

Puikkoliitosteoria ja vinoruuviliitos

Ari Kevarinmäki
Eurofins Expert Services Oy

EC5:n laajennettu puikkoliitosteoria

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,2,k} t_2 d \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

(a)

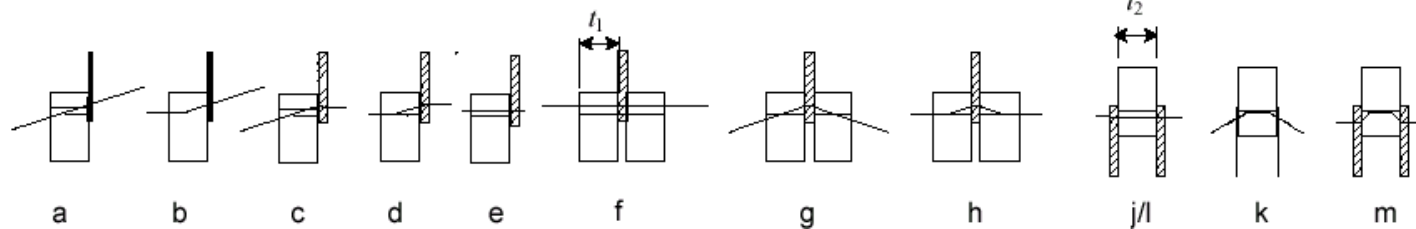
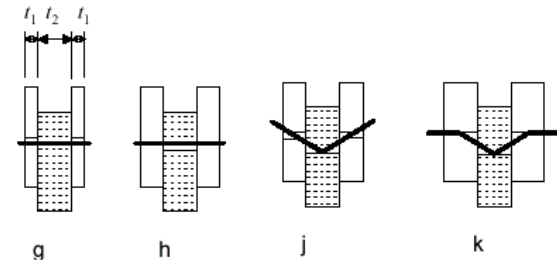
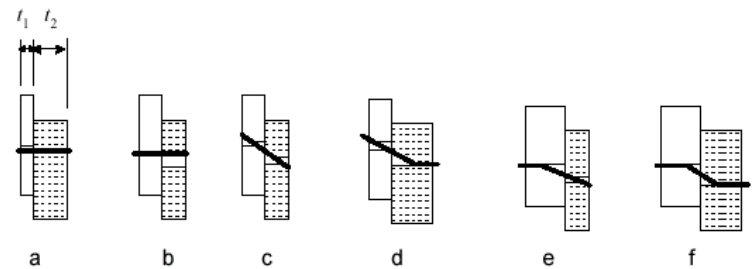
(b)

(c)

(d)

(e)

(f)



RIL 205-1-2017: Puikkoliittimen leikkauskestävyys

- Naulat ja ruuvit

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \cdot k_p \cdot \begin{cases} k_t \\ k_e \end{cases} \cdot R_k$$

esiporaamattomana

$$R_k = 120d^{1,7} \quad [\text{N}]$$

esiporattuna

$$R_k = 130d^{1,8} \quad [\text{N}]$$

- Pultit, tappivaarnat, kansiruuvit

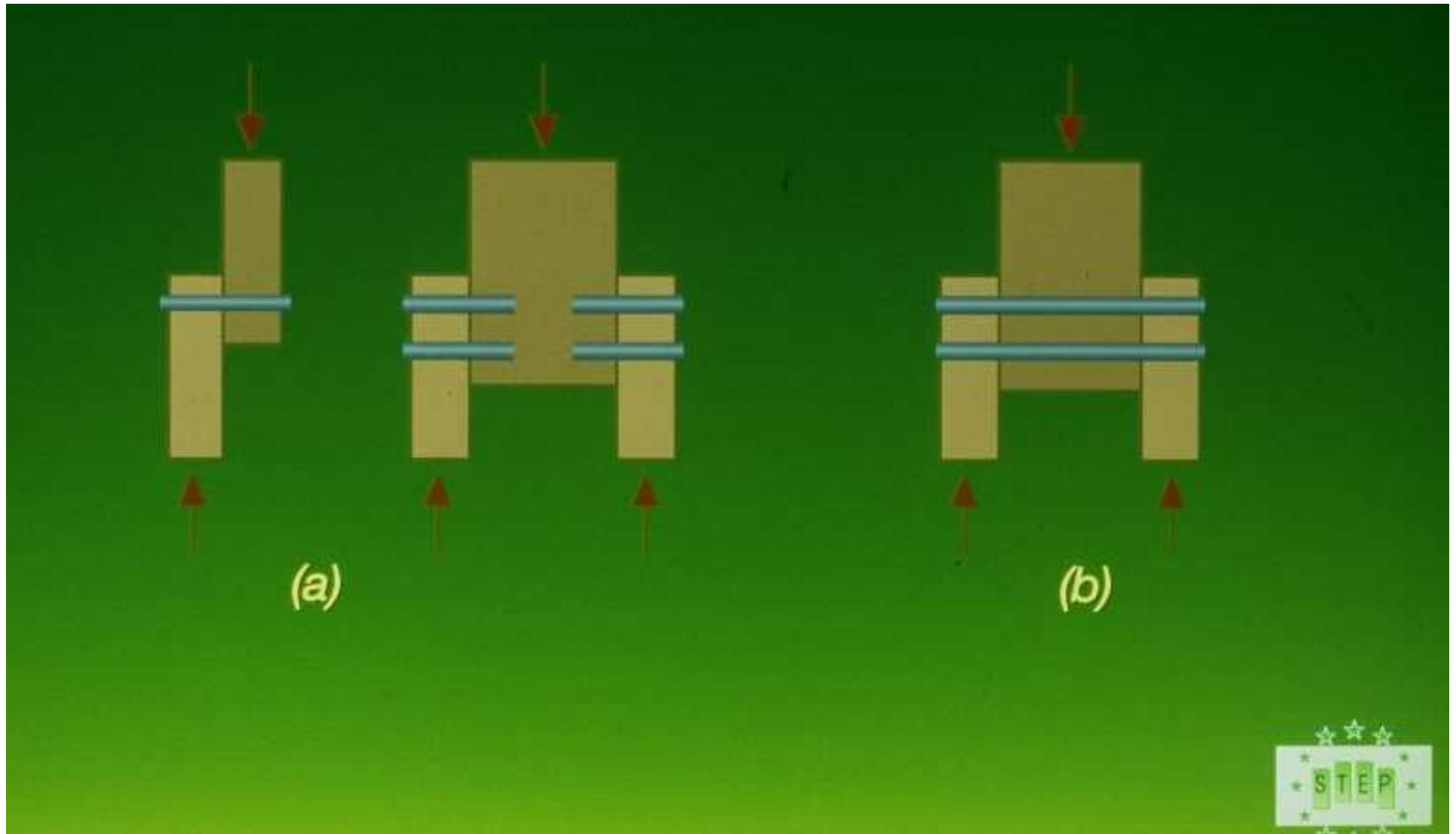
$$R_k = \min \begin{cases} 0,4 \cdot f_h \cdot t_u \cdot d \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot M_y}{f_h \cdot d \cdot t_u^2}} \\ 2 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_h \cdot d} \end{cases}$$

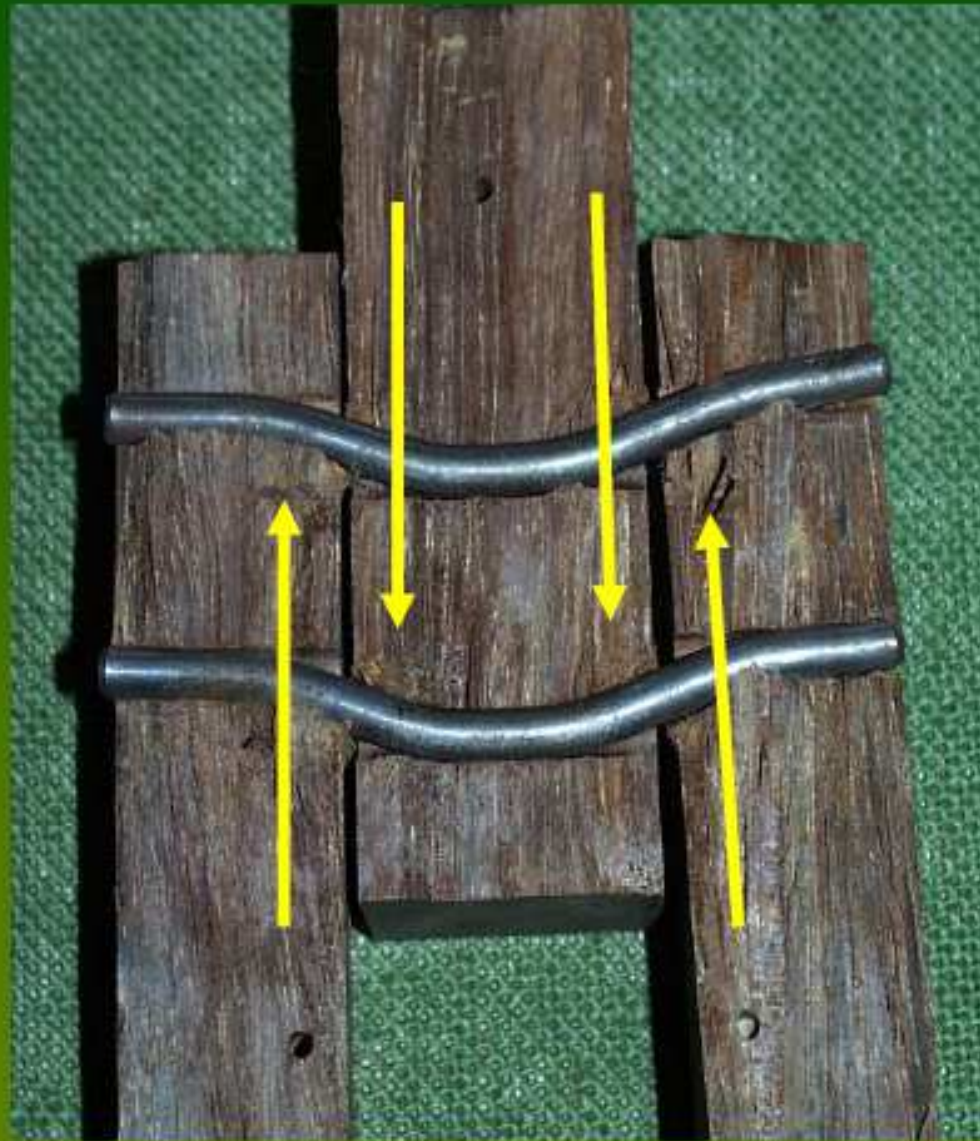
$$t_u = \min \begin{cases} \frac{t_1 \cdot f_{h,1,k}}{f_h} \\ \frac{t_2 \cdot f_{h,2,k}}{f_h} \end{cases}$$

$$f_h = \min(f_{h,1,k}; f_{h,2,k}; f_{h,s,k})$$

- Puikkoliitokset yksinkertaisia, edullisia ja helppo toteuttaa
- Puikkoliitoksilla huomioitava:
 - vaatimaton kapasiteetti => monileikkeisyys, suuret liitinryhmät
 - löysyys KRT:ssa ja momenttiliitoksissa
 - syitä vastaan kohtisuora veto
 - poikkileikkausheikennykset
 - puun halkeaminen tai leikkautuminen vetoliitoksen liitinrivissä
 - lohkeamismurto
 - kosteusjännitykset
 - murtotapa: sitkeä vain myötäväällä liittimellä, kun $n_{ef} = n$
 - hauraus => momenttiliitokset, murtotapa, pitkäaikaislujuus
- EC5:n puikkoliitosteoria mahdollistaa liitosten laskennallisen tuotekehityksen:
liitinkoon, paksuusdimensioiden ja materiaaliyhdistelmien optimointi => esim. monileikkeiset tappivaarnaliitokset

