



Eesti Maaülikool

Estonian University of Life Sciences

Metsandus- ja maaehitusinstituut

Institute of Forestry and Rural Engineering

www.emu.ee



www.woodndt.eu

Puitkonstruktsioonide tugevusarvutuste alused ja lihtsamad arvutusnäited. Tapp- ja kruviliidetest

Marko Teder, PhD

marko.teder@emu.ee

Osavarutegurite meetod konstruktsioonide tugevuskontrolliks

- Kõik valemid põhinevad laborkatsetel
- Meetodi eesmärk on tagada igal juhul konstruktsiooni püsivus/stabiilsus etteantud koormustel
- Projekteerimise lihtsustamiseks arvutusvalemid → ühelt poolt suurendatakse koormusi ja teisalt vähendatakse tugevusnäitajaid

Üldist

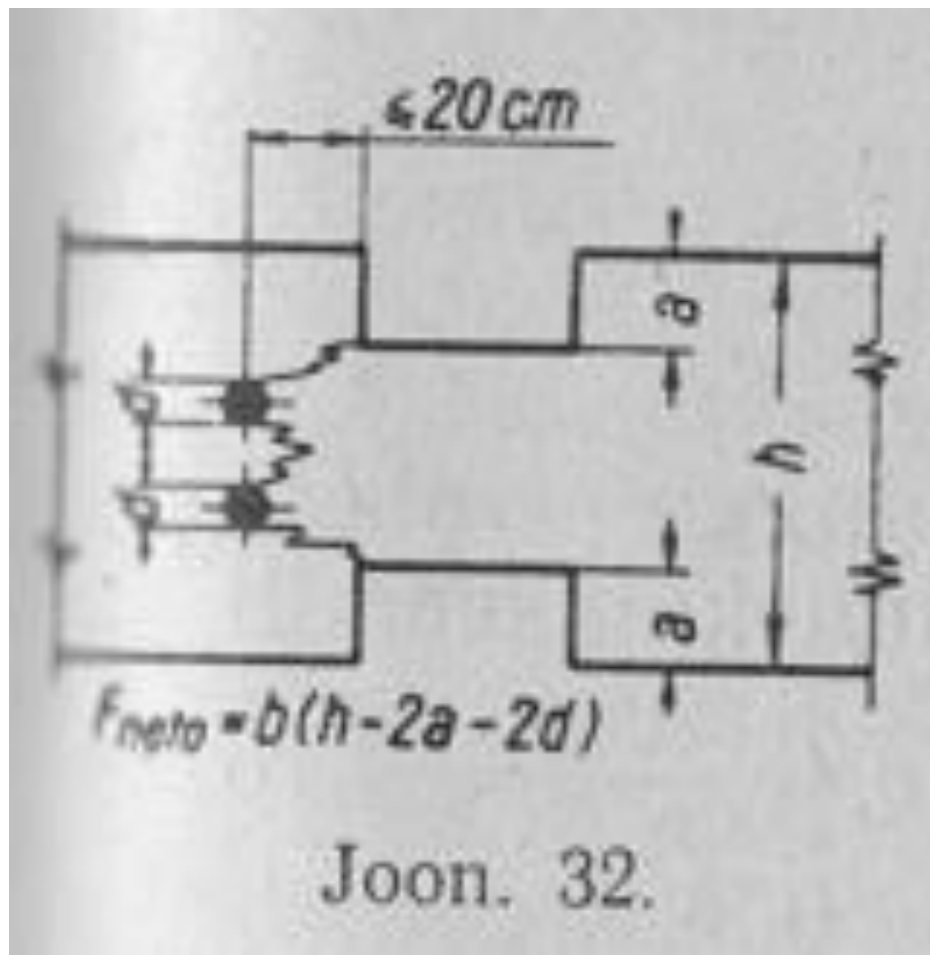
- Konstruksiooniarvutustes tuleb arvestada järgmisega:
 - Kõrvalekalletega sirgsusest;
 - Materjali mittehomogeensusega.
- Elemendi tugevuskontrollil tuleb arvestada ristlõikepindala vähenemisega

Üldist

- Ristlõikepindala vähenemise võib jätta arvestamata järgmistel juhtudel:
 - 6 mm või väiksema läbimõõduga naelad ja kruvid, mis on sisestatud ilma ettepuurimiseta;
 - Survetsoonis olevad augud, mis on täidetud puidust suurema jäikusega materjaliga.

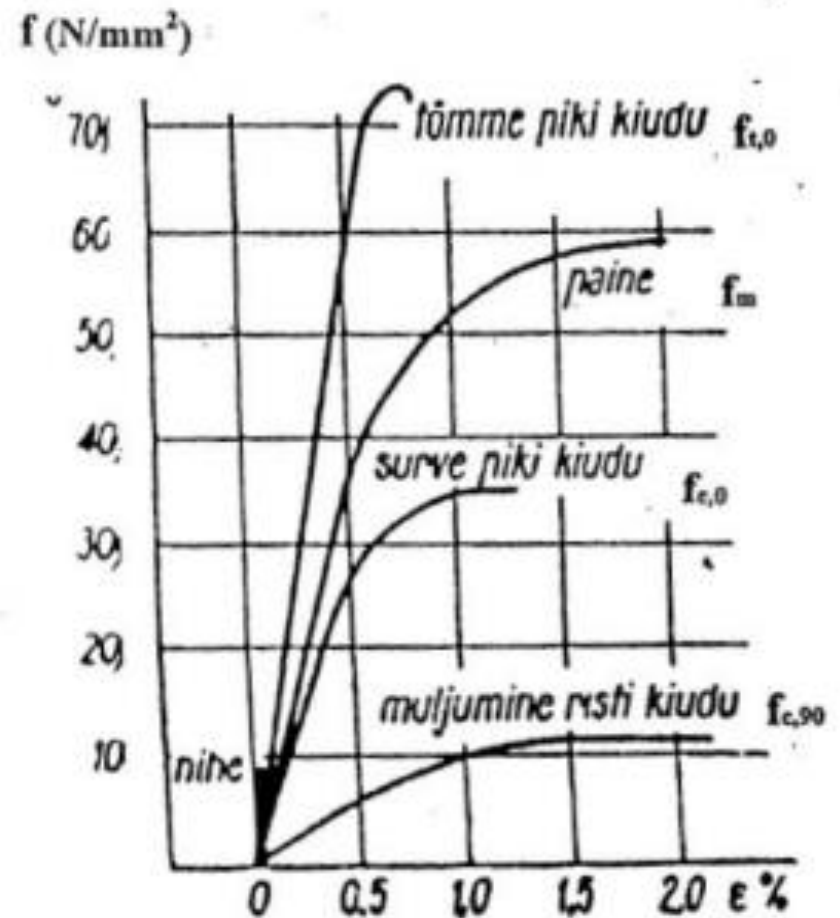
Üldist

- Mitme kinnituselemendiga liite puhul tuleks efektiivse ristlõike leidmisel arvestada avadega, mis on üksteisele lähemal, kui pool miinimumvahekaugust pikikiudu.
- **Rusikareegel 20 cm**



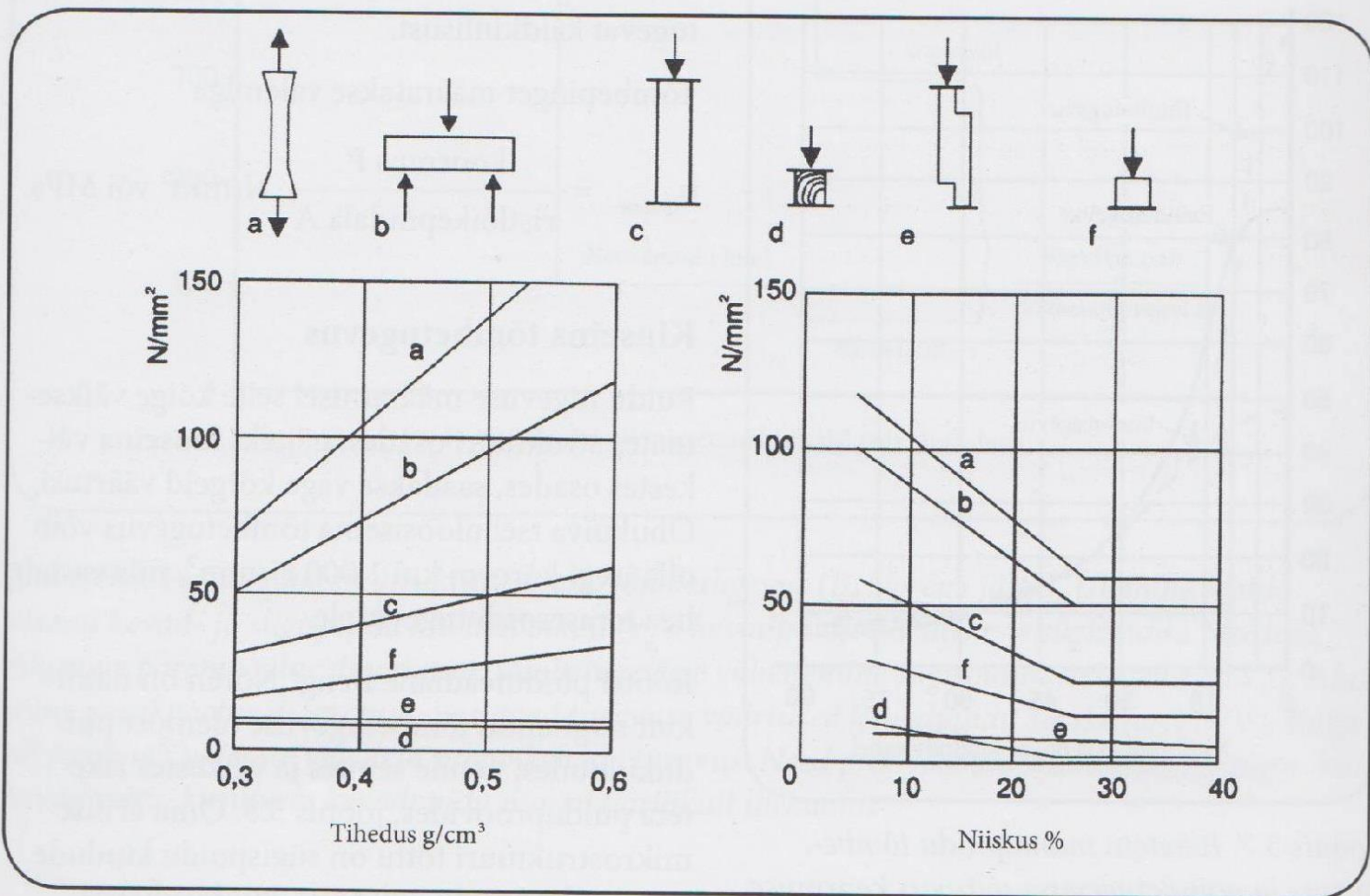
Puidu tugevus

- Tingituna puidu struktuuri anisotroopsusest oleneb puidu tugevus jõu mõjumise suunast kiudude suhtes.
- Suurim tugevus on jõu mõjumise pikikiudu ja väikseim ristikiudu. Sama kehtib ka deformatsioonide kohta.



