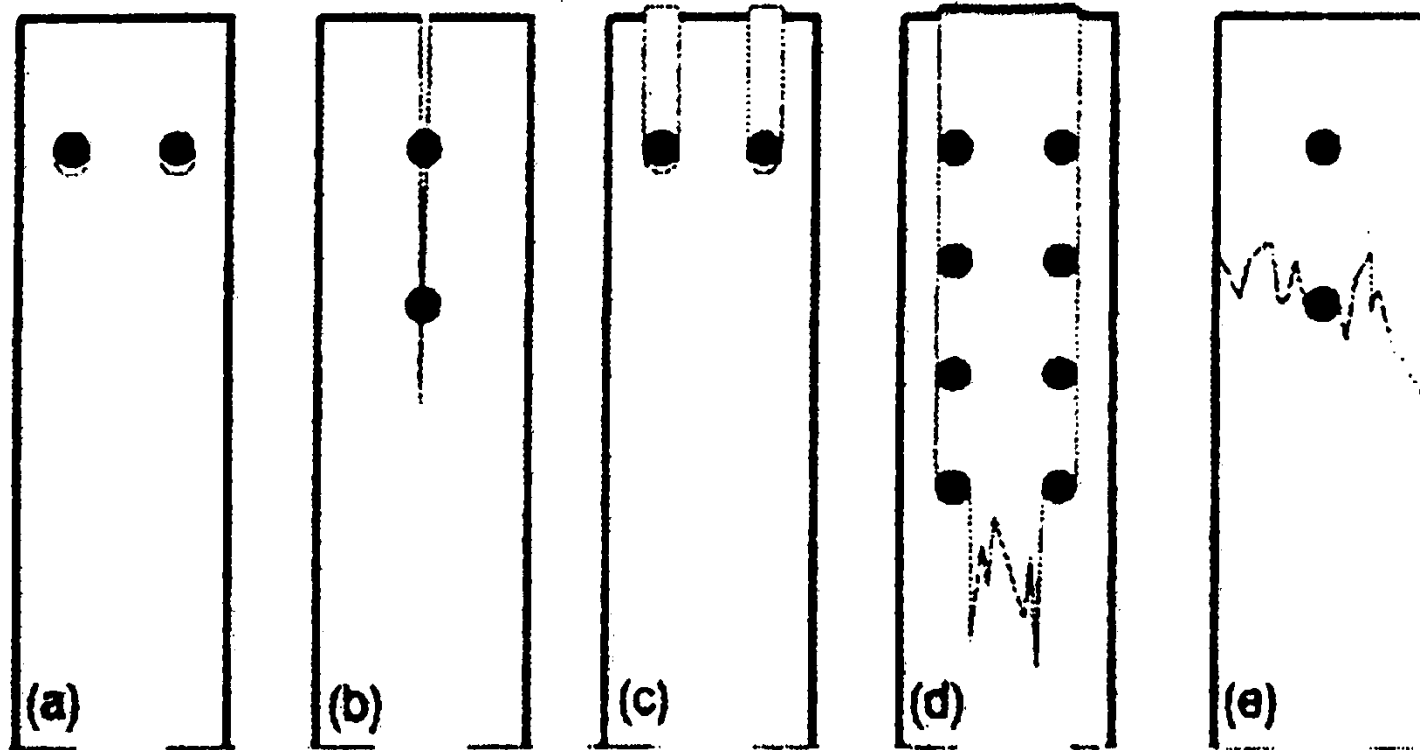


Puustamurtuminen ja poikittainen veto

Ari Kevarinmäki
Eurofins Expert Services Oy

Liitosten puustamurto syiden suuntaisessa vedossa



$$n_{i,ef} = \min \begin{cases} n_i \\ n_i^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{cases}$$

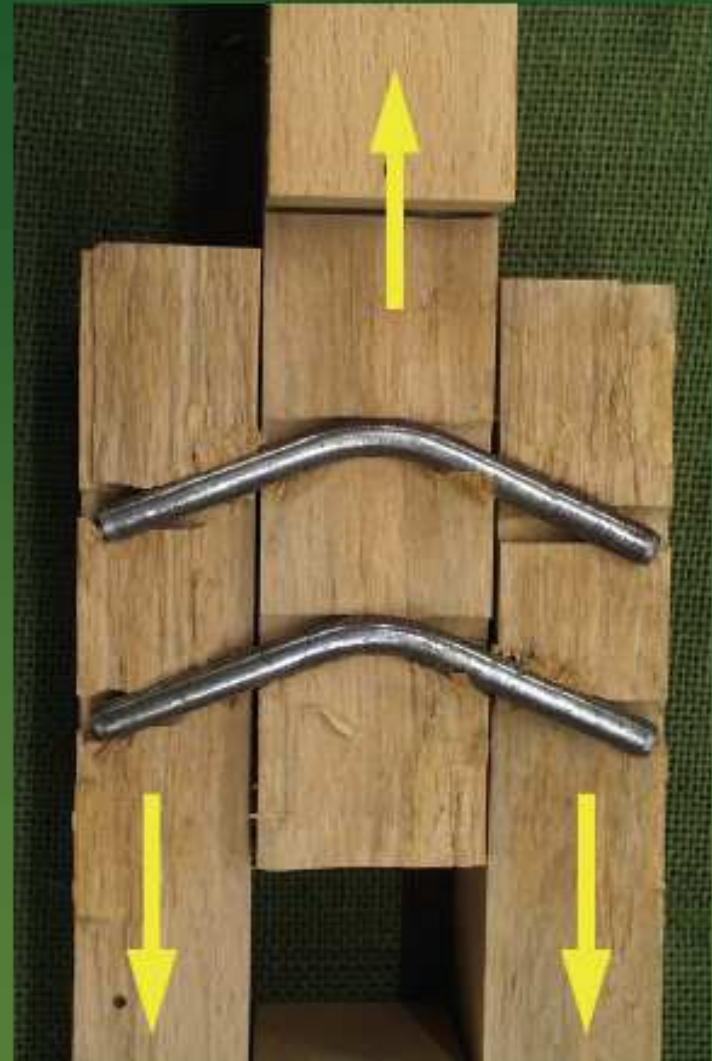
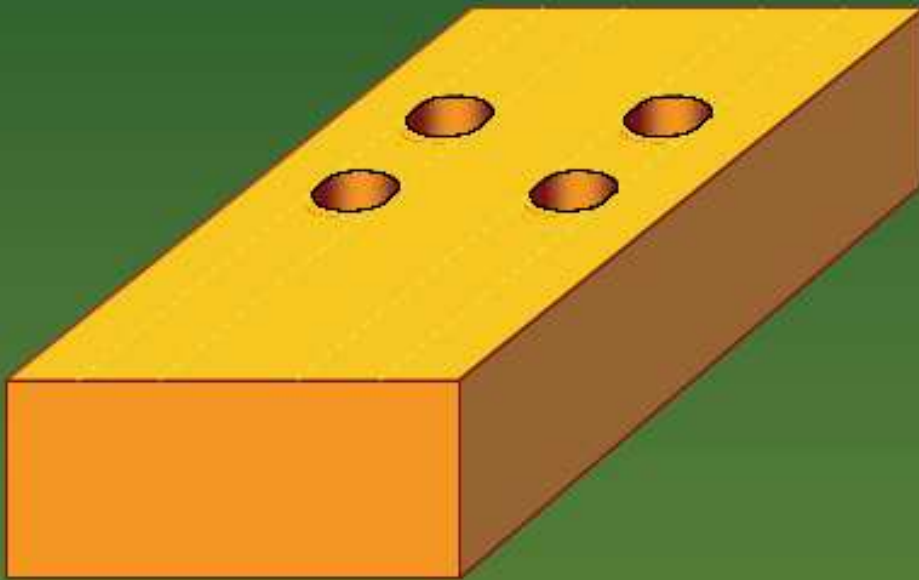
EC5



$$n_{i,ef} = \min \begin{cases} n_i \\ n_i^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50 \cdot d^2}} \end{cases}$$