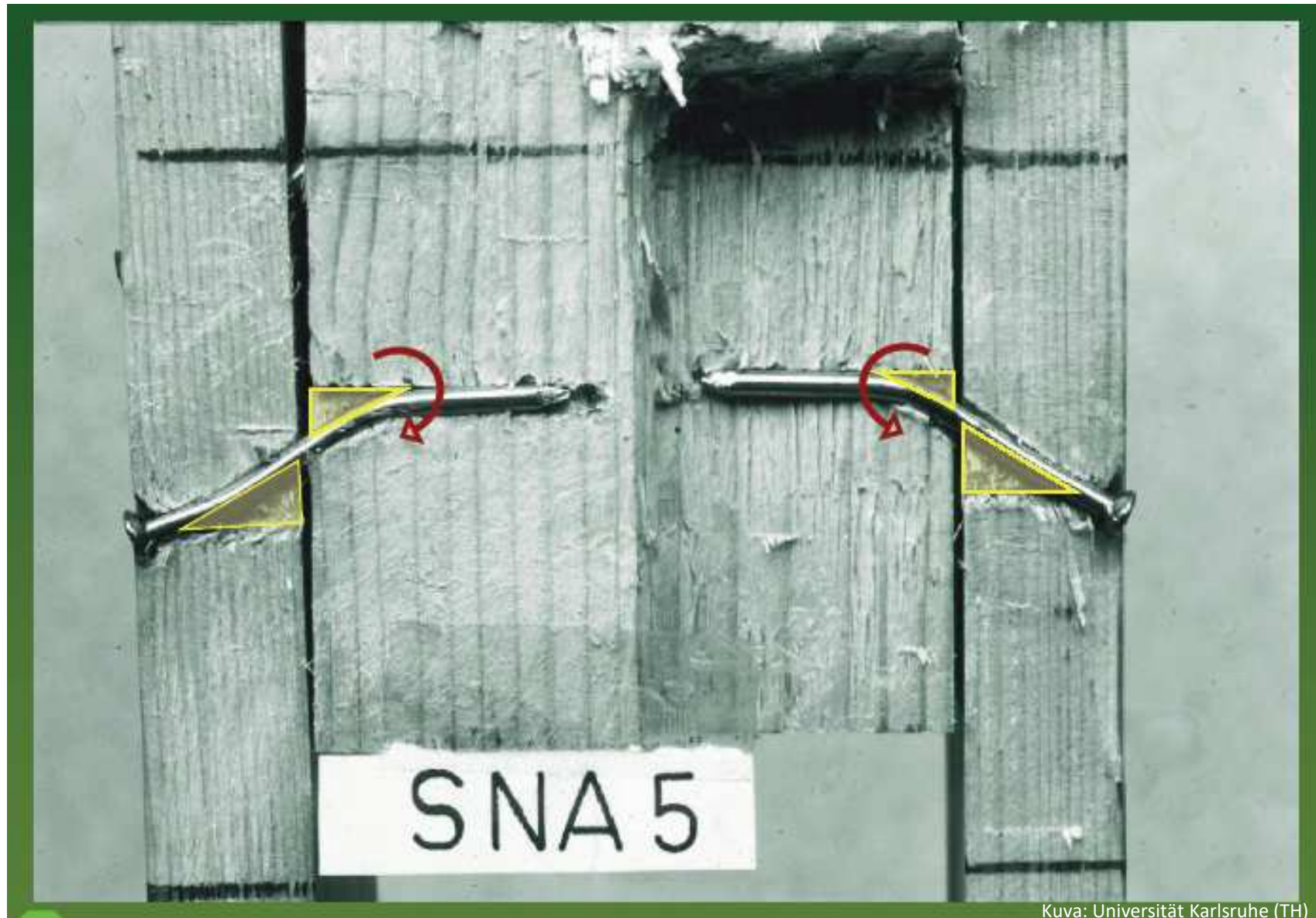
Puikkoliitosteoria



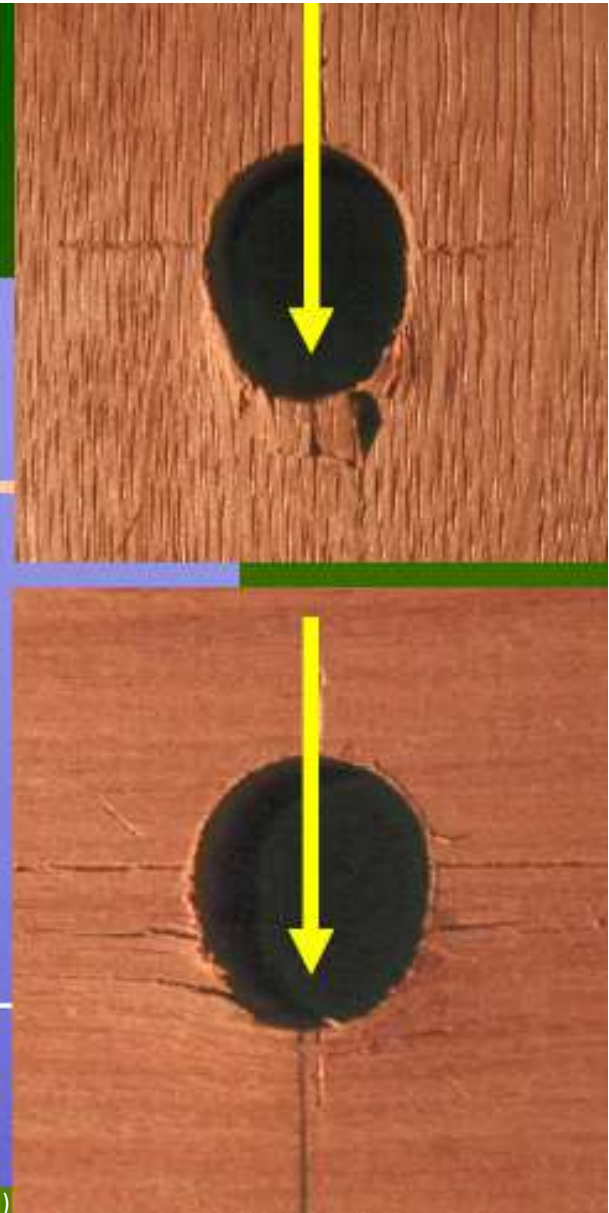
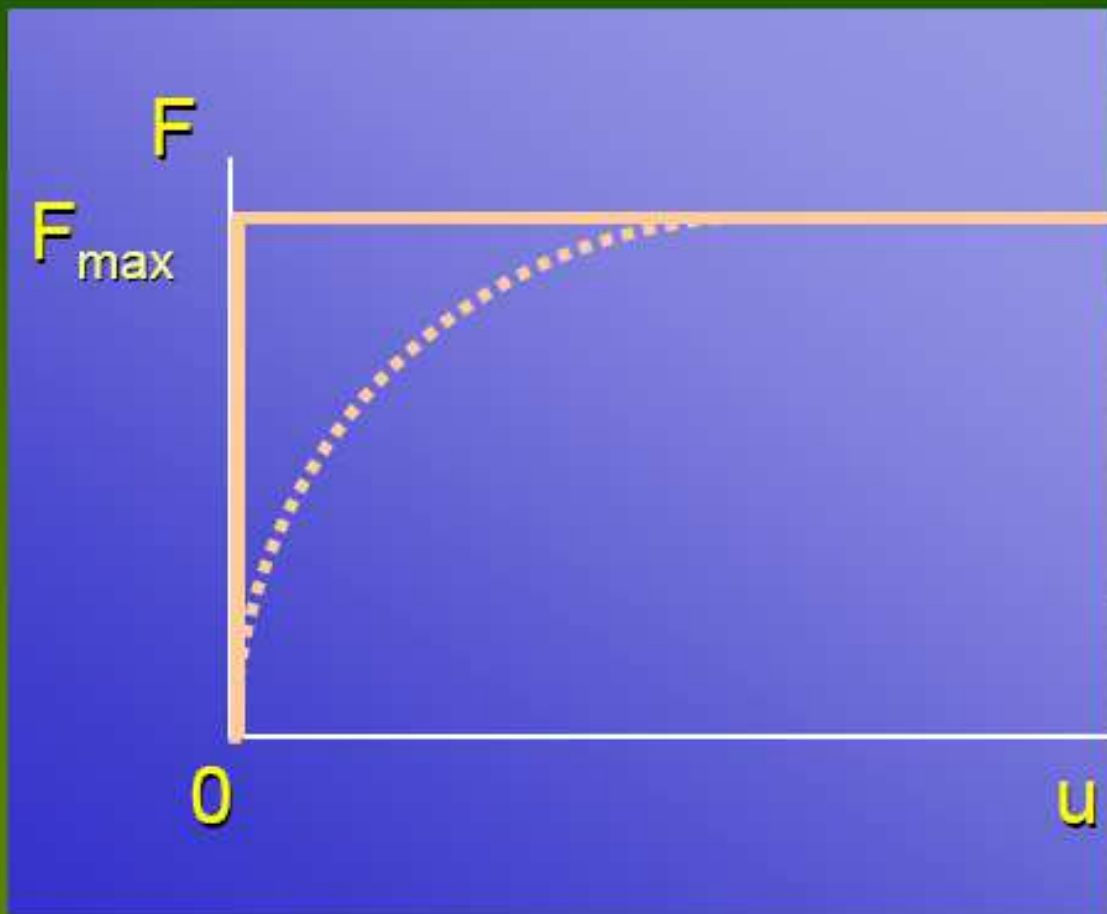


Liitoksen
leikkauskestävyys
käytettäessä nauloja,
ruuveja, hakasia,
tappivaarinoja tai
pultteja

Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

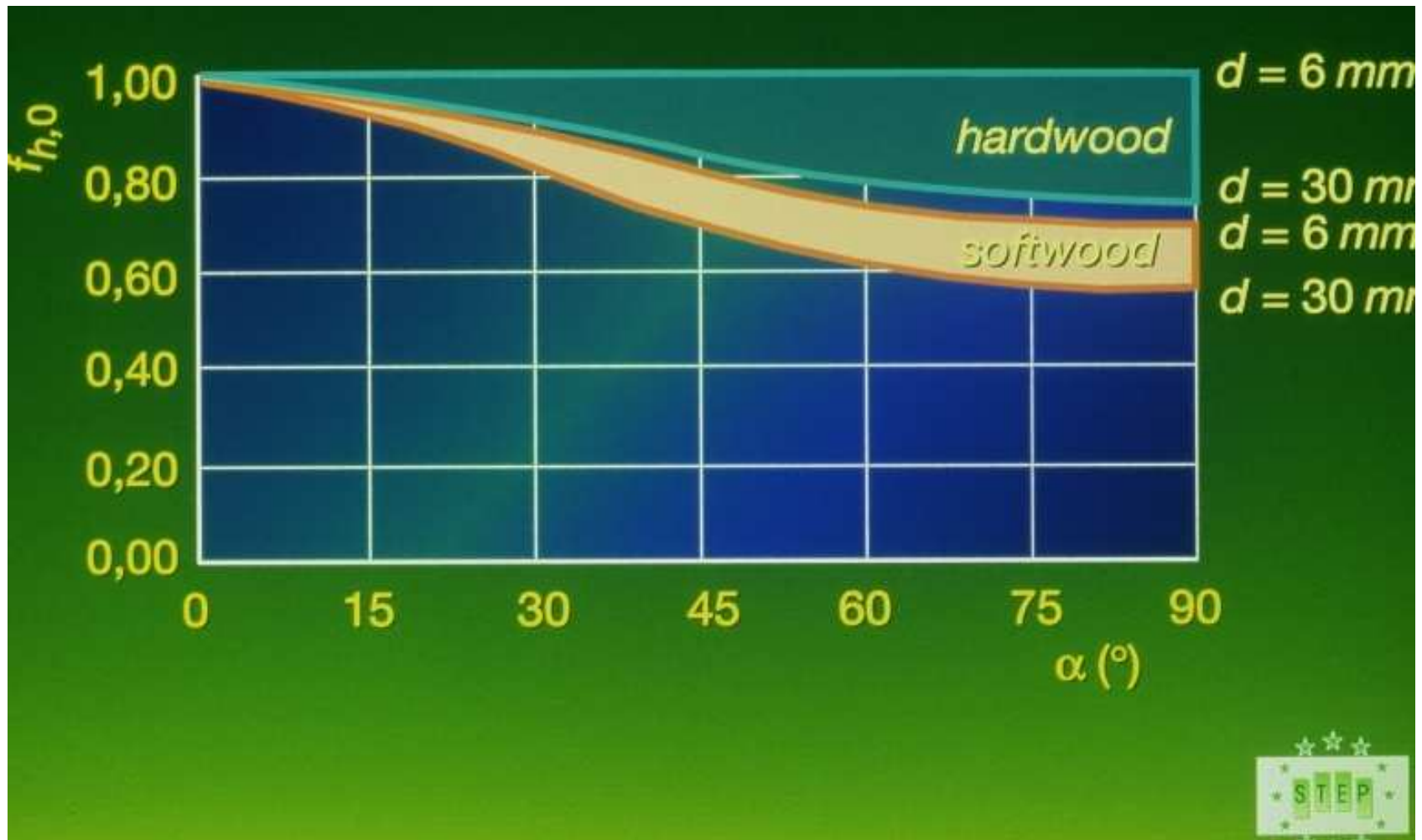


Kuva: Universität Karlsruhe (TH)



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

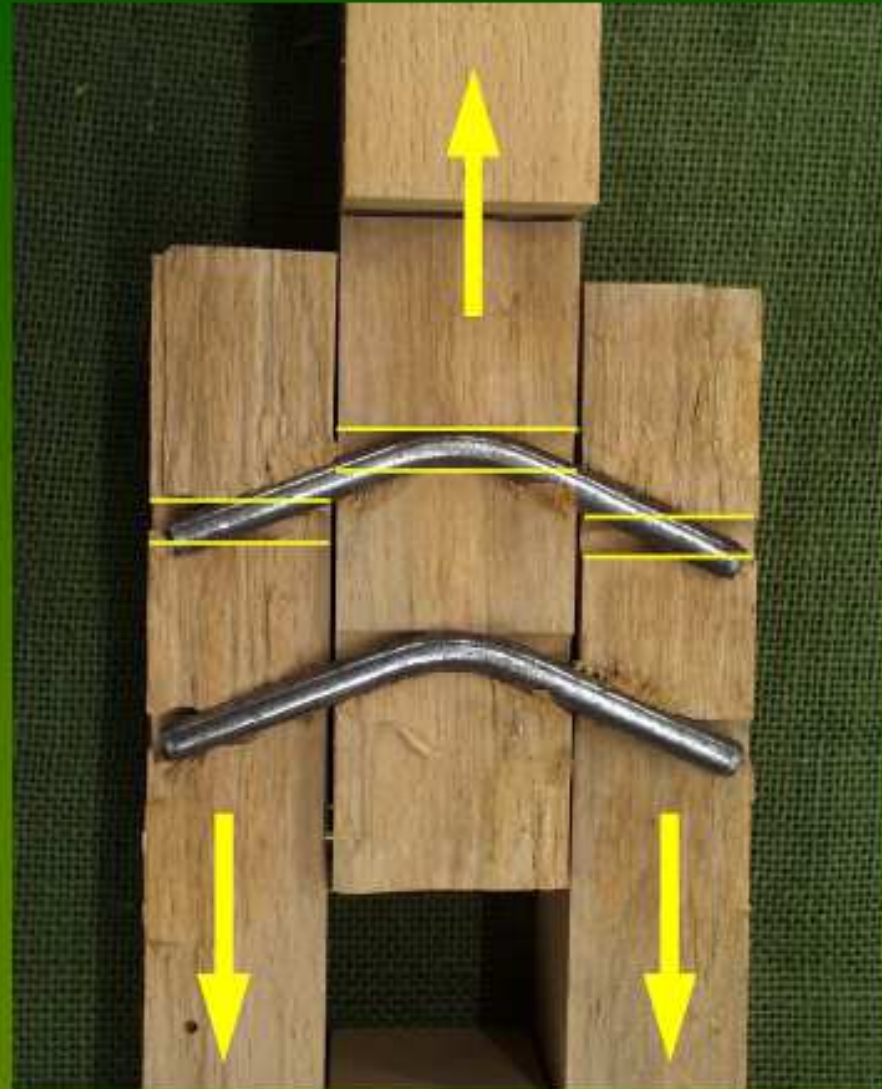
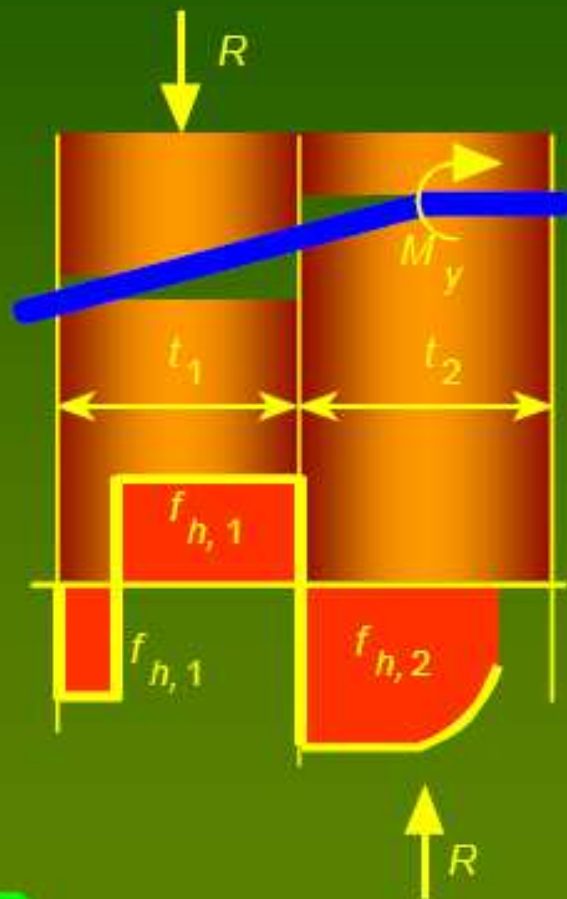
Reunapuristuslujuus riippuu puun tiheydestä, liittimen paksuudesta ja esiporatuilla puun syysuunasta



