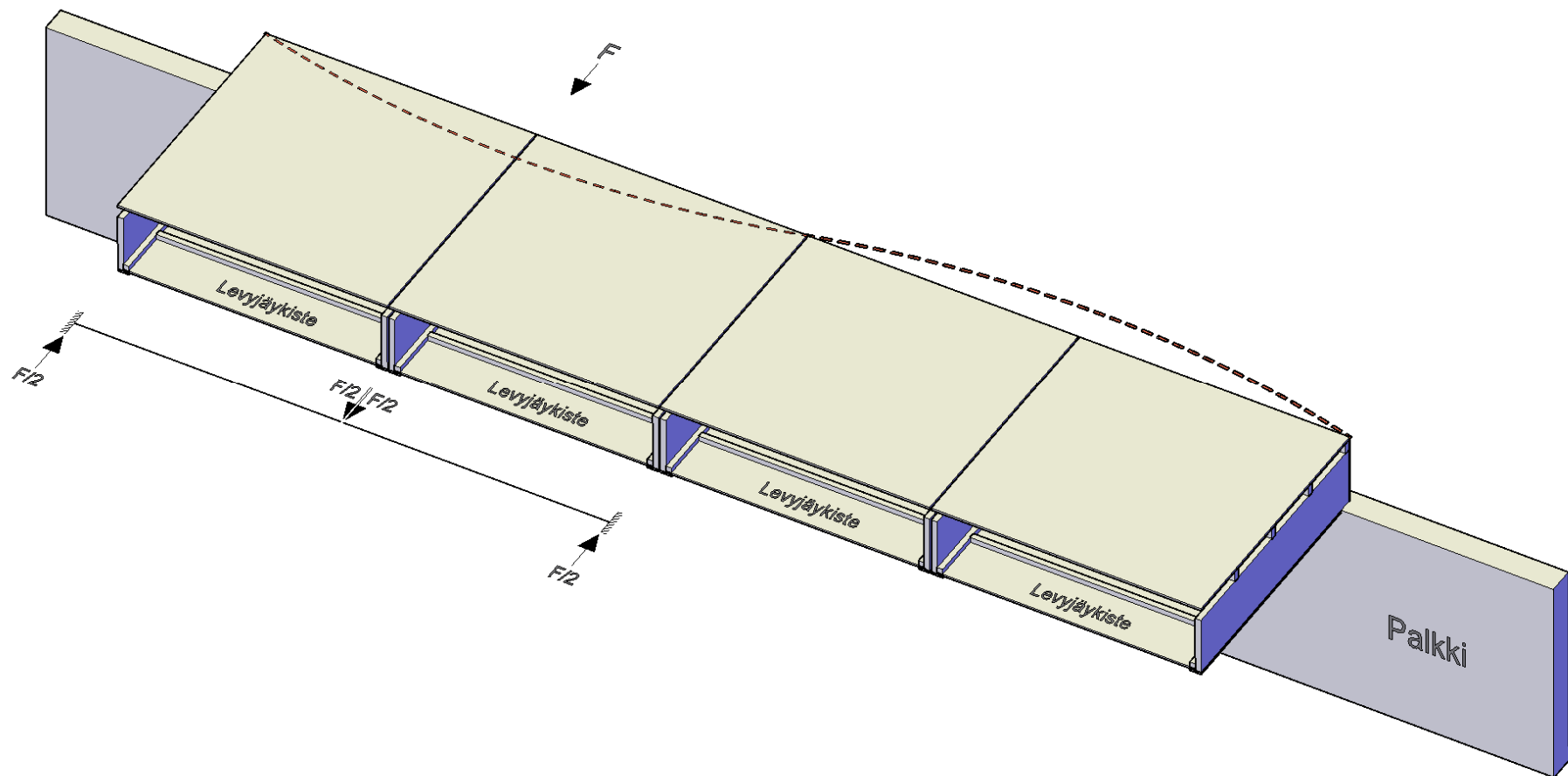


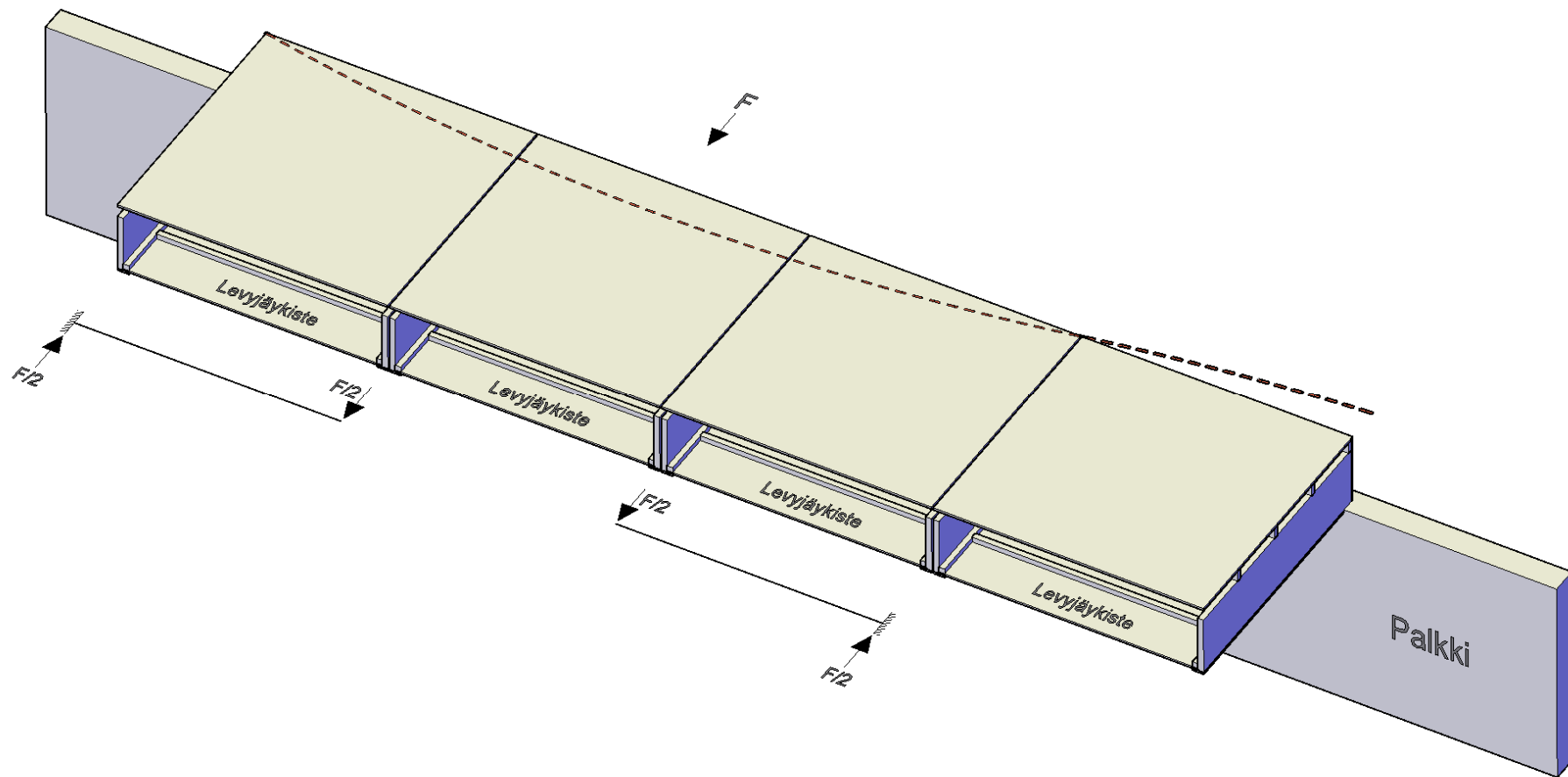
Kiepahduksen 1. muoto



Kiepahduksen 2. muoto







Versio 1.1

Palkkijako	k =	8000 mm
Palkin jänneväli (15...32 m)	L =	15000 mm
Palkin korkeus tuella	H1 =	1050 mm
Palkin korkeus harjalla (max 2000 mm)	H2 =	1500 mm
Yläreunan ja syysuunnan välinen kulma	α =	3,43 °

Sekundäärin jatkuvuus 3-aukkoinen (kerroin 1,10)

Pakin leveys **b = 190 mm (vakiotuote)**

Tuettu Y-suunnassa 5 kpl poikittaistuettuja kenttiä

Talpuma ($W_{\text{tot}} : W_{\text{ag,ku}}$) L/200 : L/300 : esikorotus L/400

Lujusluokka GL30c

Käyttöloukka KL 1

Aikaluokka keskipitkä

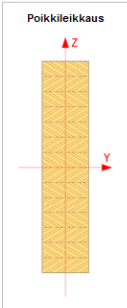
Kuormitus tulee pakille Puristuiltua reunalta

Kuormituksen tyyppi Symmetrinen

Pintakäsittely Ei estä kosteuden siirtymistä

Poikkileikkaus





Pysyvä kuorma	$g_k =$	1,0 kN/m ²
Muuttuva kuorma (vasen lape)	$q_{k1} =$	2,0 kN/m ²
Muuttuva kuorma (oikea lape)	$q_{k2} =$	2,0 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikaisosuus	$\psi_2 =$	0,2
Palkin omapaino	$g_{k,palkki} =$	1,21 kN/m

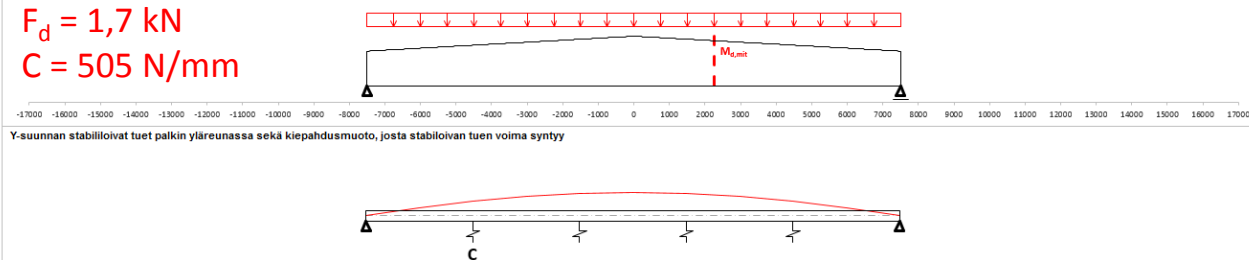
Info¹

Taivutuskestävyys	Taivutuskestävyys	Kiepahduskestävyys	Leikkauskestävyys
$M_{d,mit}$	$M_{d,max}$	$M_{d,mit}$	$V_{d,mit}$
OK	OK	OK	OK
91 %	86 %	99 %	77 %

Pöikittäinen vetokestävyys	Taipuma		Y-suunnan staabiola tuki			Tukipituus
$M_{d,harja} + V_{d,harja}$	W_{fin}	$W_{net,fin}$	F_d [kN]	C [mm]	a [mm]	L_{in} [mm]
OK	OK	OK	1,7 kN	504,7	3000	594
85 %	72 %	32 %	Tuen voiman määrää 1. muoto			

$b = 190 \text{ mm}$
 $F_d = 1,7 \text{ kN}$
 $C = 505 \text{ N/mm}$

$3,6 \text{ m}^3 \cdot 450 \text{ €/m}^3 = 1620 \text{ €}$ (- 180 €, vertailu = 1800 €)



$q_{0,vasen}$	37,9	kN/m	Mitoituskuorma (vasen lape)
$q_{0,oikea}$	37,9	kN/m	Mitoituskuorma (oikea lape)
A_d	284,3	kN	Tukireaktio
D_d	204,3	kN	Tukireaktio
$M_{d,max}$	969,0	kNm	Taivutusmomentti mitoittavassa kohdassa
$M_{d,max}$	1066,3	kNm	Taivutusmomentti (max)
$M_{d,max}$	1066,3	kNm	Taivutusmomentti harjan kohdalla
$V_{d,max}$	244,5	kN	Mitoittava leikkausvoima
$V_{d,max}$	0,0	kN	Leikkausvoima harjan kohdalla

