

# Esimerkkilaskelma

---

3-nivelkehän nurkkaliitos pulteilla

17.1.2019

## Sisällysluettelo

1	LÄHTÖTIEDOT.....	- 3 -
2	KUORMAT .....	- 3 -
3	MATERIAALI .....	- 4 -
4	MITOITUS MURTORAJATILASSA.....	- 5 -
4.1	PULTIN LEIKKAUSJÄNNITYS.....	- 5 -
4.2	LIITTIMEN A LEIKKAUSKAPASITEETTI (PUU-PUU 2-LEIKKEINEN).....	- 6 -
4.2.1	REUNAPURISTUSLUJUUS REUNAPUUT (PILARI) .....	- 6 -
4.2.2	KESKIPUUN REUNAPURISTUSLUJUUS (PALKKI) .....	- 6 -
4.2.3	PULTIN KAPASITEETTI .....	- 7 -
4.3	LIITTIMEN B LEIKKAUSKAPASITEETTI (PUU-PUU 2-LEIKKEINEN).....	- 8 -
4.3.1	REUNAPURISTUSLUJUUS REUNAPUUT (PILARI) .....	- 8 -
4.3.2	KESKIPUUN REUNAPURISTUSLUJUUS (PALKKI) .....	- 8 -
4.3.3	PULTIN KAPASITEETTI .....	- 9 -
4.4	LIITOSALUEEN REUNAETÄISYYKSIEN TARKISTUS.....	- 10 -