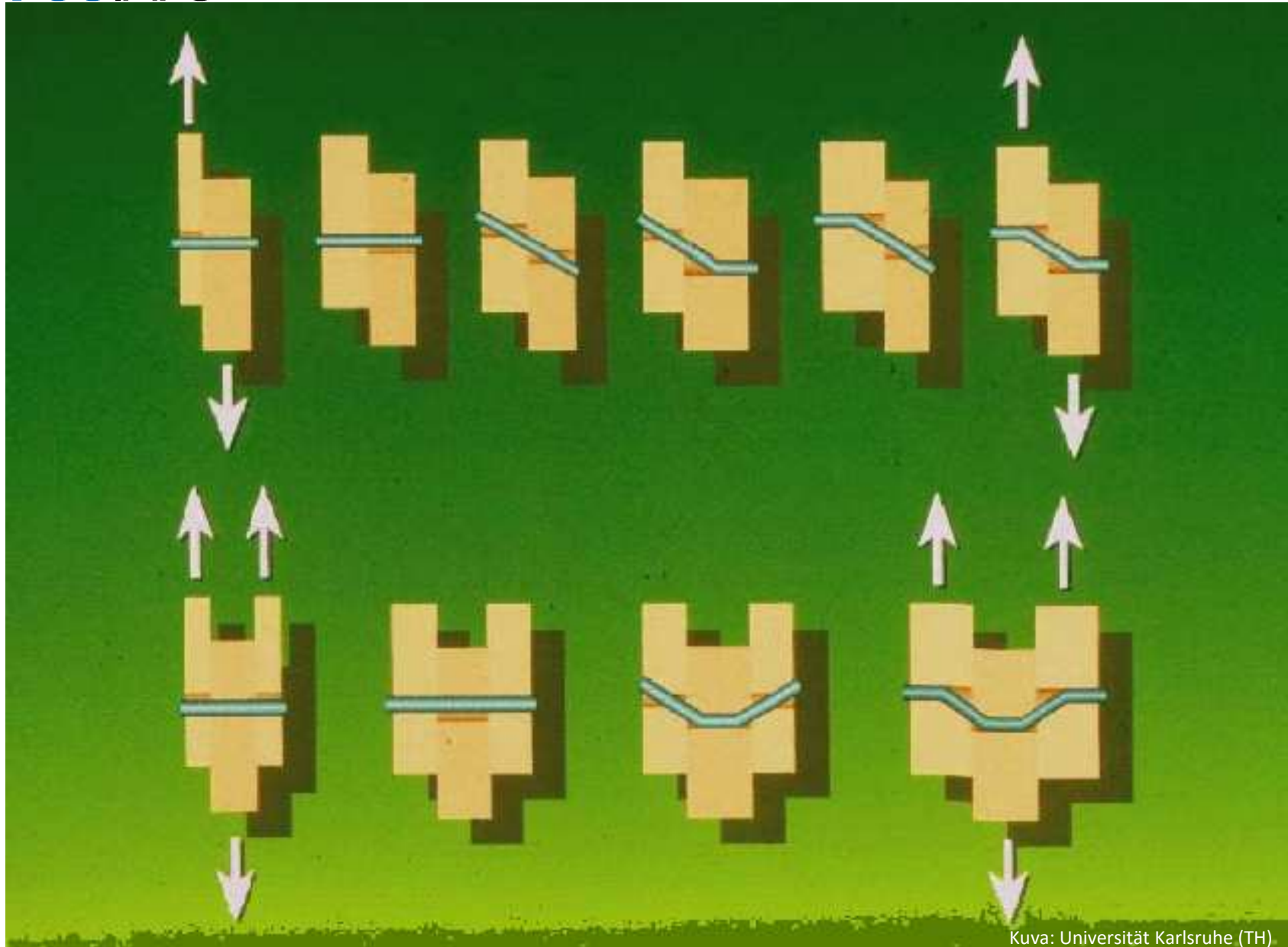


Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

Jäykkä-plastinen materiaali



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)



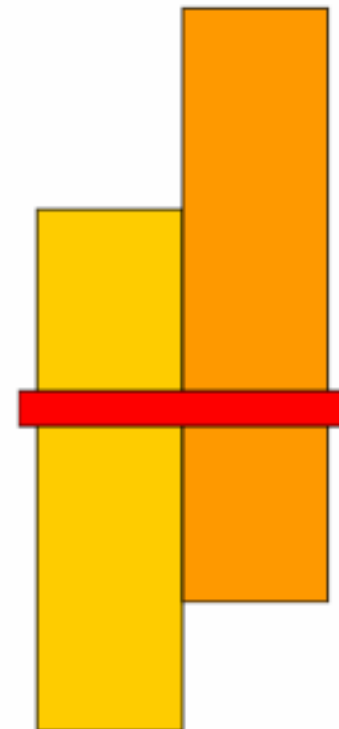
Kuva: Universität Karlsruhe (TH).

Yksileikkeinen liitos

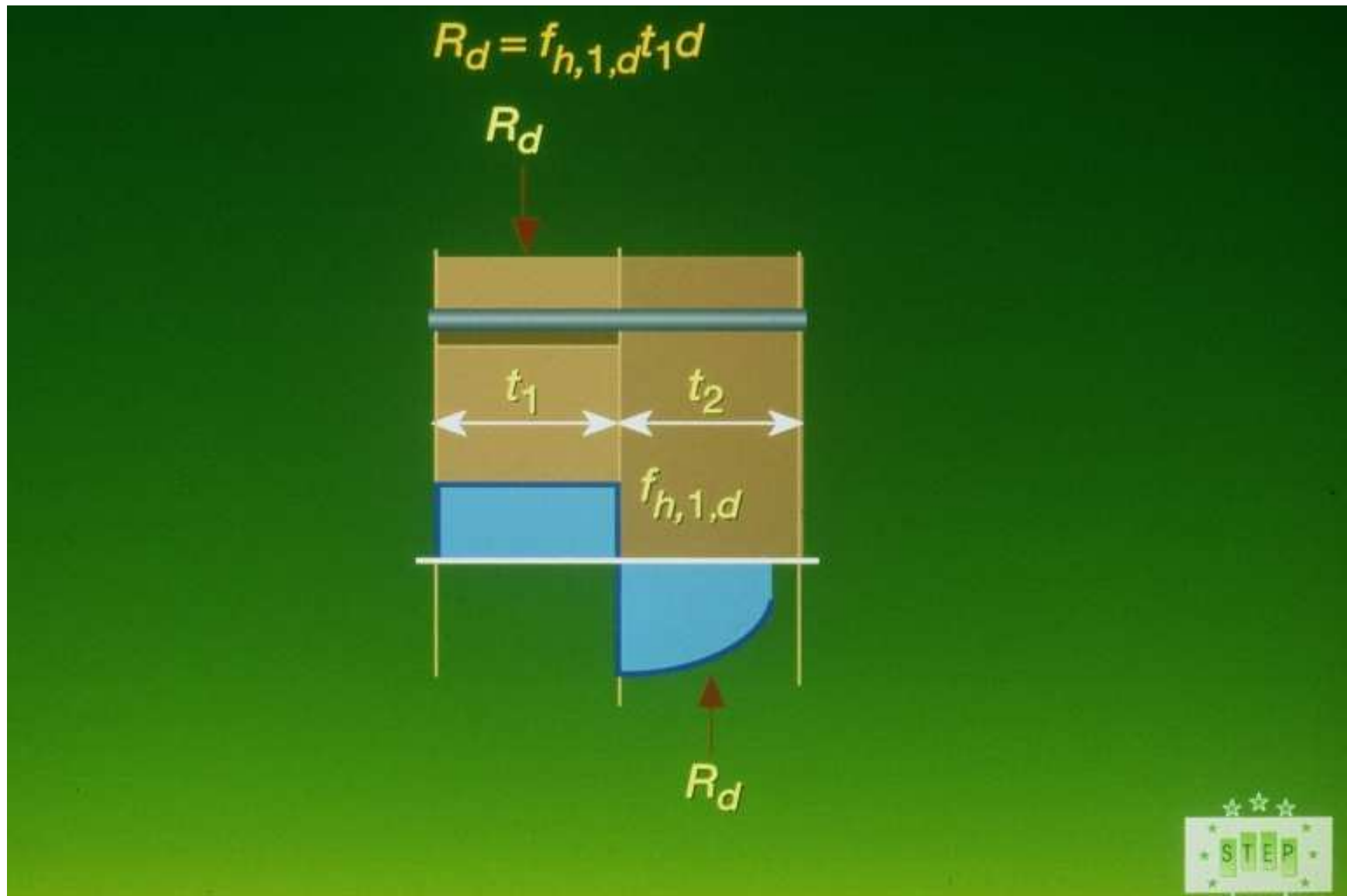
Murtotapa 1b

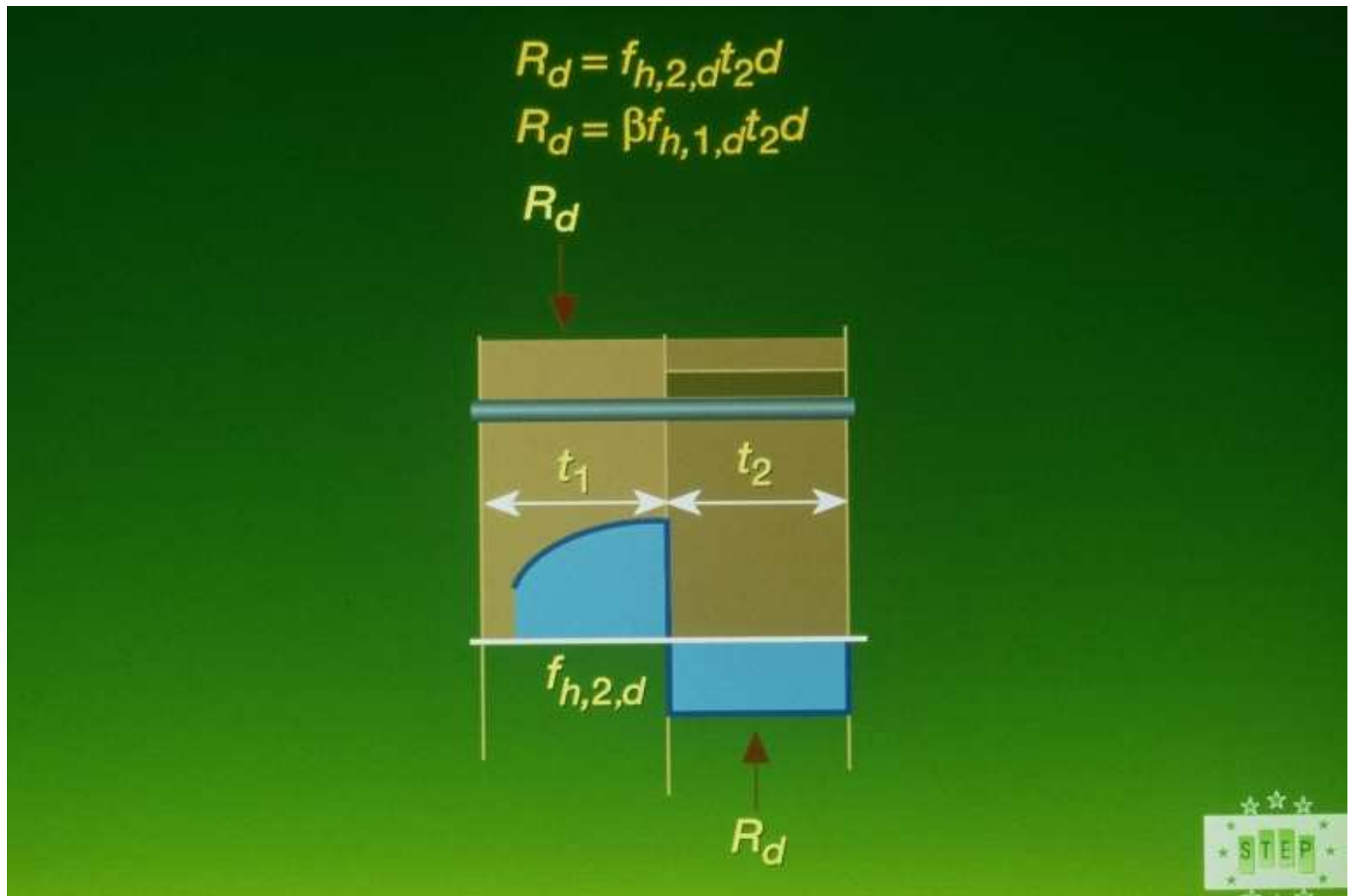
$$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$$

$$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$$



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

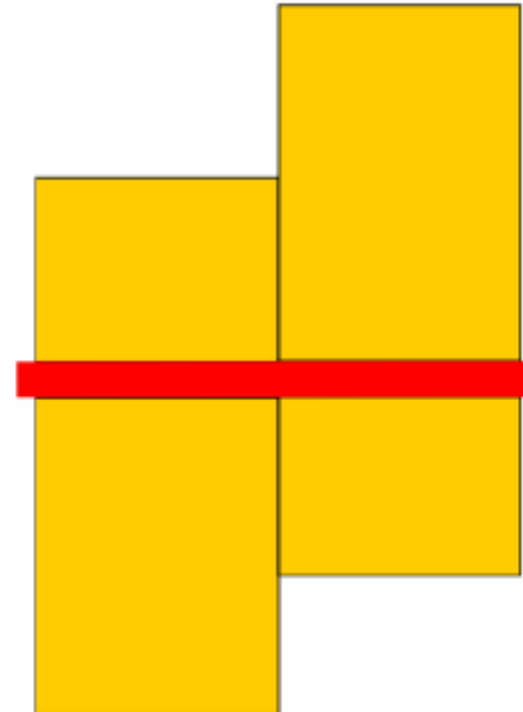


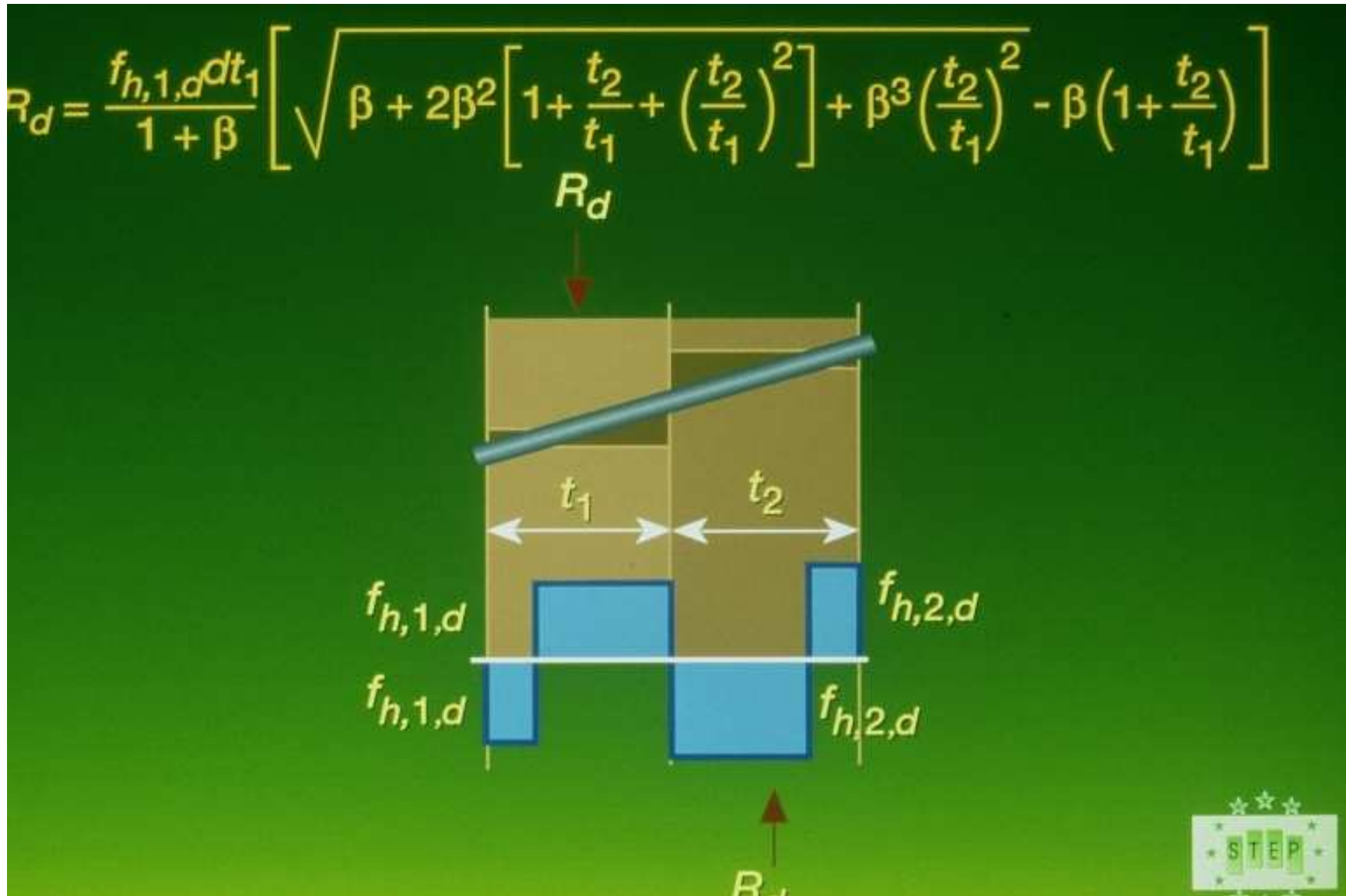


Yksileikkeinen liitos

Murtotapa 1a

$$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left\{ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right\}$$