γ_u	1,25	Materiaalin osavarmuusluku
κ_{nos}	0,80	Muunnoskerroin
κ_{et}	0,60	Vuoralluku
κ_{al}	1,00	Taivutuslajujen korotuskerroin (vakio)
$f_{t,1,x}$	30,00	N/mm ² Taivutuslajujen ominaisarvo
$f_{t,x}$	3,50	N/mm ² Leikkasuulajujen ominaisarvo
$f_{c,90,x}$	2,50	N/mm ² Puristuslajujen ominaisarvo
$f_{t,90,x}$	0,50	N/mm ² Vetolajujen ominaisarvo
G_{mean}	13000	N/mm ² Kimmo moduuli
$E_{c,05}$	10800	N/mm ² Kimmo moduuli
G_{mean}	650	N/mm ² Liukomoduli
$f_{t,1,y}$	19,20	N/mm ² Taivutuslajujen laskenta-arvo
$f_{t,y}$	2,24	N/mm ² Leikkasuulajujen laskenta-arvo
$f_{c,90,y}$	1,60	N/mm ² Puristuslajujen laskenta-arvo
$f_{t,90,y}$	0,32	N/mm ² Vetolajujen laskenta-arvo

$W_{j, \text{mit}}$	58923823,8	mm ²	<i>Taivutusvastus</i>
b	190	mm	<i>Poikkileikkauksen leveys</i>
h_{mit}	1364	mm	<i>Poikkileikkauksen korkeus</i>
$\sigma_{m,y}$	16,45	N/mm ²	<i>Taivutusjännitys</i>
k_{es}	0,95		<i>Puristetun viistetyn reunan kerroin</i>
EHTO	0,91	≤1	<i>Taivutus</i>

W_f	71250000	mm ³	<i>Taivutusvastus</i>
b	190	mm	<i>Poikkileikkauksen leveys</i>
h	1500	mm	<i>Poikkileikkauksen korkeus</i>
k_c	1,10	mm	<i>Taivutusjännityskerroin</i>
$\sigma_{m,y,s}$	16,51	N/mm ²	<i>Taivutusjännitys</i>
k_t	1,00		<i>Kerroin</i>
EHTO	0,86	≤ 1	<i>Taivutus</i>

c	0,70	Kerroin
$L_{\text{er},j}$	5728	mm
$\sigma_{m, \text{ort}}$	34,93	N/mm ²
$\lambda_{\text{er},m}$	0,93	Kriittinen taivutusjännitys
λ_{qst}	0,86	Suhteellinen hoikkuusluku
$\sigma_{m,j,0}$	16,45	N/mm ²
EHTO	0,99	Taivutusjännitys
		Kiepahdus

k_{α}	1,0	<i>Halkeilukerroin liimapuulla (vakio)</i>
A	211470 mm ²	<i>Poikkileikkauksen pinta-ala</i>
τ_a	1,73 N/mm ²	<i>Leikkausjännitys</i>
EHTO	0,77 ≤ 1	<i>Leikkaus</i>

k_p	0,012	Yläreunan kaltevuuden kerroin
$\sigma_{s0,2}$	0,18	N/mm ² Poikittainen vetojännitys
t_s	0,00	N/mm ² Leikkausjännitys
$k_{0,25}$	1,40	Jännitysten jakautumiskerroin
$k_{0,01}$	0,47	Kokovaiikutuskerroin
EHTO	0,85	≤ 1 Poikittainen veto + Leikkaus

W_c	37,5	mm	<i>Esikorotus</i>
$W_{\text{ins},0}$	15,0	mm	<i>Hetkellinen taipuma (pysyvä)</i>
$W_{\text{ins},0.2}$	26,4	mm	<i>Hetkellinen taipuma (muuttuva)</i>
W_{en}	53,6	mm	<i>Lopputaipuma</i>
$W_{\text{net},\text{fin}}$	16,1	mm	<i>Lopputaipuma (netto)</i>
EHTO	0,72	≤ 1	<i>Taipuma</i>
EHTO	0,32	≤ 1	<i>Taipuma (netto)</i>

a	3000	mm	Stabiloivien tukien k-jako
$F_{\perp,1}$	1,7	kN	Voima stabiloivassa tuessa (1. muoto)
C	504,7	N/mm	Stabiloivan tuen jousijäykkyysovaatimus

m	-	kpl	Poikittaistuettujen kenttien määrä
a	-	mm	Stabiloivien tukien k-jako
I_z	-	mm ⁴	Jäyhyysmomentti Z-akselin suhteen
I_S	-	mm	Kiepahdusmuodon kriittinen aallonpituus
$k_{S,red}$	-		Stabiloivan tuen voiman pienennyskerroin
$F_{a,2}$	-	kN	Voima stabiloivassa tuessa (2. muoto)
C	-	N/mm	Stabiloivan tuen jousivakkuusvakavuus

Suunnitteluohe X	Työn nro X	Sivu 1 / 1
Rakennusohje X	Päivä X	Tilaaja X
X	Sisäilma X	Liimapuuharjapalkin mitoitusohjelma (EC 5)

1.0 RAKENTEEN TIEDOT

Palkkijako	k = 8000 mm
Palkin jänneväli (15...32 m)	L = 15000 mm
Palkin korkeus tuella	H1 = 850 mm
Palkin korkeus harjalla (max 2000 mm)	H2 = 1300 mm
Yläreunan ja syysuunnan välinen kulma	α = 3,43 °

Sekundäärin jatkuvuus 3-aukkoinen (kerroin 1,10)

Palkin leveys **b = 240 mm (vakiotuote)**

Tuettu Y-suunnassa 6 kpl poikittaista tuettuja kenttiä

Taipuma (W_{tot} : W_{net,0}) L/200 : L/300 : esikorotus L/400

Lujuusluokka GL30c

Käyttöluokka KL 1

Aikalukkaa keskipitkä

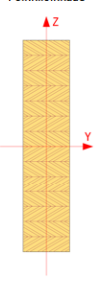
Kuormitus tulee paikalle Puristettulta reunalta

Kuormituksen tyyppi Symmetrinen

Pintakäsittely Ei estä kosteuden siirtymistä

Pysyvä kuorma	s _k = 1,0 kN/m ²
Muuttuva kuorma (vasen lape)	q _{k,1} = 2,0 kN/m ²
Muuttuva kuorma (oikea lape)	q _{k,2} = 2,0 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikaisuus	ψ ₂ = 0,2
Palkin omapaino	s _{k,raaka} = 1,29 kN/m

Poikkileikkaus



2.0 MITOITUSTULOKSET

Taivutuskestävyys	Taivutuskestävyys	Kiepahduskestävyys	Leikkauskestävyys
M _{d,mit}	M _{d,max}	M _{d,mit}	V _{d,mit}
OK	OK	OK	OK
99 %	91 %	94 %	78 %
Poikittainen vetokestävyys	Taipuma	Y-suunnan stabiloiva tuki	Tukipituus
M _{d,harja} + V _{d,harja}	W _{tot}	W _{net,0}	l _{tu} [mm]
OK	OK	OK	465
89 %	89 %	58 %	

Mitoitettava palkki

b = 240 mm

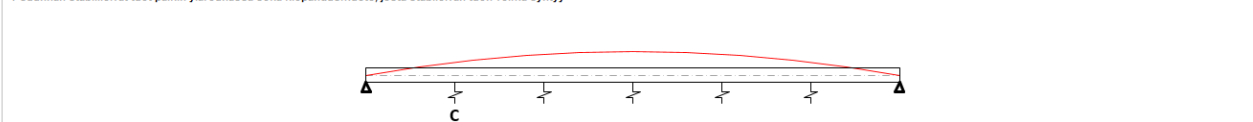
F_d = 0,8 kN

C = 339 N/mm

3,9 m³ · 450 €/m³ = 1755 € (- 45 €, vertailu = 1800 €)



Y-suunnan stabiloivat tuet palkin yläreunassa sekä kiepahdusmuoto, josta stabiloivan tuen voima syntyy



Rasitukset

Q _{k,vasen}	38,0 kN/m	Mitoituskuorma (vasen lape)
Q _{k,oikea}	38,0 kN/m	Mitoituskuorma (oikea lape)
A _k	285,0 kN	Tukireaktio
B _k	285,0 kN	Tukireaktio
M _{d,mit}	938,7 kNm	Taivutusmomentti mitoitavassa kohdassa
M _{d,max}	1068,8 kNm	Taivutusmomentti (max)
M _{d,net,0}	1068,8 kNm	Taivutusmomentti harjan kohdalla
V _{d,mit}	252,7 kN	Mitoitava leikkausvoima
V _{d,net,0}	0,0 kN	Leikkausvoima harjan kohdalla

Materiaaliominaisuudet

		Materiaalin osavarmuusluku
γ _{ti}	1,25	Muunnoskerroin
γ _{red}	0,80	Virumaluku
γ _{ref}	0,60	Taivutuslujuuden korotuskerroin (vakio)
γ _{ti}	1,00	Taivutuslujuuden ominaisarvo
f _{m,j,k}	30,00 N/mm ²	Leikkauslujuuden ominaisarvo
f _k	3,50 N/mm ²	Puristuslujuuden ominaisarvo
f _{c,90,k}	2,50 N/mm ²	Vetolujuuden ominaisarvo
f _{t,90,k}	0,50 N/mm ²	Kimmomoduli
E _{0,mean}	13000 N/mm ²	Liukumoduuli
E _{0,os}	10800 N/mm ²	Taivutuslujuuden laskenta-arvo
G _{mean}	650 N/mm ²	Leikkauslujuuden laskenta-arvo
f _{m,j,d}	19,20 N/mm ²	Puristuslujuuden laskenta-arvo
f _d	2,24 N/mm ²	Vetolujuuden laskenta-arvo
f _{c,90,d}	1,60 N/mm ²	
f _{t,90,d}	0,32 N/mm ²	

Taivutuskestävyys (M_{d,mit})

W _{y,mit}	52253664,2 mm ³	Taivutusvastus
b	240 mm	Poikkileikkauksen leveys
h _{mit}	1143 mm	Poikkileikkauksen korkeus
σ _{m,j,d}	17,96 N/mm ²	Taivutusjännitys
k _{ed}	0,95	Puristetun viisteyn reunan kerroin
EHTO	0,99 ≤ 1	Taivutus

Taivutuskestävyys (M_{d,max})

W _y	67600000 mm ³	Taivutusvastus
b	240 mm	Poikkileikkauksen leveys
h	1300 mm	Poikkileikkauksen korkeus
k _{ed}	1,10 mm	Taivutusjännitys
σ _{m,j,d}	17,45 N/mm ²	Taivutusjännitys
k _{ed}	1,00	Kerroin
EHTO	0,91 ≤ 1	Taivutus

Kiepahduskestävyys (M_{d,mit})

c	0,70	Kerroin
L _{ed}	4786 mm	Kiepahduspituus Z-suunnan taivutuksessa
σ _{m,0,0}	79,61 N/mm ²	Kriittinen taivutusjännitys
λ _{rel,m}	0,61	Suhteellinen hoikkusuulu
k _{crit}	1,00	Ei kiepahda
σ _{m,j,d}	17,96 N/mm ²	Taivutusjännitys
EHTO	0,94 ≤ 1	Kiepahdus

Leikkauskestävyys (V_{d,mit})

k _{ed}	1,0	Halkeilu kerroin liimapuulla (vakio)
A	216240 mm ²	Poikkileikkauksen pinta-ala
T _d	1,75 N/mm ²	Leikkausjännitys
EHTO	0,78 ≤ 1	Leikkaus

Poikittainen vetokestävyys harjalla (M_{d,harja} + V_{d,harja})

k _{ed}	0,012	Yläreunan kaltevuuden kerroin
σ _{1,90,d}	0,19 N/mm ²	Poikittainen vetojännitys
T _d	0,00 N/mm ²	Leikkausjännitys
k _{ed}	1,40	Jännitysleri jaksollisuuskertoimen
k _{ed}	0,48	Kokovaikutuskerroin
EHTO	0,89 ≤ 1	Poikittainen veto + Leikkaus

Taipuma palkin keskellä (yksikkövoimamenetelmällä)