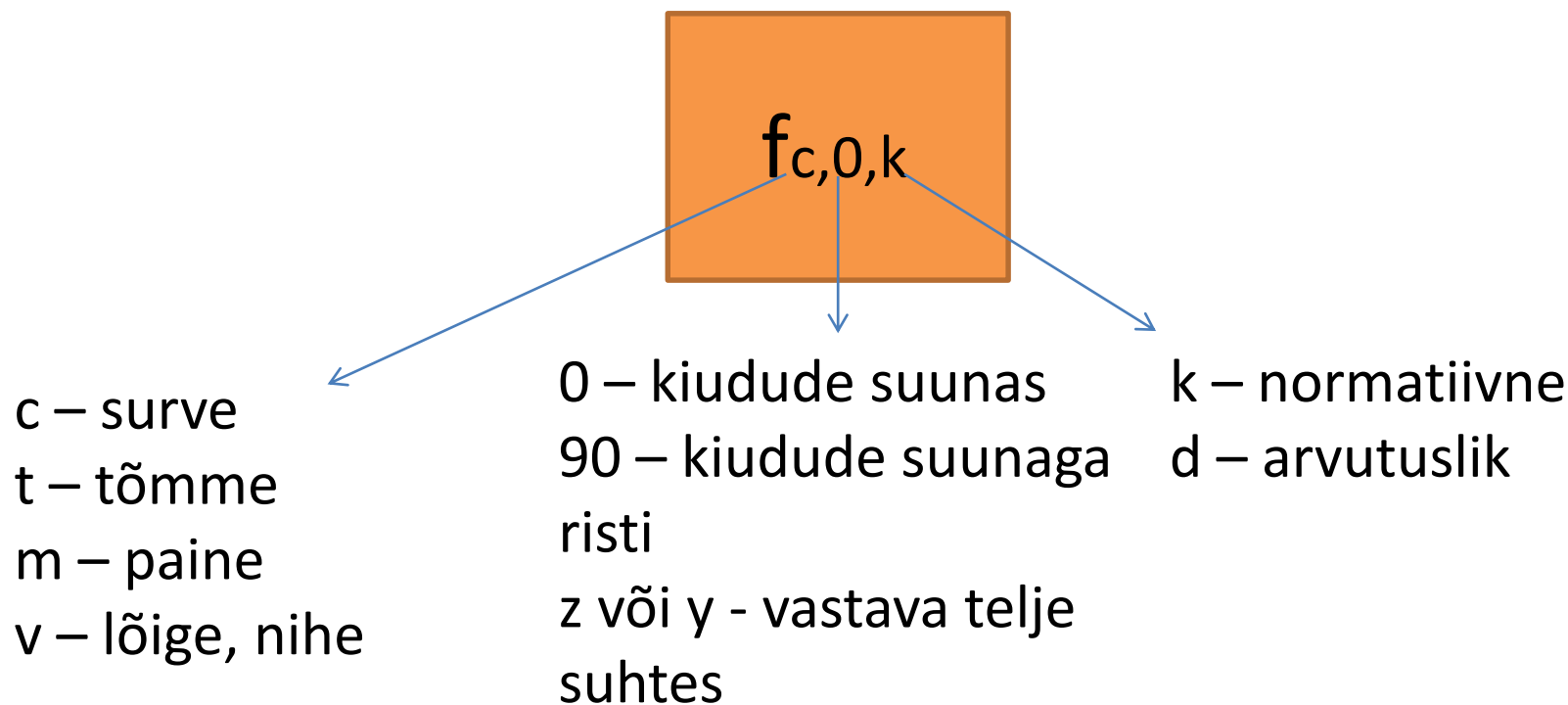
Puidu tugevus

Sõltuvalt puitkonstruktsioonile rakenduva koormuse suunast, võivad materjalis tekkida erinevat tüüpi pinged, seega esinevad ka erinevad tugevused. Neist sagedasemad on tõmbe-, surve-, painde- ja nihketugevused, joonis 5.5. Tähtsad on ka löögi- ja lõhestamistugevused ning kõvadus.



Joonis 5.5. Männipuidu (*Pinus sylvestris*) tugevusomadused olenevad puidu tihedusest ja niiskusest: a) tõmbe-, b) painde-, c) surve pikikiudu, d) surve ristikiudu, e) nihke-, f) kõvadus (B. Thunell'i järgi)

Materjalitugevuse (f) tähistus



Tugevusklassi tähistatakse tähe ja numbri kombinatsiooniga:

Täht tähistab puidu liiki **C** – okaspuu (coniferous); **D** – lehtpuu (deciduous); **GL** – liimpuit (gluelaminated) (**c** – kombineeritud; **h** – homogeenne)

Number tähistab normatiivset paindetugevust. **C30** **GL24h** **GL36c**

Puidu tugevusklassid – EN 338:2016

	Class	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30
Strength properties in N/mm²									
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	24
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0
Stiffness properties in kN/mm²									
Mean modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,mean}$	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0
5 percentile modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{m,90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75
Density in kg/m³									
5 percentile density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	360	380
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	400	410	420	430	460

Liimpuidu tugevusklassid – EN 14080:2013

Property ^a	Symbol	Glulam strength class					
		GL 20c	GL 22c	GL 24c	GL 26c	GL 28c	GL 30c
Bending strength	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28	30
Tensile strength	$f_{t,0,g,k}$	15	16	17	19	19,5	19,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,5					
Compression strength	$f_{c,0,g,k}$	18,5	20	21,5	23,5	24	24,5
	$f_{c,90,g,k}$	2,5					
Shear strength (shear and torsion)	$f_{v,g,k}$	3,5					
Rolling shear strength	$f_{r,g,k}$	1,2					
Modulus of elasticity	$E_{0,g,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000
	$E_{0,g,05}$	8 600	8 600	9 100	10 000	10 400	10 800
	$E_{90,g,mean}$	300					
	$E_{90,g,05}$	250					
Shear-modulus	$G_{g,mean}$	650					
	$G_{g,05}$	540					
Rolling shear modulus	$G_{r,g,mean}$	65					
	$G_{r,g,05}$	54					
Density ^b	$\rho_{g,k}$	355	355	365	385	390	390
	$\rho_{g,mean}$	390	390	400	420	420	430

Liimpuidu tugevusklassid – EN 14080:2013

Property	Symbol	Glulam strength class				
		GL 20h	GL 22h	GL 24h	GL 26h	GL 28h
Bending strength	$f_{m,g,k}$	20	22	24	26	28
Tensile strength	$f_{t,0,g,k}$	16	17,6	19,2	20,8	22,3
	$f_{t,90,g,k}$	0,5				
Compression strength	$f_{c,0,g,k}$	20	22	24	26	28
	$f_{c,90,g,k}$	2,5				
Shear strength (shear and torsion)	$f_{v,g,k}$	3,5				
Rolling shear strength	$f_{r,g,k}$	1,2				
Modulus of elasticity	$E_{0,g,mean}$	8 400	10 500	11 500	12 100	12 600
	$E_{0,g,05}$	7 000	8 800	9 600	10 100	10 500
	$E_{90,g,mean}$	300				
	$E_{90,g,05}$	250				
Shear modulus	$G_{g,mean}$	650				
	$G_{g,05}$	540				
Rolling shear modulus	$G_{r,g,mean}$	65				
	$G_{r,g,05}$	54				
Density	$\rho_{g,k}$	340	370	385	405	425
	$\rho_{g,mean}$	370	410	420	445	460

Arvutusolukorrad

- Alaline arv.olukord, mis vastab konstruktsiooni normaalsetele kasutustingimustele;
- Ajutine arv.olukord, mis vastab konstruktsiooni ajutistele kasutustingimustele, näiteks ehituse või remondi ajal
- Erakordne arv.olukord, mis vastab konstruktsiooni erandlikele kasutus- või keskkonnatingimustele, nt tulekahju, löögi või lokaalse purunemise tagajärjed;
- Maavärina arv.olukord, mis vastab konstruktsioonile maavärina tagajärjel mõjuvatele tingimustele.

Piirseisundid

Konstruktsiooni arvutustega kontrollitakse, et ei ületaks piirseisundi tingimusi.