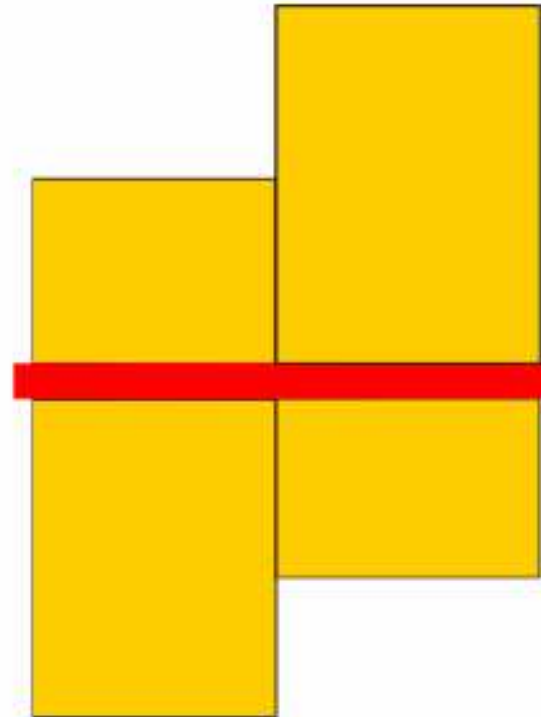


Yksileikkeinen liitos

Murtotapa 2

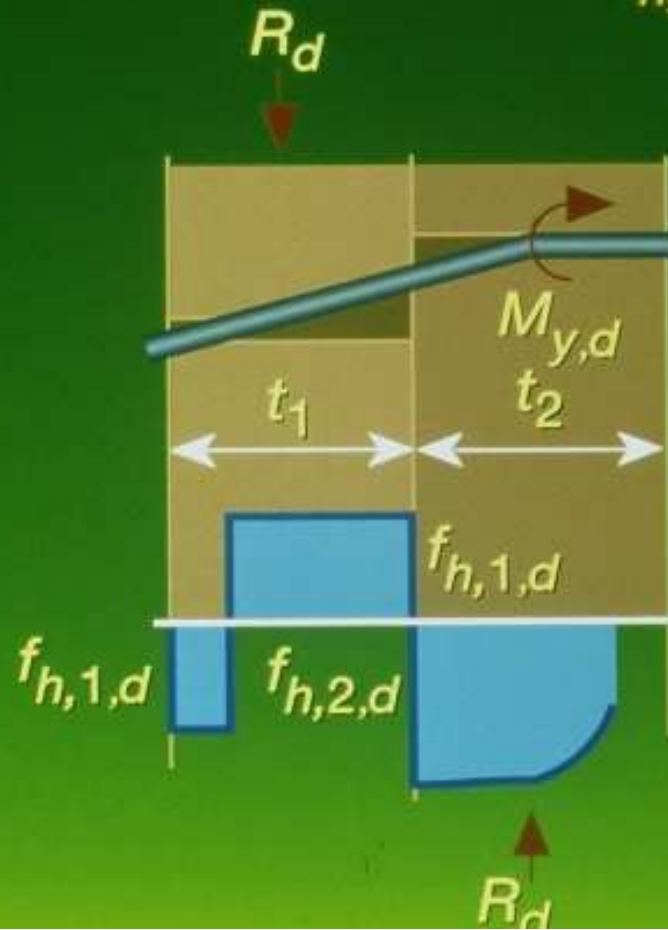
$$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$$

$$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$$

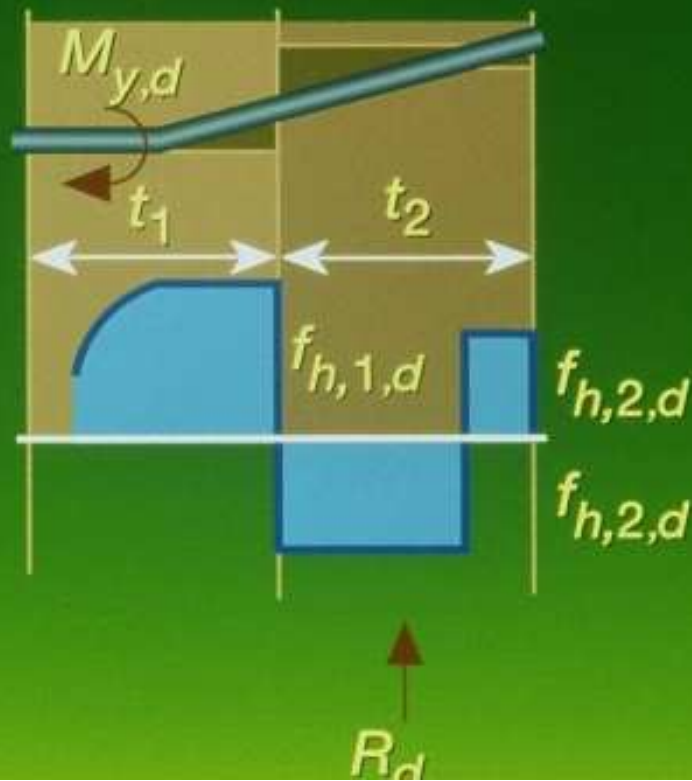


Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

$$R_d = \frac{f_{h,1,d} dt_1}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} dt_1^2}} - \beta \right]$$



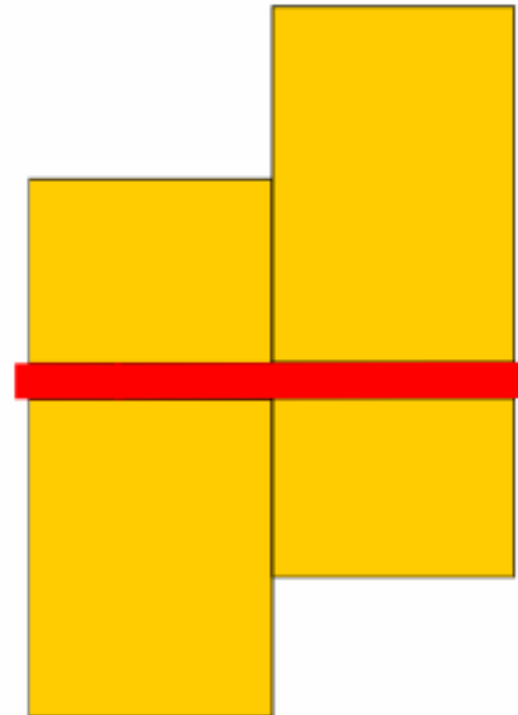
$$R_d = \frac{f_{h,1,d} dt_2}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,d}}{f_{h,1,d} dt_2^2}} - \beta \right]$$



Yksileikkeinen liitos

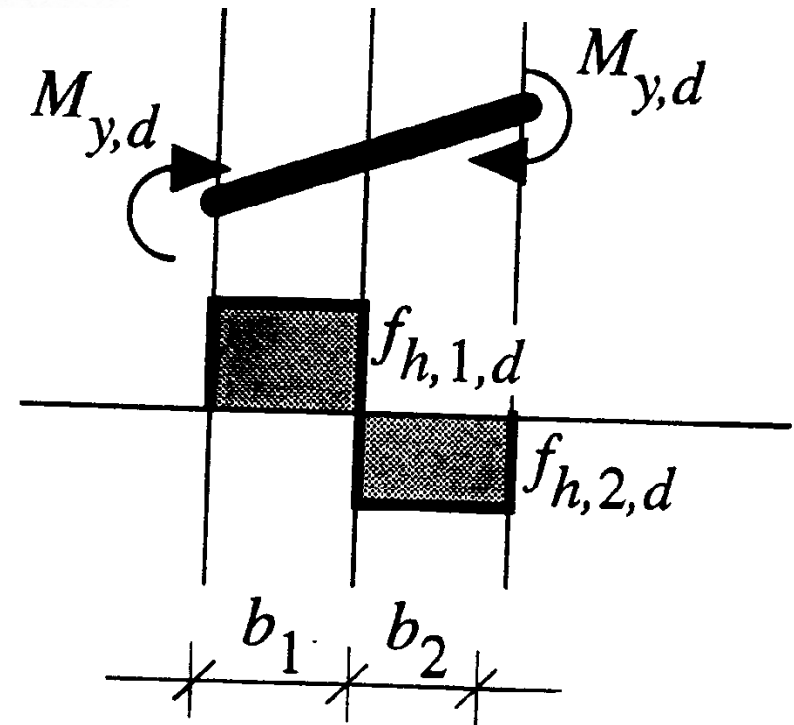
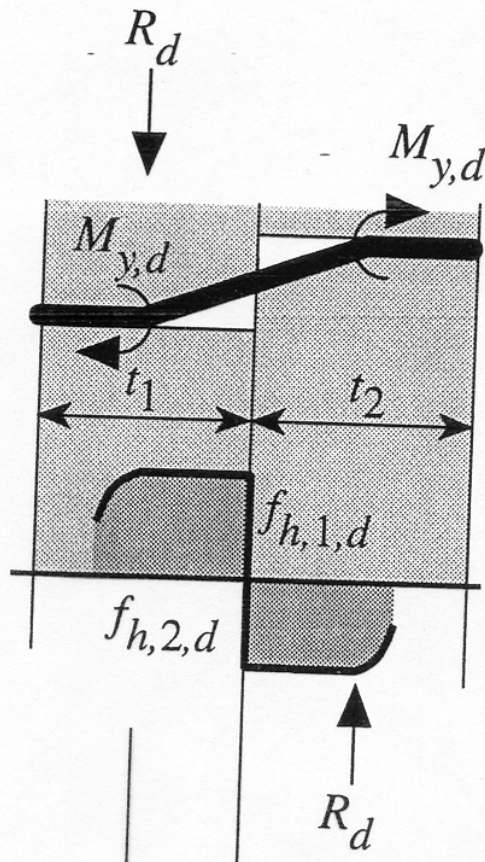
Murtotapa 3

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

$$R_d = f_{h,1,d} d b_1 = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,d} f_{h,1,d} d}$$



Mode 3 failure.

$$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$$

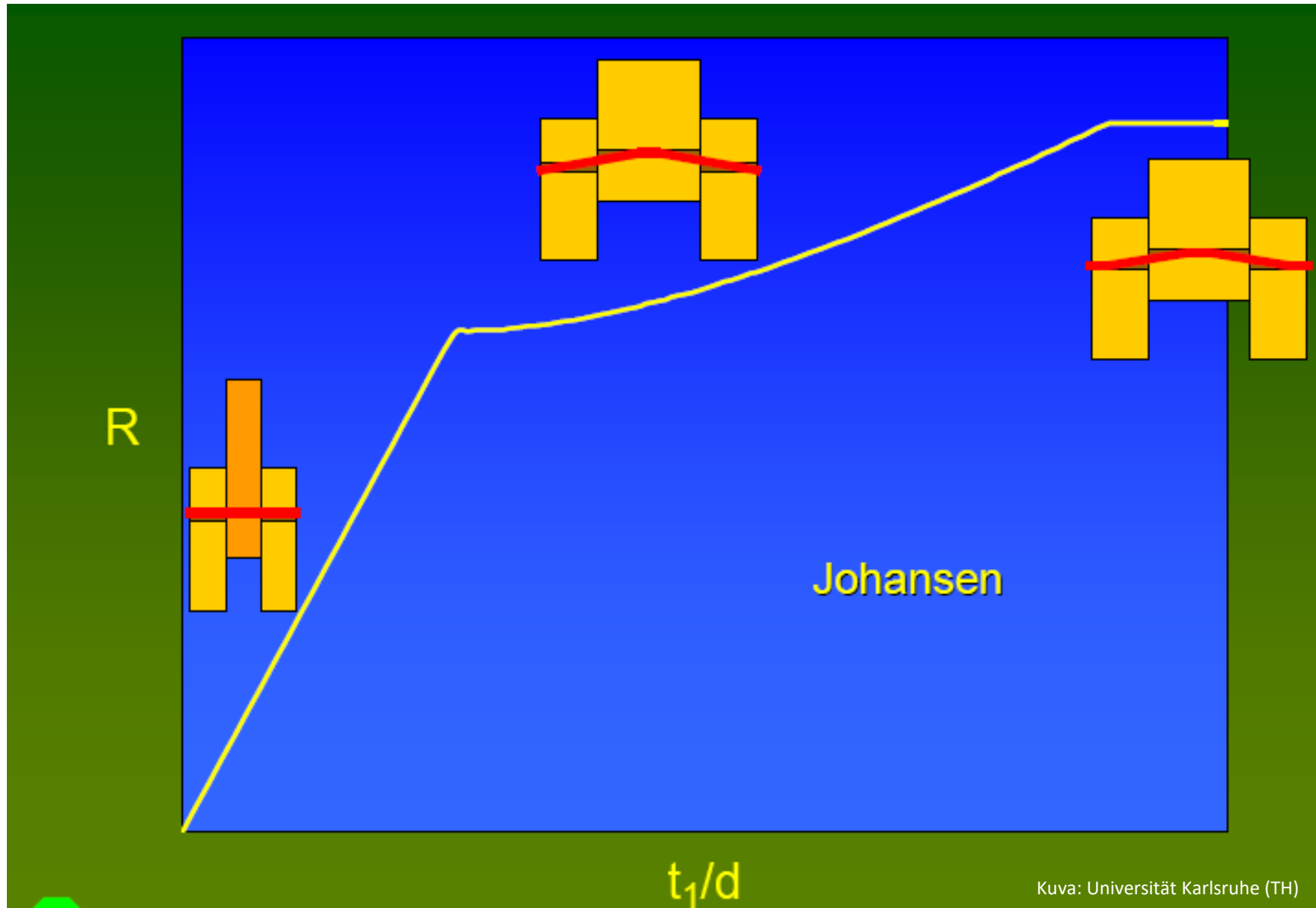
$$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$$

$$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1+\beta} \left\{ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right)} \right\}$$

$$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1+\beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2+\beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$$