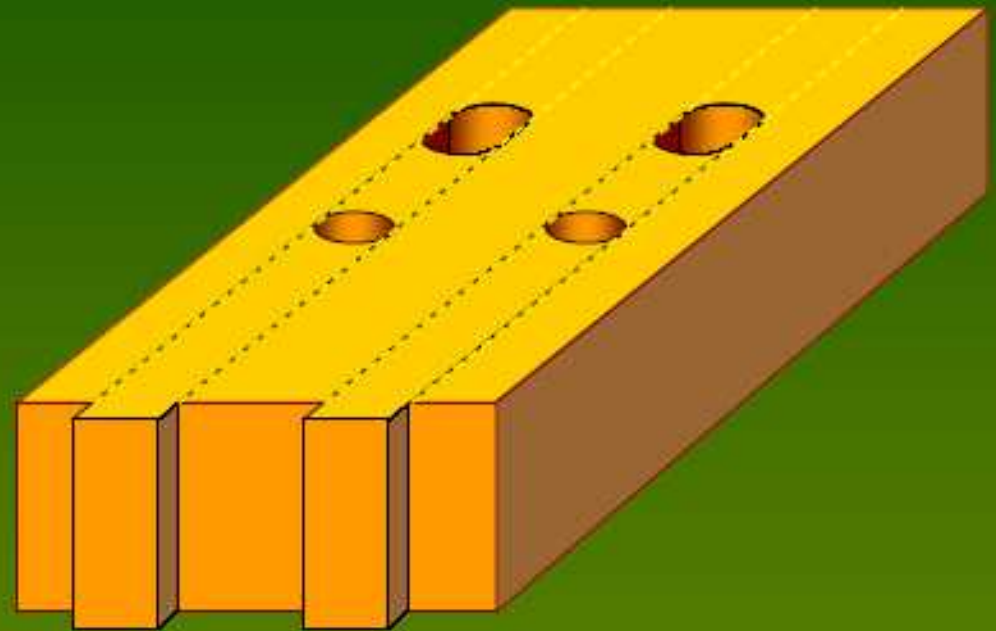
RIL 205

Johansenin puikkoliitosteoria



Kuva: Universität Karlsruhe

Rivileikkaus



Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

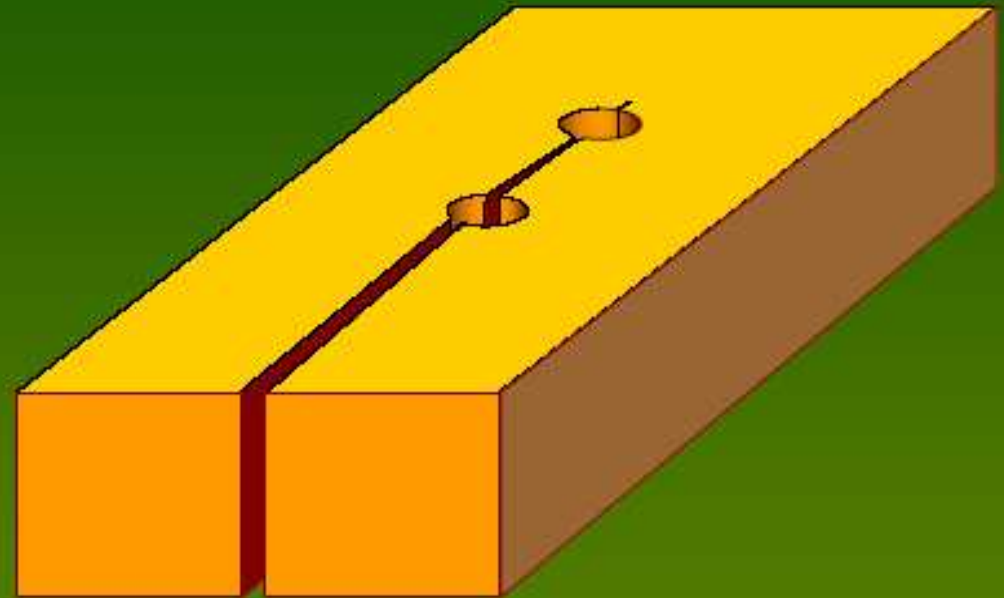
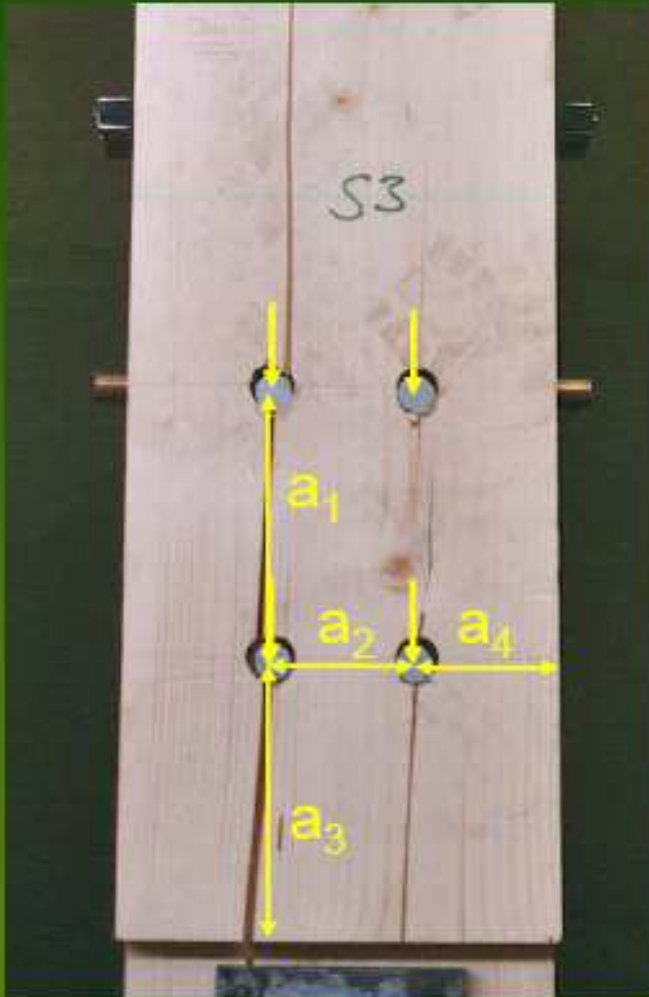


Kuva: TKK Talonrakennustekniikka



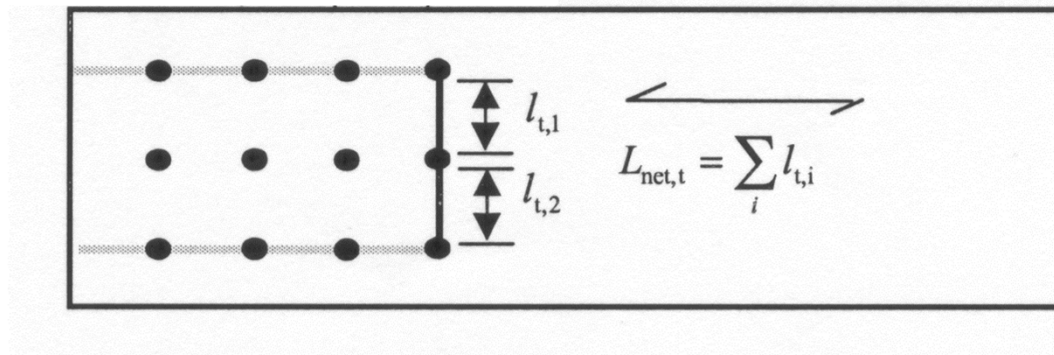
Kuva: TKK Talonrakennustekniikka

Halkeaminen

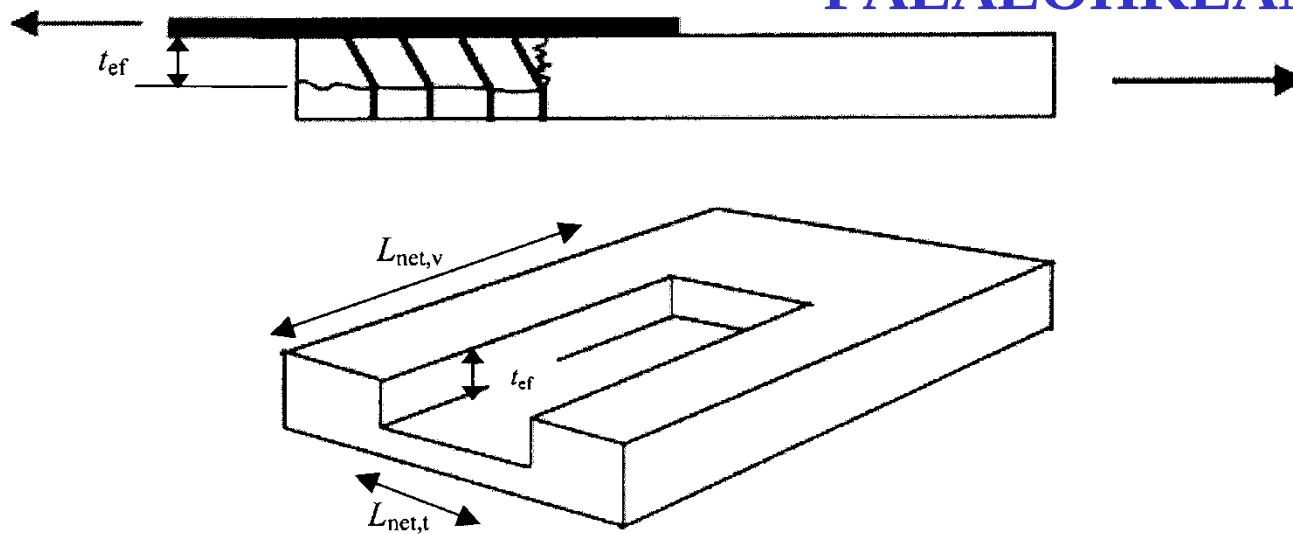


Kuva: Universität Karlsruhe (TH)

LOHKEAMISMURTO



PALALOHKEAMINEN



Palalohkeaminen (RIL 205-1):

- Teräslevylliset ”pintaliittimet”, upotetut tappivaarnat ulkolamelleissa, Kerto-Q teräslevylliset tappivaarna- ja pulttiliitokset
- Ei koske puu-puu liitoksia
- Teräslevyllisillä esiporaamattomilla naulaliitoksilla ei tarvitse tarkistaa, jos ohut teräslevyllä tai peräkkäisien naularivien $l_{km} \leq 4$

Palalohkeamiskestävyys:

$$F_{ps,k} = L_{net,t}(t_{ef}f_{t,0,k} + (a_3 + (n_1 - 1)a_1)f_{v,0,k})$$

$$t_{ef} = \frac{R_k}{d f h_{,0,k}}$$

”Palan päädyn vetokapasiteetin ja pohjan leikkauskestävyyden summa”