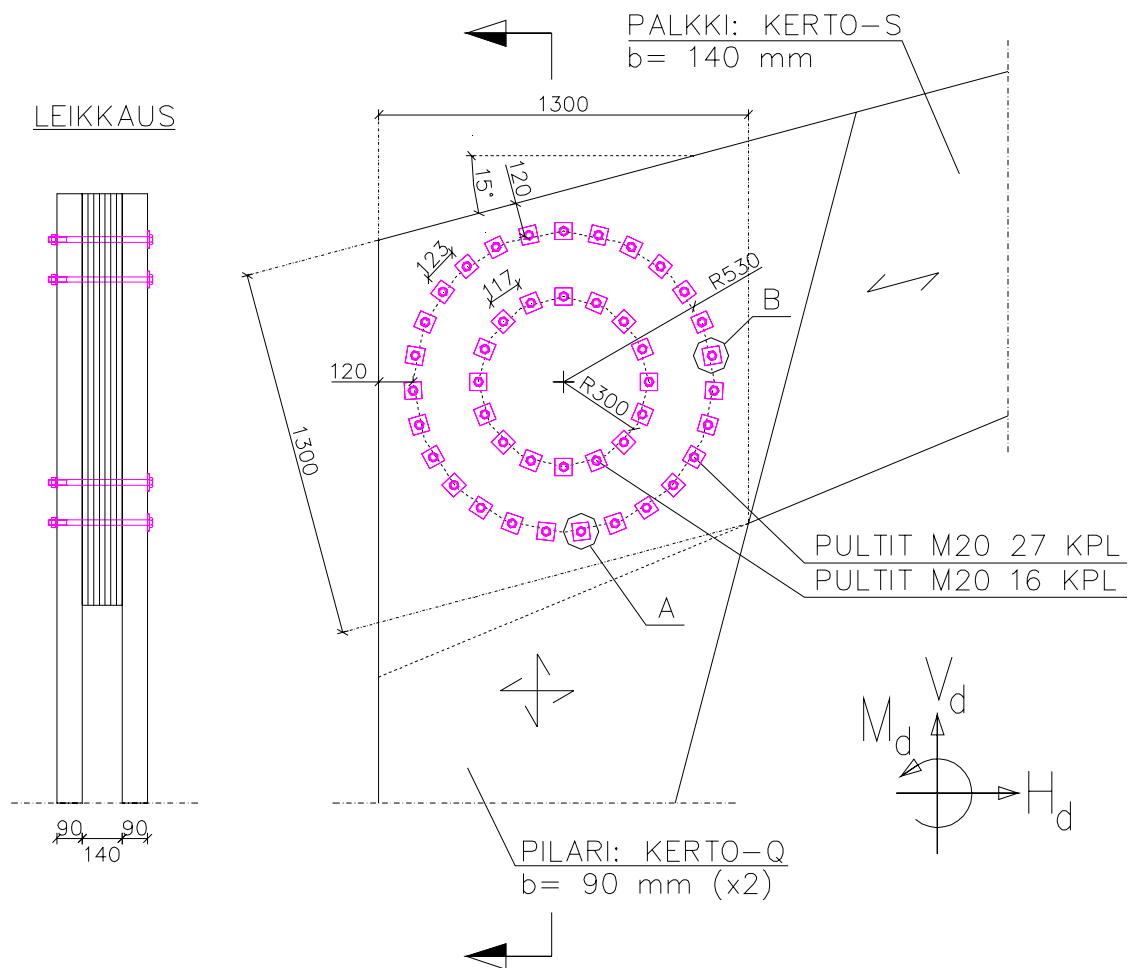
## 1 LÄHTÖTIEDOT

<b>Rakennuspaikka:</b>	Helsinki
<b>Rakenne:</b>	3-nivelkehän nurkkaliitos pulteilla
<b>Seuraamusluokka:</b>	CC2
<b>Normit:</b>	Puurakenteet: RIL 205-1-2017, SFS EN 1995-1-1
	Kuormat: RIL 201-1-2017, SFS EN 1990, SFS EN 1991-1-1 ja SFS EN 1991-1-3

## 2 KUORMAT

Tarkastellaan pelkästään nurkan mitoitusta ja kuormitustapaus on omapaino 100 % ja lumi 100 %. Nurkassa vaikuttavat seuraavat voimat murtorajatilassa:

$$V_d = 102,0 \text{ kN (vertikaali, puristus)}, H_d = 58,8 \text{ kN (horisontaali)} \text{ ja } M_d = 294 \text{ kNm}$$



### 3 MATERIAALI

#### Viilupalkki Kerto-S 140x~1300

$$k_h = \left( \frac{300 \text{ mm}}{h} \right)^s \leq 1,2 \Rightarrow k_h = \left( \frac{300 \text{ mm}}{1300 \text{ mm}} \right)^{0,12} = 0,84 \leq 1,2$$

**Aikaluokka: Keskipitkä**

**Käyttöluokka: 2**

$$\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,8$$

**Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet**

LVL:n osavarmuusluku  $\gamma_M = 1,2$

	<b>Ominaislujuus</b>	<b>Suunnittelulujuus</b>
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 44,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{\text{mod}} \times f_{m,k} / \gamma_M = 24,6 \text{ N/mm}^2$
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 4,1 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \times f_{v,k} / \gamma_M = 2,73 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (90°):	$f_{c,90,k} = 6,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,90,k} / \gamma_M = 4,00 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 35,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 23,3 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (90°):	$f_{t,90,k} = 0,8 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 0,53 \text{ N/mm}^2$
Kimmoduuli:	$E_{0,\text{mean}} = 13\,800 \text{ N/mm}^2$	$E_{0,05} = 11\,600 \text{ N/mm}^2$
Liukumoduuli:	$G_{0,\text{mean}} = 600 \text{ N/mm}^2$	$G_{0,05} = 400 \text{ N/mm}^2$
Ominaisihteys:	$\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$	

#### Viilupalkki Kerto-Q 90x~1300

$$k_h = \left( \frac{300 \text{ mm}}{h} \right)^s \leq 1,2 \Rightarrow k_h = \left( \frac{300 \text{ mm}}{1300 \text{ mm}} \right)^{0,12} = 0,84 \leq 1,2$$