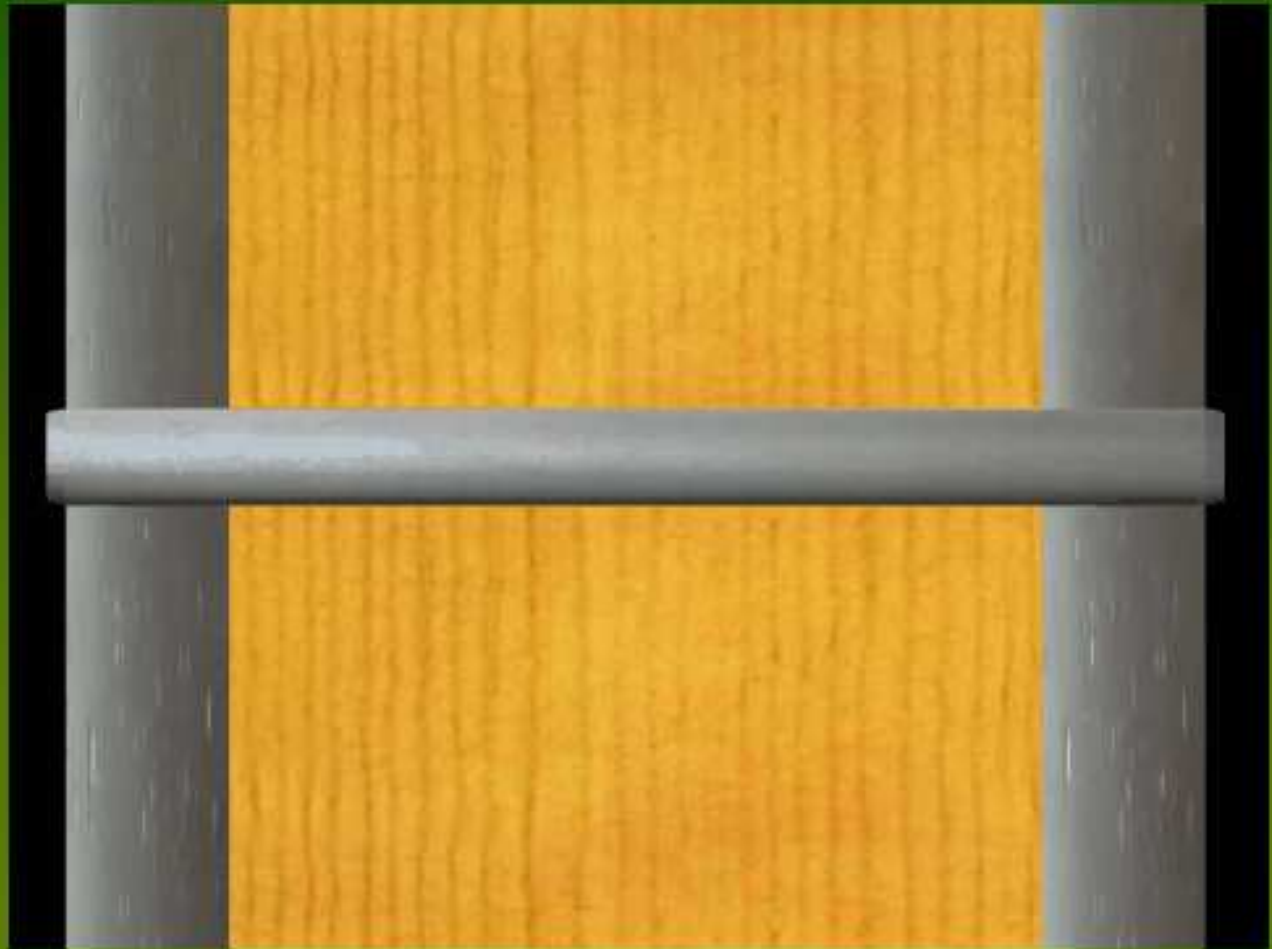
$$R_k = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1+\beta) + \frac{4\beta \cdot (1+2\beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$$

$$R_k = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$



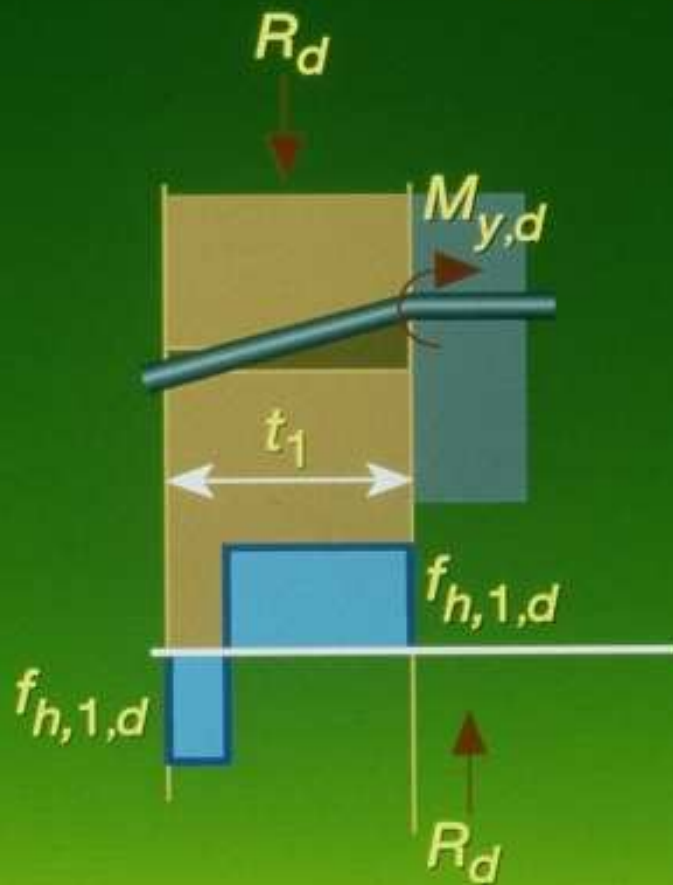
Teräslevy oletetaan jäykäksi tueksi

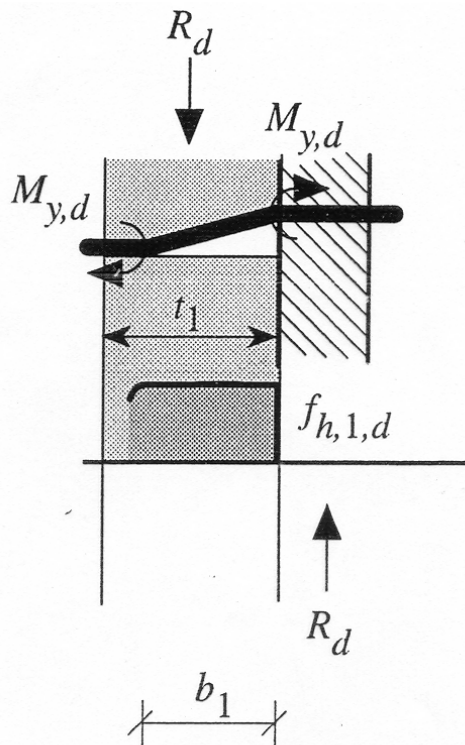
Paksu
teräslevy



Animation: F. Colling / K. Riedel

$$R_d = f_{h,1,d} dt_1 \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,d}}{f_{h,1,d} dt_1^2}} - 1 \right]$$

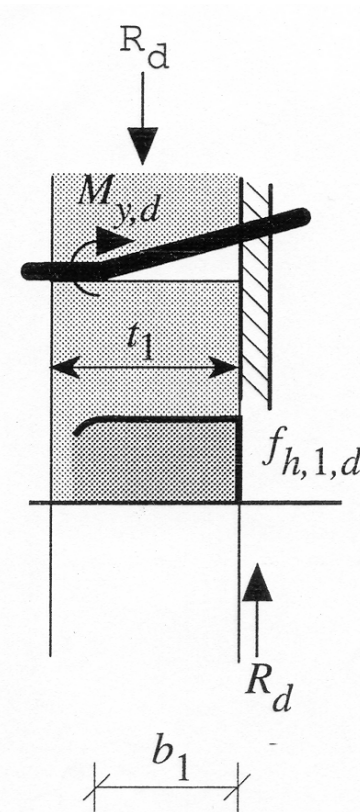




Mode 3 Failure - thick steel plate.

$$R_d = f_{h,1,d} d b_1 = 2 \sqrt{M_{y,d} f_{h,1,d} d}$$

$$R_d = 1,4 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d}$$

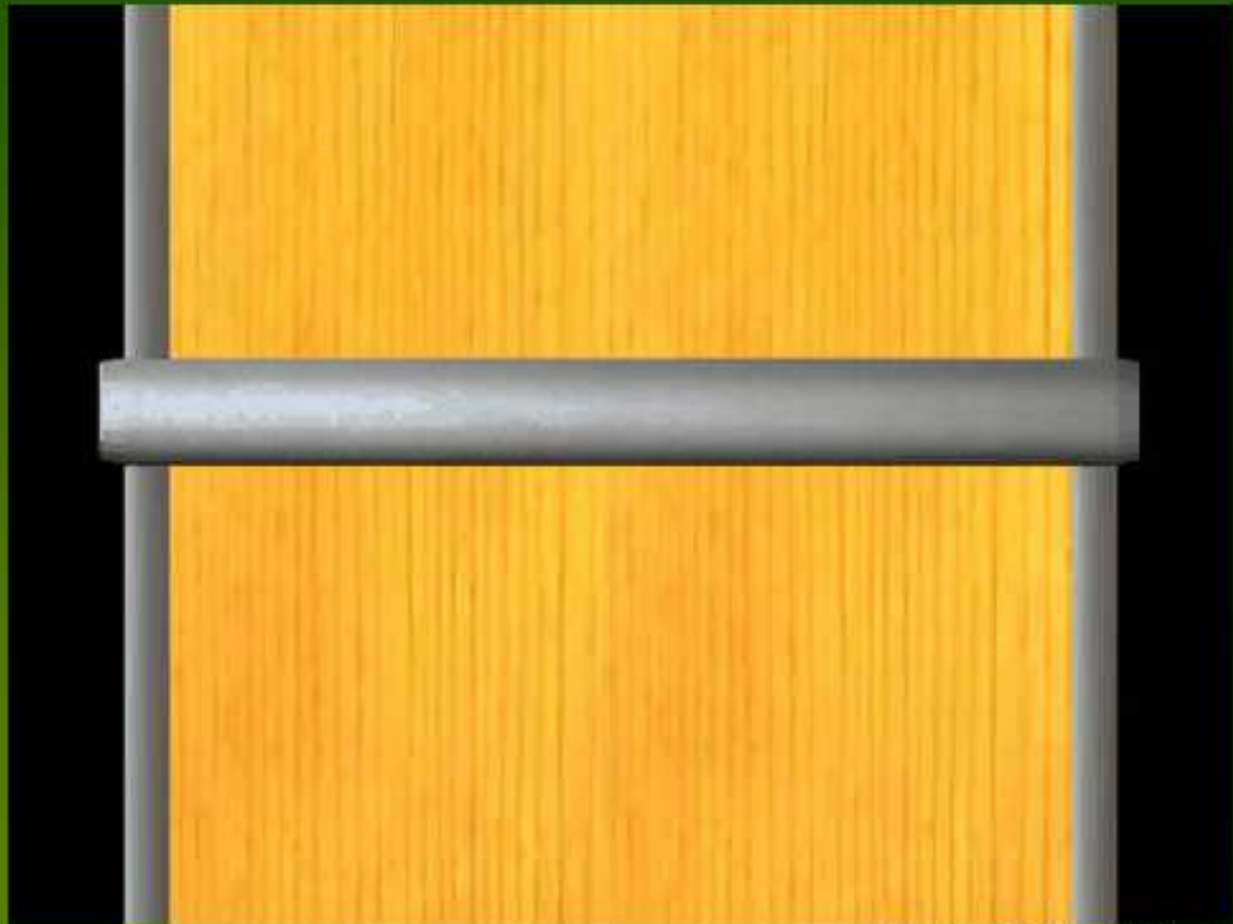


Mode 2 failure - thin steel plate.

$$R_d = f_{h,1,d} d b_1 = \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d}$$

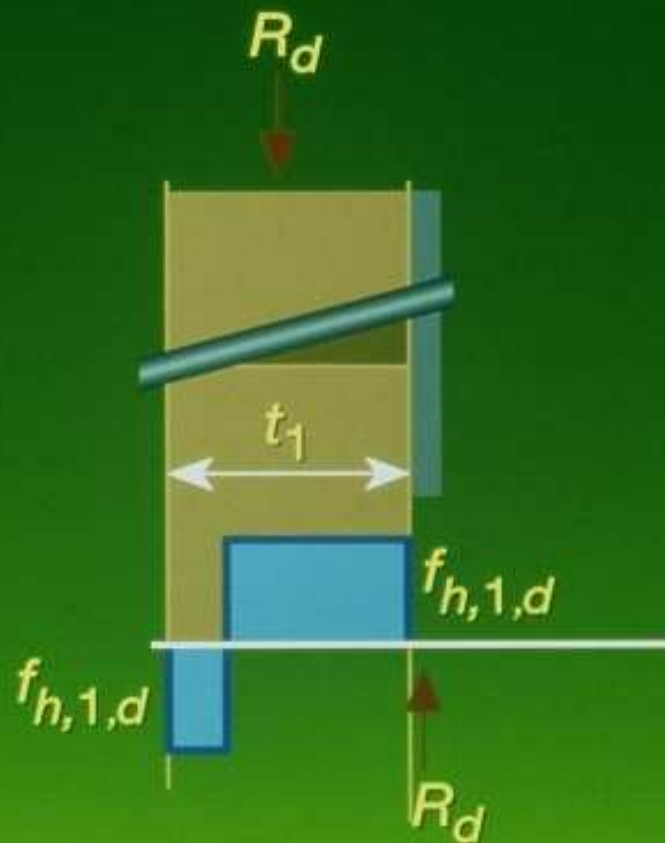
Puikko oletetaan vapaasti tuetuksi

Ohut
teräslevy



Animation: F. Colling / K. Riedel

$$R_d = 0,4 f_{h,1,d} dt_1$$





Myötömomentti
(Nmm)

$$M_{y,k} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6}$$

Kuva: Universität Karlsruhe (TH)



Suurilla
paksuuksilla pieni
taivutuskulma

Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

Reunapuristuslujuus (N/mm²)

- Timber $f_{h,0,k} = 0,082 (1-0,01d) \rho_k$
- Plywood $f_{h,k} = 0,11(1- 0,01d) \rho_k$
- Chipboard/OSB $f_{h,k} = 50 d^{-0,6} t^{0,2}$
- Steel $f_{h,k} = \infty$

Ruuviliitokset

- Ruuvit



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

Kansiruuvit

- Esiporattava
- Pehmeä teräs
- Heikko veto-, taivutus- ja vääntölujuus
- $d = d_{\text{varsi}} = d_{\text{kierre}}$
- $d_{\text{sisä}} = d_1 \approx 0,6d$