W _{tot}	37,5 mm	Esikorotus
W _{net,0}	18,7 mm	Hetkeellinen taipuma (pysyvä)
W _{net,0}	32,6 mm	Hetkeellinen taipuma (muuttuva)
W _{tot}	66,4 mm	Lopputaipuma
W _{net,0}	28,9 mm	Lopputaipuma (netto)
EHTO	0,89 ≤ 1	Taipuma
EHTO	0,58 ≤ 1	Taipuma (netto)

Y-suunnan stabiloivan tuen voima ja jousijäykkyys (1. muoto)

a	2500 mm	Stabiloivien tukien k-jako
F _{d,1}	0,8 kN	Voima stabiloivassa tuessa (1. muoto)
C	338,6 N/mm	Stabiloivan tuen jousijäykkyysvaatimus

Y-suunnan stabiloivan tuen voima ja jousijäykkyys (2. muoto)

m	-	kpl	Poikittaistuetujen kenttien määrä
a	-	mm	Stabiloivien tukien k-jako
i _z	-	mm ⁴	Jäykkyysoimien tukien k-jako
i _z	-	mm	Kiepahdusmomentti Z-akselin suhteen
k _{ed}	-	mm	Kiepahdusmuodon kriittinen aallonpituus
F _{d,2}	-	kN	Stabiloivan tuen voiman pienennyskerroin
C	-	N/mm	Voima stabiloivassa tuessa (2. muoto)
	-		Stabiloivan tuen jousijäykkyysvaatimus

Versio 1.1

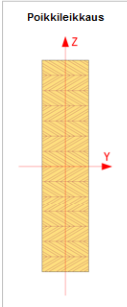
Palkkijako	k =	8000 mm
Palkin jänneväli (15...32 m)	L =	15000 mm
Palkin korkeus tuella	H ₁ =	900 mm
Palkin korkeus harjalla (max 2000 mm)	H ₂ =	1350 mm
Yläreunan ja syysuunnan välinen kulma	α =	3,43 °

Seinänsiirtäjä

Seinänsiirtäjä	3-aukkoinen (kerroin 1,10)
Palkin leveys	b = 240 mm (vakiotuote)
Tuettu Y-suunnassa	2 kpl poikittaistuettuja kenttiä
Talpauma (W_{Ed} : $W_{Ed,Ed}$)	L/200 : L/300 : esikortus L/400
Lujusluokka	GL30c
Käyttöluokka	KL 1
Aikaluokka	Keskipitkä
Kuormitus tulee paikalle	Puristetulta reunalta
Kuormituksen tyyppi	Symmetrinen
Pintakäsittely	Ei estä kosteuden siirtymistä

Poikkileikkaus

The diagram shows a rectangular cross-section of a beam. The width is labeled 'b'. A coordinate system is shown with the Z-axis pointing upwards and the Y-axis pointing to the right. The beam is supported by two vertical supports, represented by yellow rectangles, one on each side.



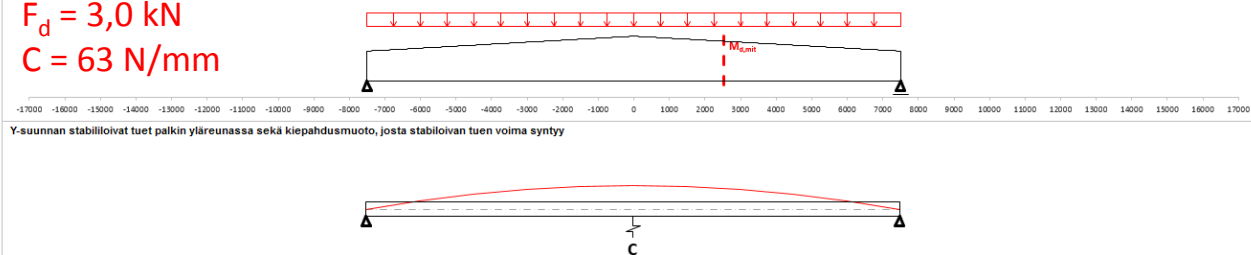
Pysyvä kuorma	$g_k =$	1,0 kN/m ²
Muuttuva kuorma (vasen lape)	$q_{k1} =$	2,0 kN/m ²
Muuttuva kuorma (oikea lape)	$q_{k2} =$	2,0 kN/m ²
Muuttuvan kuorman pitkäaikaisosuus	$\psi_2 =$	0,2
Palkin omapaino	$g_{k,palkki} =$	1,35 kN/m

Info¹

Taivutuskestävyys	Taivutuskestävyys	Kiepahduskestävyys	Leikkauskestävyys
$M_{d,mit}$	$M_{d,max}$	$M_{d,mit}$	$V_{d,mit}$
OK	OK	OK	OK
91 %	84 %	98 %	73 %
Pöikittäinen vetokestävyys	Taivuma	Y-suunnan staabiola tuki	Tukipituus
$M_{d,harja} + V_{d,harja}$	w_{fin} $w_{net,fin}$	F_d [kN] C [N/mm] a [mm]	l_{in} [mm]
OK	OK	3,0 kN 63,3	466
84 %	79 % 43 %	Tuen voiman määrää 1. tuento	

$b = 240 \text{ mm}$
 $F_d = 3,0 \text{ kN}$
 $C = 63 \text{ N/mm}$

4,1 m³ · 450 €/m³ = 1845 € (+ 45 €, vertailu = 1800 €)



$q_{0,vasen}$	38,1	kN/m	Mitoituskuorma (vasen lape)
$q_{0,oikea}$	38,1	kN/m	Mitoituskuorma (oikea lape)
A_d	285,5	kN	Tukireaktio
D_d	205,3	kN	Tukireaktio
$M_{d,max}$	950,2	kNm	Taivutusmomentti mitoittavassa kohdassa
$M_{d,max}$	1070,8	kNm	Taivutusmomentti (max)
$M_{d,max}$	1070,8	kNm	Taivutusmomentti harjan kohdalla
$V_{d,max}$	251,3	kN	Mitoittava leikkausvoima
$V_{d,max}$	0,0	kN	Leikkausvoima harjan kohdalla

Y_u	1,25			Materiaalin osavarmuusluku
K_{kor}	0,80			Muunnoskerroin
K_{ker}	0,60			Virumaluku
λ_0	1,00			Taivutuslajujen kiertosuhteiden (vakio)
$f_{t,IX}$	30,00	N/mm^2		Taivutuslajujen ominaisarvo
$f_{t,X}$	3,50	N/mm^2		Leikkasuulajujen ominaisarvo
$f_{c,90,X}$	2,50	N/mm^2		Perustuslajujen ominaisarvo
$f_{t,90,X}$	0,50	N/mm^2		Veitolajujen ominaisarvo
$E_{\text{c,mean}}$	13000	N/mm^2		Kimmomoduli
$E_{\text{c,os}}$	10800	N/mm^2		Kimmomoduli
G_{mean}	650	N/mm^2		Liukumoduli
$f_{t,IX}$	19,20	N/mm^2		Taivutuslajujen laskenta-arvo
$f_{t,X}$	2,24	N/mm^2		Leikkasuulajujen laskenta-arvo
$f_{c,90,X}$	1,60	N/mm^2		Perustuslajujen laskenta-arvo
$f_{t,90,X}$	0,32	N/mm^2		Veitolajujen laskenta-arvo

$W_{f,mt}$	57503396,2	mm ²	<i>Taivutusvastus</i>
b	240	mm	<i>Poikkileikkauksen leveys</i>
h_{mt}	1199	mm	<i>Poikkileikkauksen korkeus</i>
$u_{m,y,d}$	16,52	N/mm ²	<i>Taivutusjännitys</i>
$k_{m,s}$	0,95		<i>Puristuksen viistetyn reunan kerroin</i>
EHTO	0,91	≤1	<i>Taivutus</i>

W_f	72900000	mm ³	<i>Taivutusvastus</i>
b	240	mm	<i>Poikkileikkauksen leveys</i>
h	1350	mm	<i>Poikkileikkauksen korkeus</i>
k_c	1,10	mm	<i>Taivutusjännityskerroin</i>
$\sigma_{m,y}$	16,21	N/mm ²	<i>Taivutusjännitys</i>
k_r	1,00		<i>Kerroin</i>
EHTO	0.84	≤ 1	<i>Taivutus</i>

c	0,70	Kerroin
L _{atj}	9898 mm	Kiepahdusitus Z-suunnan taivutuksessa
$\sigma_{m,ent}$	36,69 N/mm ²	Kriittinen taivutusjännitys
$\lambda_{rel,m}$	0,90	Suhteellinen hoikkusuilu
k _{crit}	0,88	Kiepahduskerroin
$\sigma_{m,y,s}$	16,52 N/mm ²	Taivutusjännitys
ETTO	0,98 ≤ 1	Kiepahdus

k_{cr}	1,0	<i>Halkeilukerroin liimapuulla (vakio)</i>
A	228960 mm ²	<i>Poikkileikkauksen pinta-ala</i>
τ_d	1,65 N/mm ²	<i>Leikkausjännitys</i>
EHTO	0,73 ≤ 1	<i>Leikkaus</i>

k_p	0,012	Yläreunan kaltevuuden kerroin
$\sigma_{s,0.2}$	0,18 N/mm ²	Poikittainen vetojännitys
t_s	0,00 N/mm ²	Leikkausjännitys
$k_{0.05}$	1,40 mm ²	Jännitysten jakautumiskerroin
$k_{0.01}$	0,47	Kokovaikutuskerroin
EHTO	0,84 $\leq$ 1	Poikittainen veto + Leikkaus

W_c	37,5	mm	<i>Esikorotus</i>
$W_{\text{mat},0}$	16,7	mm	<i>Hetkellinen taipuma (pysyvä)</i>
$W_{\text{mat},2}$	28,9	mm	<i>Hetkellinen taipuma (muuttuva)</i>
W_{fin}	59,1	mm	<i>Lopputaipuma</i>
$W_{\text{net},\text{fin}}$	21,6	mm	<i>Lopputaipuma (netto)</i>
EHTO	0,79	≤ 1	<i>Taipuma</i>
EHTO	0,43	≤ 1	<i>Taipuma (netto)</i>

a	7500	mm	Stabiloivien tukien k-jako
F _{d,1}	3,0	kN	Voima stabiloivassa tuessa (1. muoto)
C	63,3	N/mm	Stabiloivan tuen jousijäykkyyksvaatimus

m	-	kpl	Poikittaistuettujen kenttien määrä
a	-	mm	Stabiloivien tukien k-jako
I_z	-	mm ⁴	Jäyhyyshmomentti Z-akselin suhteen
l_s	-	mm	Kiepahdusmuodon kriittinen aallonpituus
$k_{s,red}$	-		Stabiloivan tuen voiman pienennyskerroin
F_{a2}	-	kN	Voima stabiloivassa tuessa (2. muoto)
C	-	N/mm	Stabiloivan tuen jousijäykkyysovaatimus

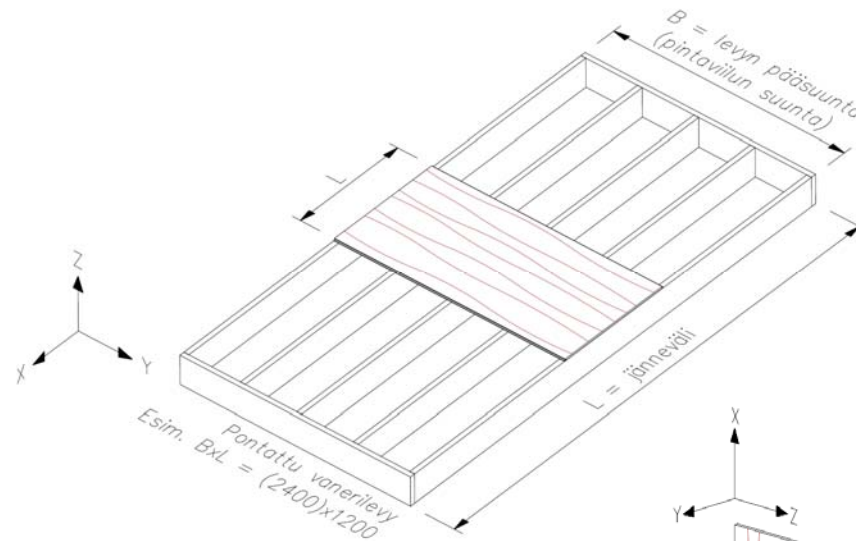
Jäykistävä rakennuslevy

Havuvaneri

- paksuviiluinen $G_{\text{mean}} = 350 \text{ N/mm}^2$ (esimerkki)
- ohutviiluinen $G_{\text{mean}} = 530 \text{ N/mm}^2$ (esimerkki)



