

# Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid

Elmar Just

# Puitkonstruktsioonide õpikud

- Viimati eesti keeles ilmunud:
- 1985: Leonid Allikas.

Puit- ja plastkonstruktsioonid

- 1962: Leonid Allikas, Valdek Kulbach.  
Puitkonstruktsioonid.

- 2016:





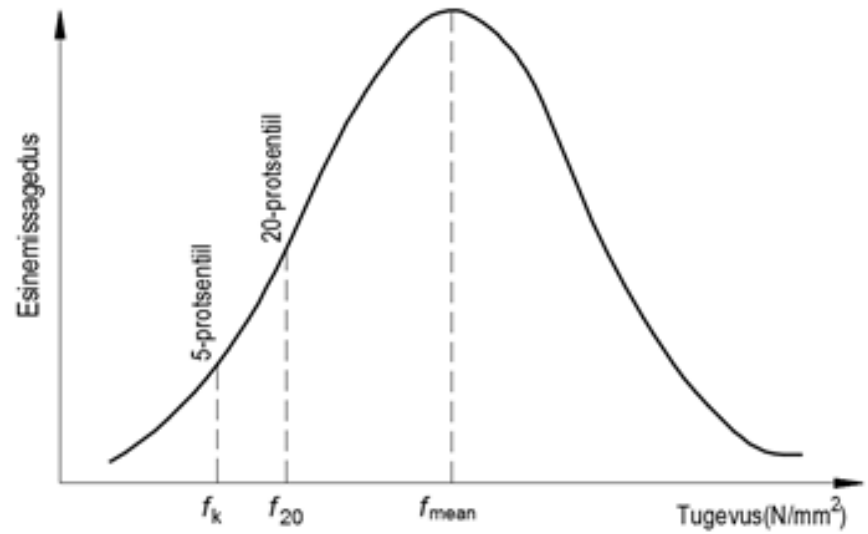
# Puidu õpik

- Eurokoodeks 5





# Tugevusklassid





# Tugevusklassid

Okaspuidu tugevusklassid on esitatud standardis EVS-EN 338:2016

C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50

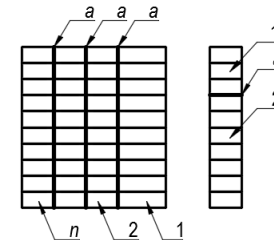
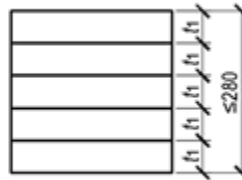
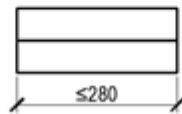
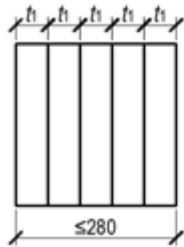
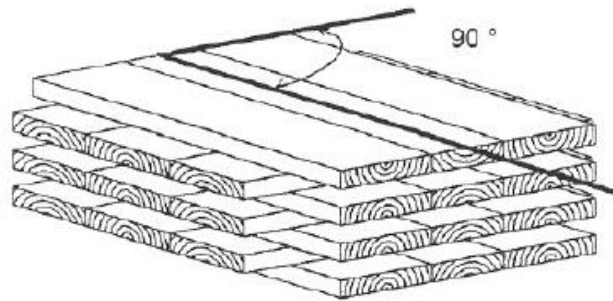
Eestis: C16 ja C24.

Liimpuidu tugevusklassid on esitatud standardis EVS-EN 14080:2013.

Eestis: GL24h(c) kuni GL32h(c),



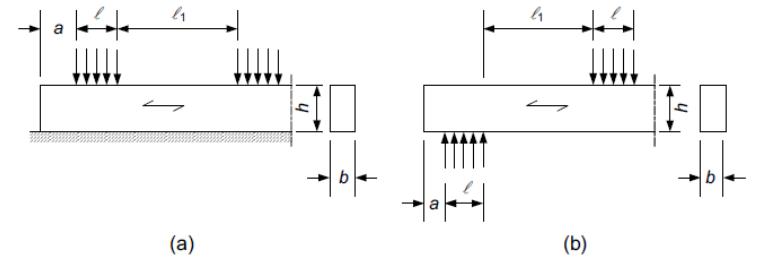
# Uued materjalid





# Puidu õpik

- Muutunud arvutusmeetodid



kontaktpikkust suurendatakse mõlemas suunas 30 mm võrra, kuid mitte rohkem kui  $a_1$ ,  $l_1/2$  või  $l$ .