Kuva: TKK Talonrakennustekniikka



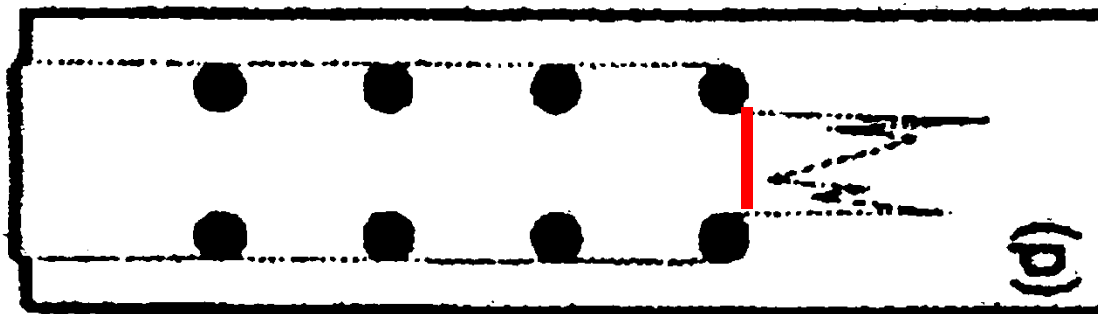
Kuva: TKK Talonrakennustekniikka

Läpiloikeamiskestävyys EC5 + NA:

$$F_{bt,k} = A_{t,net} \cdot k_{bt} \cdot f_{t,0,k}$$

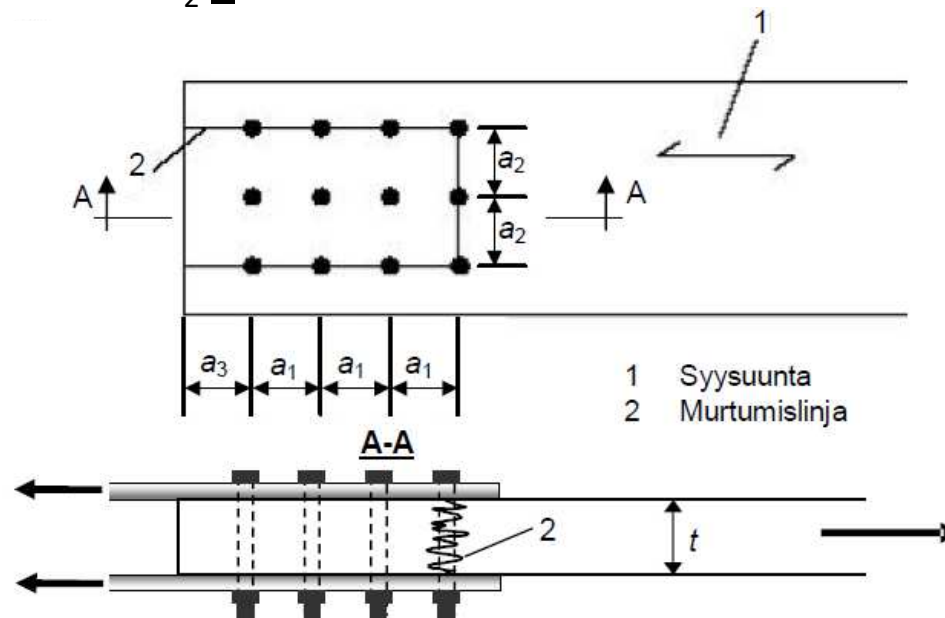
$$k_l = \begin{cases} 1,5 & \text{sahatavara, liimapuu ja CLT} \\ 1,25 & \text{LVL} \end{cases}$$

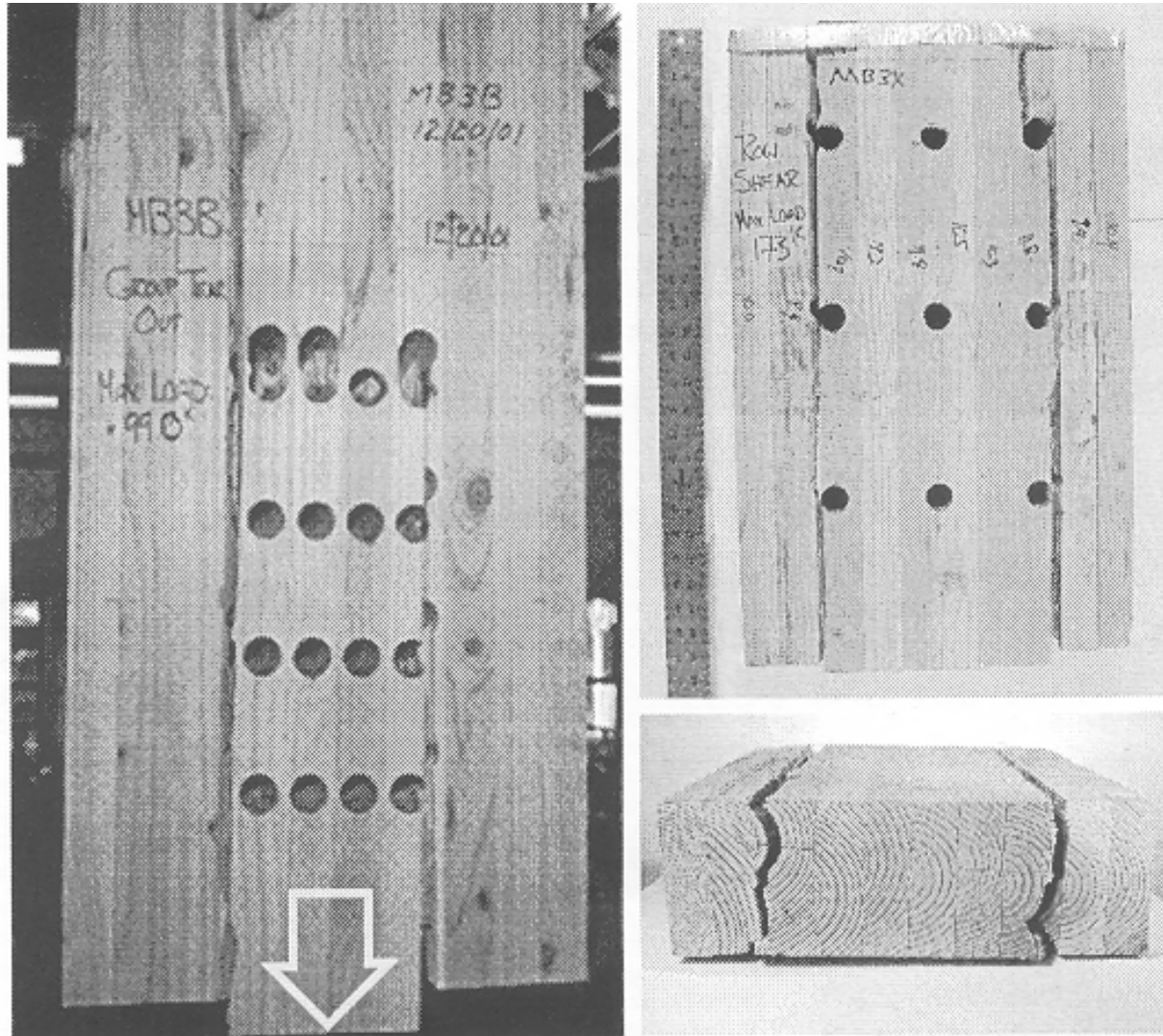
$$A_{t,net} = (n_{\perp} - 1) \cdot (a_2 - d) \cdot t_{ef}$$



Läpiloikeaminen

- Tulee kyseeseen pultti- ja pultti- ja tappivaarnaliitoksissa
- Ei tarkastella liitoksilla, joissa kaikki liittimet yhdessä puun syiden suuntaisessa rivissä ($n_{\perp} = 1$)
- Ei tarvitse tarkastella RIL 205-1 mukaisilla puu-puu liitoksilla (puun paksuusvaatimukset)
- Ei tarvitse tarkastella RIL 205-1 mukaan mitoitetuilla teräs-puu liitoksilla, kun enintään 4 liitintä peräkkäin ja
 - tappivaarnaliitoksilla $a_2 \geq 4d$ ja
 - Pulttiliitoksilla $a_2 \geq 5d$.





Kuvat: American Wood Council

Käyttämällä suurempia liitinvälejä liitoskapasiteetti nousee, vaikka liittimien lukumäärää vähennettäisiin.