Kuva: UPM

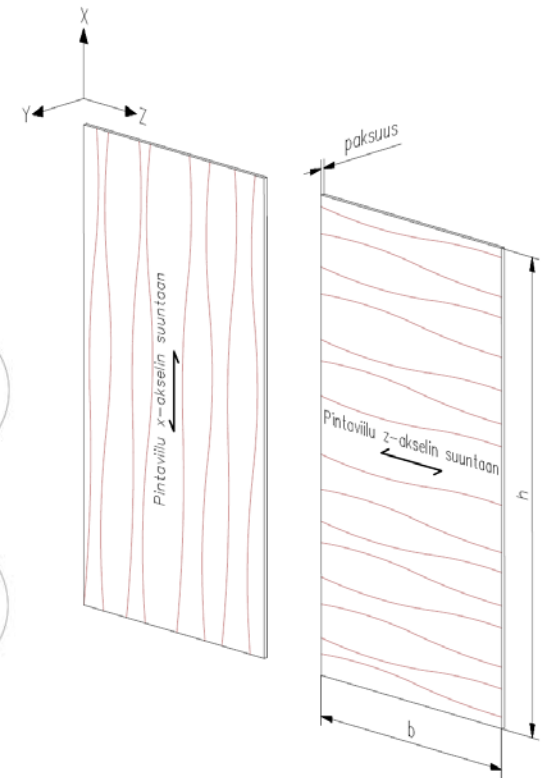


Koivuvaneri

- ohutviiluinen $G_{\text{mean}} = 620 \text{ N/mm}^2$ (esim.)



Kuva: UPM



OSB

- $G_{\text{mean}} = 1080 \text{ N/mm}^2$ (esimerkki)



Kuva: EGGER

Lastulevy

- $G_{\text{mean}} = 830 \text{ N/mm}^2$ (esimerkki)

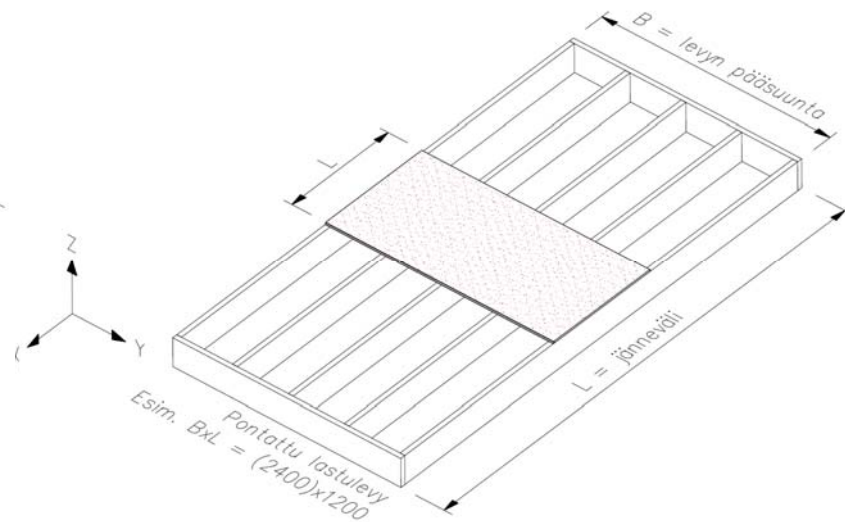
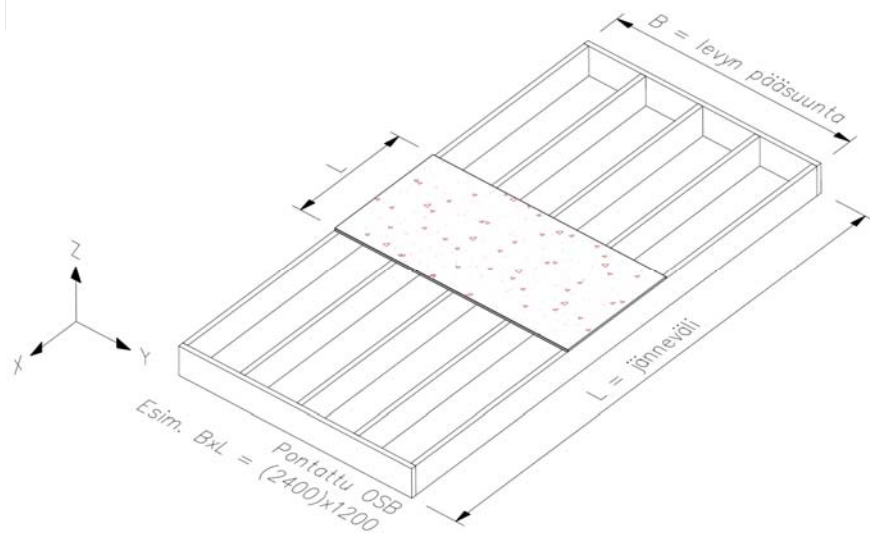


Kuva: Puuinfo

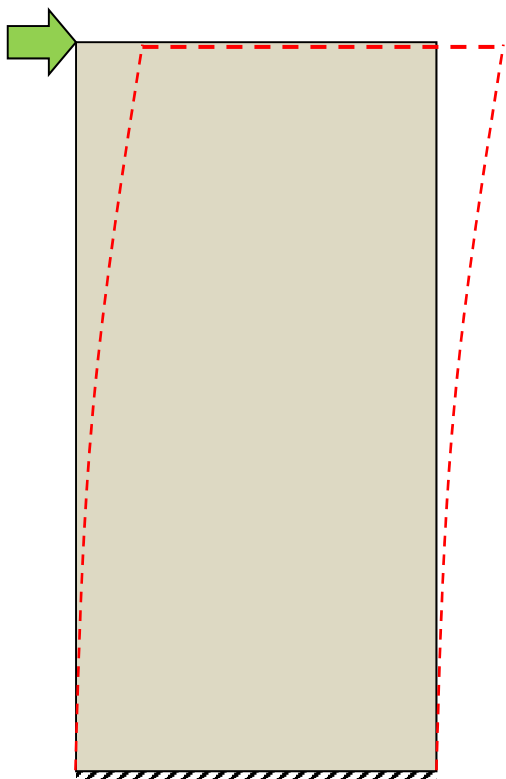
Huokoinen kuitulevy



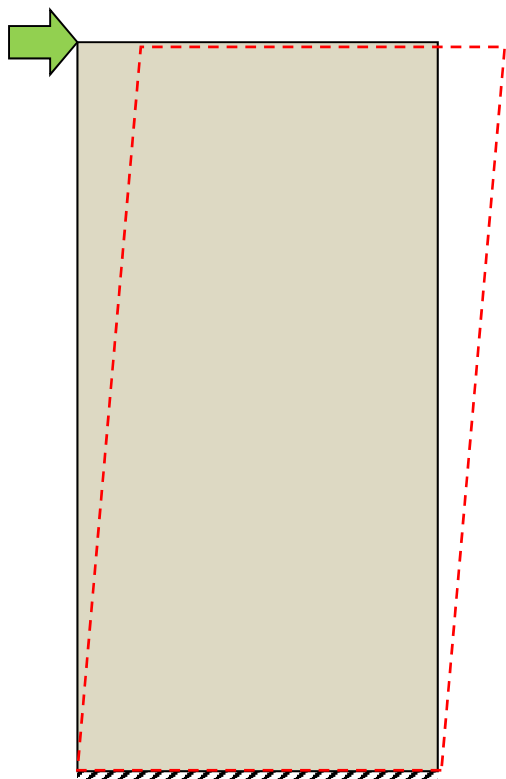
Kuva: Suomen Tuulileijona



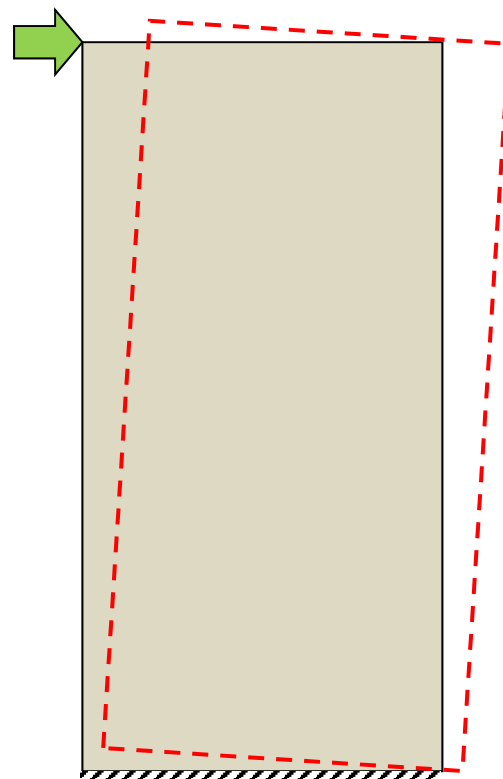
TAIVUTUS



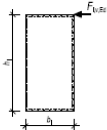
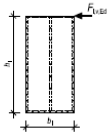
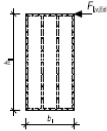
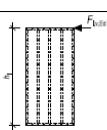
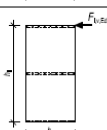
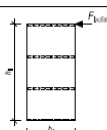
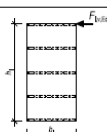
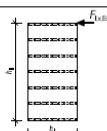
LEIKKAUS

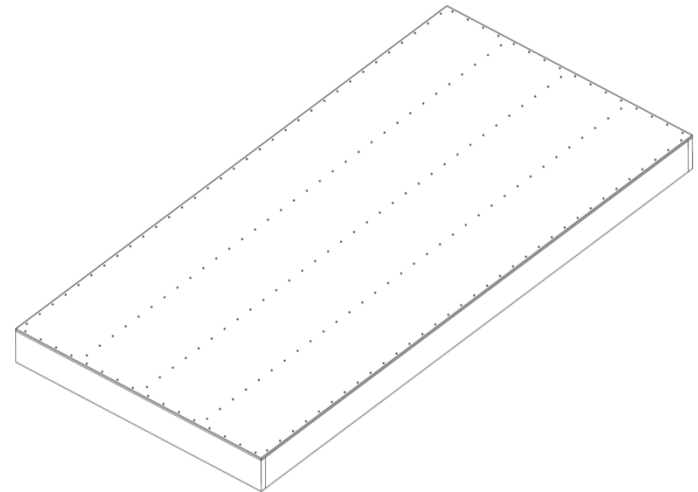
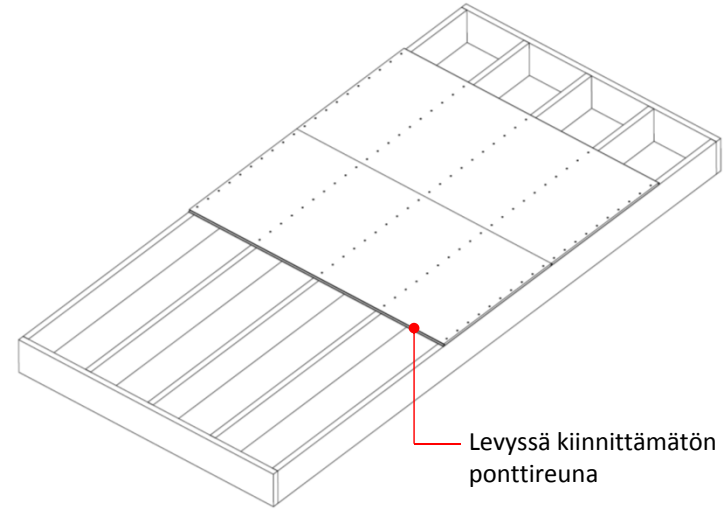