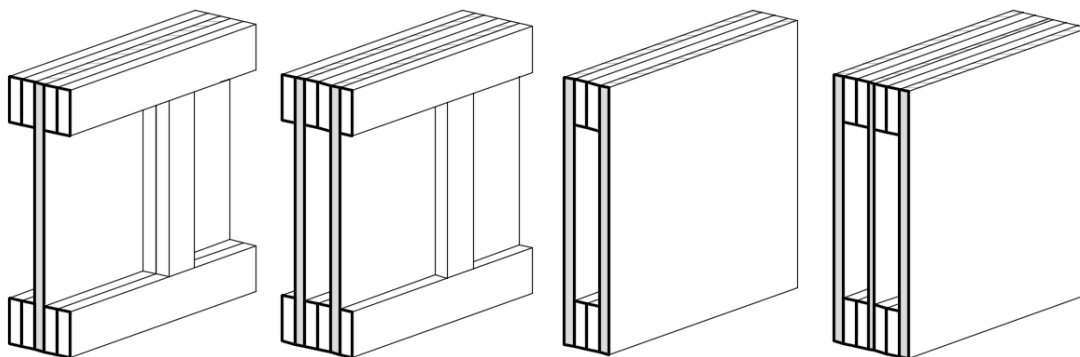


# Puidu õpik

- Käsikiri 2010
  - Retsensioonid 2014
  - Lisati näiteülesanded
- 
- 17 peatükki
  - 4 lisa