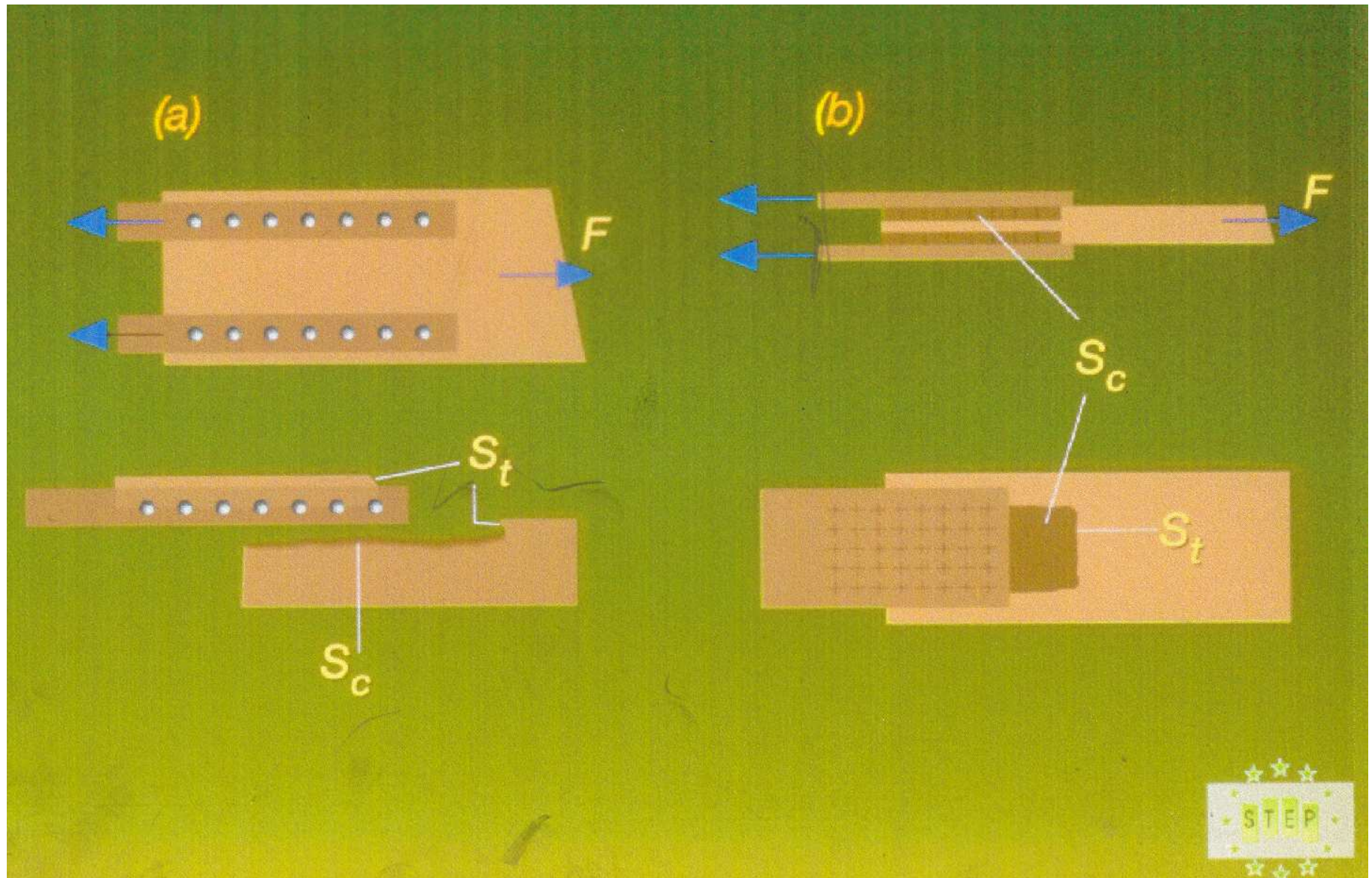


Kuva: VTT

Messuhallin katon romahtaminen Jyväskylässä 2003

- Kriittinen liitos:
2/3 tapeista puuttui
- Liitosten
lohkeamismurtoja
=> sortuman eteneminen





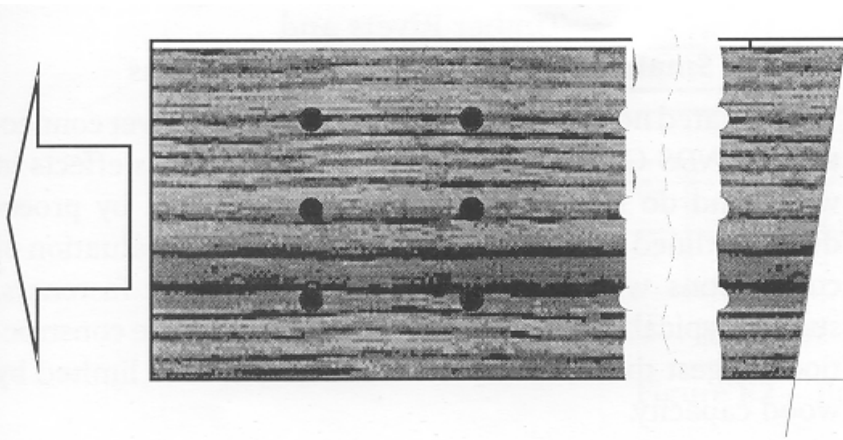


Figure 2.—Net section failure mode.

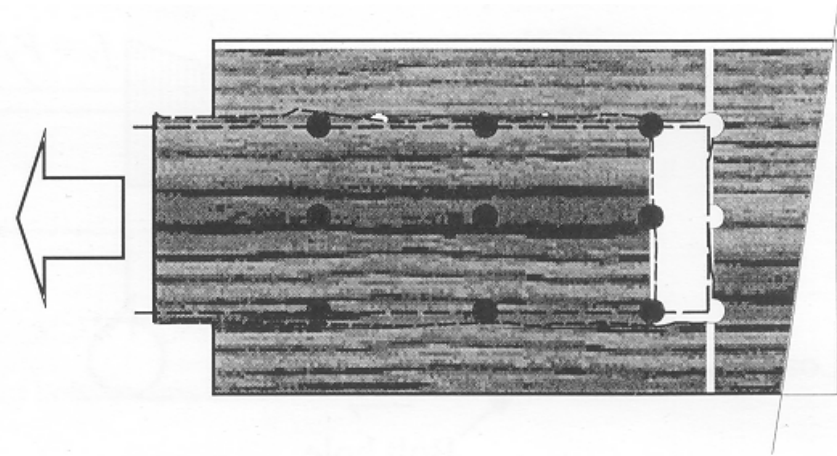


Figure 4.—Group tear-out failure mode.

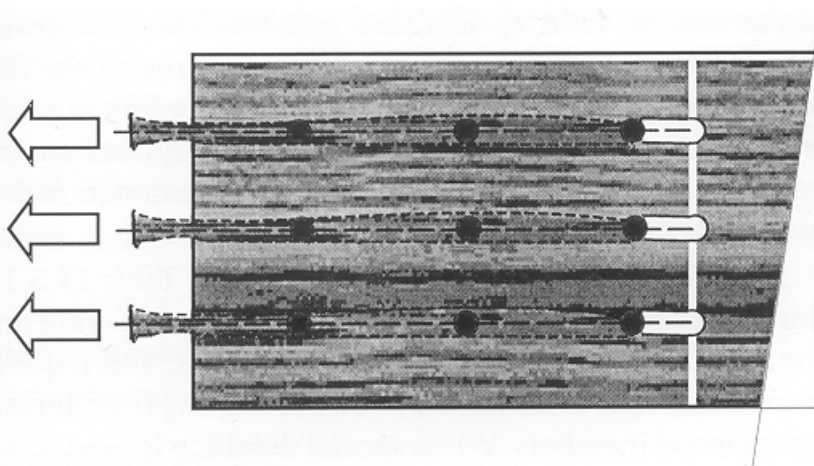


Figure 3.—Row tear-out failure mode.

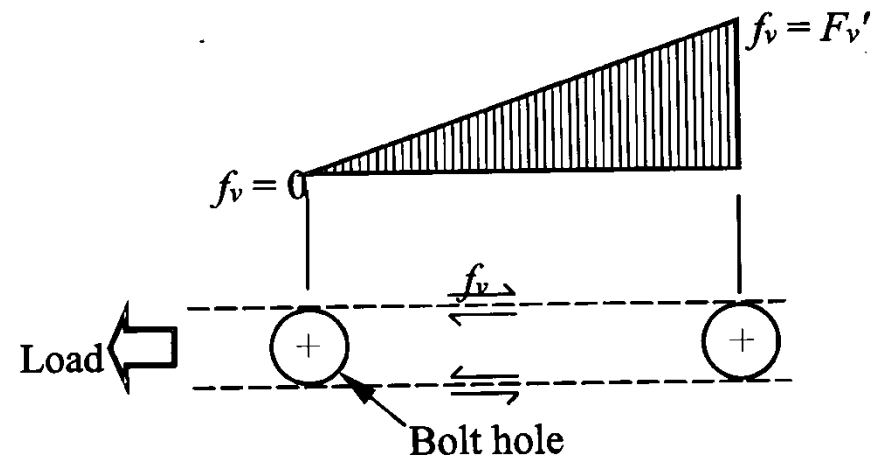


Figure 5.—Assumed induced shear distribution between bolts in a row.

Liima- ja Kertopuuliitosten **puustamurron tarkennettu mitoitusmenetelmä** tappivaarna- ja pulttiliitoksille

- Suomen Liimapuuyhdistyksen ohje **VTT-S-07049-09**
- Kertopuun tuotesertifikaatin ohje **VTT 184/03**
- Perustuu puustamurron teoreettiseen mallintamiseen
- Lohkeamismurron laskentamenetelmä varmennettu 105 järeän liimapuuliitoksen ja 100 monileikkeisen Kertopuuliitoksen kuormituskokeella
- Leikkauskuormitetuille liimapuun tappivaarna- ja pulttiliitoksille
- Koskee puun syiden suuntaista liitosvoimakomponenttia
- Kattaa liitosalueen halkeamis-, leikkautumis-, veto- ja lohkeamismurtomekanismit
- Puikkoliitoskestävyys täydelle liitinmäärälle ($N_{ef} = N$) ja puustamurtokestävyys syiden suuntaiselle liitosvoimakomponentille

Jotta puun syiden suuntainen liitosvoimakomponentti $F_{0,Ed}$ ei aiheuta liitosalueen puun halkeamista, leikkautumista tai vetomurtoa, tulee seuraavan ehdon olla voimassa

$$F_{0,Ed} \leq F_{0,Rd} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} F_{0,Rk} \quad (1)$$