1. **Kandepiirseisund** – seotud inimeste/konst. Ohutusega (konstruktsiooni purunemine, staatiline tasakaalu või stabiilsuse kaotus)
2. **Kasutuspiirseisund** – seotud inimeste mugavuse, ehitise välimusega, konstruktsiooni töötamisega norm tingimustes (deformatsioonid, vibratsioonid, taastuv või taastumatu seisund)

Koormused

Ajalise kestuse järgi:

- Alalised e. püsikoormused (**G**) – konstruktsioonide omakaal, püsiv tehnoloogiline sisseseade, eelpinge koormus (P)
- Muutuvkoormused (**Q**) – kasuskoormus vahelagedele, tuulekoormus, lumekoormus, jääkoormus, liikuvate transpordiseadmete koormus, Erakorralised koormused (A) – plahvatused, sõidukite põrge, põleng
- Koormuse arvutusväärtus $F_d = \psi \cdot \gamma_f \cdot F_k$
- Koormuste osavarutegurid üldiselt $\gamma_G = 1,2$ ja $\gamma_Q = 1,5$

Kasuskoormused

Ruum	Kasuskoormus Q_k kN/m^2
Eluruumid, haiglapalatiid, hotellide numbritoad, köögid, wc	2,0
Bürooruumid	3,0
Klassiruumid, kohvikud, lugemissaalid	3,0
Kirikud, teatri- ja kinosaalid, konverentsiruumid, ootesaalid	4,0
Muuseumid, ühiskondlike hoonete vestibüülid ja koridorid, võimlad, näitelavad, katuseterrassid	5,0
Kauplused, kaubamajad	5,0

8.1.4. Kandepiirseisundi koormus-kombinatsioonid

Alaliste või ajutiste arvutusolukordade koormus-kombinatsioonid

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

kus “+” ja Σ tähistavad mõjumist samaaegselt ühes kombinatsioonis. γ on koormuse osavarutegur vastavalt indeksile, $Q_{k,1}$ – domineeriv muutuvkoormus, $Q_{k,i}$ – muu muutuvkoormus.

Kui ei ole ilmne, milline muutuvkoormustest on domineeriv, tuleb vaadelda erinevaid variante, käsitledes kordamööda iga muutuvkoormust kui domineerivat.

8.1.5. Kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonid

Koormuskombinatsioonid, mida arvestatakse vastavates arvutusolukordades, peavad olema kooskõlas kasutusnõuete ja -tingimustega.

Normkombinatsioon (kasutuspiirseisundi normatiivne koormuskombinatsioon, harv):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Üldjuhul rakendatakse normkombinatsiooni taastumatute kasutuspiirseisundite puhul.

Tavakombinatsioon (kasutuspiirseisundi tavaline koormuskombinatsioon):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Üldjuhul rakendatakse tavakombinatsiooni taastuvate kasutuspiirseisundite puhul.

Muutuvate koormuste kombinatsioonitegurid

Koormus	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kasuskoormus			
Klass A: elamispinnad	0,7	0,5	0,3
Klass B: ametipinnad	0,7	0,5	0,3
Klass C: pinnad rahva kogunemiseks	0,7	0,7	0,6
Klass D: äripinnad	0,7	0,7	0,6
Klass E: laopinnad	1,0	0,9	0,8
Klass F: liikluspinnad (sõiduki kaal ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Klass G: liikluspinnad sõiduki kaal 30...160 kN)	0,7	0,5	0,3
Klass H: katused	0	0	0
Lumekoormus	0,5	0,2	0
Tuulekoormus	0,6	0,2	0
Temperatuur hoones (v.a tulekahju puhul)	0,6	0,5	0

Materjalide varutegurid

- Materjali arvutuslik tugevus

- $$f_d = \frac{k_{mod} k_h f_k}{\gamma_M}$$

- k_{mod} – koormuse kestuse ja niiskusesisalduse mõju arvestav tugevusparameetri modif.tegur (kui konstruktsioonile mõjuvad erinevate kestusklassidega koormused, siis enamasti valitakse k_{mod} lühema kestusklassi järgi).
- γ_M – materjali omaduse osavarutegur
- f_k – materjali normatiivne tugevus, normatiivne kandevõime
- k_h – monoliitpuidu või liimpuidu ristlõike mõõtmetest sõltuv modif.tegur

Materjalide varutegurid

Tabel NA.2.3 materjali osavarutegurid γ_M soovitatavad väärtused

Põhikombinatsioonid	
Monoliitpuit	1,3
Okaspuidust saematerjal tug.klassiga $\geq C35$	1,25
Lamell- ja spoonliimpuit	1,25
Puidupõhised plaadid	1,2
Liited	1,25
Ogaplaatliited	*
-nakketugevus	1,25
-plaadi tugevus	1,1
avariikombinatsioonid	1,0

* Liite tugevusarvutustes kasutatakse ühendatavate puitelementide osavarutegurit γ_M . Kui liide koosneb kahest erinevast puitelemendist, millel on erinev osavarutegur, tuleb liite tugevusarvutustes kasutada suuremat osavarutegurit γ_M .

Rahvuslikus lisas lisamaterjal.

02.04.2018

Marko Teder

Materjalide varutegurid

- Materjali kasutusklassid NA.2.3.1.3(1)P
- **Kasutusklassi 1** kuuluvad puitkonstruktsioonid, mis asuvad köetavates sisetingimustes vastava niiskussisalduse juures. Kasutusklassi 1 võib üldiselt lugeda ka konstruktsioonid mitmekihilise soojustusega ning talad, millede tõmbetsoon on soojustatud.
- **Kasutusklassi 2** kuuluvad välistingimustes kuivana olevad puitkonstruktsioonid. Konstruktsioon peab olema kaetud ja tuulutatud ning alt ja külgedelt märgumise vastu kaitstud. Siia kasutusklassi kuuluvad näiteks varjualuse ja külma pööningu puitkonstruktsioonid.
- **Kasutusklassi 3** kuuluvad välistingimustes ilmastiku mõjudele vastuvõtlikud, niiskes keskkonnas või vahetult vee poolt pikaajaliselt mõjutatud puitehitised. Puitkonstruktsioonide hindamisel 3 kasutusklassi kohaselt on veel kolm erinevat niiskuse alaklassi (EN 335-1:2004).
- Puu tasakaaluniiskusele lisaks on vajalik tähelepanu pöörata kasutusklassi valikul niiskuse vaheldumisele. Niiskuse muutuse mõju puitkonstruktsioonides võib olla suurem kui kõrge niiskuse taseme mõju. Eriti vajalik on pöörata tähelepanu puitmaterjali lõhenemisohule kasutusklassis 1.

Materjalide varutegurid

Kasutusklass	Õhu ja puidu suhteline niiskus 20 °C juures
1	Õhuniiskus kuni 65%, okaspuidul kuni 12%
2	Õhuniiskus kuni 85%, ületatakse mõneks nädalaks aastas. Okaspuidul kuni 20%
3	Kõrgem kui kasutusklass 2

Näited:

- 1 – kuivades ruumides olevad konstruktsioonid, nt eluruumid)
- 2 – niisketes ruumides olevad konstruktsioonid, nt siseujulad)
- 3 – välitingimustes olevad konstruktsioonid, nt varjualused, sillad)

Kasutusklass 1



02.04.2018

Marko Teder

Kasutusklass 2



02.04.2018

Mikko Feder

Allikas: Puuinfo.ee

Kasutusklass 3



02.04.2018

Marko Teder

Materjalide varutegurid

Kestusklass	Kestus	Näide
Alaline	Üle 10 aasta	Omakaal, pinnasesurve, alaliselt kinnitatud seadmed, masinad
Pikaajaline	6 kuud...10 aastat	Laokoormus, veemahuti koormus
Keskkestev	1 nädal...6 kuud	Põrandate ja rõdude kasuskoormus pinnaklassidele A-D, lumi*
Lühiaajaline	Vähem kui 1 nädal	Lumi*, tuul, koondatud kasuskoormus, pinnaklass H (katuste hooldus) ja E (liiklusvahendid), montaazikoormus, veovahendid
Hetkeline		Tuul, avariikoormus

* Soovitus: $s < 1,5 \text{ kN/m}^2$ – lühiaajaline; $s \geq 1,5 \text{ kN/m}^2$ -

Kui koormuskombinatsioon koosneb koormustest, mis kuuluvad erinevatesse kestusklassidesse, siis tuleks k_{mod} väärtus valida lühima kestusklassiga koormuse järgi.

Erinevatest materjalidest liite puhul aga

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$$

Tabel 3.1 – k_{mod} väärtused

Materjal	Standard	Kasutus-klass	Koormuse kestusklass				
			Alaline koor-mus	Pika-ajaline koor-mus	Kesk-mise kestu-sega koor-mus	Lühi-aja-line koor-mus	Hetke-line koor-mus
Saepuit	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Lamell-liimpuit	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Spoonliimpuit (LVL)	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Vineer	EN 636						
	Osa 1, osa 2, osa 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Osa 2, osa 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Osa 2, osa 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Osa 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Orienteeritud laastuga plaat (OSB)	EN 300						
	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Puitlaastplaat	EN 312						
	Osa 4, osa 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	Osa 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
	Osa 6, osa 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	Osa 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Puitkiudplaat, kõva	EN 622-2						
	HB.LA, HB.HLA 1 või 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	HB.HLA1 või 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Puitkiudplaat, keskmine	EN 622-3						
	MBH.LA1 või 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS1 või 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS1 või 2	2	–	–	–	0,45	0,80
Puitkiudplaat, MDF	EN 622-5						
	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MDF.HLS	2	–	–	–	0,45	0,80

Materjalide varutegurid

Näide: vahelae põrandataala arvutuslik paindetugevus??