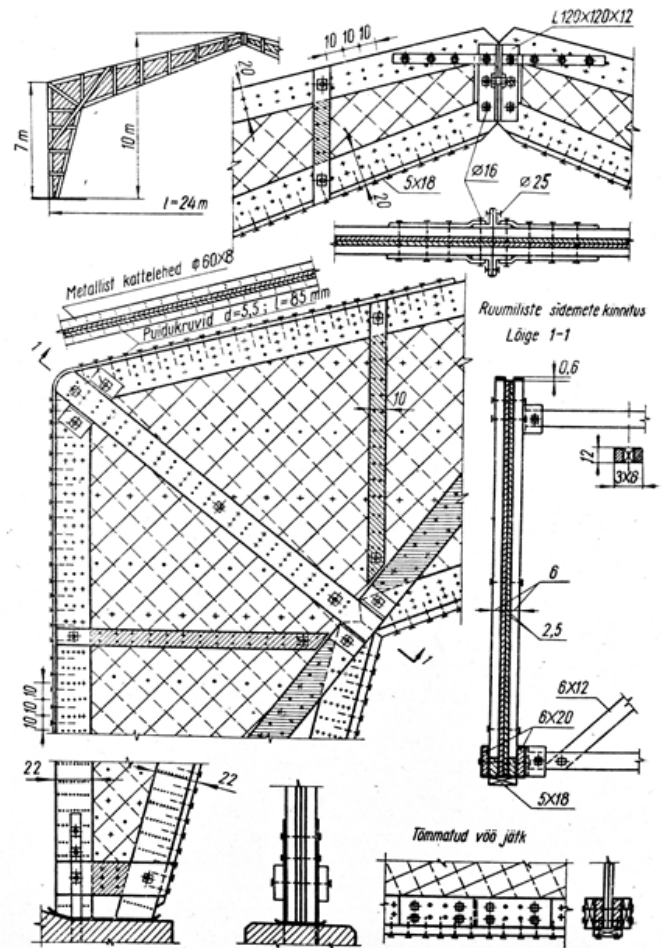
# Liitkonstruktsioonid



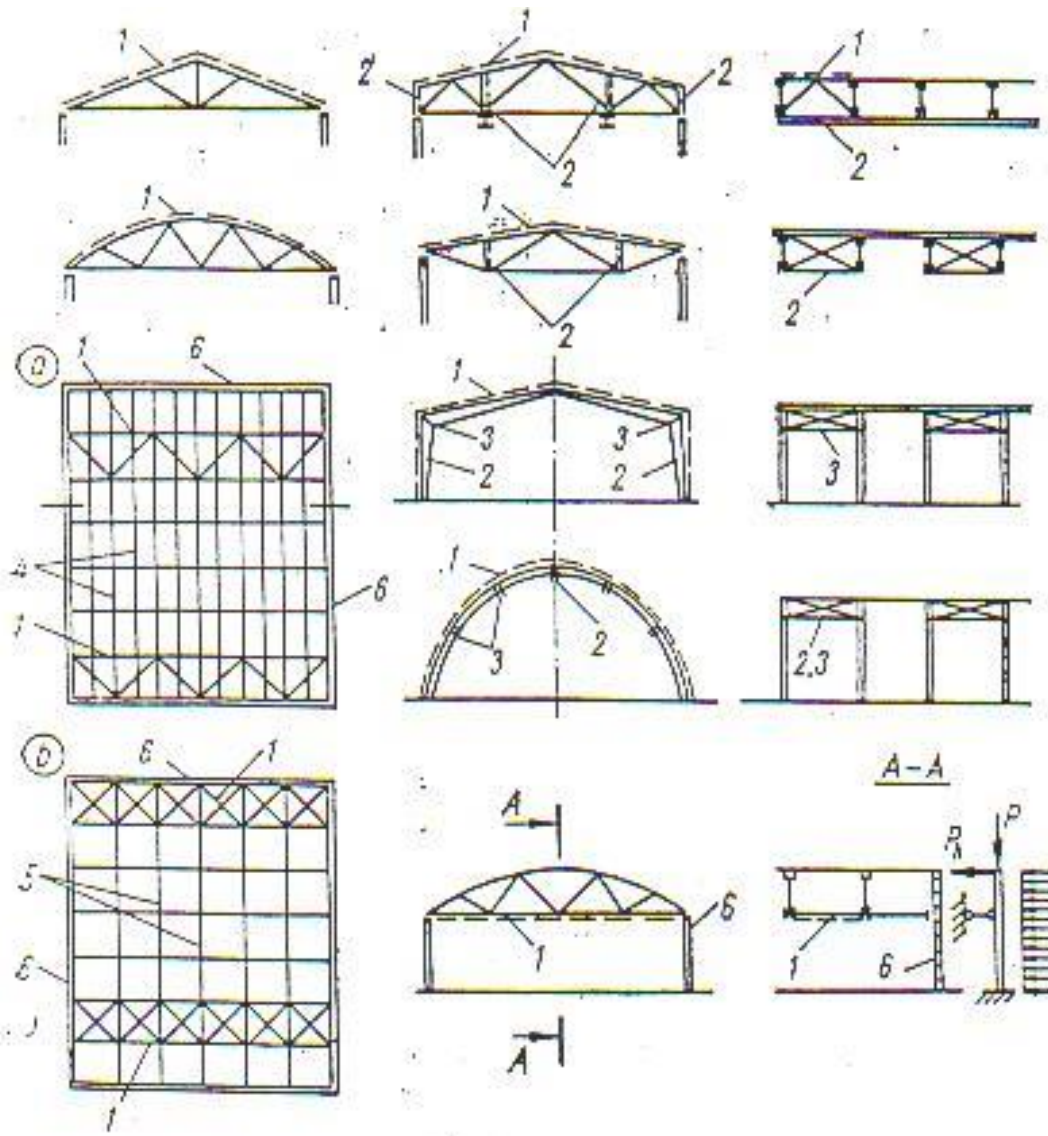
# Liimpuitkonstruktsioonid



# Saepuidust konstruktsioonid



# Püsius



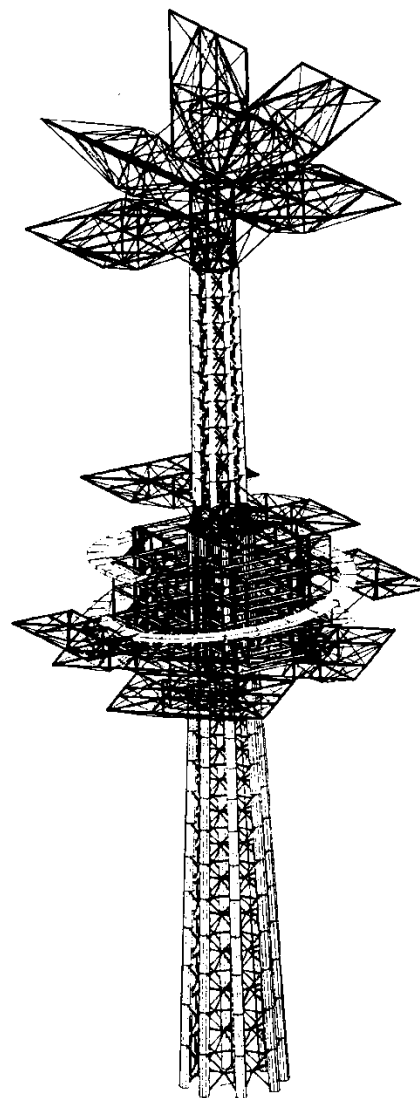
# Korrusmajad



# Puitkoorikud



# Erikonstruksioonid



# Puidu kestvus





# Tulepüsius





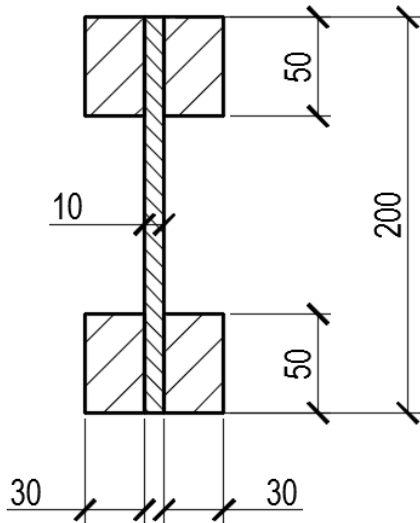
# Metropol Parasol Sevilla



Kôrgus 26 m  
Plaanis 150x70 m

# Arvutusnäide

- Saematerjalist liimitud vööde ja laastplaadist seinaga liittala kandevõime kontroll



Konstruksiooni kasutusklass 1  
koormus keskkestev.

# Arvutusnäide

- **Kande- ja kasutuspiirseisund**
- Erinevate piirseisundite arvutusmudelid peavad arvestama:
  - erinevate materjalide omadusi (tugevus ja jäikus);
  - materjalide erinevat käitumist ajas (koormuse kestvus, roome);
  - erinevaid kliimatingimusi (temperatuur, niiskuse vaheldumine);
  - erinevaid projekteerimisolukordi (ehituse etapid, toetingimuste muutumine).

# Arvutusnäide

## Vööd

C24

modifikatsioonitegur  $k_{\text{mod},f} = 0,80$

deformatsioonitegur  $k_{\text{def},f} = 0,60$

Rahvusliku lisa kohaselt materjali osavarutegur saepuidule  $\gamma_M = 1,3$

Arvutuslikud tugevused:

$$f_{m,d} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = 12,9 \text{ N/mm}^2$$

$$k_c = 0,95$$

*arvestab survevöö põiksuunalist ebastabiilsust*

$$f_{t,0,d} = 8,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{mean},f} = 11\,000 \text{ N/mm}^2$$