LIITTOSSIIRTYMÄ



Levyn kiinnitystapa

Nro	Kiinnitystapa	γ -kerroin	β -kerroin
1		$\sqrt{\frac{9}{\left(3+\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h}+3\right)^2}}$	$\frac{6}{3\left(\frac{h}{b}\right)^3 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1+3\left(\frac{h}{b}\right)^3}$
2		$\sqrt{\frac{4}{\left(2+\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h}+3\right)^2}}$	$\frac{4}{2\left(\frac{h}{b}\right)^3 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1+3\left(\frac{h}{b}\right)^3}$
3		$\sqrt{\frac{9}{\left(3+2\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{81}{\left(3\frac{b}{h}+10\right)^2}}$	$\frac{6}{3\left(\frac{h}{b}\right)^3 + 2\left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{18}{3+10\left(\frac{h}{b}\right)^3}$
4		$\sqrt{\frac{36}{\left(6+5\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{144}{\left(4\frac{b}{h}+15\right)^2}}$	$\frac{12}{6\left(\frac{h}{b}\right)^3 + 5\left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{24}{4+15\left(\frac{h}{b}\right)^3}$
5		$\sqrt{4\left(\frac{h}{b}\right)^2 + 1}$	$\frac{2}{\left(\frac{h}{b}\right)^2} + 4$
6		$\sqrt{\frac{9}{4}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{81}{100}}$	$\frac{9}{5\left(\frac{h}{b}\right)^2} + 3$
7		$\sqrt{\frac{36}{25}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{16}{25}}$	$\frac{8}{5\left(\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{12}{5}$
8		$\sqrt{\frac{36}{49}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{81}{196}}$	$\frac{9}{7\left(\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{12}{7}$



Levyn leikkausvoimakestävyys

Havuvaneri 18 mm (viilu 3 mm)

Naula 2,5 x 50 k100

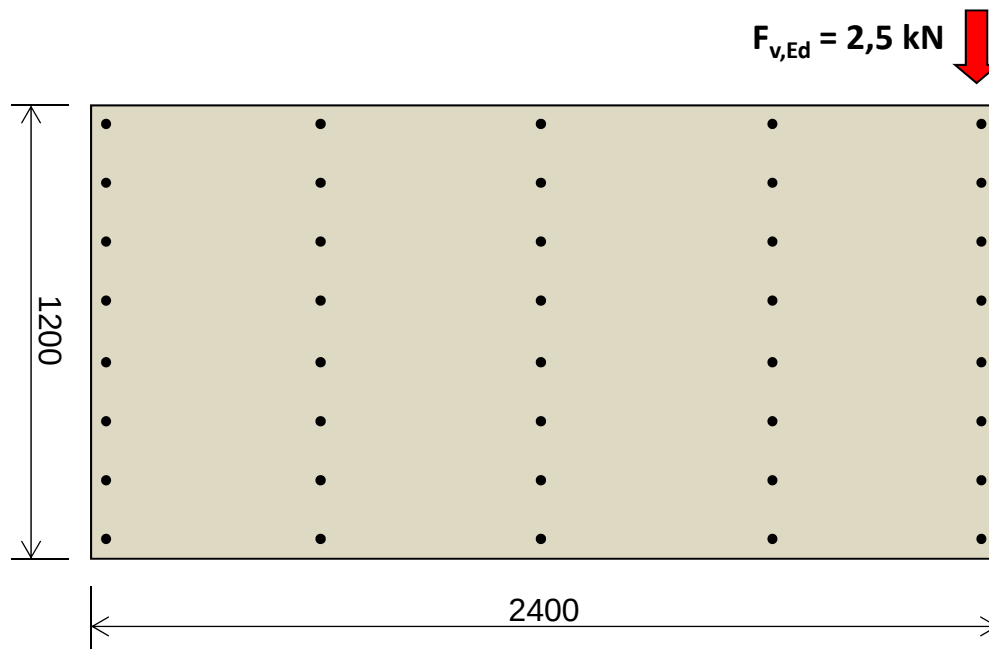
$R_d = 530 \text{ N}$

$$\gamma = \sqrt{\frac{36}{25} \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{16}{25}}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{36}{25} \cdot \left(\frac{2400}{1200}\right)^2 + \frac{16}{25}} = 2,53$$

Levyn leikkausvoimakestävyys MRT

$$F_{v,Rd} = \frac{R_d \cdot b}{\gamma \cdot s} = \frac{530 \cdot 1200}{2,53 \cdot 100} = 2,5 \text{ kN}$$



Levyn leikkaussiirtymä

Havuvaneri 18 mm (viilu 3 mm)

Naula 2,5 x 50 k100

$K_{ser} = 639 \text{ N/mm}$

$G_{mean} = 350 \text{ N/mm}^2$

$$\beta = \frac{8}{5 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{12}{5}$$

$$\beta = \frac{8}{5 \cdot \left(\frac{2400}{1200}\right)^2} + \frac{12}{5} = 2,8$$

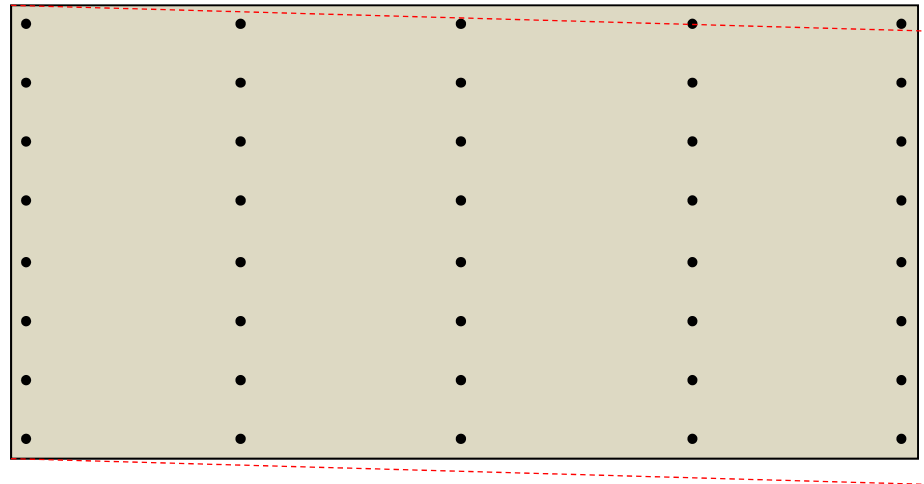
$$C_v = \frac{1}{\beta \cdot \frac{s \cdot h^2}{K_{ser} \cdot b^3} + \frac{h}{b \cdot G_{mean} \cdot t}}$$

$$C_v = \frac{1}{2,8 \cdot \frac{100 \cdot 2400^2}{639 \cdot 1200^3} + \frac{2400}{1200 \cdot 350 \cdot 18}} = 563 \text{ N/mm}$$

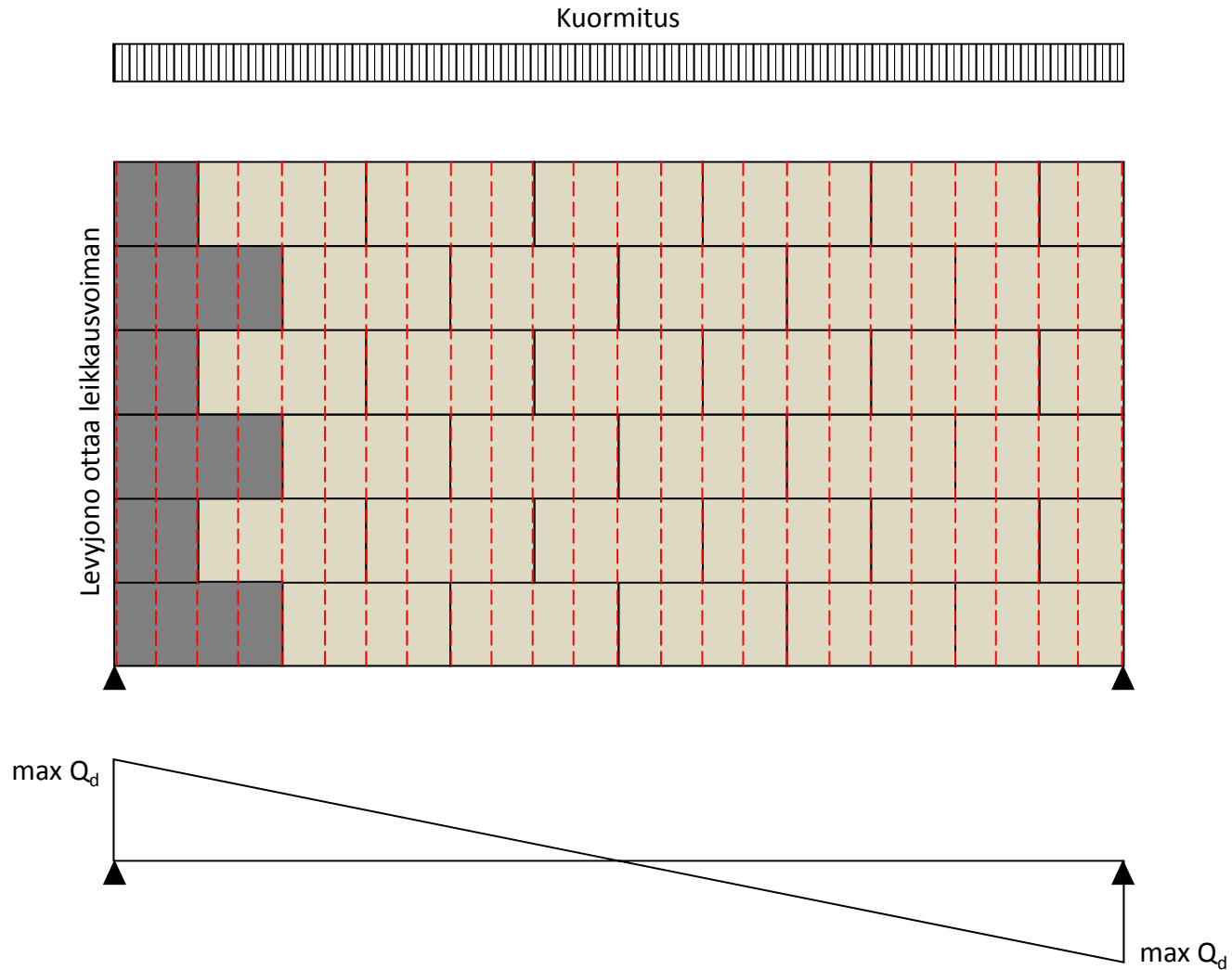
$$F_{v,Ek} = \frac{F_{v,Ed}}{1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,667 \text{ kN (jos muuttuva kuorma)}$$