Puit C24

$$\rightarrow \gamma_M = 1,3$$

Normatiivne paindetugevus $\rightarrow f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$

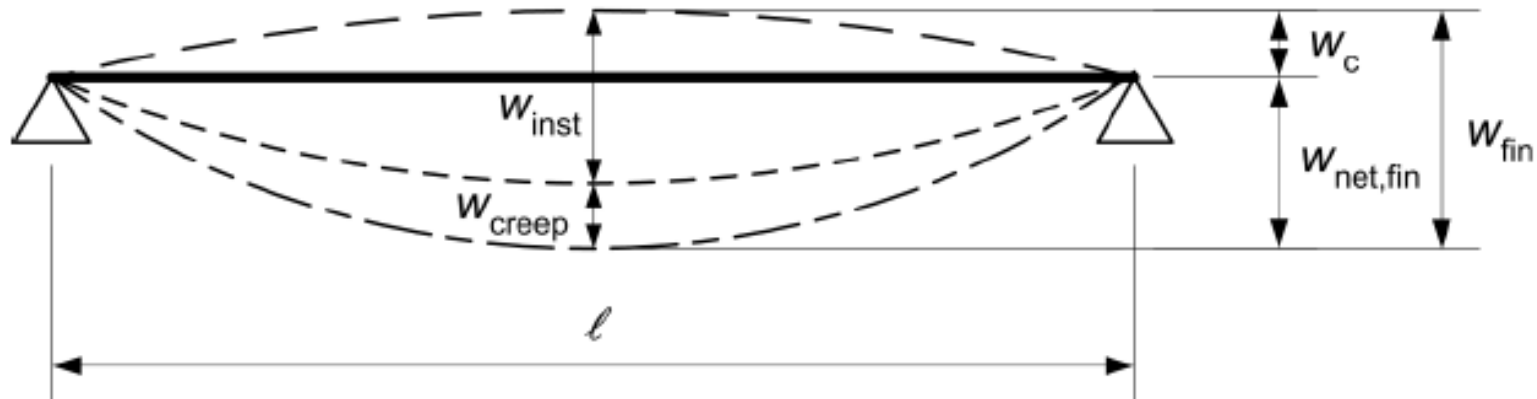
Koormused: omakaal ja kasuskoormus

Kasutusklass 1 $\rightarrow k_{mod} = 0,8$

Paindetugevuse arvutuslik väärtus

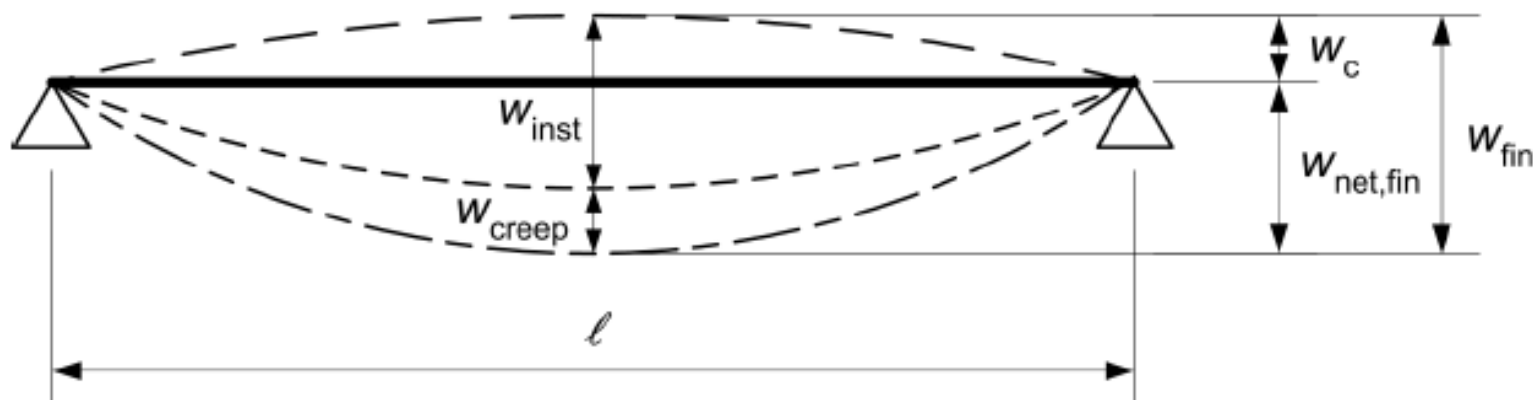
$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2 \downarrow \text{ca -60\%}$$

Tala lubatav läbipaine



- W_c – eeltõus
- W_{inst} – on hetkeline läbipaine
- W_{creep} – on roomeläbipaine
- W_{fin} - On lõplik läbipaine
- $W_{net,fin}$ – on lõplik netoläbipaine (eesti standardis, tegelik läbipaine)
- $W_{net,fin} = W_{inst} + W_{creep} - W_c = W_{fin} - W_c$

Tala lubatav läbipaine



	w_{inst}^*	$w_{net,fin}^{**}$	w_{fin}^{***}
Talad kahel toel			
Peakandjad	$L/400$	$L/300$	$L/200$
Roovid, teisejärgulised kandjad	-	$L/200$	$L/150$
Konsoolsed talad			
Peakandjad	$L/200$	$L/150$	$L/100$
Roovid, teisejärgulised kandjad	-	$L/100$	$L/75$

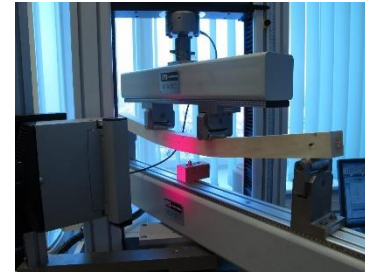
* Puudutab põhiliselt põrandaid

** ei kehti kaarte puhul

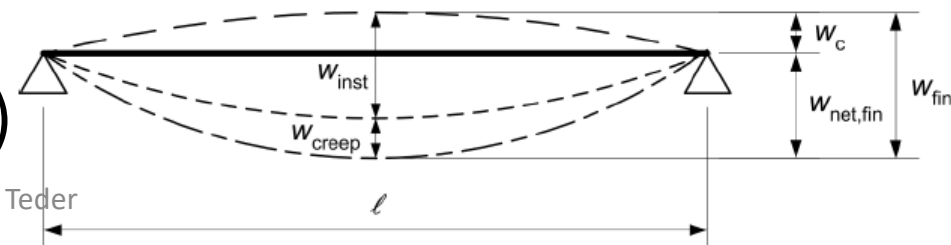
*** Puudutab eeltõusuga ning toepunktide vahel painutatud või murtud kujuga konstruktsioone.

Paindele töötava tala kontroll

- Kandepiirseisundis kontrollid:
 - **Paindele (paimdemoment)**
 - Muljumisele/survele ristikiudu toel (toereaktsioon)
 - Nihkele (põikjõud)



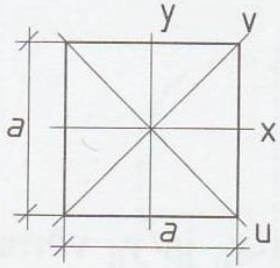
- Kasutuspiirseisundis kontrollid:
 - Lubatud läbipaine
 - Vibratsioon
 - Tulekahjuolukord (eraldi)



Pinnamomendid

Kujund	Pindala A	Telginertsimoment	Vastupanumoment	Inertsiraadius
--------	-------------	-------------------	-----------------	----------------

Ruut



$$a^2$$

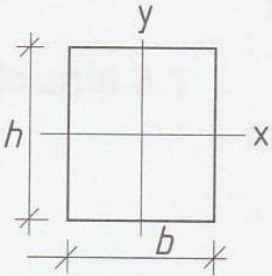
$$I_x = I_y = I_u = I_v = a^4/12$$

$$W_x = W_y = a^3/6$$

$$W_u = W_v = a^3/6\sqrt{2}$$

$$i_x = i_y = i_u = i_v = a/\sqrt{12}$$

Ristkülik



$$bh$$

$$I_x = bh^3/12$$

$$I_y = b^3h/12$$

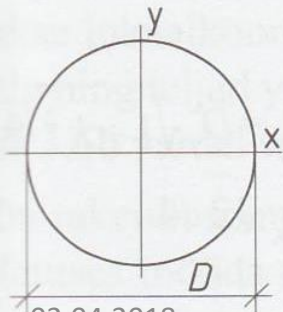
$$W_x = bh^2/6$$

$$W_y = b^2h/6$$

$$i_x = h/\sqrt{12}$$

$$i_y = b/\sqrt{12}$$

Ring



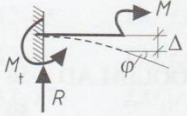
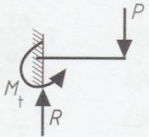
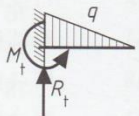
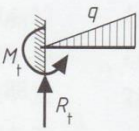
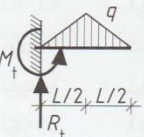
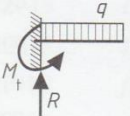
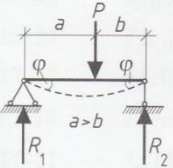
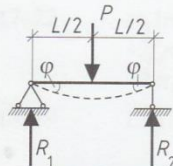
$$\pi D^2/4$$

$$I_x = I_y = \pi D^4/64$$

$$W_x = W_y = \pi D^3/32 \quad i_x = i_y = D/4$$

4.1. ÜHESILDELISE JA KONSOOLTALAD

Tabel 4.1. Liht- ja konsooltalad

Skeem	Toereaktsioonid	Ekstreemne põikjõud Q ja paindemoment M	Ekstreemne pöördemoment φ ja paigutis Δ
	$R=0$ $M_t=M$	$Q=0$ $M=M$	$\varphi=ML/EI$ $\Delta=ML^2/2EI$
	$R=P$ $M_t=PL$	$Q=P$ $M=PL$ $X'=0$	$\varphi=PL^2/2EI$ $\Delta=PL^3/3EI$
	$R=qL/2$ $M_t=qL^2/6$	$Q=qL/2$ $M=qL^2/6$	$\varphi=qL^3/24EI$ $\Delta=qL^4/30EI$
	$R=qL/2$ $M_t=qL^2/3$	$Q=qL/2$ $M=qL^2/3$	$\varphi=qL^3/8EI$ $\Delta=11qL^4/120EI$
	$R=qL/2$ $M_t=qL^2/4$	$Q=qL/2$ $M=qL^2/4$	$\varphi=7qL^3/96EI$ $\Delta=11qL^4/192EI$
	$R_1=qL$ $M_t=qL^2/2$	$Q=qL$ $M=qL^2/2$ $X'=0$	$\varphi=qL^3/6EI$ $\Delta=qL^4/8EI$
	$R_1=Pb/L$ $R_2=Pa/L$	$Q=R_2$ kui $a>b$ $M=Pab/L$ $X'=a$ $X''=[(L^2-b^2)/3]^{0.5}$	$\varphi_1=(PL^2/6EI)(b/L-b^3/L^3)$ $\varphi_2=(PL^2/6EI)(a/L-a^3/L^3)$ $\Delta_{(X=a)}=Pa^2b^2/3EIL$ $\Delta=Pb[3(L^2-b^2)^3]^{0.5}/27EIL$
	$R_1=R_2=P/2$	$Q=P/2$ $M=PL/4$	$\varphi=PL^2/16EI$ $\Delta=PL^3/48EI$