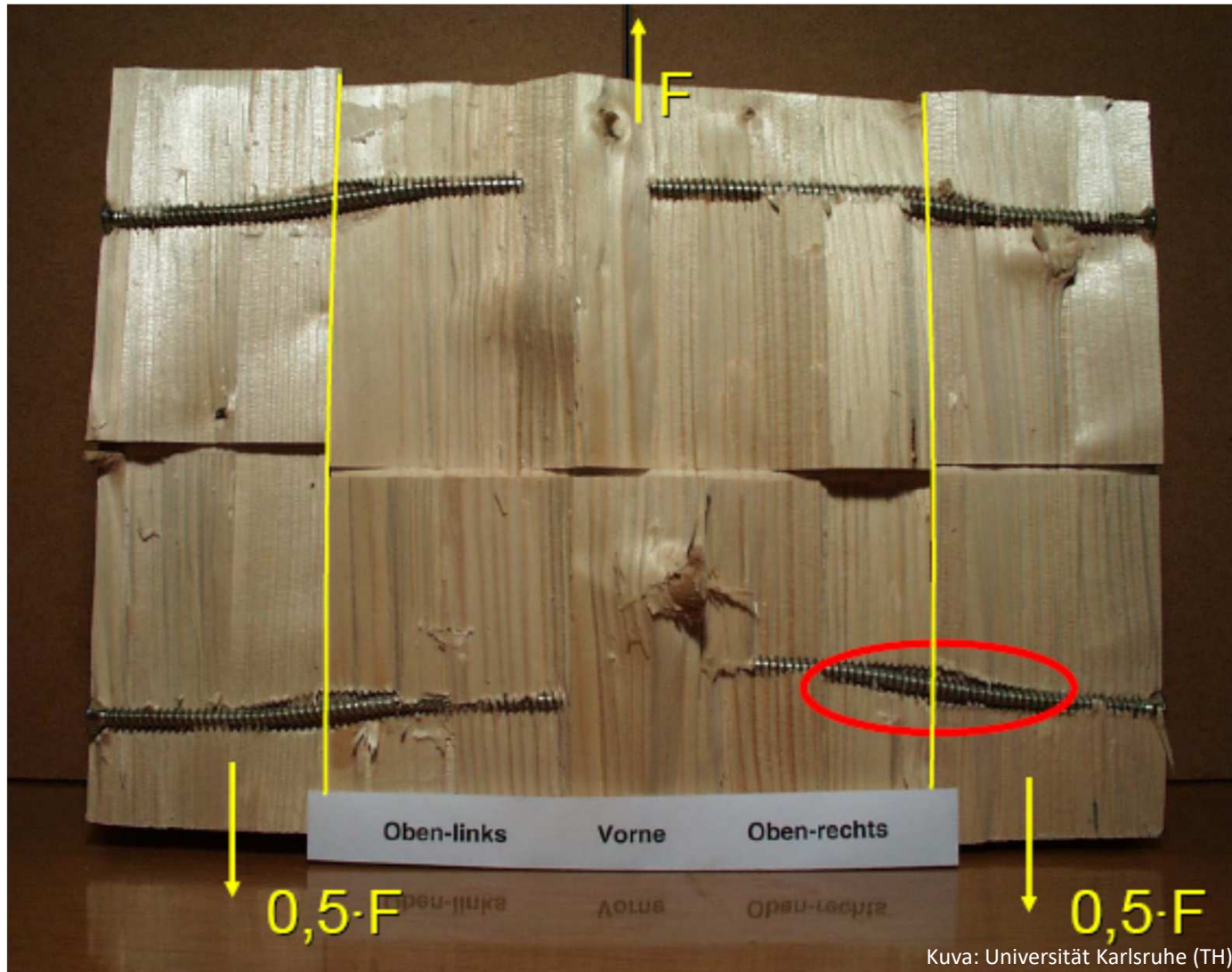
Itseporautuvat ruuvit



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

- Ei esiporausta
- Lujitettu valsauksen jälkeen
- Korkea veto-, taivutus- ja vääntölujuus
- $d_{\text{varsi}} \approx 0,7d$
- $d_{\text{sisä}} = d_1 \approx 0,6d$

Leikkausvoimakestävyys



=> Köysivoimavaikutuksella
laajennettu puikkoliitosteoria

Eurokoodi 5: $\mu = 0,25$

$$R_{VM3} = R_{ax} \cdot \mu + \sqrt{2 \cdot M_y \cdot d \cdot f_{h,1}}$$

$$R_{ax} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_1 \cdot d \cdot s_1 \\ f_1 \cdot d \cdot s_2 \end{array} \right\}$$

Leikkauskuormitetun ruuvin mitoitus EN 1995-1-1+A2:2014

- Myötömomentti ja reunapuristuslujuus: d_{ef}
- Liitinvälit, etäisyydet, tehollinen lkm: d
- Kansiruuvit $\geq 4d$ sileän varren tunkeumalla: $d_{ef} = d$
- Muuten aina: $d_{ef} = 1,1d_1$
- Naulaliitosten ohjeet: $d_{ef} \leq 6 \text{ mm}$
- Pulttiliitosten ohjeet: $d_{ef} > 6 \text{ mm}$ (yleisruuvit $d > 9 \text{ mm}$)
- Esiporaus aina kun $d_{ef} > 6 \text{ mm}$
(kansiruuvit $d > 6 \text{ mm}$, yleisruuvit $d > 9 \text{ mm}$)
- Porakärkiruuveilla ruuvikohtaisia ETA-ohjeita

Aksiaalisesti kuormitettujen ruuvien murtotavat:

- Tartunta (= leikkaus puusta)
- Kannan lävistyminen
- Ruuvin vetomurto
- Puristuminen puun sisään
- Nurjahdus



Nurjahdus



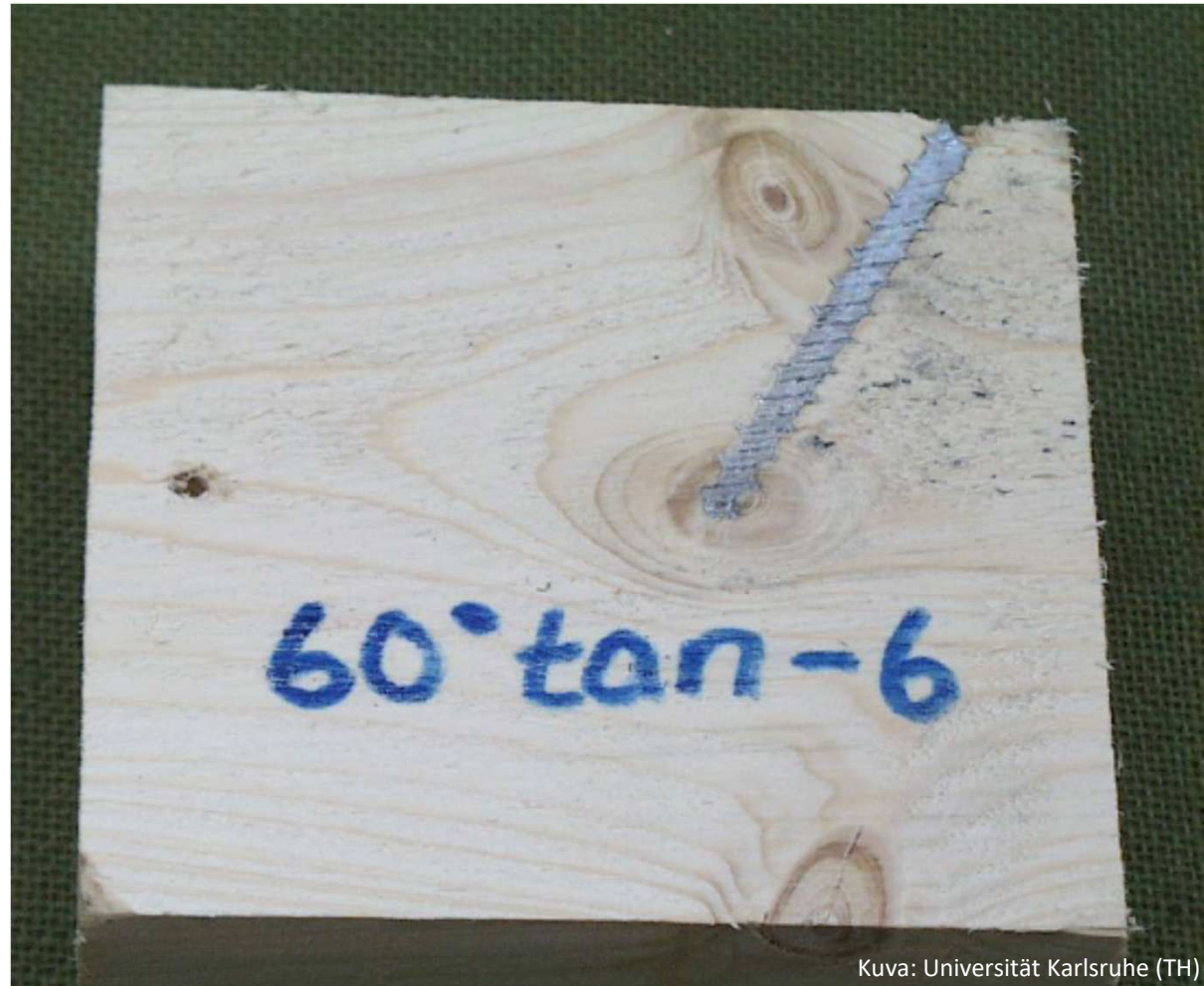
Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

Kannan lävistäminen



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

Ruuvivetomurto

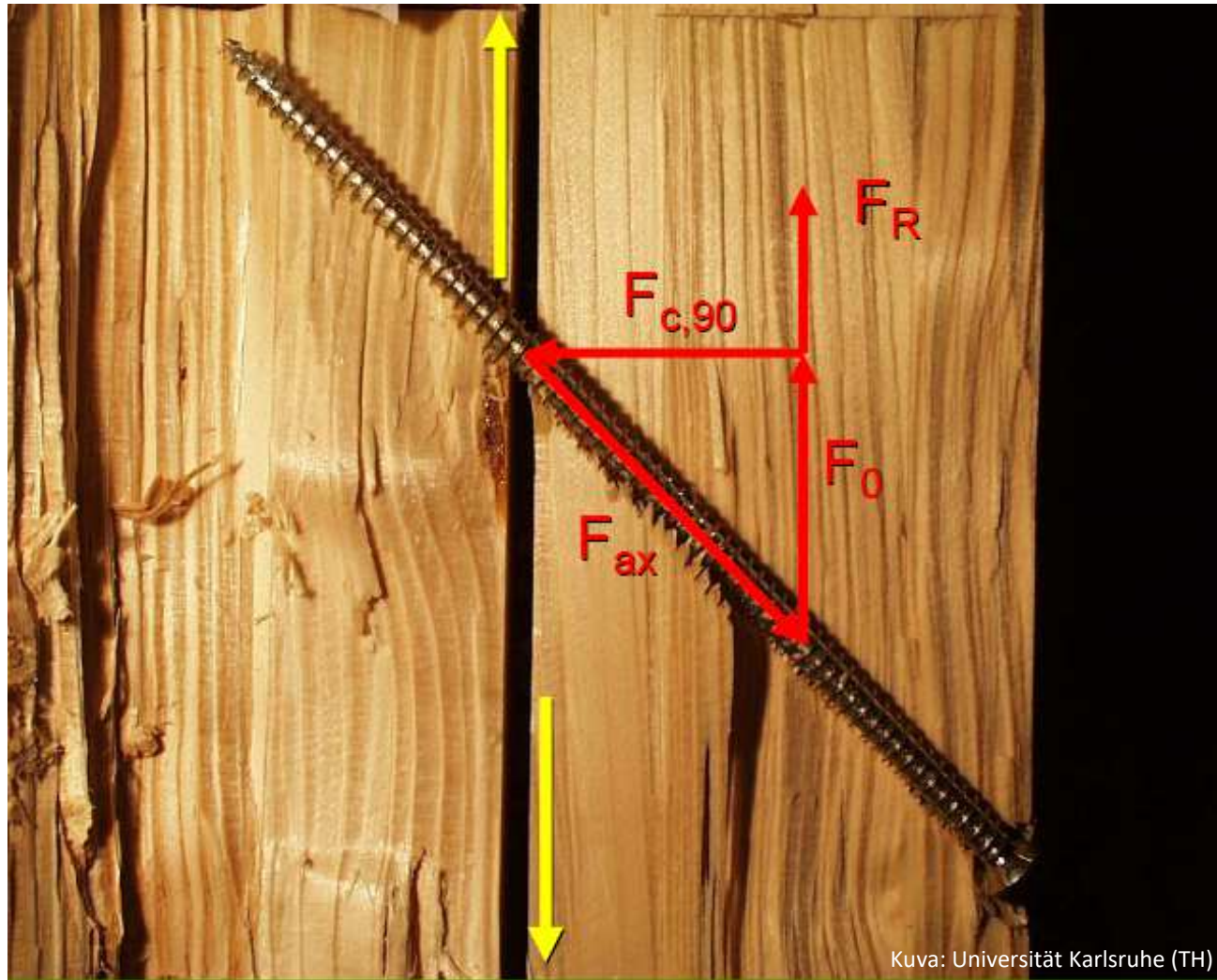


- Täyskierteiset itseporautuvat ruuvit
- Pituus ruuveilla 600 mm
kierretangoilla jopa 2-3 m
- Halkaisija ≤ 20 mm
- $d > 9 \Rightarrow$ esiporaus tai porakärki