$$\omega = \frac{F_{v,Ek}}{C_v} = \frac{1667}{563} = 3,0 \text{ mm}$$

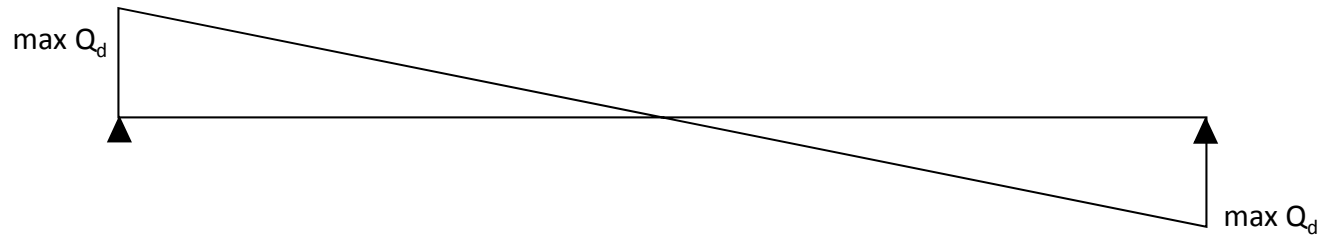
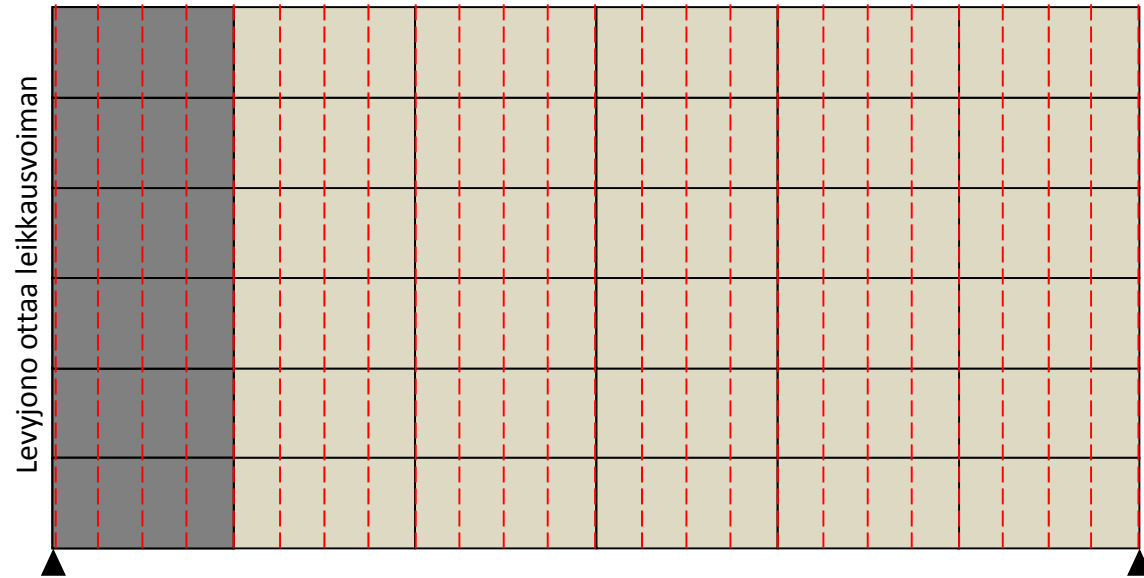
$F_{v,Ek} = 1,667 \text{ kN}$



Jäykistävä välipohja



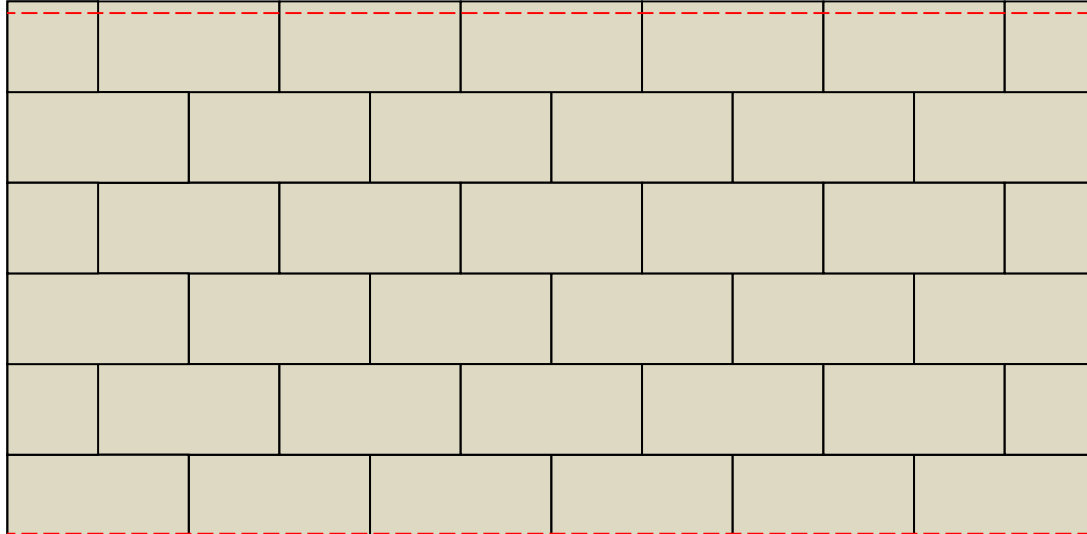
Kuormitus



Kuormitus



Paarre ottaa momentin



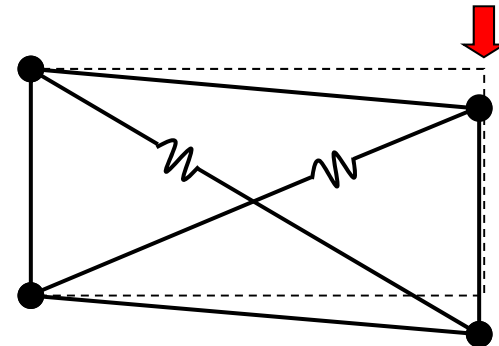
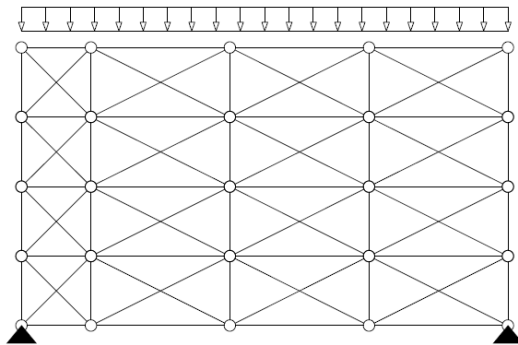
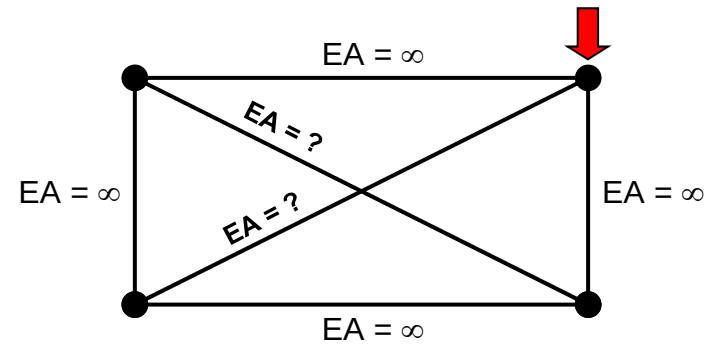
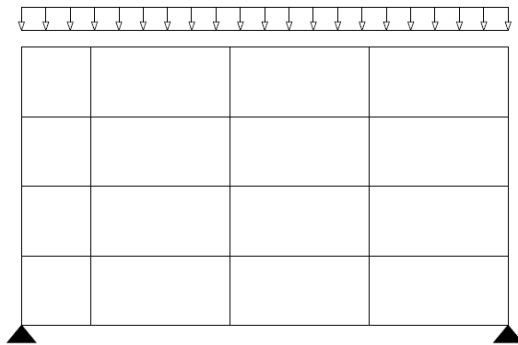
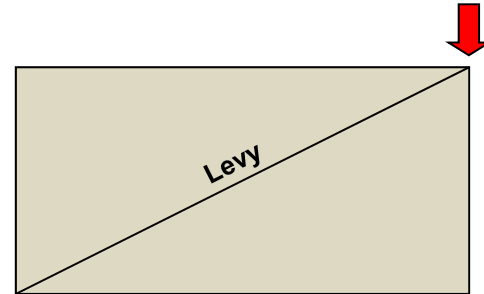
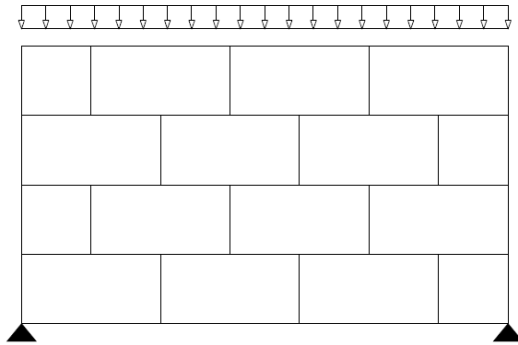
Paarre ottaa momentin



max M_d

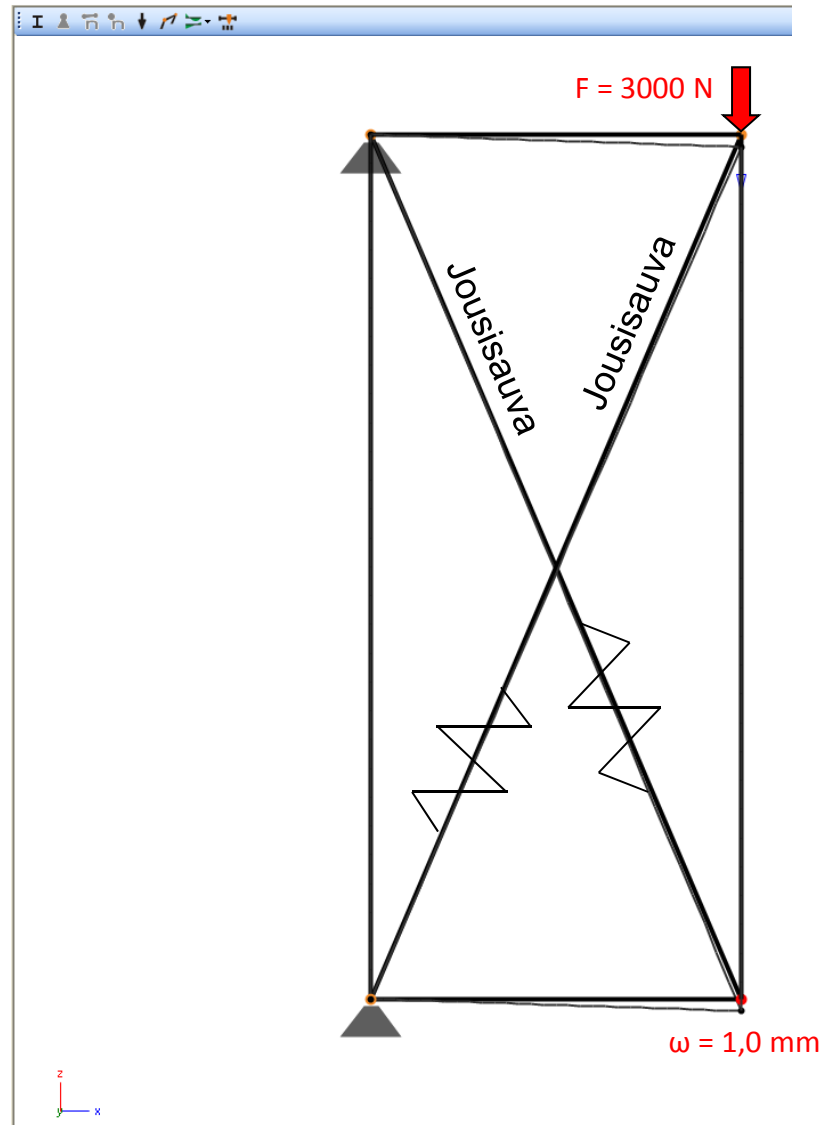
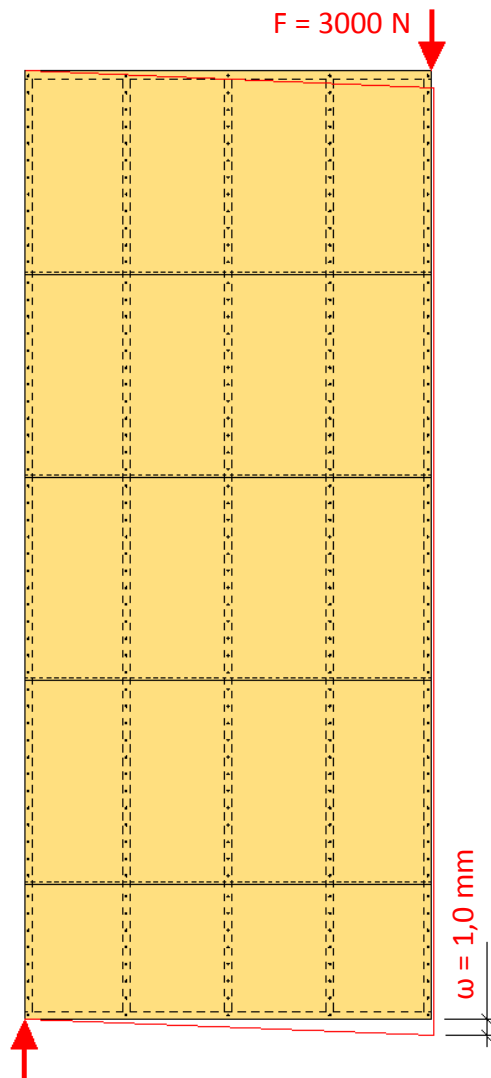