Marko Teder

Skeem	Toereaktsioonid	Ekstreemne põikjõud Q ja paindemoment M	Ekstreemne pöördemoment φ ja paigutis Δ
	$R_1 = R_2 = qL/2$	$Q = qL/2$ $M = qL^2/8$ $X' = L/2$	$\varphi = qL^3/24EI$ $\Delta = 5qL^4/384EI$
	$R_1 = qa(2 - \xi)/2$ $R_2 = qa\xi/2$	$Q = qa(2 - \xi)$ $M = qa^2(2 - \xi)^2/8$ $X' = a(2 - \xi)/2$	$\varphi_1 = qa^2L(1 - \xi/2)^2/6EI$ $\varphi_2 = qa^2L(1 - \xi^2/2)/12EI$ $\Delta = qa^3b(4 - 3\xi)/24EI$
	$R_1 = -M/L$ $R_2 = M/L$	$Q = R_1$ $M = M$ $X' = 0$	$\varphi_1 = ML/3EI$ $\varphi_2 = ML/6EI$ $\Delta = 0,0642ML^2/EI$ $X'' = 0,423L$
	$R_1 = R_2 = 0$	$Q = 0$ $M = M$	$\varphi_1 = \varphi_2 = ML/2EI$ $\Delta = ML^2/8EI$
	$R_1 = -M/L$ $R_2 = M/L$	$Q = R_1$ $M = Mb/L$ $M = Ma/L$	$\varphi_1 = -ML/6EI(1 - 3b^2/L^2)$ $\varphi_2 = ML/6EI(1 - 3a^2/L^2)$ $\Delta = Mab(a - b)/3EIL$
	$R_1 = q_0L/3$ $R_2 = q_0L/6$	$Q = R_1$ $M = 0,0642q_0L^2$ $X' = 0,423L$	$\varphi_1 = 8q_0L^3/360EI$ $\varphi_2 = 7q_0L^3/360EI$ $\Delta = 0,00652q_0L^4/EI$ $X'' = 0,429L$

EI – tala ristlõike paindejäikus

L – silde või konsooli pikkus

X' – ekstreemse paindemomendi asukoht

X'' – ekstreemse paigutise asukoht, kui see erineb jõu rakenduspunktist

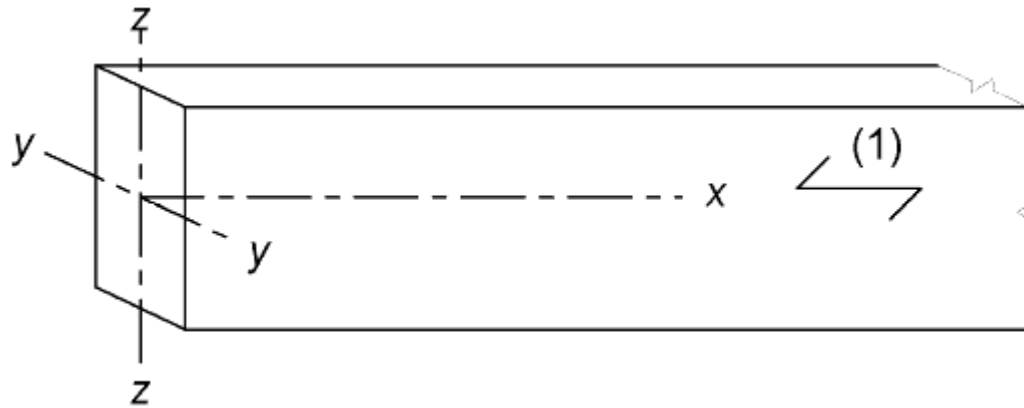
M – välismoment

P – punktkoormus

q – lauskoormus

Marko Teder

Elemendi teljed



- (1) – kiudude suund

Kontroll paindele

- **Paindetugevus**

- Puhas paine (elastse materjali järgi)

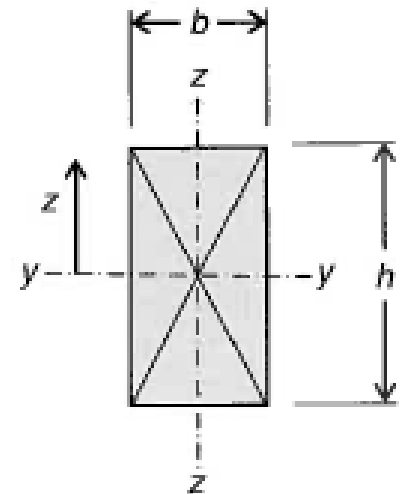
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y}$$

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

$\sigma_{m,y,d}$ - paindepinge y-telje suhtes

$f_{m,d}$ - arvutuslik paindetugevus

- Ka paindel tuleb arvestada nõrgestustega (20 cm pikkuses olevad nõrgestused loetakse ühes lõikes olevaks)



Näide

- Vahelaepõrand, puit C24
50x200 mm s.600 mm

Alaline koormus $G_k = 0,6 \frac{kN}{m^2}$

Kasuskoormus $Q_k = 2,0 \frac{kN}{m^2}$

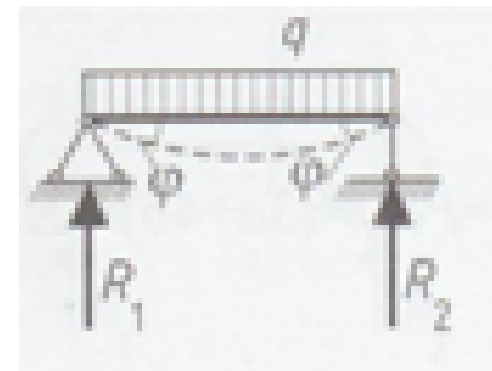
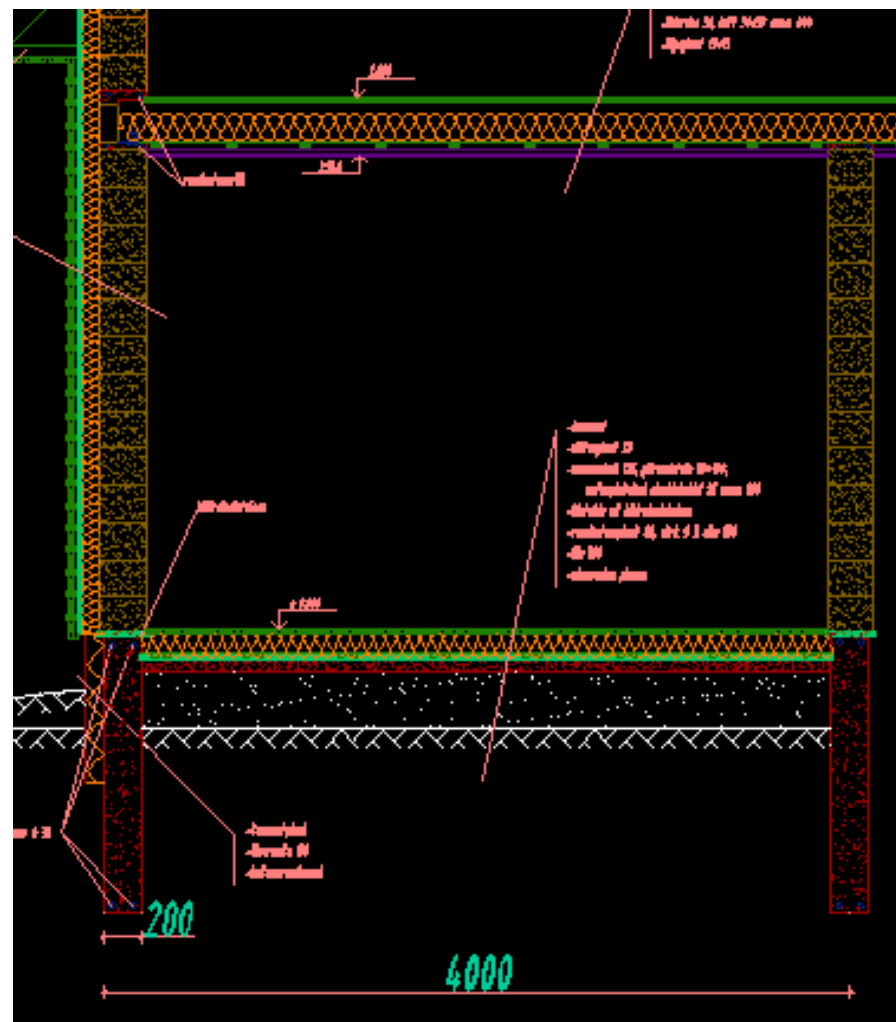
Kandepiirseisundi järgi
koormuskomb.:

$$K_d = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) \cdot S_{tala} = 2,232 \frac{kN}{m}$$

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 3,333 \cdot 10^5 mm$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y}$$



$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \rightarrow \text{võiks olla ca 0,6, et tagada läbipaindekontroll}$$

Mis siis kui välja ei anna tugevus või liiga piiri peal?