$$F_{0,Rk} = \sum_{i=1}^m F_{i,0,Rk} \quad (2)$$

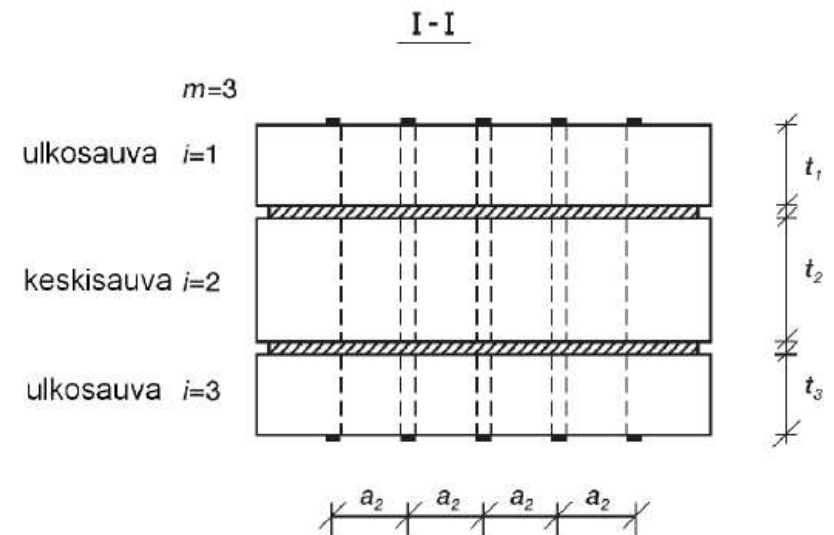
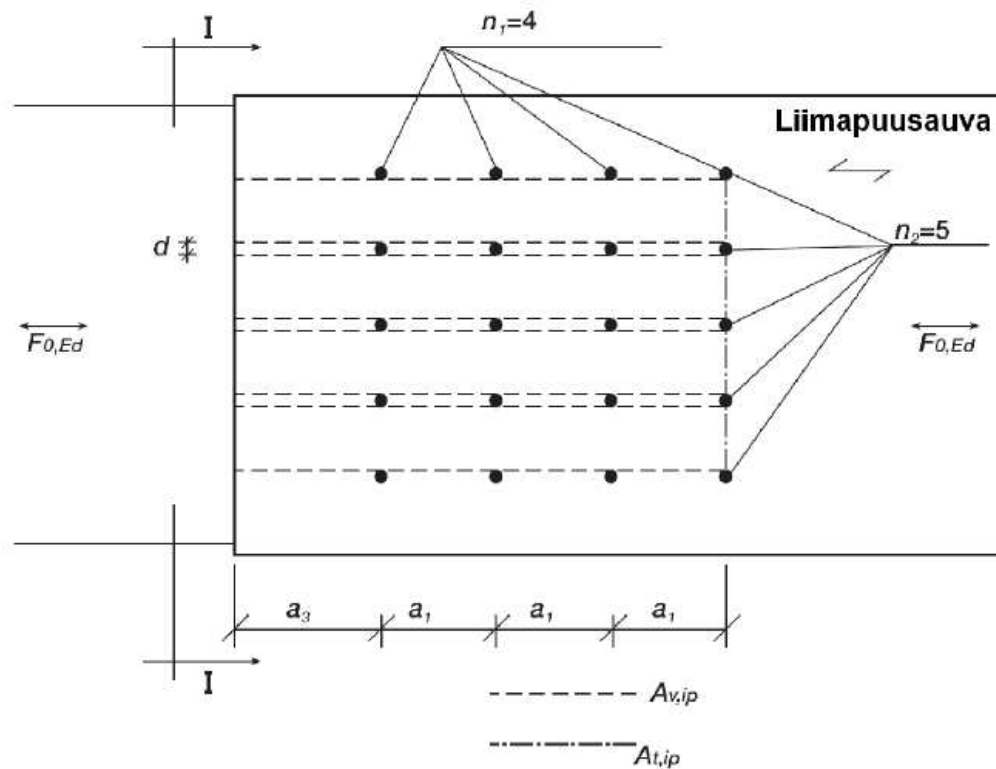
kun $F_{i,0,Rk}$ on kaavan (3) mukaan laskettu liimapuuisen osasauvan i puustamurtokestävyys ja m on osasauvojen lukumäärä liimapuusauvassa.

Osasauvan i puustamurtokestävyys

$$F_{i,0,Rk} = F_{ip,Rk} + F_{ep,Rk} \quad (3)$$

Osasauvan sisäosan puustamurtokestävyys

$$F_{ip,Rk} = \begin{cases} \min\{A_{h,ip} f_{h,0,k}; F_{tv,k}\} & \text{vedetyissä liitoksissa} \\ \min\{A_{h,ip} f_{h,0,k}; F_{cv,k}\} & \text{puristetuissa liitoksissa} \end{cases} \quad (4)$$

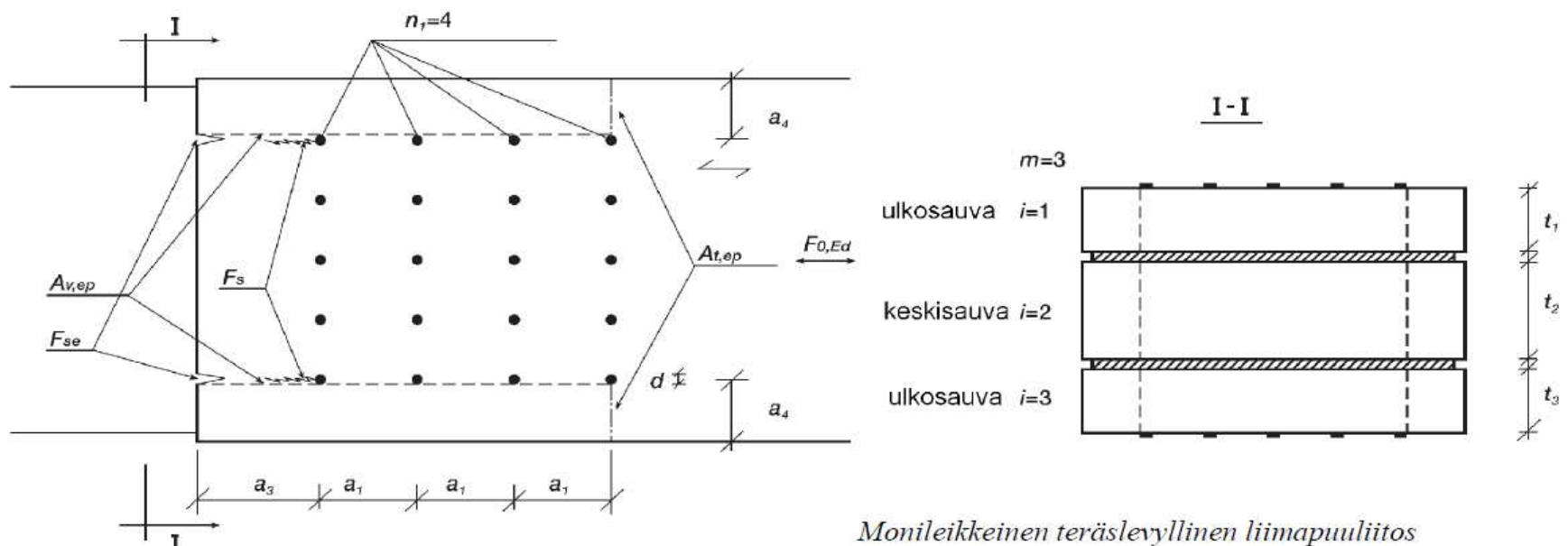


monileikkeinen teräslevyllinen liimapuuliitos

Kuva 1. Osasauvojen sisäosien puustamurtopinnat ja merkinnät.

Osasauvan reunaosien puustamurtokestävyys

$$F_{ep,Rk} = \begin{cases} \min \{ A_{h,ep} f_{h,0,k}; F_{tv,k}; F_{sv,k}; F_{se,k} \} & \text{vedetyissä liitoksissa} \\ \min \{ A_{h,ep} f_{h,0,k}; F_{cv,k} \} & \text{puristetuissa liitoksissa} \end{cases} \quad (13)$$