**Aikaluokka: Keskipitkä**

**Käyttöluokka: 2**

$$\Rightarrow k_{\text{mod}} = 0,8$$

**Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet**

LVL:n osavarmuusluku  $\gamma_M = 1,2$

	<b>Ominaislujuus</b>	<b>Suunnittelulujuus</b>
Taivutuslujuus:	$f_{m,k} = 32,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,d} = k_h \times k_{\text{mod}} \times f_{m,k} / \gamma_M = 17,9 \text{ N/mm}^2$
Leikkauslujuus:	$f_{v,k} = 4,5 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \times f_{v,k} / \gamma_M = 3,0 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (90°):	$f_{c,90,k} = 9,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,90,k} / \gamma_M = 6,00 \text{ N/mm}^2$
Puristuslujuus (0°):	$f_{c,0,k} = 26,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \times f_{c,0,k} / \gamma_M = 17,3 \text{ N/mm}^2$
Vetolujuus (90°):	$f_{t,90,k} = 6,0 \text{ N/mm}^2$	$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} \times f_{t,90,k} / \gamma_M = 4,0 \text{ N/mm}^2$
Kimmoduuli:	$E_{0,\text{mean}} = 10\,500 \text{ N/mm}^2$	$E_{0,05} = 8\,800 \text{ N/mm}^2$
Liukumoduuli:	$G_{0,\text{mean}} = 600 \text{ N/mm}^2$	$G_{0,05} = 400 \text{ N/mm}^2$
Ominaisihteys:	$\rho_k = 480 \text{ kg/m}^3$	

#### Pultit ja aluslevyt M20 8.8 ja mutterit 8.0

Liitoskestävyyden osavarmuusluku  $\gamma_M = 1,3$

## 4 MITOITUS MURTORAJATILASSA

### 4.1 PULTIN LEIKKAUSJÄNNITYS

$n_1 = 27$  kpl,  $n_2 = 16$  kpl,  $r_1 = 530$  mm,  $r_2 = 300$  mm

Vertikaalivoiman aiheuttama leikkaus liittimelle:

$$q_V = \frac{V_d}{n_1 + n_2} \Rightarrow q_V = \frac{102000 \text{ N}}{27 + 16} = 2372 \text{ N}$$

Horisontaalivoiman aiheuttama leikkaus liittimelle (ulompi ympyrä):

$$q_H = \frac{H_d}{n_1 + n_2} \Rightarrow q_H = \frac{58800 \text{ N}}{27 + 16} = 1367 \text{ N}$$

Momentin aiheuttama leikkaus liittimelle:

$$q_M = \frac{r_1}{n_1 \times r_1^2 + n_2 \times r_2^2} \times M_d \Rightarrow q_M = \frac{530}{27 \times 530^2 + 16 \times 300^2} \times 294 \times 10^6 \text{ Nmm} = 17267 \text{ N}$$

**Lopullinen liitinrasitus, liitin A:**

$$q_{A,d} = \sqrt{(q_H + q_M)^2 + q_V^2} \Rightarrow q_{A,d} = \sqrt{(1367 \text{ N} + 17267 \text{ N})^2 + (2372 \text{ N})^2} = 18,8 \text{ kN / liitin}$$

voiman ja syyn välinen kulma pilarissa:

$$\alpha_1 = \text{atan} \left( \frac{q_M + q_H}{q_V} \right) \Rightarrow \alpha_1 = \text{atan} \left( \frac{17267 \text{ N} + 1367 \text{ N}}{2372 \text{ N}} \right) = 82,7^\circ$$

Voiman ja syyn välinen kulma palkissa ( $\alpha = 15^\circ$ , kattokulma):

$$\alpha_2 = |90^\circ - \alpha_1 - \alpha| \Rightarrow \alpha_2 = |90^\circ - 82,7^\circ - 15^\circ| = 7,7^\circ$$

**Lopullinen liitinrasitus, liitin B:**

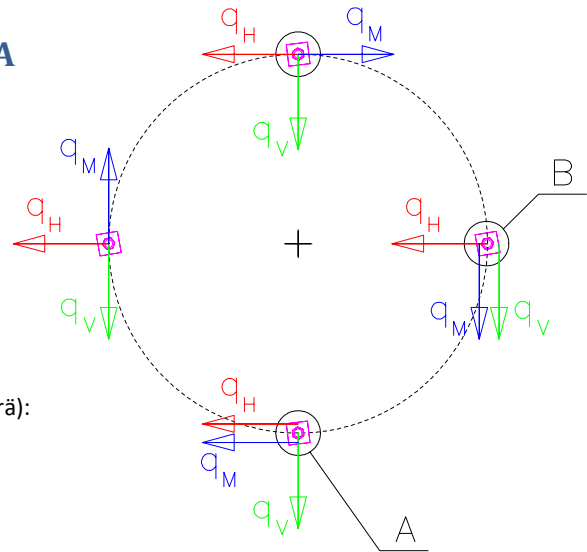
$$q_{B,d} = \sqrt{(q_V + q_M)^2 + q_H^2} = \sqrt{(2372 \text{ N} + 17267 \text{ N})^2 + (1367 \text{ N})^2} = 19,7 \text{ kN / liitin}$$