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

Vinoruuviiliitos vedetyillä ruuveilla

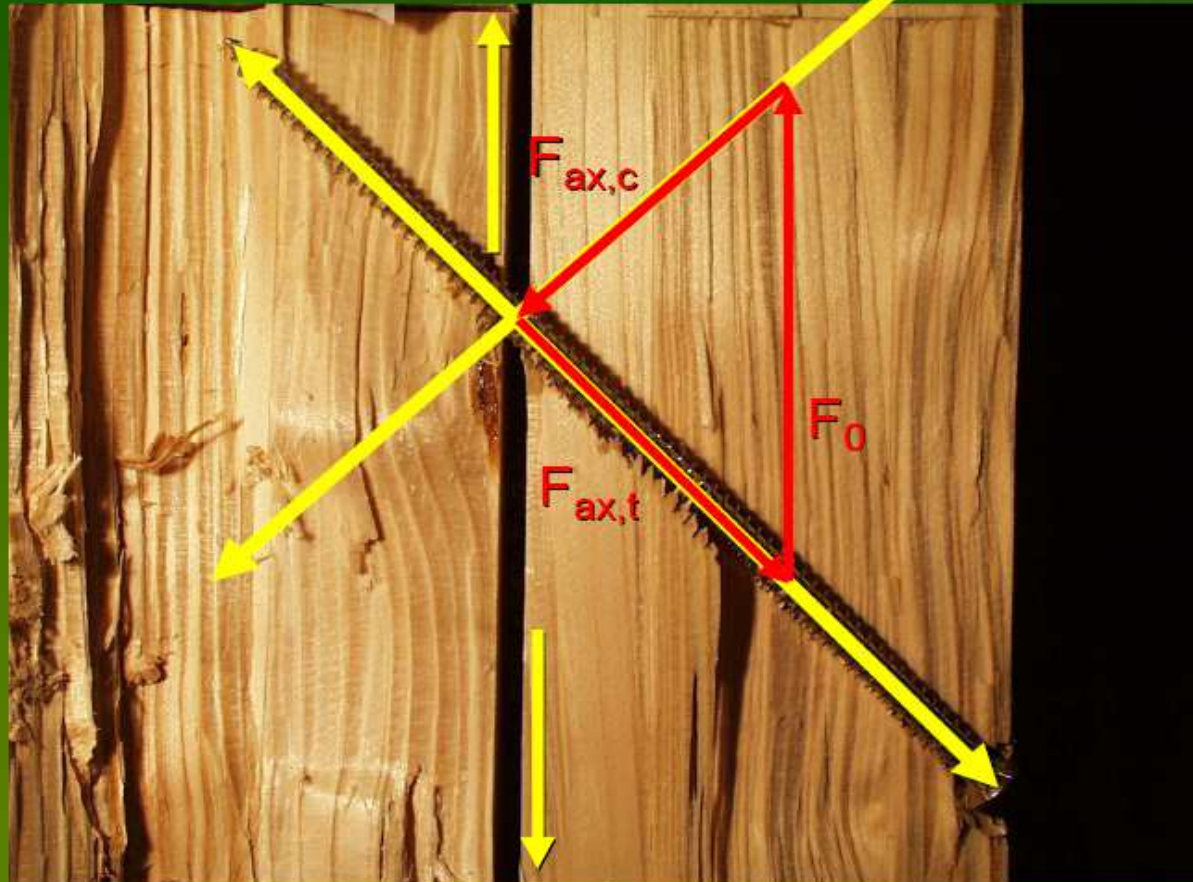


Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

Ristikkosauva-analogia

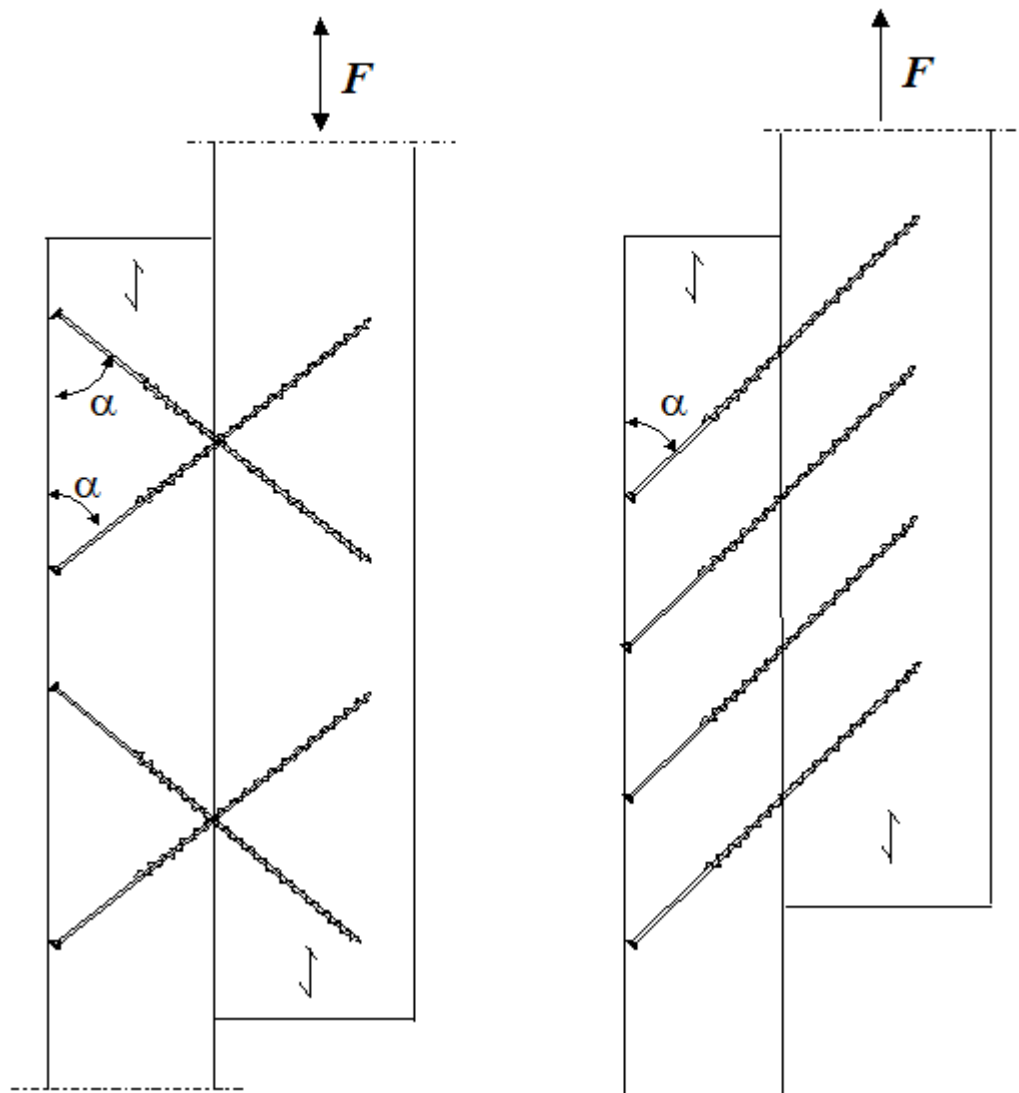


Ristiruuviliitos

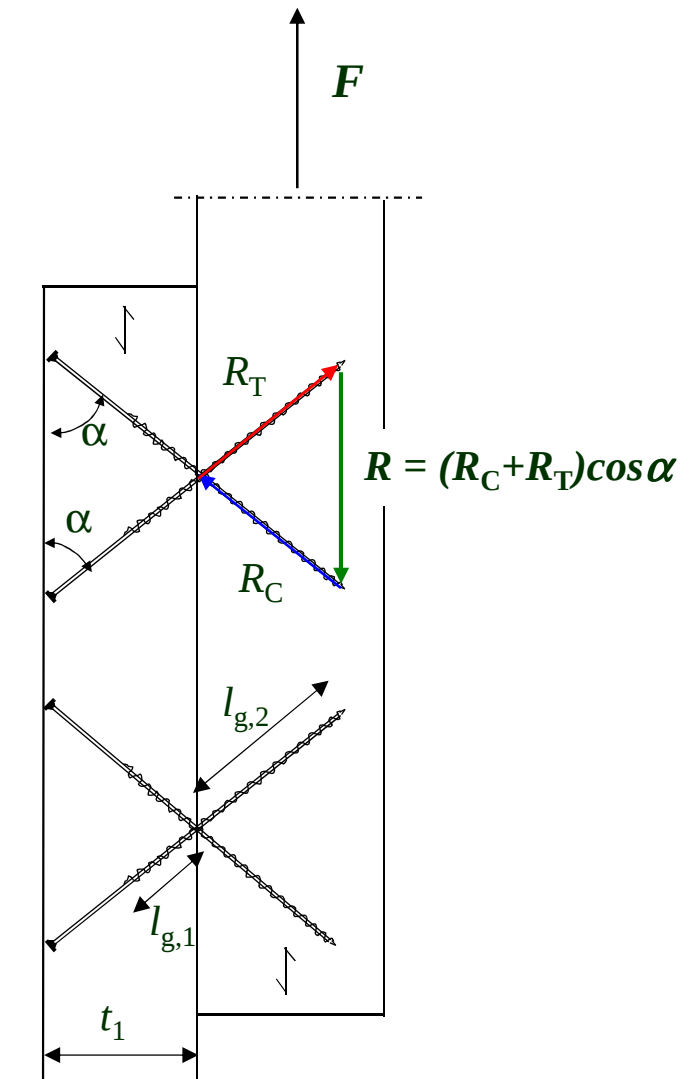


Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

VINORUUVILIITOKSET



Ristiruuviliitos



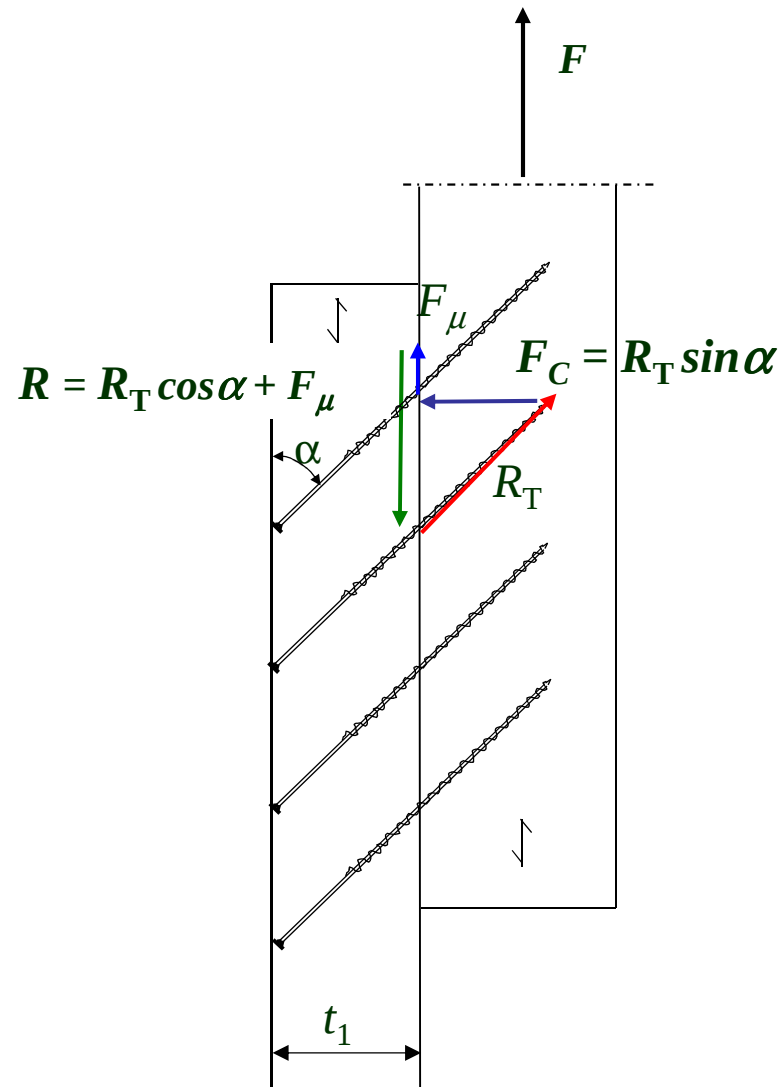
$$R_k = n_p^{0,9} (R_{C,k} + R_{T,k}) \cos \alpha$$

n_p = ruuviparien lukumäärä

$$R_{C,k} = \min \begin{cases} f_{ax,\alpha,1,k} d l_{g,1} \\ f_{ax,\alpha,2,k} d l_{g,2} \\ 0,8 f_{tens,k} \end{cases}$$

$$R_{T,k} = \min \begin{cases} f_{ax,\alpha,1,k} d l_{g,1} + f_{head,k} d_h^2 \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \\ f_{ax,\alpha,2,k} d l_{g,2} \\ f_{tens,k} \end{cases}$$

Vinoruuviliitos vedetyillä ruuveilla



$$R_k = n^{0,9} R_{T,k} (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$$

Siirtymäkerroin:

$$K_s = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$$

$$k_i = K_{i,ser} \cdot d \cdot l_{g,1}$$

The withdrawal slip modulus per unit area of screw: $K_{i,ser} = K_{ser} \left(\frac{8d}{s_i} \right)^{0,3}$

Slip modulus for head and point side of screws:

$$k_1 = K_{1,ser} \pi d s_1$$

$$k_2 = K_{2,ser} \pi d (s_2 - d)$$

Slip modulus of the joint:

$$K_s = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$$

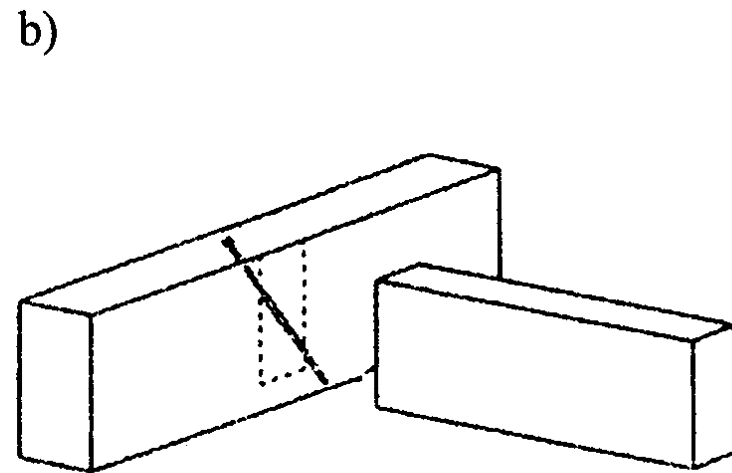
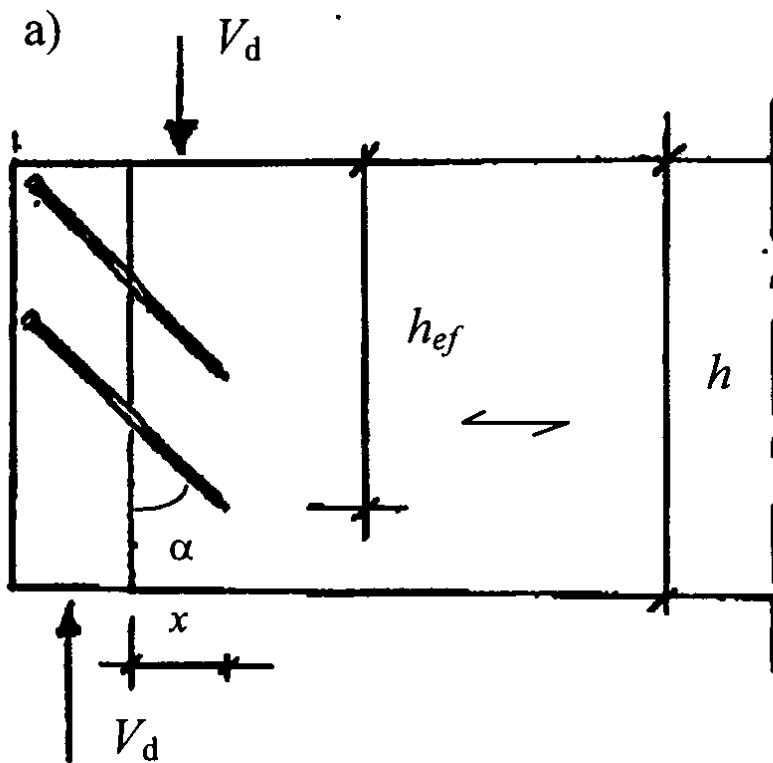
The instantaneous slip of the inclined screw joint: $u_{inst} = \frac{F}{nK_s}$

In case of tension joints the gap (δ) caused by the drying shrinkage of the members should be taken into account as a pre-slip: $\delta/\tan\alpha$.