Välipohjan mallinnus

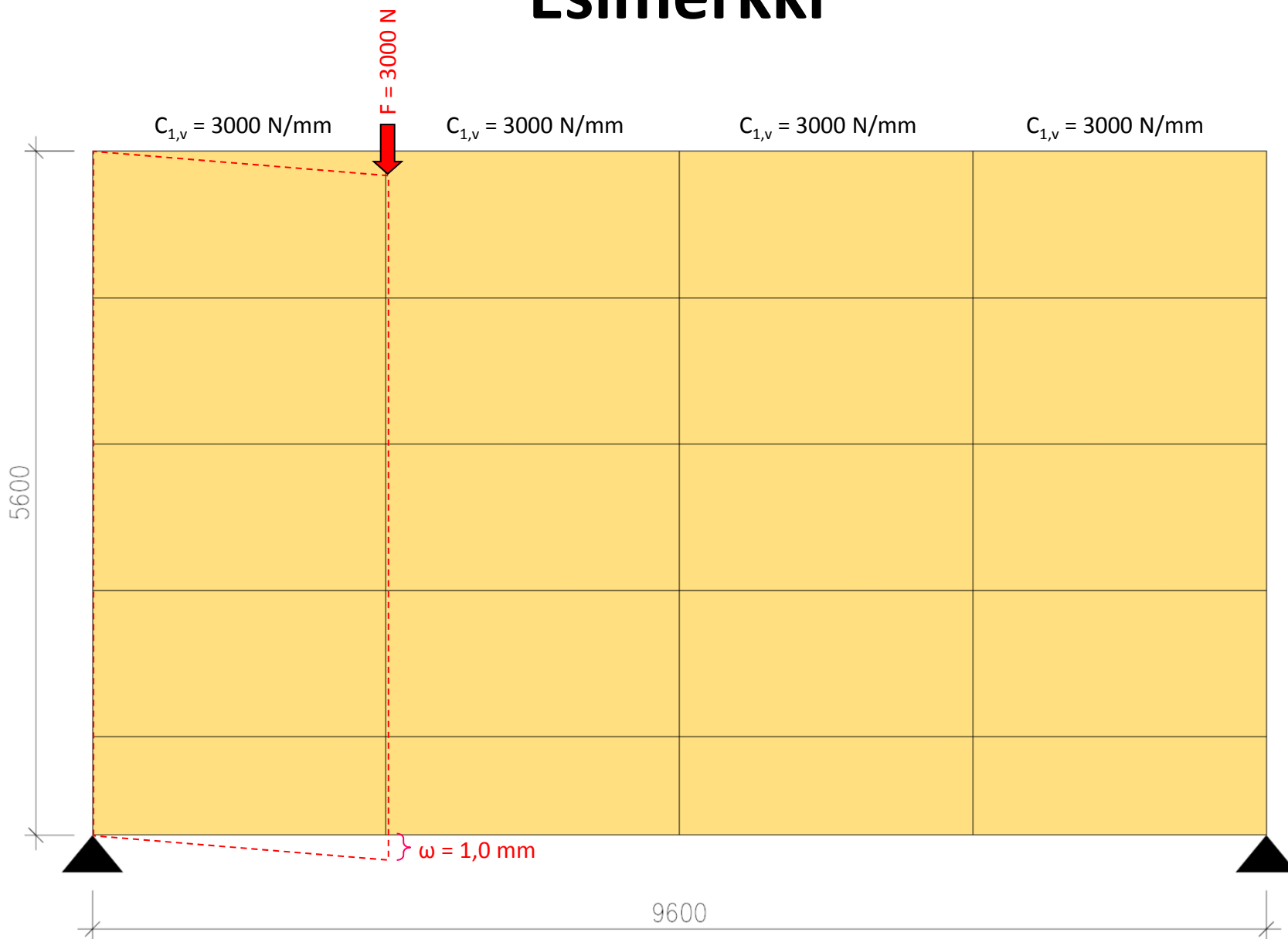


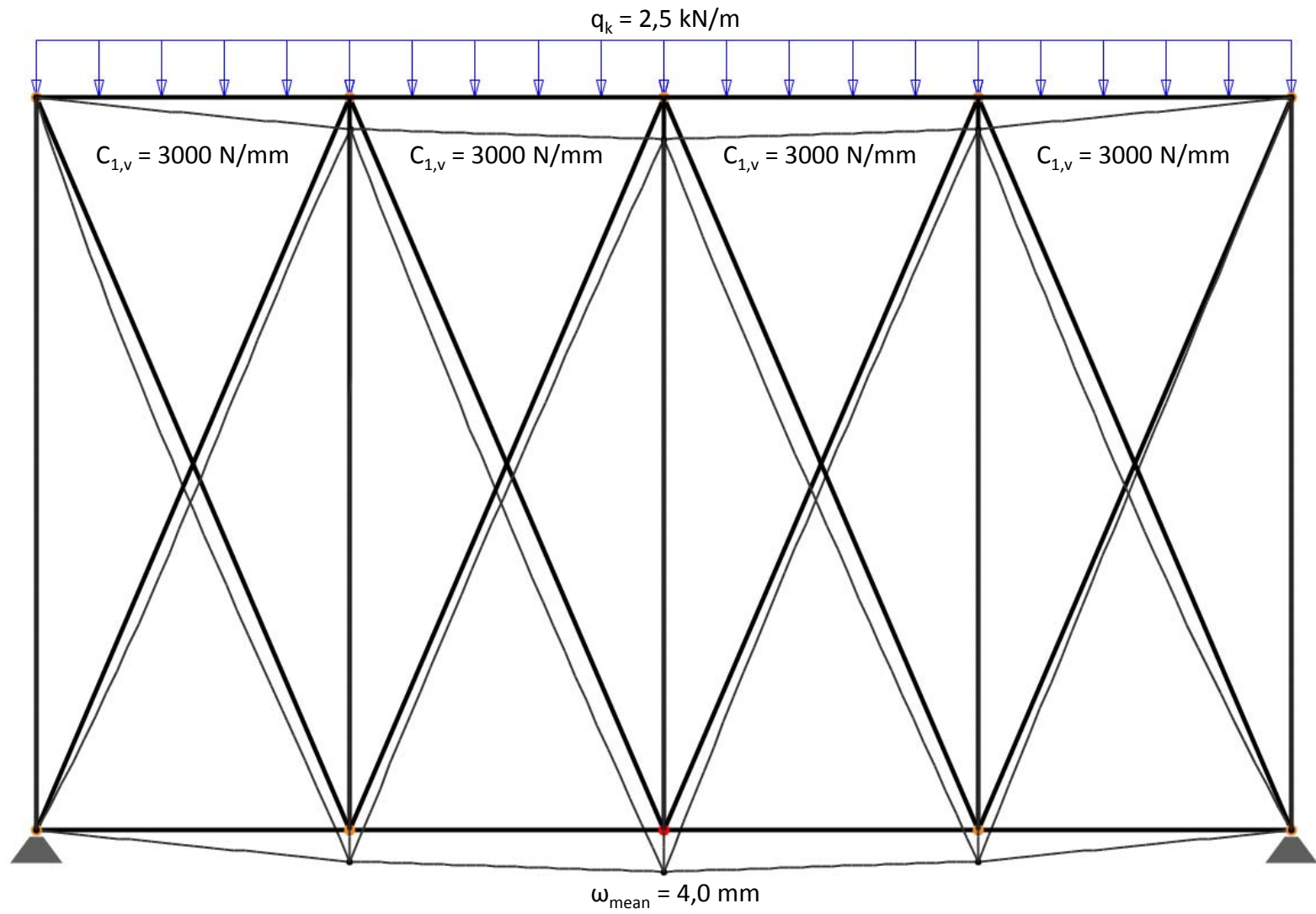
Välipohjaelementin leikkausjäykkyys

$$C_v = 3000 \text{ N/mm}$$



Esimerkki





Yksittäisen elementin siirtymä

$$\omega_i = \frac{F_{i,v,Ek}}{C_{i,v}}$$

Tässä esimerkissä

$$\omega_1 = \frac{F_{1,v,Ek}}{C_{1,v}} = \frac{6000}{3000} = 2,0 \text{ mm}$$

Välipohjan keskimääräinen siirtymä

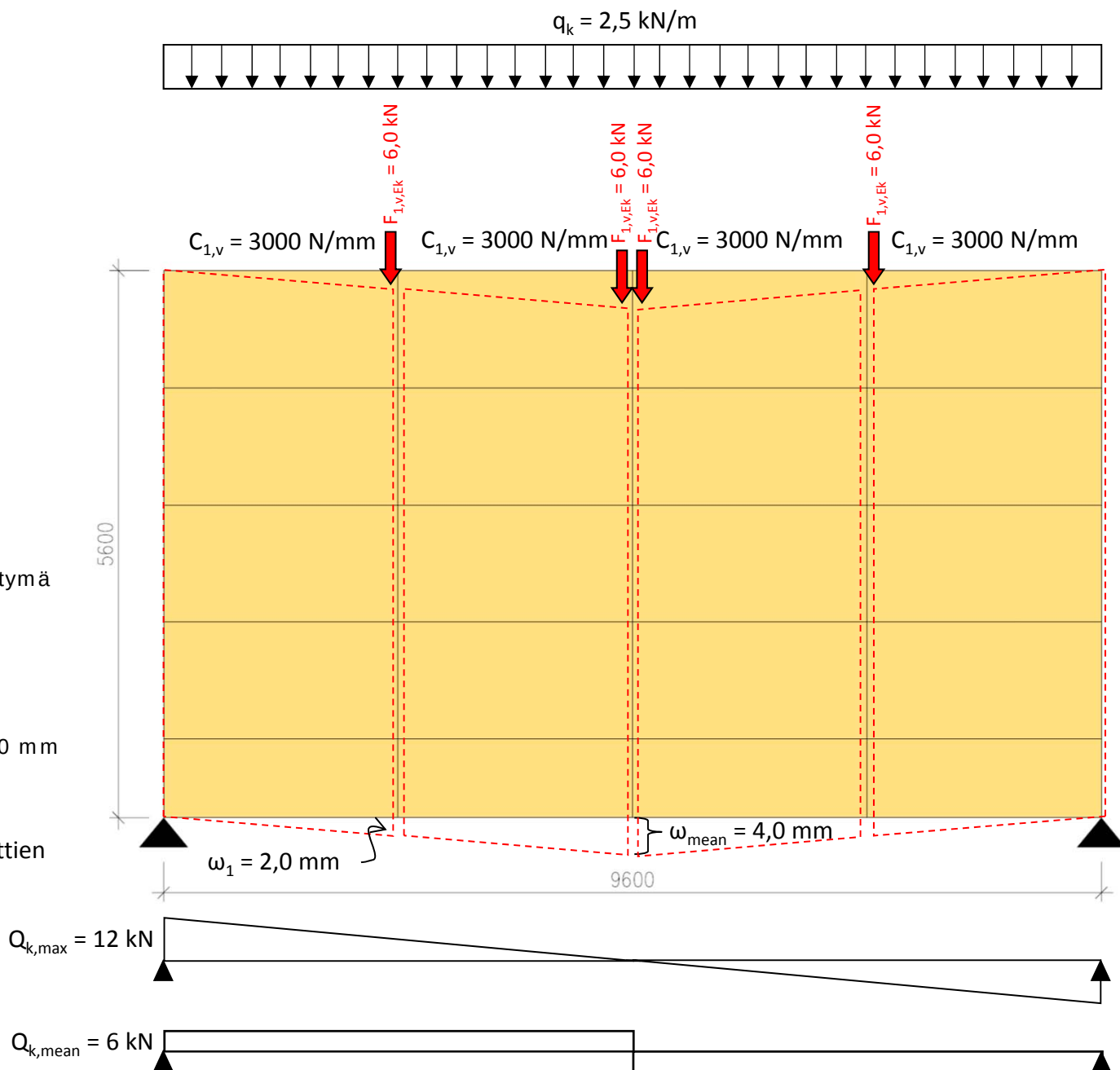
$$\omega_{mean} = \frac{\omega_{i,1} + \omega_{i,2} + \omega_{i,3} \dots \omega_{i,n}}{2}$$