voiman ja syyn välinen kulma pilarissa:

$$\alpha_1 = \text{atan} \left( \frac{q_H}{q_M + q_V} \right) \Rightarrow \alpha_1 = \text{atan} \left( \frac{1367 \text{ N}}{17267 \text{ N} + 2372 \text{ N}} \right) = 4,0^\circ$$

Voiman ja syyn välinen kulma palkissa ( $\alpha = 15^\circ$ , kattokulma):

$$\alpha_2 = |90^\circ - \alpha_1 - \alpha| \Rightarrow \alpha_2 = |90^\circ - 4,0^\circ - 15^\circ| = 71^\circ$$



## 4.2 LIITTIMEN A LEIKKAUSKAPASITEETTI (PUU-PUU 2-LEIKKEINEN)

### 4.2.1 REUNAPURISTUSLUJUUS REUNAPUUT (PILARI)

Lasketaan aluksi kerroin  $k_{90}$  (Kerto-Q):

$$k_{90} = 1,15 + 0,015 \times d$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,15 + 0,015 \times 20 = 1,45$$

Lasketaan Kerto-Q:n reunapuristuslujuus:

$$f_{h,0,k} = 37 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k$$

$$\Rightarrow f_{h,0,k} = 37 \times (1 - 0,01 \times 20) \times 480 = 29,60 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan reunapuristuslujuus kulmassa  $\alpha$  syyn suuntaan nähden. Voiman ja syyn välinen kulma,  $\alpha = 82,7^\circ$ .

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow f_{h,1,k} = \frac{29,6}{1,45 \times \sin(82,7^\circ)^2 + \cos(82,7^\circ)^2} = 20,51 \text{ N/mm}^2$$

### 4.2.2 KESKIPUUN REUNAPURISTUSLUJUUS (PALKKI)

Lasketaan aluksi kerroin  $k_{90}$ :

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \times d, \text{havupuille} \\ 1,30 + 0,015 \times d, \text{Kerto-S ja -T} \\ 0,90 + 0,015 \times d, \text{lehtipuille} \end{cases}$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,30 + 0,015 \times d$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,30 + 0,015 \times 20 = 1,60$$

Lasketaan Kerto-S:n reunapuristuslujuus:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k$$

$$\Rightarrow f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 20) \times 480 = 31,49 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan reunapuristuslujuus kulmassa  $\alpha$  syyn suuntaan nähden. Voiman ja syyn välinen kulma,  $\alpha = 7,7^\circ$ .

$$f_{h,s,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow f_{h,s,k} = \frac{31,49}{1,60 \times \sin(7,7^\circ)^2 + \cos(7,7^\circ)^2} = 31,15 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.2.3 PULTIN KAPASITEETTI

Lasketaan pultin myötömometti,  $M_y$ , kun pultin vetomurtolujuus  $f_{u,k} = 800 \text{ N/mm}^2$

$$M_y = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6}$$

$$\Rightarrow M_y = 0,3 \times 800 \times 20^{2,6} = 579\,281 \text{ Nmm}$$

Liitospuiden paksuudet ovat seuraavat:

reunapuut:  $t_1 = t_2 = 90 \text{ mm}$  (min  $4d = 80 \text{ mm}$ )  
keskipuu:  $t_3 = 140 \text{ mm}$  (min  $5d = 100 \text{ mm}$ )