- Tugevusklassi muutmine
 - Ristlõike muutmine, kas kasvatada kõrgusesse või laiusesse
 - Talade samm
 - Koormusskeem
-
- Talade esialgne dimensioonimine T. Masso „Väikemajad“ või Ehituskonstruktori käsiraamat

Diagram illustrating the comparison of two rectangular cross-sections:

Left cross-section: 75x200 mm, 15000 mm²

Right cross-section: 50x250 mm, 12500 mm²

Comparison of section moduli (W_y):

$$W_y = ? \quad \longleftrightarrow \quad W_y = ?$$

Calculated values:

$$W_y = 5 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad W_y = 5,2083 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Comparison of moments of inertia (I_y):

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = ?$$

Calculated values:

$$I_y = 5,0 \cdot 10^7 \quad I_y = 6,5 \cdot 10^7$$

Surve pikikiudu

Surve pikikiudu

Puitpost C24, L=2,5 m (koos 20 mm ekstsentrilisusega, liigendkinnitustega)	Ligikaudne arvutuslik koormustaluvus (kN)
100x100 mm ²	30
150x150 mm ²	110
200x200 mm ²	250

Ilma nõtketa

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

Koos nõtkehuga

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{net}}$$

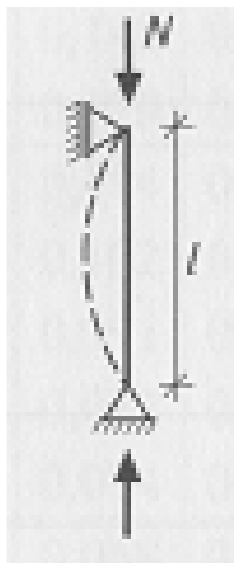
Saleda tsentriliselt surutud varda sirge tasakaaluasend muutub koormuse teataval väärtusel ebastabiilseks – varras nõtkub välja.

Enamlevinud nõtkepikkused



Konsoolpost

$$l_{ef} = 2 \times l$$



Liigendkinnitustega
post

$$l_{ef} = 1 \times l$$



Ühes otsas jäiga,
teises
liigendkinnitusega
post

$$l_{ef} = 0,707 \times l$$

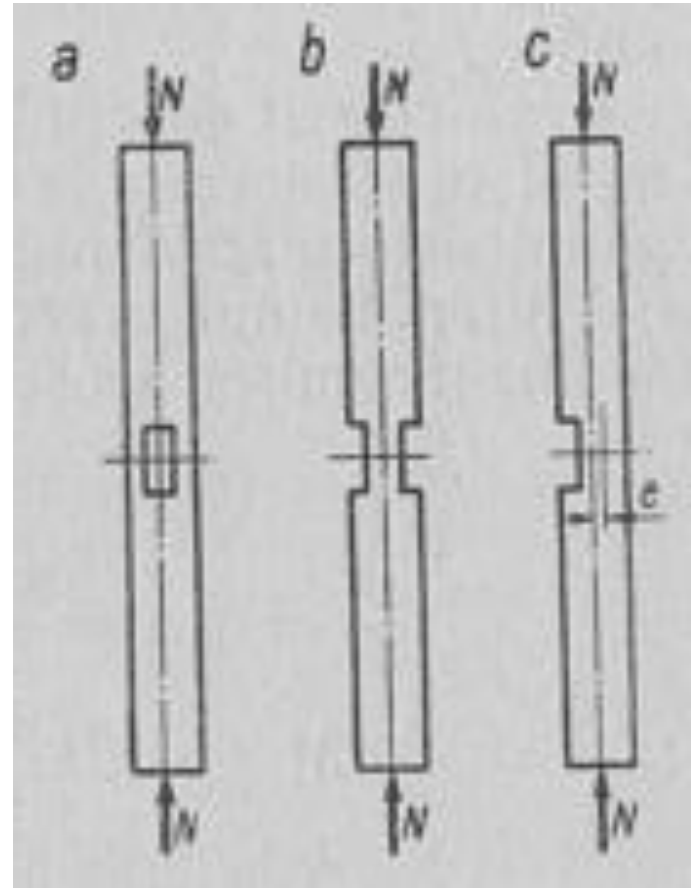
Posti nõrgestuste arvestamine tsentrilisel survel

Varda arvutuslikku ristlõikepinda A_d võib tsentrilisel survel määrata järgmiselt:

Skeem a) kui sisemiste nõrgestuste korral $A_{neto} > 0,75A_{bruto}$, siis $A_d = A_{bruto}$; kui $A_{neto} < 0,75A_{bruto}$, siis $A_d = 4/3 A_{neto}$;

Skeem b) sümmeetriliste väliste nõrgestuste puhul võetakse $A_d = A_{neto}$;

Skeem c) ebasümmeetriliste väliste nõrgestuste puhul tuleb varrast arvutada ekstsentrilisele survele



Muljumine

Surve ristikiudu (muljumine)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}$$

Kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu

Tegur, mis arvestab koormuse konfiguratsiooni, lõhestumise võimalust ja survedeformatsioonide astet. $1,0 \leq k_{c,90} \leq 1,75$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{ef}}$$

Arvut. survetugevus ristikiudu

A_{ef} – efektiivne kontaktpind, mis määratakse arvestades efektiivset kontaktpikkust pikikiudu, kus tegelikku kontaktpikkust l on suurendatud mõlemas suunas 30 mm võrra, kuid mitte rohkem kui toe vaba otsa pikkus l või $l_1 / 2$



Nihe

- Nihe (üldiselt)

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

- τ_d - arvutuslik nihkepinge
- $f_{v,d}$ - nihketugevuse arvutusväärtus
- Ristküliklõike puhul

- $\max \tau_d = \frac{1,5 \cdot V}{b_{ef} \cdot h}$

- V – põikjõud

- b_{ef} – ristlõike efektiivlaius $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$

- h – ristlõike kõrgus

$$k_{cr} = 0,67$$

Kehtib nii saepuidu
kui liimpuidule

Kandepiirseisund

- Tala ülemisel küljel toest kuni kauguseni h (h – tala kõrgus toel) mõjuva koondatud jõu F osa üldises põikjõus toel ei pea arvestama. Taladele, millel on toel sisselõige, kehtib selline nihkejõudude vähendamine ainult juhul, kui sisselõige on toe vastasküljel.

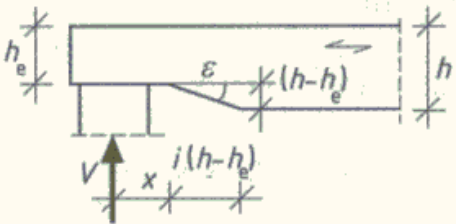
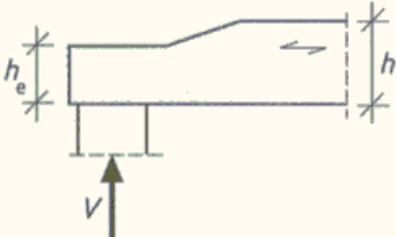
Kandepiirseisund

- Toel sisselõikega ristkülikulise ristlõikega talade

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v f_{v,d}$$

- h_{ef} on tala ristlõike kõrgus sisselõike kohal
- k_v on sisselõike kujust sõltuv tegur (tabelist)

Tabel 14.20. Tegurid k_v sisselõikega taladele

Sisselõike kuju	Tegur k_v
Sisselõige tala toepoolsel küljel 	$k_v = \min \begin{cases} 1,0 \\ k_n \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right) \\ \sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right) \end{cases}$
Sisselõige tala vastasküljel 	$k_v = 1$