VINORUUVILIITOKSET

- Liitoskapasiteetti ja -jäykkyys voidaan laskea puhtaasti ruuvien aksiaalivoimamallilla, kun sijoituskulma $\alpha = 30...60^\circ$
- Vaarnavaikutus on merkityksetön (murtosiirtymä < 2 mm)
- Vetoruuviliitoksella parempi kapasiteetti, mutta puun kuivuminen aiheuttaa liitosklappia (huono alkujäykkyys)
- Yli 5-kertainen jäykkyys ja yli 50 % parempi liitoskapasiteetti verrattuna samoilla ruuveilla toteutettavaan perinteiseen leikkausliitokseen (suoraruuvaus)
- Hauras murtotapa mutta ristiruuveilla pitkä siirtymäkyky (ei murru kokonaan)
- Erittäin hyvää jäykkyyttä voidaan hyödyntää mekaanisesti yhdistetyissä palkeissa ja pilareissa sekä liittolaatoissa

Palkin tukiliitos



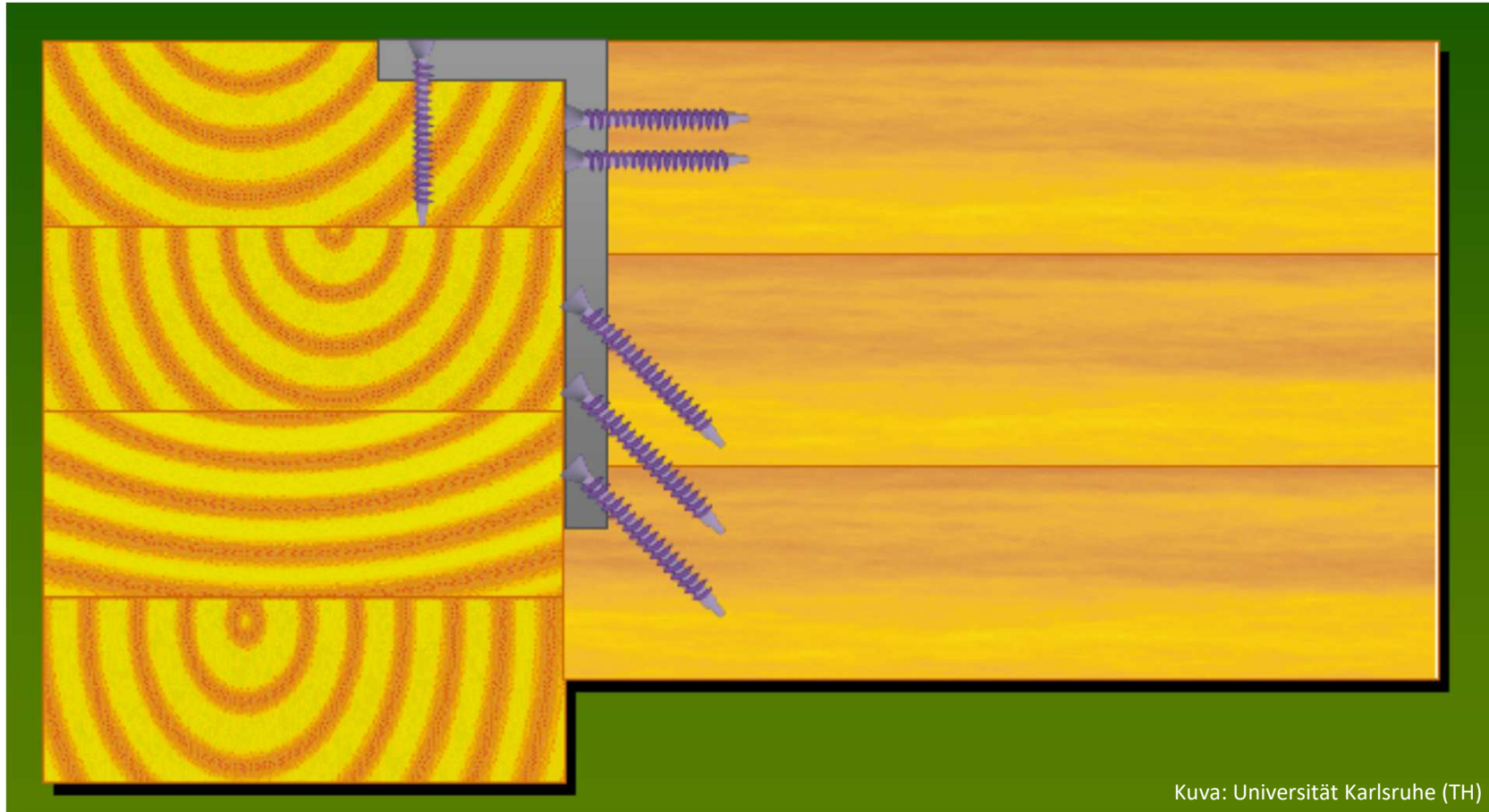
Vinoruuvattavat piilopalkkikengät



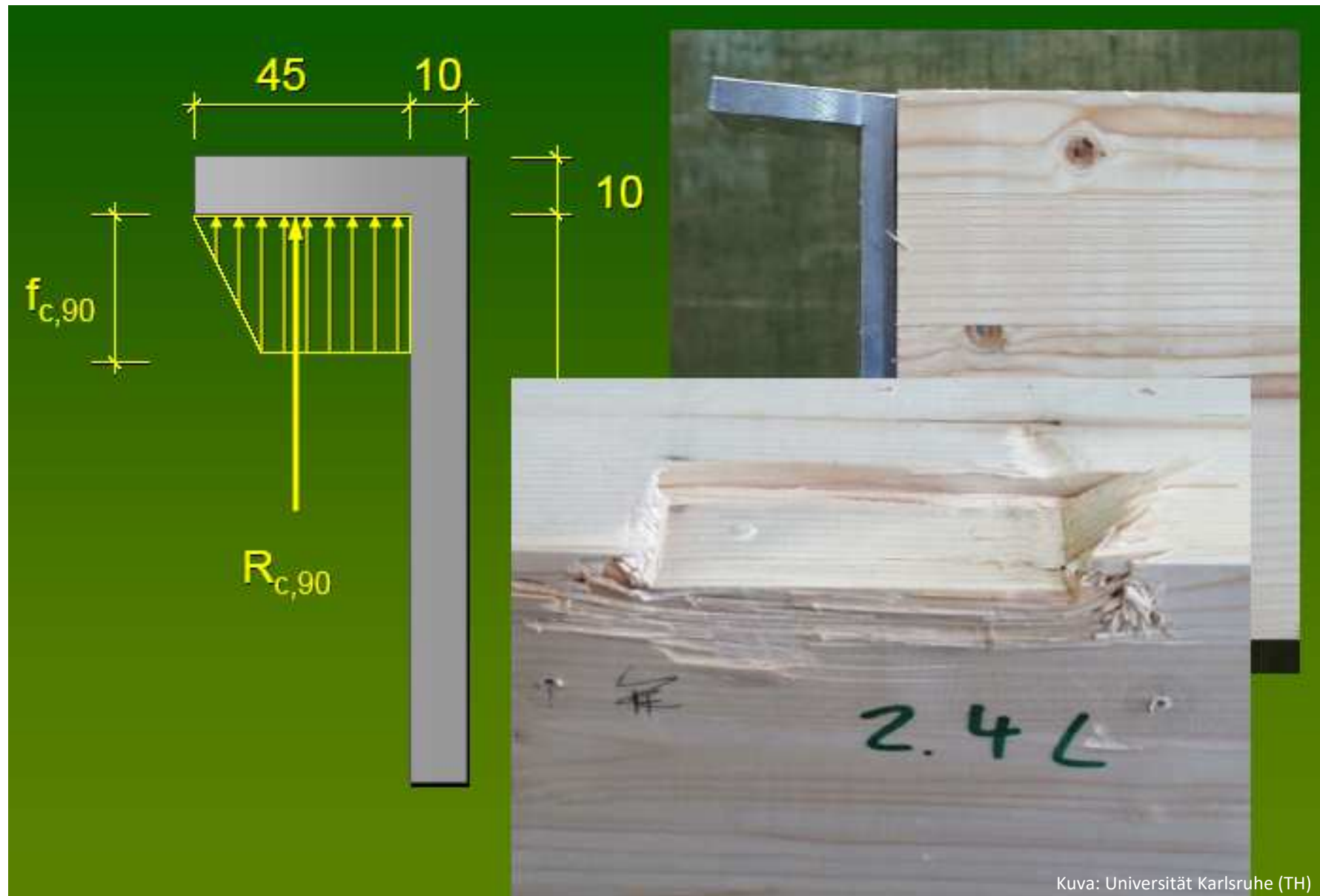
Photo: BMF-Simpson

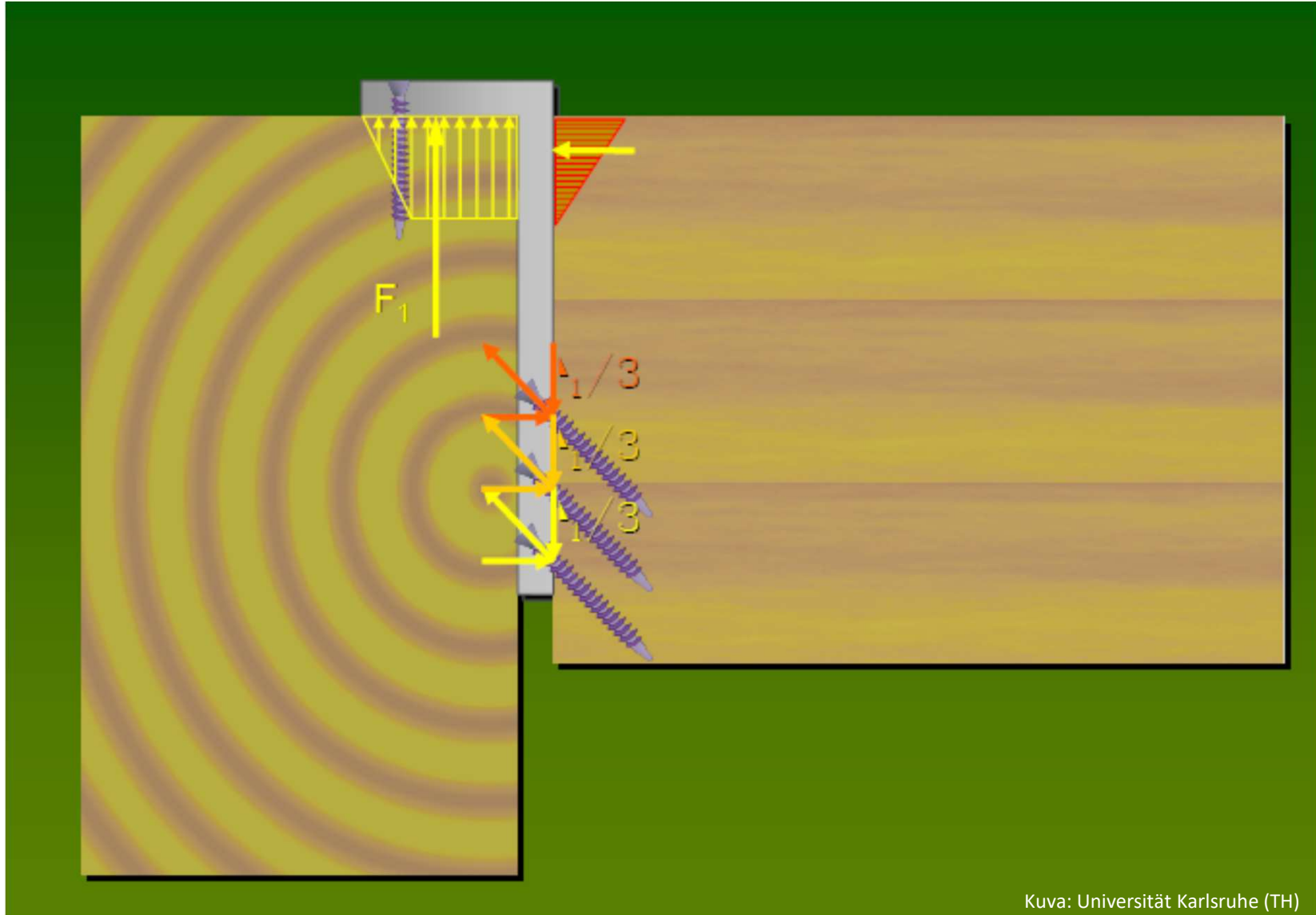


Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

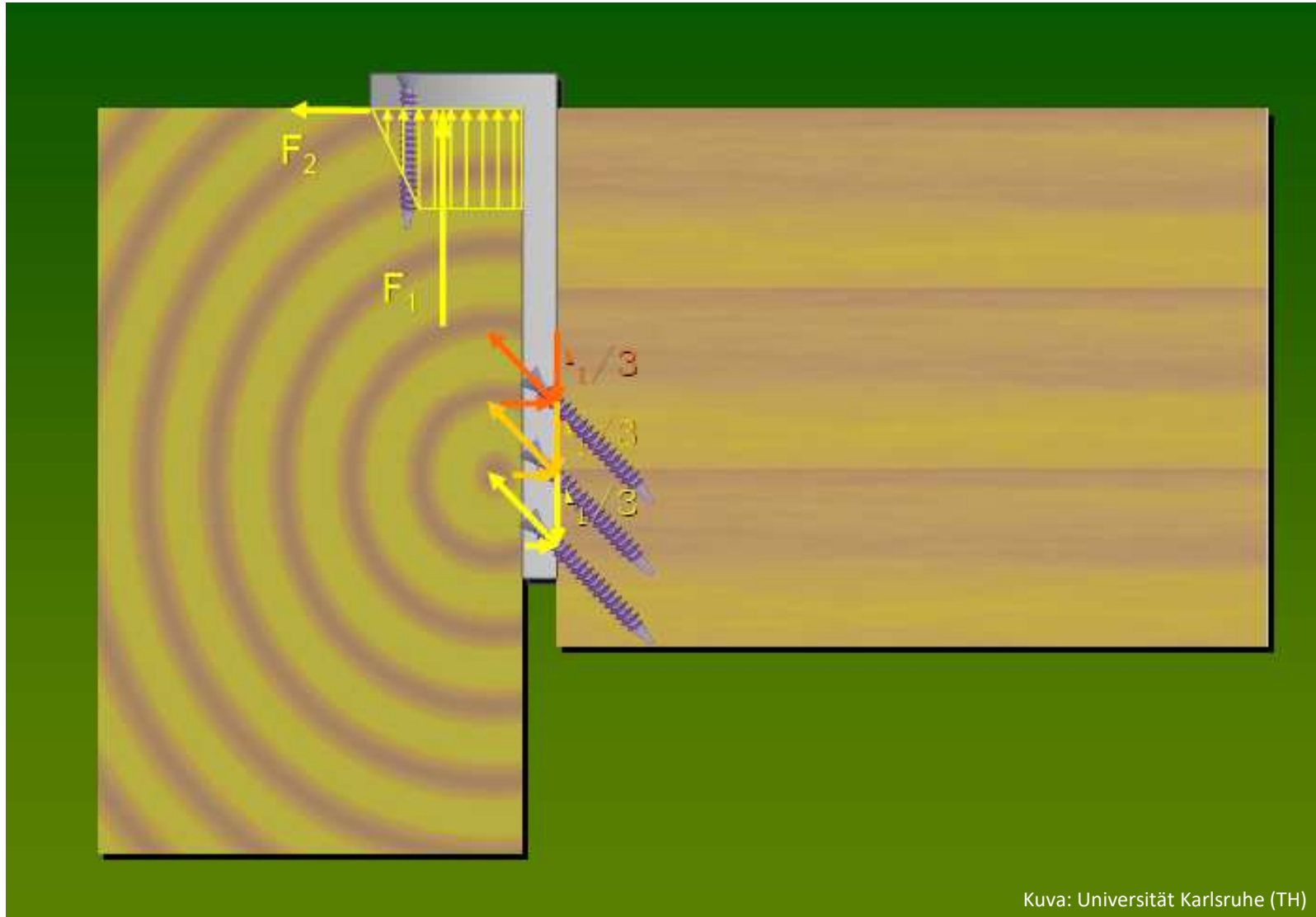


Kuva: Universität Karlsruhe (TH)





Kuva: Universität Karlsruhe (TH)



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

Esimerkkilaskelma:

Palkki-palkki vinoruuviiliitos