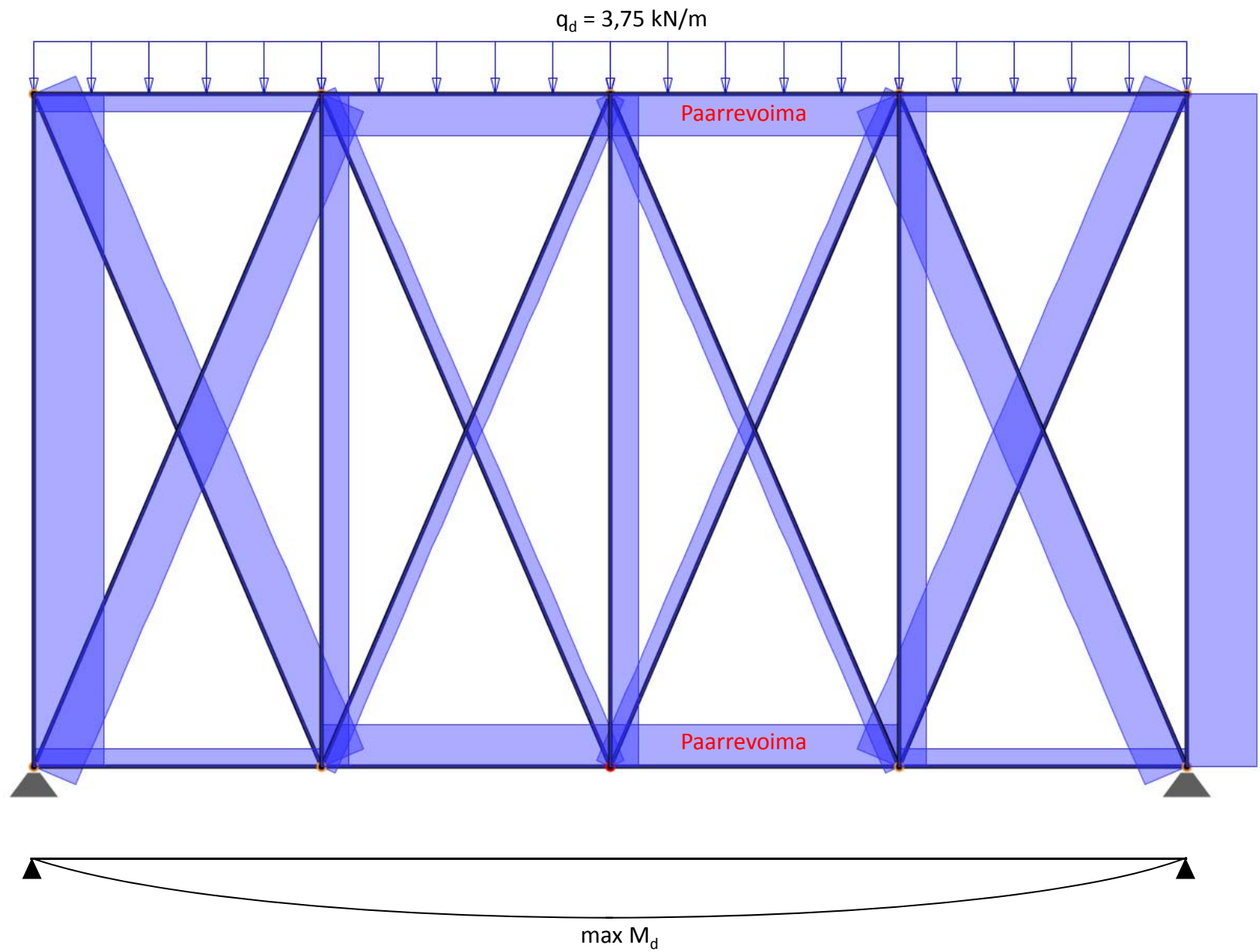
Tässä esimerkissä

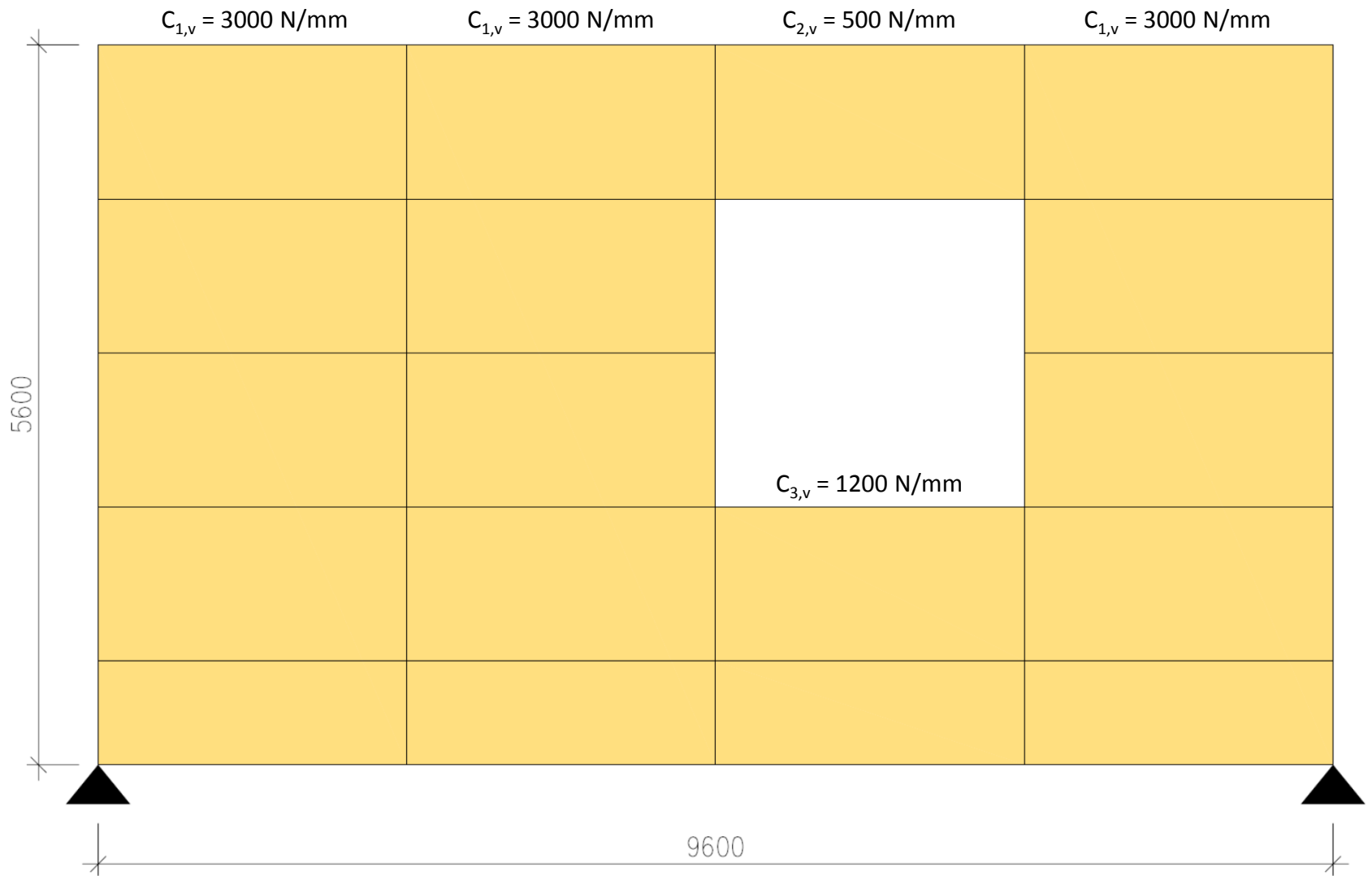
$$\omega_{mean} = \frac{2,0 + 2,0 + 2,0 + 2,0}{2} = 4,0 \text{ mm}$$

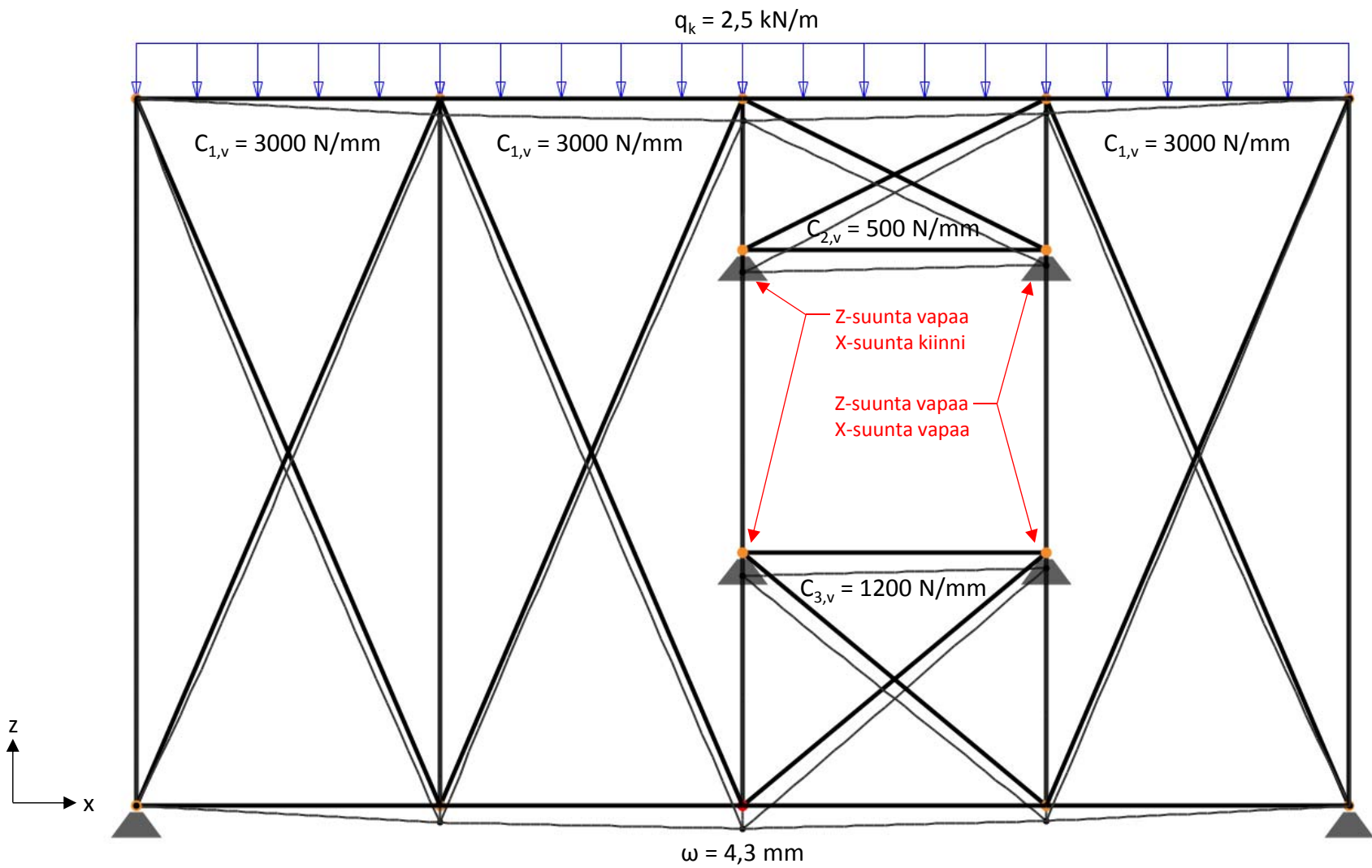
HUOMIO!

Lisäksi tulee huomioida elementtien välisten liitosten siirtymä









$q_d = 3,75 \text{ kN/m}$