kus h ristlõike kõrgus

x kaugus toereksioonist kuni ristlõike kaldenurgani mm

$\alpha = h_{ef}/h$

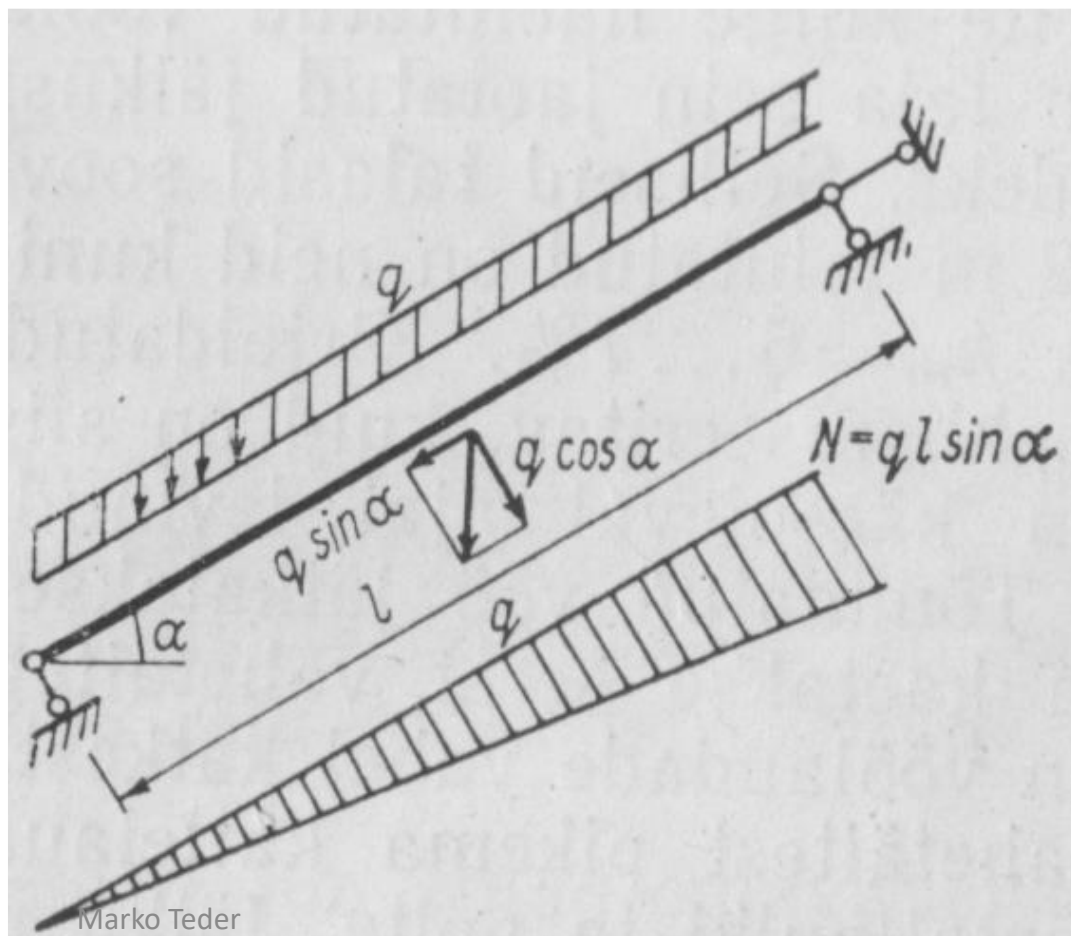
i sisselõike kalle, $i = \tan \epsilon$

ϵ sisselõike kaldenurk

k_n spoonliimpuidu puhul 4,5, saepuidu puhul 5,0, liimpuidu puhul 6,5

Kandepiirseisund

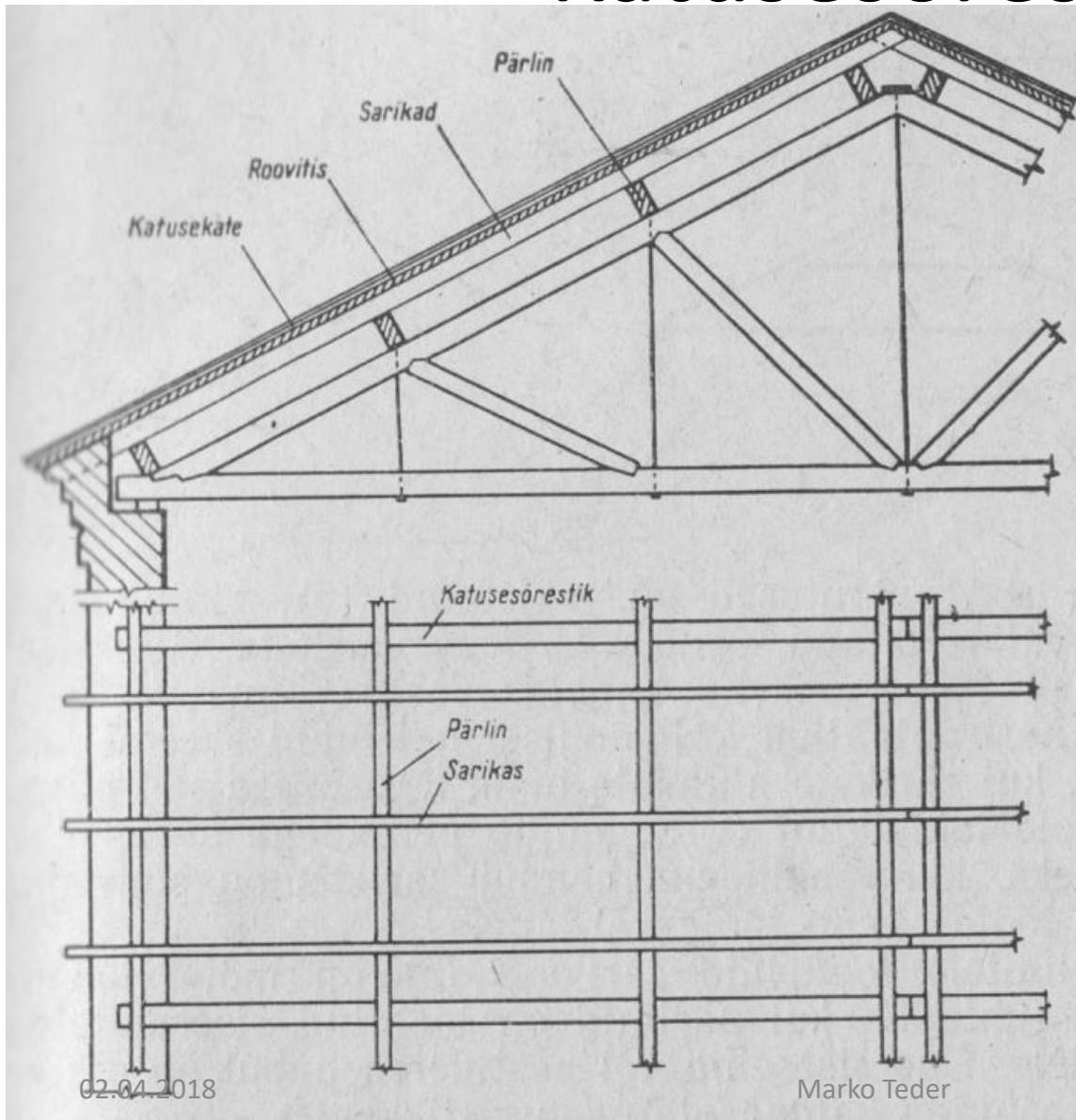
- Kaldtalad:
 - Kui ülemise otsa kinnitus on liikumatu, siis tekib talas tõmbejõud
 - Normaaljõud on leitav
- $$N = q \cdot l \cdot \sin \alpha$$



Kandepiirseisund

- Kaldtalad:
 - Kui tala alumine ots on kinnitatud ja ülemine ots vabal toel, siis tekivad talas survejõud (normaaljõud on leitav vt eelmist slaidi)
 - Talade kinnitamisel mõlemast otsast tekivad tala ülemises otsas tõmbejõud ja alumises otsas survejõud. Kui tala nurk on $\leq 45^\circ$, siis võib pikijõu (surve või tõmme) väärtuseks võtta 0 (N=0).

Katusesõrestik



Kanda koormused
sõlmedesse.

Üldiselt jäävad
puidust
katusesõrestike
kandevad
vahemikku 9...24 m,
Harvadel juhtudel
kuni 36 m.

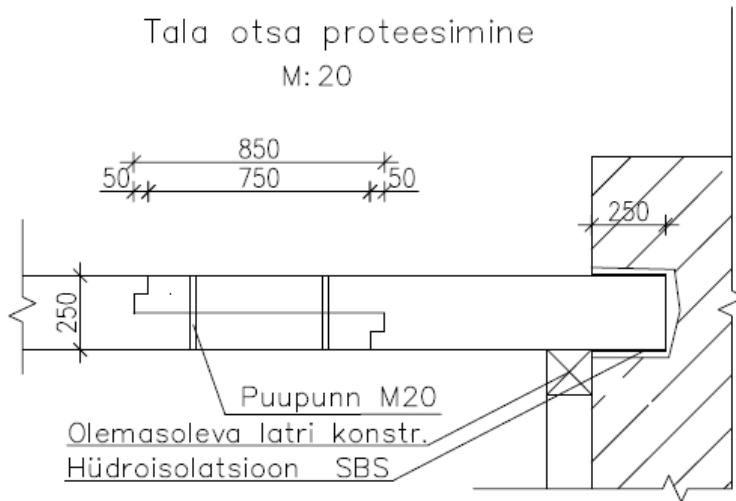
Üldisi nõuandeid

- Posttalade süsteemis peavad diagonaalid sees olema (ehk moodustuma kolmnurgad), et oleks tagatud kujukindlus
- Jälgida, et poleks suuri nõrgestusi (oksakohad jm) talade tõmbetsoonis
- Nihkele purunemine on ohtlik peamiselt lühemate silletega taladel (raudbetoon vs puit purunemine nihkel)
- Muljumisel probleem peamiselt punktkoormuste osas

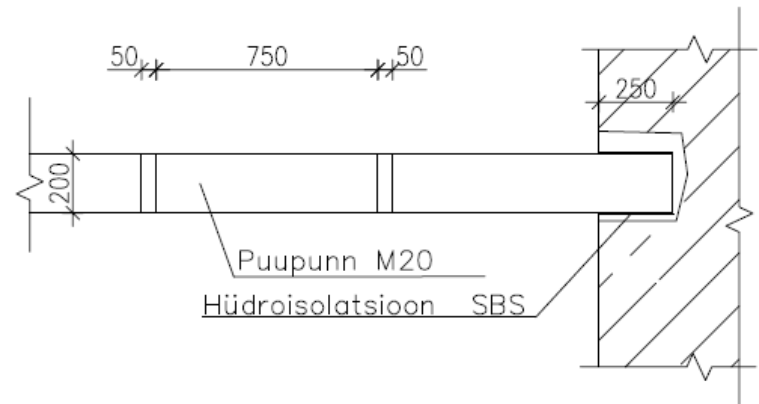


Tappliide paindele

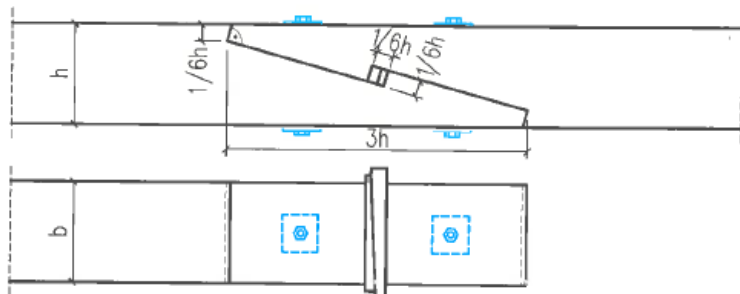
Tala otsa proteesimine
M: 20



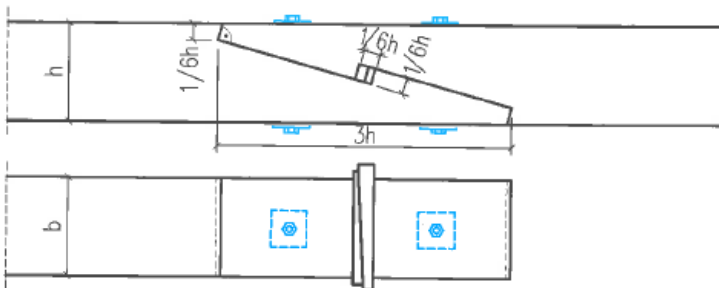
Tala otsa proteesimine
(pealtvaade)
M: 20



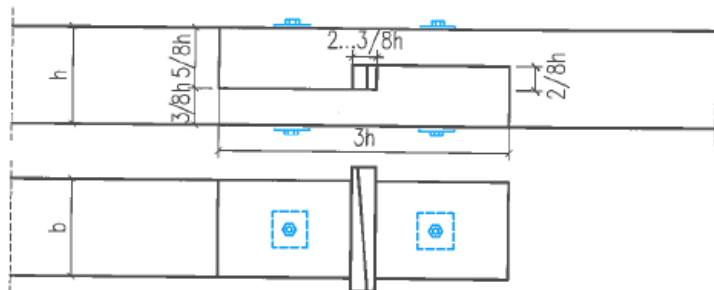
Tappliited



Laetala protees.
Skeem: Nele Rohtla, Muinsuskaitseamet.