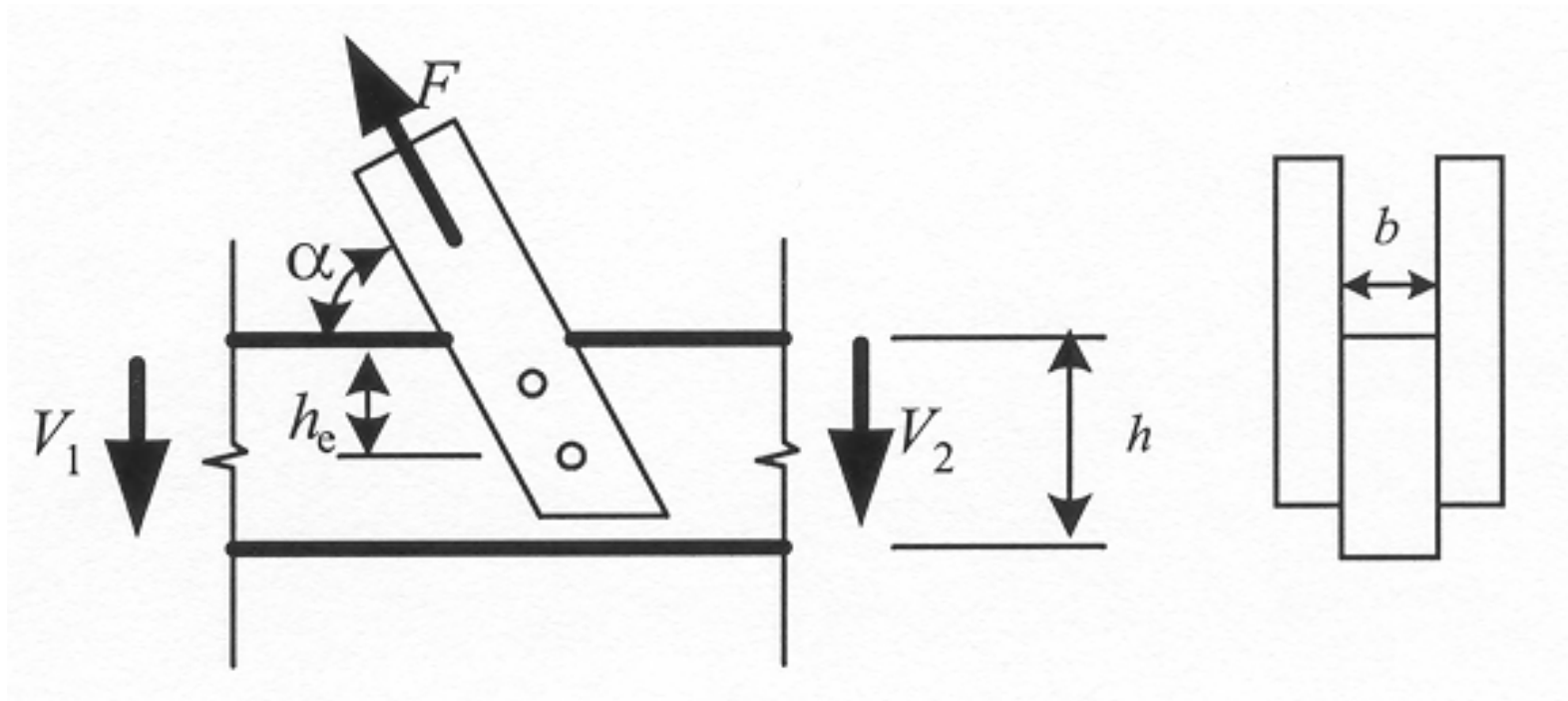


Kuva: VTT

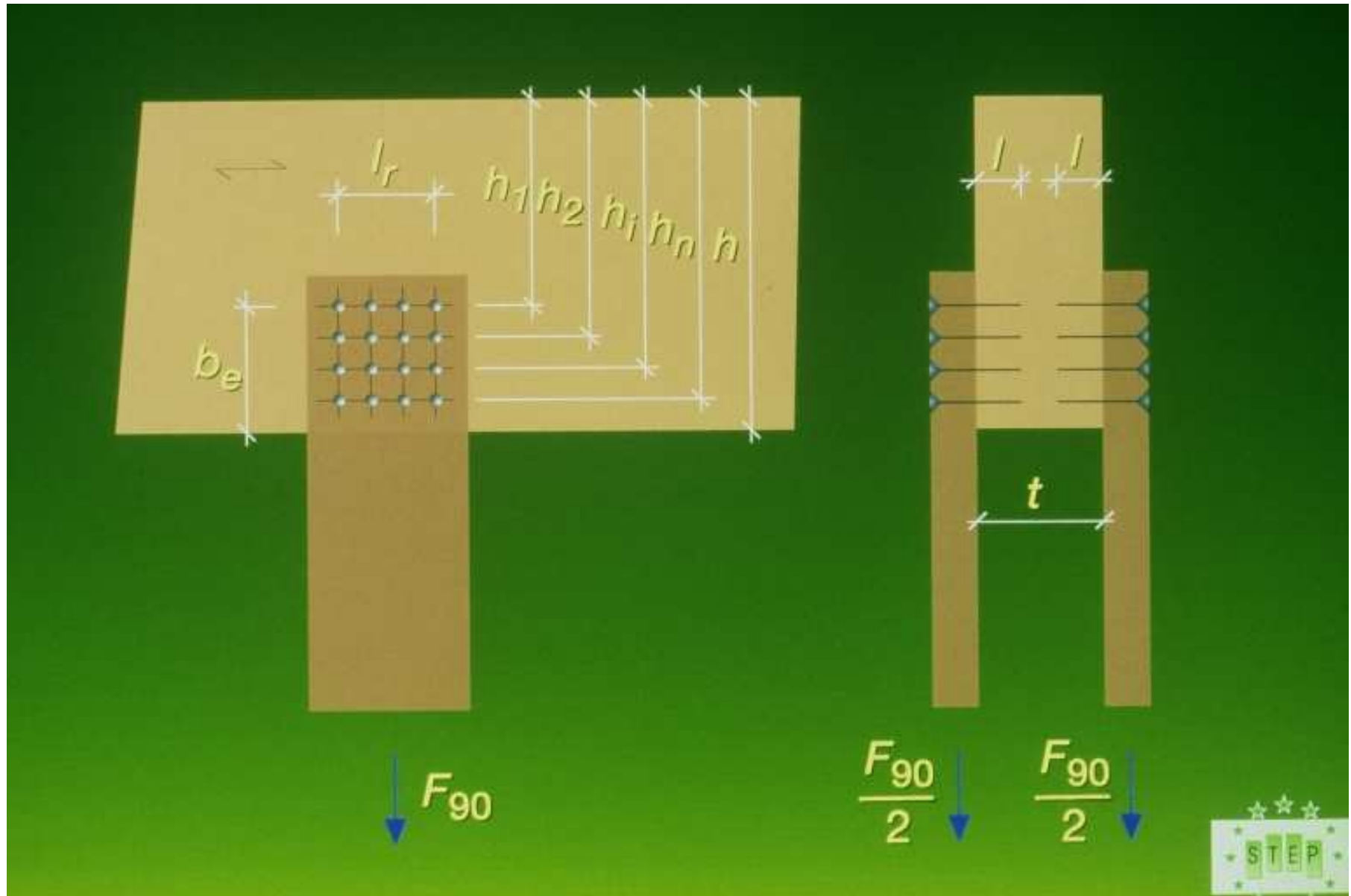
Kuva 2. Osasauvojen reunaosien puustamurtopinnat ja merkinnät.

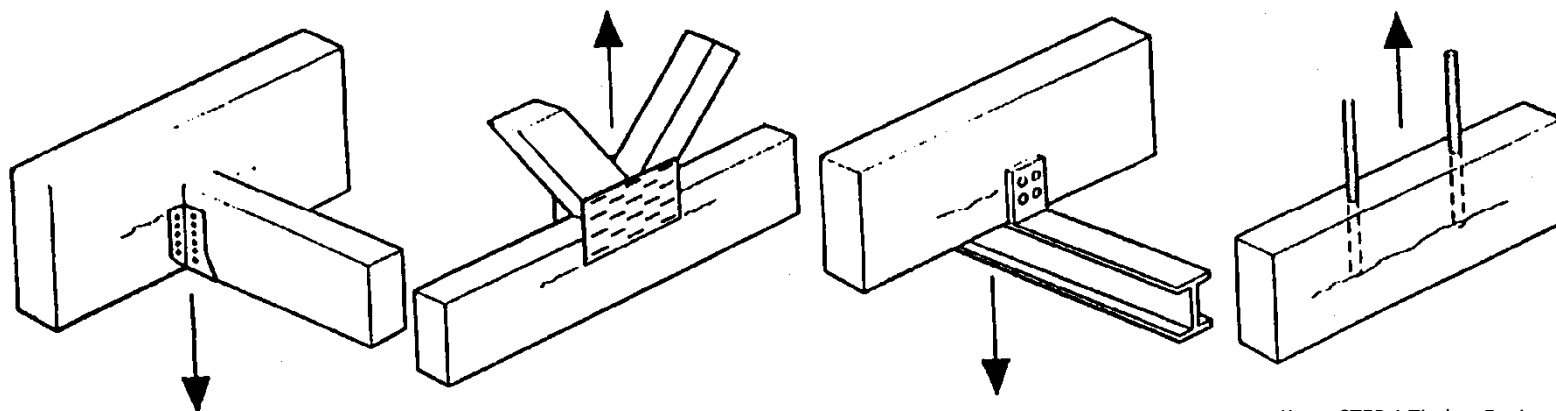
=> Liitinpaksuuden, liitinlujuuden, leikepaksuuden, päätyetäisyyden, reunaetäisyyden ja liitinvälin optimointi (puustamurto kuitenkin yleensä kustannustehokkain murtotapa)

POIKITTAINEN VETO - HALKEAMINEN - RIPUSTUSLIITOS

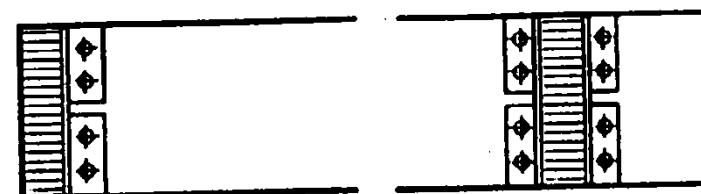
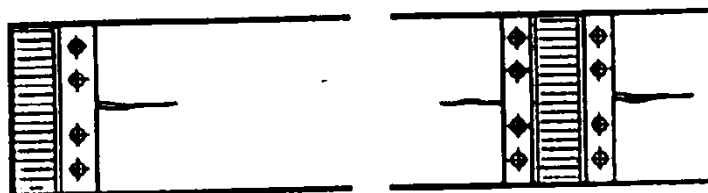
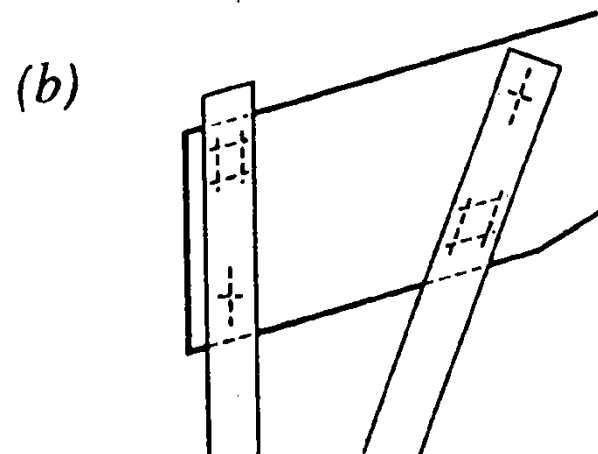
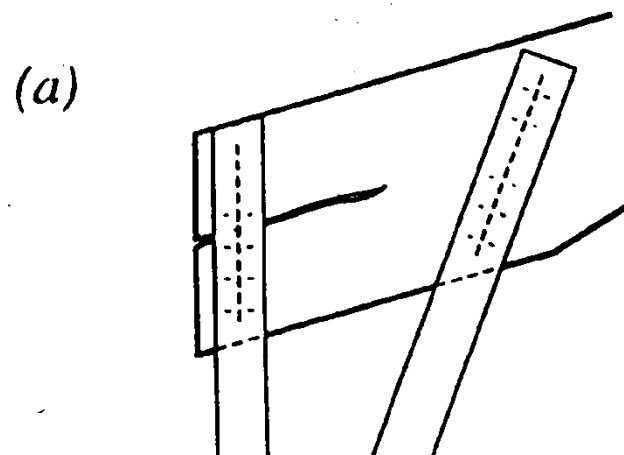