Lasketaan yhden leikkeen leikkauskestävyys:

$$f_h = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \\ f_{h,2,k} \\ f_{h,s,k} \end{cases} \Rightarrow f_h = \min \begin{cases} 20,51 \\ 20,51 \\ 31,15 \end{cases} \Rightarrow f_h = 20,51 \text{ N/mm}^2$$

$$t_u = \min \begin{cases} \frac{t_1 \times f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 \times f_{h,2,k}}{f_h} \end{cases} \Rightarrow t_u = \min \begin{cases} \frac{90 \times 20,51}{20,51} \\ \frac{90 \times 20,51}{20,51} \end{cases} \Rightarrow t_u = 90 \text{ mm}$$

$$R_k = \min \begin{cases} 0,4 \times f_h \times t_u \times d \times \sqrt{1 + \frac{3 \times M_y}{f_h \times d \times t_u^2}} \\ 2 \times \sqrt{M_y \times f_h \times d} \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_k = \min \begin{cases} 0,4 \times 20,51 \times 90 \times 20 \times \sqrt{1 + \frac{3 \times 579\,281}{20,51 \times 20 \times 90^2}} = 18,2 \text{ kN} \\ 2 \times \sqrt{579\,281 \times 20,51 \times 20} = 30,8 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_k = 18,2 \text{ kN / leike}$$

### 4.3 LIITTIMEN B LEIKKAUSKAPASITEETTI (PUU-PUU 2-LEIKKEINEN)

#### 4.3.1 REUNAPURISTUSLUJUUS REUNAPUUT (PILARI)

Lasketaan aluksi kerroin  $k_{90}$  (Kerto-Q):

$$k_{90} = 1,15 + 0,015 \times d$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,15 + 0,015 \times 20 = 1,45$$

Lasketaan Kerto-Q:n reunapuristuslujuus:

$$f_{h,0,k} = 37 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k$$

$$\Rightarrow f_{h,0,k} = 37 \times (1 - 0,01 \times 20) \times 480 = 29,60 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan reunapuristuslujuus kulmassa  $\alpha$  syyn suuntaan nähden. Voiman ja syyn välinen kulma,  $\alpha = 4,0^\circ$ .

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow f_{h,1,k} = \frac{29,6}{1,45 \times \sin(4,0^\circ)^2 + \cos(4,0^\circ)^2} = 29,54 \text{ N/mm}^2$$

#### 4.3.2 KESKIPUUN REUNAPURISTUSLUJUUS (PALKKI)

Lasketaan aluksi kerroin  $k_{90}$ :

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \times d, \text{havupuille} \\ 1,30 + 0,015 \times d, \text{Kerto-S ja -T} \\ 0,90 + 0,015 \times d, \text{lehtipuille} \end{cases}$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,30 + 0,015 \times d$$

$$\Rightarrow k_{90} = 1,30 + 0,015 \times 20 = 1,60$$

Lasketaan Kerto-S:n reunapuristuslujuus:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k$$

$$\Rightarrow f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 20) \times 480 = 31,49 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan reunapuristuslujuus kulmassa  $\alpha$  syyn suuntaan nähden. Voiman ja syyn välinen kulma,  $\alpha = 71,0^\circ$ .

$$f_{h,s,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow f_{h,s,k} = \frac{31,49}{1,60 \times \sin(71,0^\circ)^2 + \cos(71,0^\circ)^2} = 20,50 \text{ N/mm}^2$$



### 4.3.3 PULTIN KAPASITEETTI

Lasketaan pultin myötömomentti,  $M_y$ , kun pultin vetomurtolujuus  $f_{u,k} = 800 \text{ N/mm}^2$

$$M_y = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6}$$

$$\Rightarrow M_y = 0,3 \times 800 \times 20^{2,6} = 579\,281 \text{ Nmm}$$

Liitospuiden paksuudet ovat seuraavat:

reunapuut:  $t_1 = t_2 = 90 \text{ mm}$  (min  $4d = 80 \text{ mm}$ )  
keskipuu:  $t_3 = 140 \text{ mm}$  (min  $5d = 100 \text{ mm}$ )

Lasketaan yhden leikkeen leikkauskestävyys:

$$f_h = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \\ f_{h,2,k} \\ f_{h,s,k} \end{cases} \Rightarrow f_h = \min \begin{cases} 29,54 \\ 29,54 \\ 20,50 \end{cases} \Rightarrow f_h = 20,50 \text{ N/mm}^2$$

$$t_u = \min \begin{cases} \frac{t_1 \times f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 \times f_{h,2,k}}{f_h} \end{cases} \Rightarrow t_u = \min \begin{cases} \frac{90 \times 29,54}{20,50} \\ \frac{90 \times 29,54}{20,50} \end{cases} \Rightarrow t_u = 130 \text{ mm}$$