# Arvutusnäide

## **Tala sein**

OSB-3

paksus  $t=10$  mm

modifikatsioonitegur  $k_{\text{mod},w} = 0,40$

deformatsioonitegur  $k_{\text{def},w} = 1,50$

Rahvusliku lisa kohaselt materjali osavarutegur saepuidule  $\gamma_M = 1,2$

Arvutuslikud tugevused:

$$f_{m,w,d} = 10,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,w,d} = 8,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,w,d} = 4,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,0,d} = 3,8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,90,d} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{mean},w} = 4\,930 \text{ N/mm}^2$$

# Arvutusnäide

## *Koormused*

$$M_d = 4,0 \text{ kNm}$$

$$N_d = 15 \text{ kN}$$

$$V_d = 4,8 \text{ kN}$$



# Arvutusnäide

- Seinal on OSB-plaadist roome tõttu suuremad deformatsioonid kui puitvöödel
- Aja jooksul normaalpinge vöödes kasvab ja seinas väheneb.
- Seinas olevad normaalpinged arvutatakse algolukorras (hetkelise paigutuse korral) ja vöödes lõppolukorras (lõplike paigutuste puhul, kus võetakse arvesse roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud paigutusi ajas).

# Arvutusnäide

Liitristlõike arvutuslikud parameetrid redutseerituna puidule leitakse seostega

$$A_{ef} = A_f + \frac{(1 + k_{def,f})E_{mean,w}}{(1 + k_{def,w})E_{mean,f}} A_w$$

$$I_{ef} = I_f + \frac{(1 + k_{def,f})E_{mean,w}}{(1 + k_{def,w})E_{mean,f}} I_w$$

# Arvutusnäide

Parameetrite arväärtused algolukorras

$$A_{ef} = (4 \cdot 50 \cdot 30) + \frac{(1+0,0) \cdot 4930}{(1+0,0) \cdot 11000} (10 \cdot 200) = 6,90 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_f = 4 \cdot \left( \frac{30}{12} \cdot 50^3 + 30 \cdot 50 \cdot 75^2 \right) = 35,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_w = \frac{10}{12} \cdot 200^3 = 6,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{ef} = \left[ 35 + \frac{(1+0,0) \cdot 4930}{(1+0,0) \cdot 11000} \cdot 6,67 \right] \cdot 10^6 = 37,99 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

# Arvutusnäide

Parameetrite väärtused lõppolukorras

$$A_{ef} = (4 \cdot 50 \cdot 30) + \frac{(1 + 0,6) \cdot 4930 \cdot 10 \cdot 200}{(1 + 1,5) \cdot 11000} = 6,57 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_{ef} = \left[ 35 + \frac{(1 + 0,6) \cdot 4930 \cdot 6,67}{(1 + 1,5) \cdot 11000} \right] \cdot 10^6 = 35,29 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

# Arvutusnäide

*Surutud vöö kontroll lõppolukorras*

Vöö äärmise kiu arvutuslik survepinge peab rahuldama tingimust:

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d}$$

$$\sigma_{f,c,max,d} = \left( \frac{M_d}{I_{ef}} z \right) + \left( \frac{N_d}{A_{ef}} \right) = \frac{4,0 \cdot 10^6 \cdot 100}{35,29 \cdot 10^6} + \frac{15 \cdot 10^3}{6,57 \cdot 10^3} = 13,6 < f_{m,d} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus on täidetud.

# Arvutusnäide

*Tõmmatud vöö kontroll lõppolukorras*

Vöö äärmise kiu arvutuslik tõmbepinge peab rahuldama tingimust

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d}$$

$$\sigma_{f,t,max,d} = \left( \frac{M_d}{I_{ef}} z \right) - \left( \frac{N_d}{A_{ef}} \right) = \frac{4,0 \cdot 10^6 \cdot 100}{35,29 \cdot 10^6} - \frac{15 \cdot 10^3}{6,57 \cdot 10^3} = 9,0 < f_{m,d} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus on täidetud.