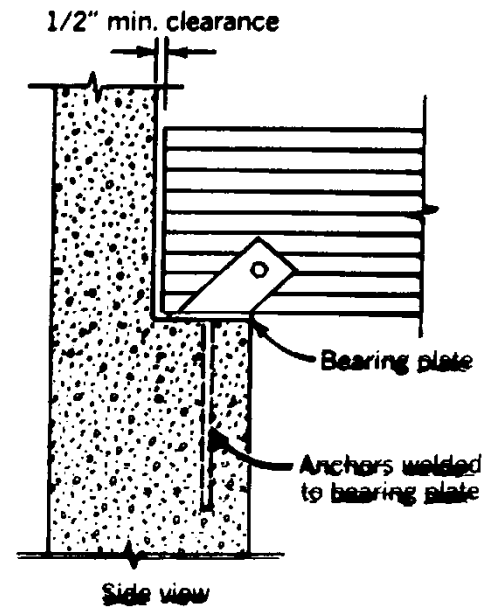
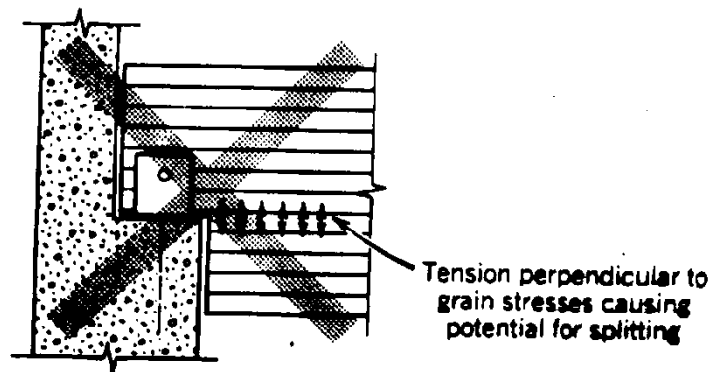
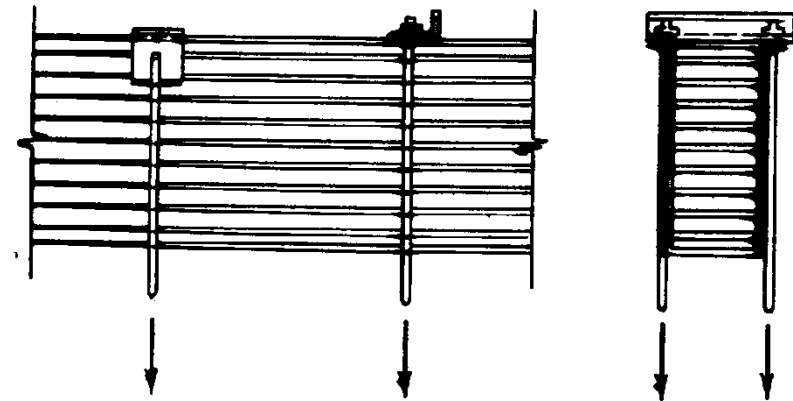
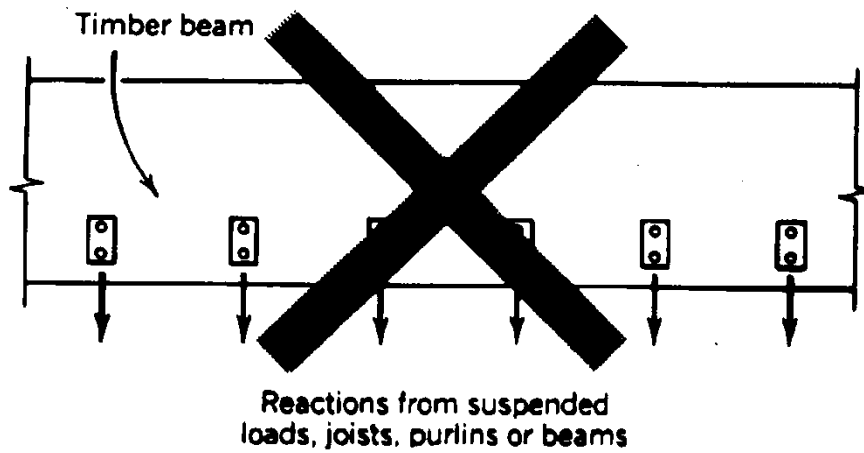
$$R_{90,k} = 14b \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \geq \max \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{Bmatrix}$$

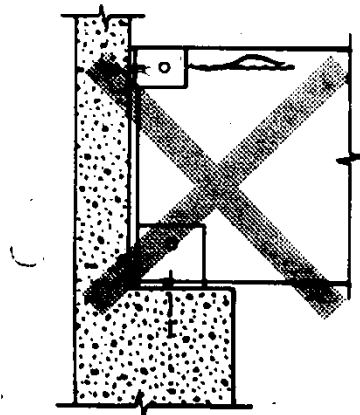
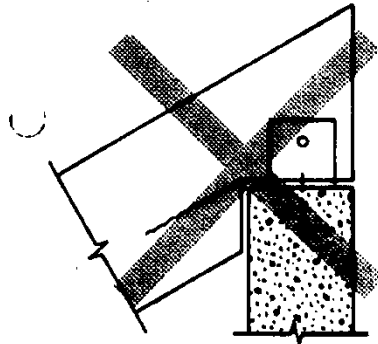
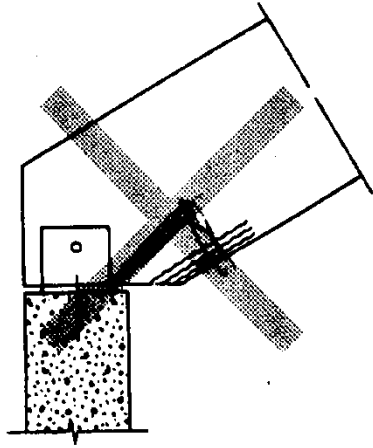




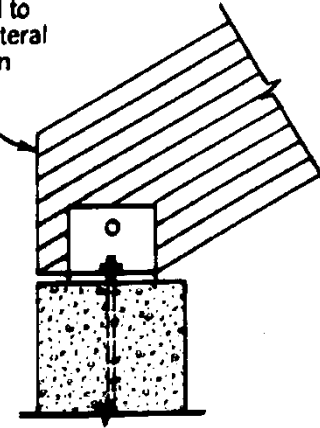
Kuva: STEP 1 Timber Engineering



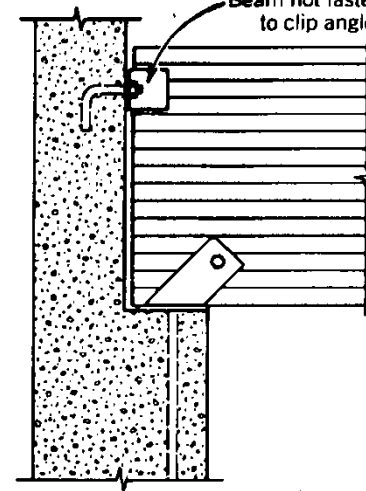




End restraint is
required to
prevent lateral
rotation



Beam not fastened
to clip angle





Kuva: VTT

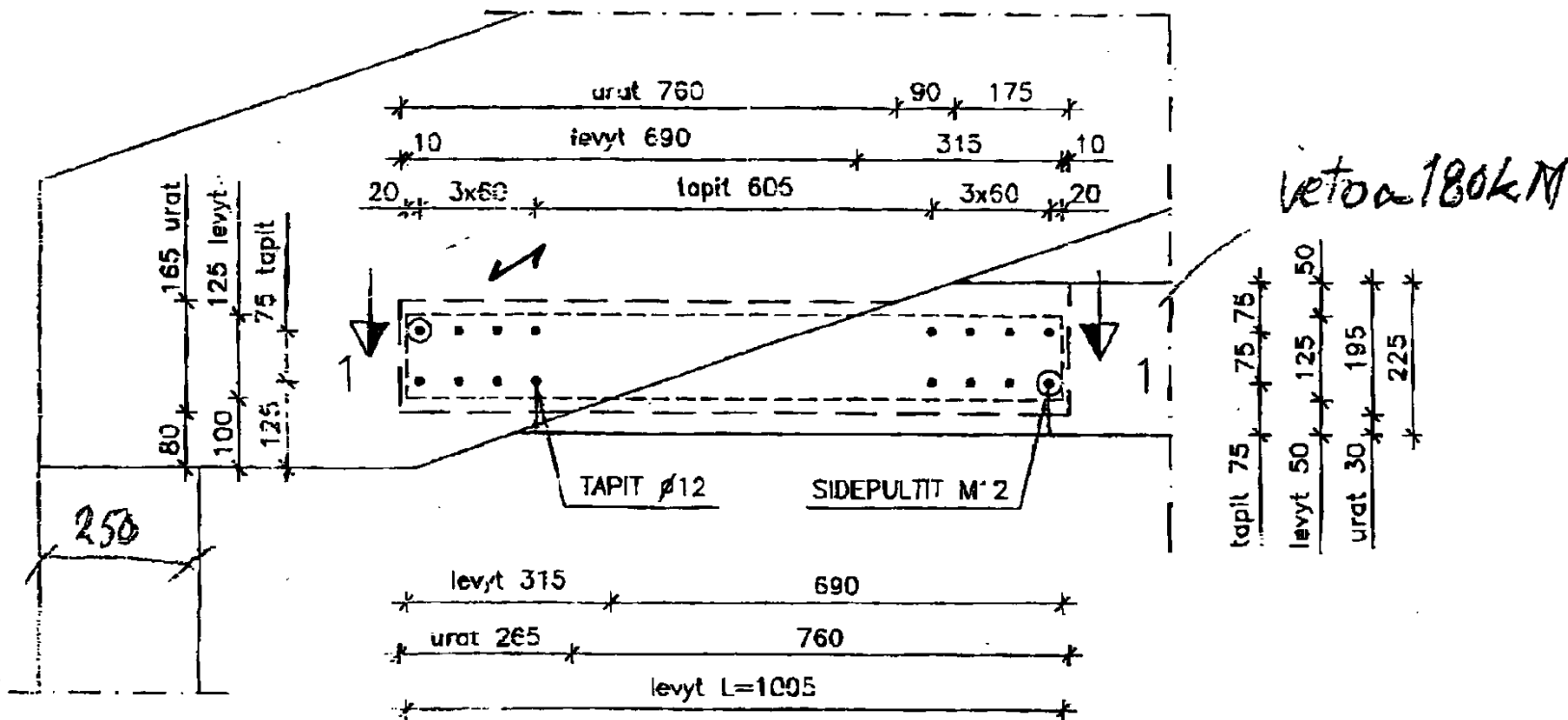
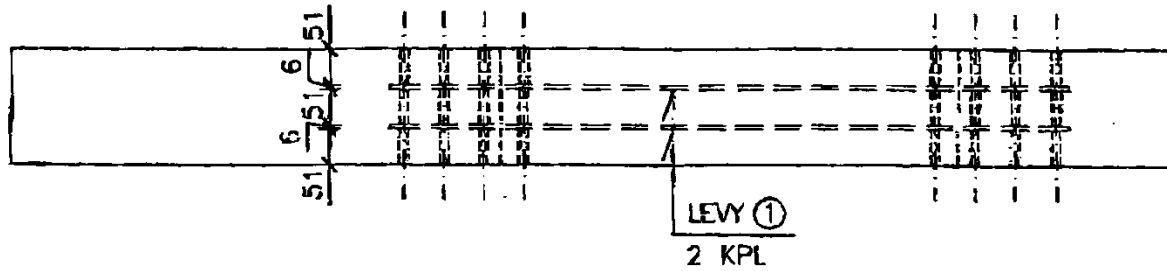