$$R_k = \min \begin{cases} 0,4 \times f_h \times t_u \times d \times \sqrt{1 + \frac{3 \times M_y}{f_h \times d \times t_u^2}} \\ 2 \times \sqrt{M_y \times f_h \times d} \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_k = \min \begin{cases} 0,4 \times 20,50 \times 130 \times 20 \times \sqrt{1 + \frac{3 \times 579\,281}{20,50 \times 20 \times 130^2}} = 23,8 \text{ kN} \\ 2 \times \sqrt{579\,281 \times 20,50 \times 20} = 30,8 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_k = 23,8 \text{ kN / leike}$$

Koska liittimen A kapasiteetti on pienempi kuin liittimen B, lasketaan koko liitoksen kapasiteetti liittimen A kapasiteetilla. Pultissa leikkeitä per pultti 2 kpl ( $m = 2$ ),  $\gamma = 1,3$  ja  $k_{\text{mod}} = 0,8$ :

$$R_{\text{pultti,d}} = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \times m \times R_k = \frac{0,8}{1,3} \times 2 \times 18,2 \text{ kN} = 22,4 \text{ kN / liitin}$$

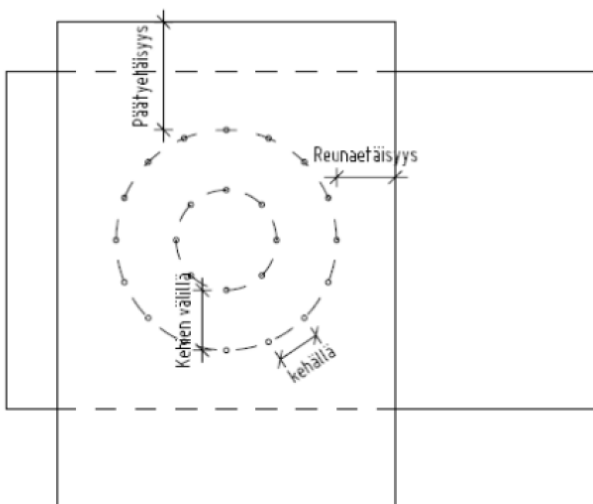
**Mitoitusehto:**  $q_{B,d} \leq R_{\text{pultti,d}} \Rightarrow 19,7 \text{ kN} \leq 22,4 \text{ kN}$  (88 %)

#### 4.4 LIITOSALUEEN REUNAETÄISYYKSIEN TARKISTUS

PULTTIEN LIITINVÄLIT SEKÄ REUNA- JA PÄÄTYETÄISYYDET	KERTO-S/KERTO-Q <sup>1)</sup>	KERTO-S/KERTO-S	KERTO-Q/KERTO-Q
päätysteisyys	6 <i>d</i> Kerto-S 4 <i>d</i> Kerto-Q	7 <i>d</i>	4 <i>d</i>
reunaetäisyys	4 <i>d</i> Kerto-S 3 <i>d</i> Kerto-Q	4 <i>d</i>	3 <i>d</i>
pulttiväli kehällä	5 <i>d</i>	6 <i>d</i>	4 <i>d</i>
kehien välillä <sup>2)</sup>	5 <i>d</i>	5 <i>d</i>	4 <i>d</i>

1) Kun Kerto-Q on uloimpana liitoskappaleena.

2) Kehien säteitten välillä.



**Kuva 1:** Pulttien liitinvälit ja reunaetäisyydet (Metsä Wood: Kertopuukäsikirja)

Päätysteisyydet:

- Kerto-S:  $6d = 6 \times 20 = 120 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm OK!}$
- Kerto-Q:  $4d = 4 \times 20 = 80 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm OK!}$

Reunaetäisyydet:

- Kerto-S:  $4d = 4 \times 20 = 80 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm OK!}$
- Kerto-Q:  $3d = 3 \times 20 = 60 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm OK!}$

Pulttien välit kehällä:  $5d = 5 \times 20 = 100 \text{ mm} \leq 117 \text{ mm (123 mm) OK!}$

Kehien välit:  $5d = 5 \times 20 = 100 \text{ mm} \leq 230 \text{ mm OK!}$