# Arvutusnäide

*Tõmmatud vöö kontroll lõppolukorras*

Vöö keskmine arvutuslik tõmbepinge peab rahuldama tingimust

$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$\sigma_{f,t,\max,d} = \left( \frac{M_d}{I_{ef}} z \right) - \left( \frac{N_d}{A_{ef}} \right) = \frac{4,0 \cdot 10^6 \cdot 75}{35,29 \cdot 10^6} - \frac{15 \cdot 10^3}{6,57 \cdot 10^3} = 6,2 < f_{t,0,d} = 8,6 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus on täidetud.

# Arvutusnäide

*Seina survepinge kontroll algolukorras*

Seina arvutuslik survepinge peab rahuldama tingimust

$$\sigma_{c,w,d} \leq f_{c,w,d}$$

$$\sigma_{c,w,d} = \left( \left( \frac{M_d}{I_{ef}} z \right) + \left( \frac{N_d}{A_{ef}} \right) \right) \cdot \frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} = \left( \frac{4,0 \cdot 10^6 \cdot 100}{37,99 \cdot 10^6} + \frac{15 \cdot 10^3}{6,90 \cdot 10^3} \right) \frac{4930}{11000} = 5,7 < f_{c,w,d} = 8,9 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus on täidetud.



# Arvutusnäide

*Seina tõmbepinge kontroll algolukorras*

Seina arvutuslik tõmbepinge peab rahuldama tingimust

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{t,w,d}$$

$$\sigma_{f,t,max,d} = \left( \left( \frac{M_d}{I_{ef}} z \right) - \left( \frac{N_d}{A_{ef}} \right) \right) \frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} = \left( \frac{4,0 \cdot 10^6 \cdot 100}{37,99 \cdot 10^6} - \frac{15 \cdot 10^3}{6,90 \cdot 10^3} \right) \cdot \frac{4930}{11000} = 5,7 < f_{t,w,d} = 8,9 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus on täidetud.

# Arvutusnäide

*Tala seinas mõjuva nihkejõu kontroll*

Seina mõlkumiskontrolli ei ole vaja teha, kuna on täidetud nõue

$$h_w \leq 70b_w$$

Käesolevas ülesandes

$$h_w = 100 \text{ mm} < 70b_w = 700 \text{ mm}$$

$$h_w = 200 < 35b_w = 350 \text{ mm}$$

seega tuleb arvutuslikku nihkejõudu kontrollida tingimuse järgi

$$F_{v,w,Ed} = 4,8 \text{ kN} < b_w h_w \left[ 1 + 0,5 \frac{(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right] f_{v,0,d} = 10 \cdot 100 \cdot \left( 1 + 0,5 \frac{50 + 50}{100} \right) \cdot 3,8 = 5,7 \text{ kN}$$

Mõlemad tingimused on täidetud.

# Arvutusnäide

*Vöö ja seinavahelise liimliite kontroll lõppolukorras*

Kuna vöödes normaalpinge aja jooksul kasvab, kasvab pinge ka vöö ja seinavahelistes liimvuukides.

Liimvuukide pinget kontrollitakse lõppolukorras, kui

$$h_f = 50\text{mm} > 4b_w = 40\text{mm}$$

avaldisega

$$\tau_{\text{mean,d}} \leq f_{v,90} \left(4b_w / h_f\right)^{0,8}$$

# Arvutusnäide

*Vöö ja seinavahelise liimliite kontroll lõppolukorras*

Nihkepinge vuugis leitakse valemiga

$$\tau_{mean,d} = \frac{V_d S_f}{I_{ef} l_g} = \frac{4,8 \cdot 10^3 \cdot 225 \cdot 10^3}{35,29 \cdot 10^6 \cdot 100} = 0,31$$

kus  $l_g$  on vöö ja seinavahelise liimvuugi laius.

$$S_f = 2(50 \cdot 30 \cdot 75) = 225 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$l_g = 2 \cdot 50 = 100 \text{ mm}$$

Tingimuse kontroll  $0,31 < 0,56 \cdot \left(\frac{4 \cdot 10}{50}\right)^{0,8} = 0,47$

Tingimus on täidetud.