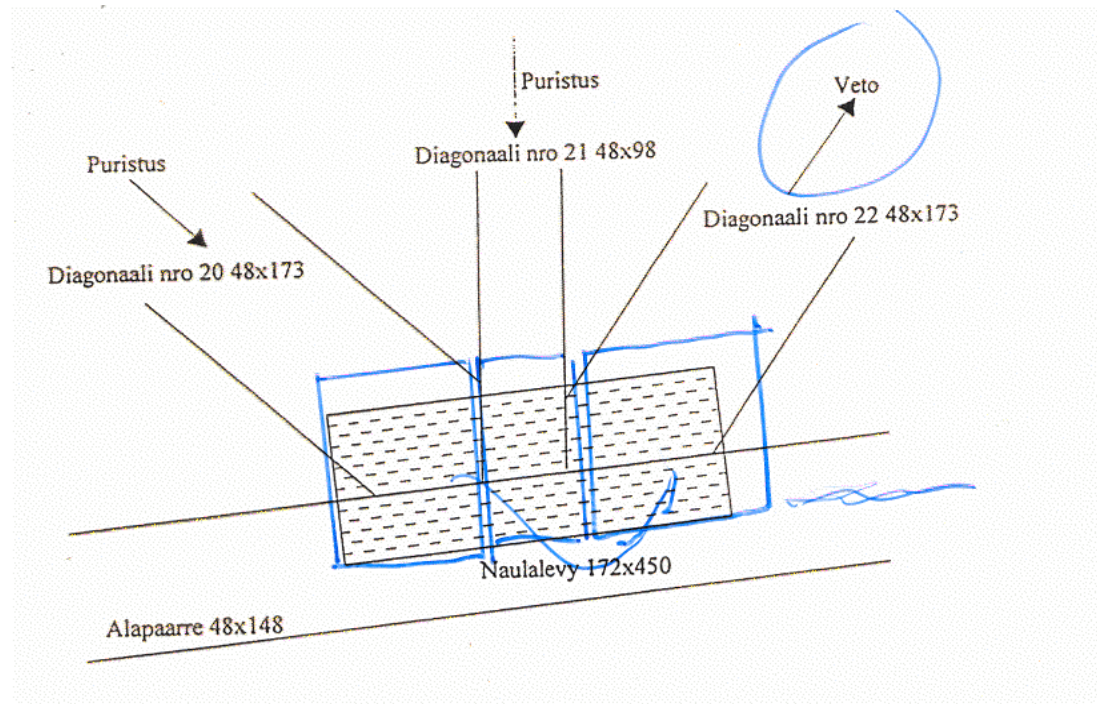
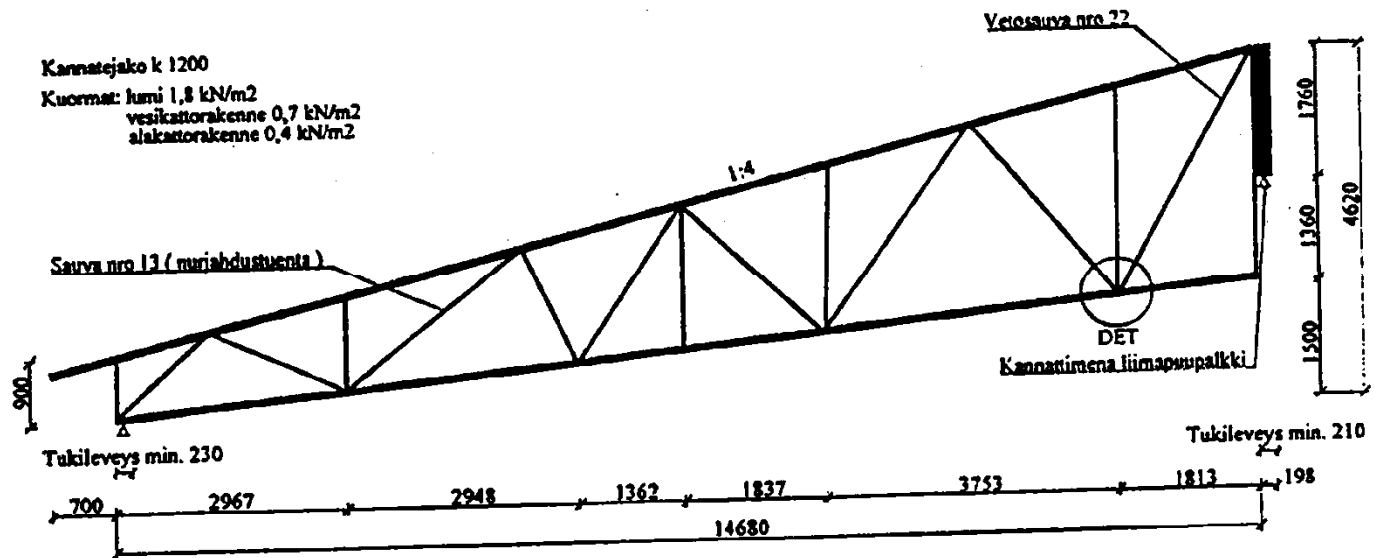


LIITOKSIA 2 KPL/R1

1 - 1

- TAPIT JA SIDEPULTIT: LK 8.8
- TAPPEJA $\phi 12$: 14 KPL/LITOS
- SIDEPULTEJA M12: 2 KPL/LITOS





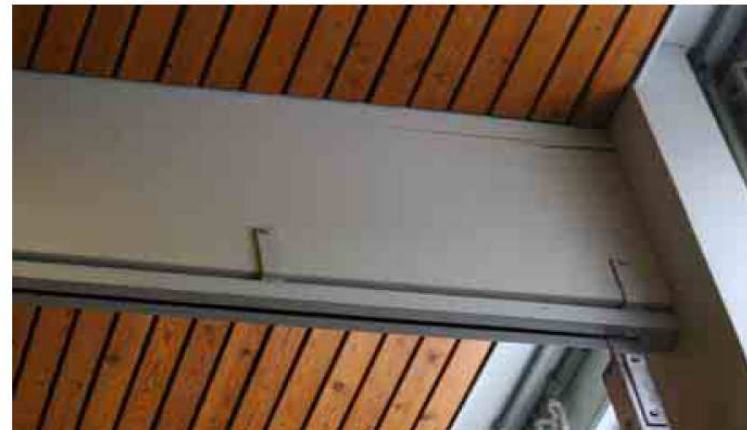
Kuivumiskutistuneen palkin halkeaminen yläreunan kiinnitysliitoksen vuoksi
=> putoaminen tuelle



Kuva 6. Laukaan ala-asteen liikuntasali.

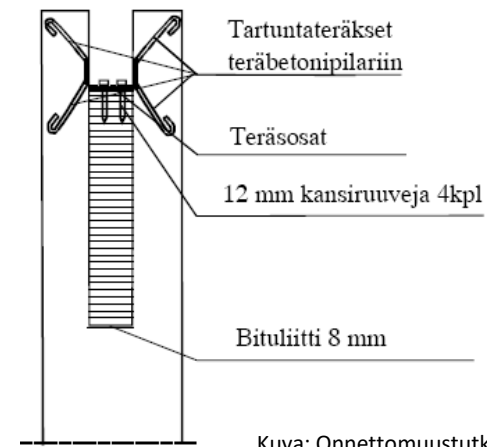
Kuva: Onnettomuustutkintakeskus

17.1.2019



Kuva 8. Halkeama palkin yläreunassa ja alhaalla oikealla rekkilinieneen pystytanko.

Kuva: Onnettomuustutkintakeskus



Kuva: Onnettomuustutkintakeskus

Esimerkkilaskelmat:

Liimapuuristikon liitos murtorajatilassa

Poikittainen veto ja läpilohkeaminen