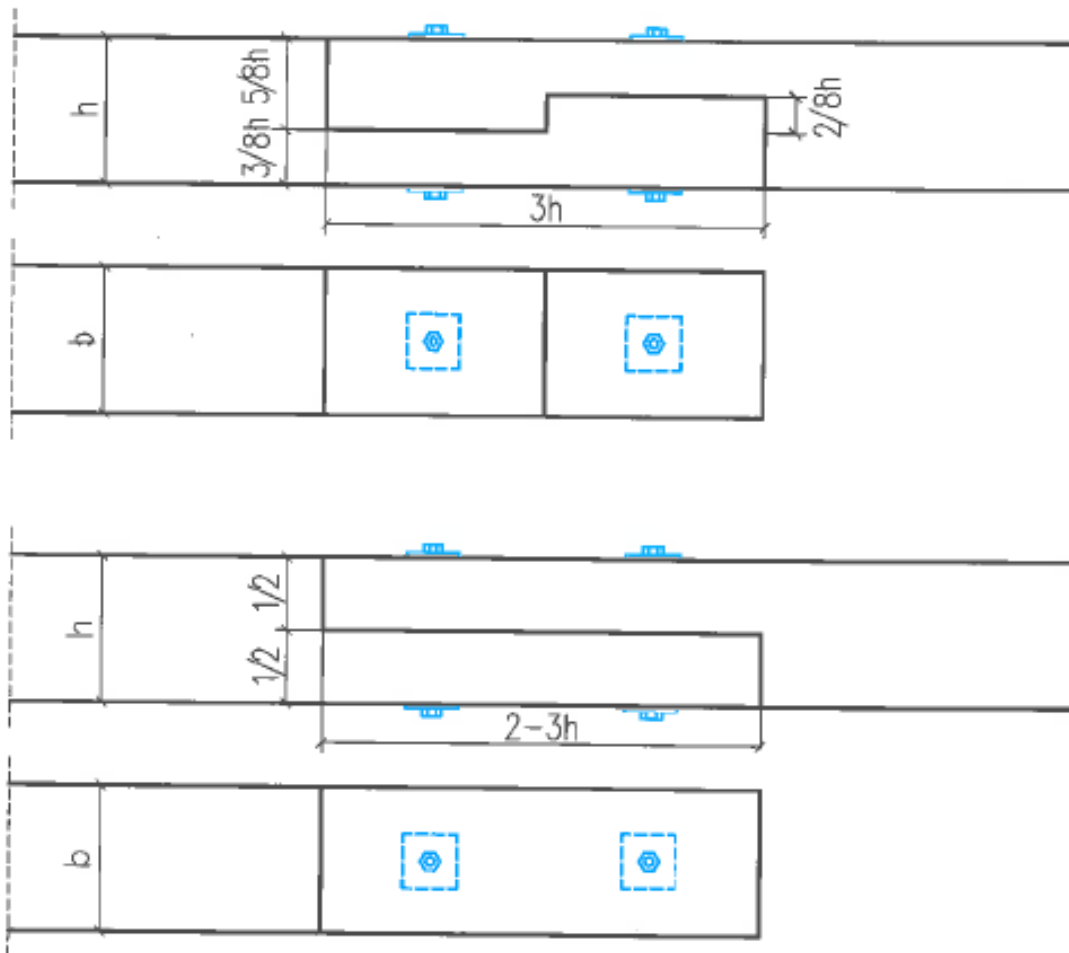


Müürilati proteesid.
Skeem: Nele Rohtla, Muinsuskaitseamet.



Katuseraamat. Vana
maamaja.

Tappliited



Sarikate proteesimise viisid.

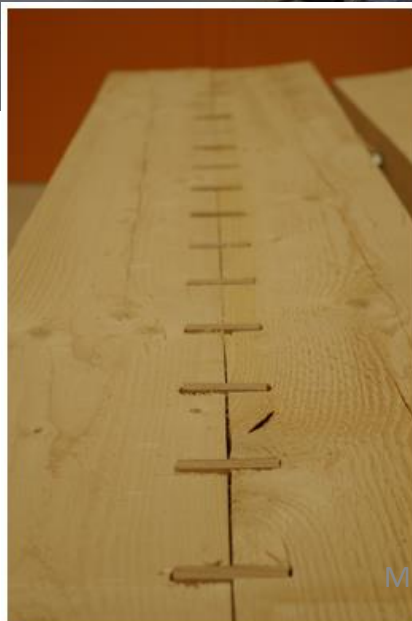
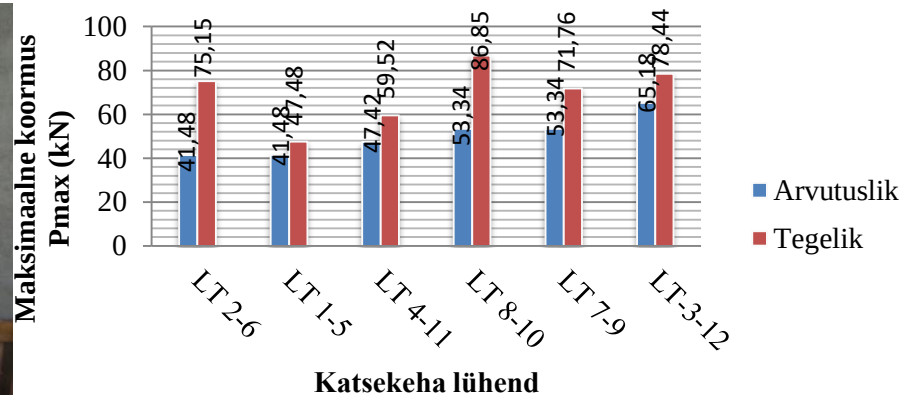
Skeem: Nele Rohtla, Muinsuskaitseamet.

Katuseraamat. Vana
maamaja.

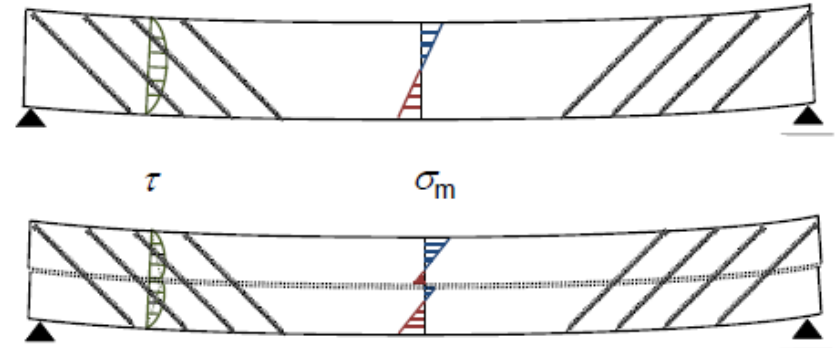
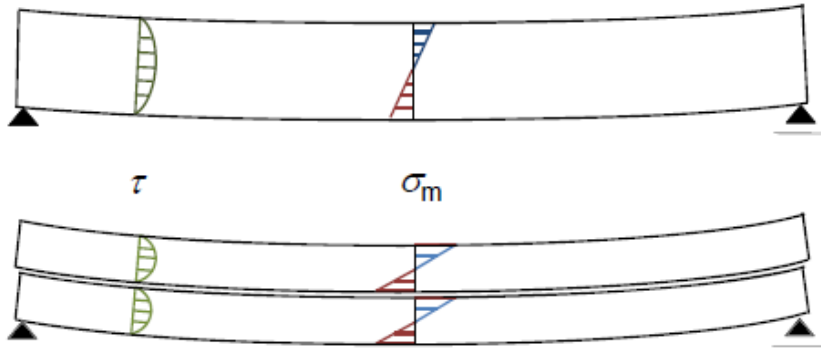
Tappliited



Puitplaatnaaglitega liittala

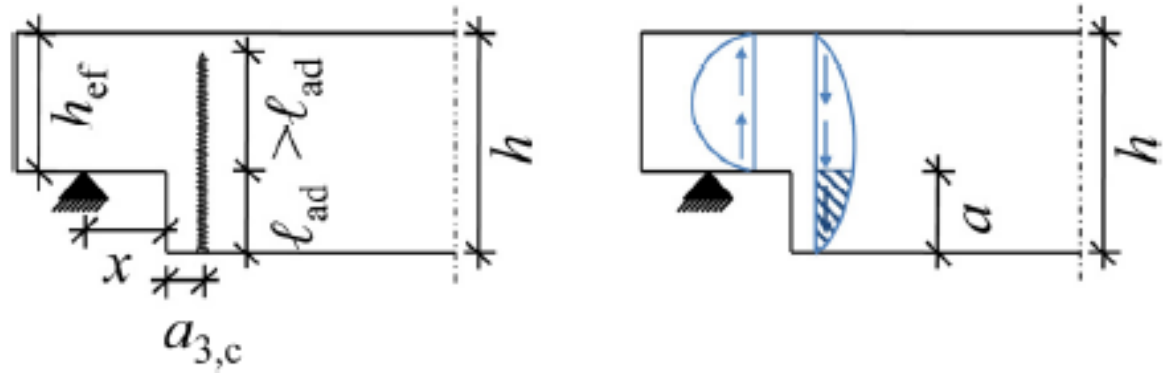
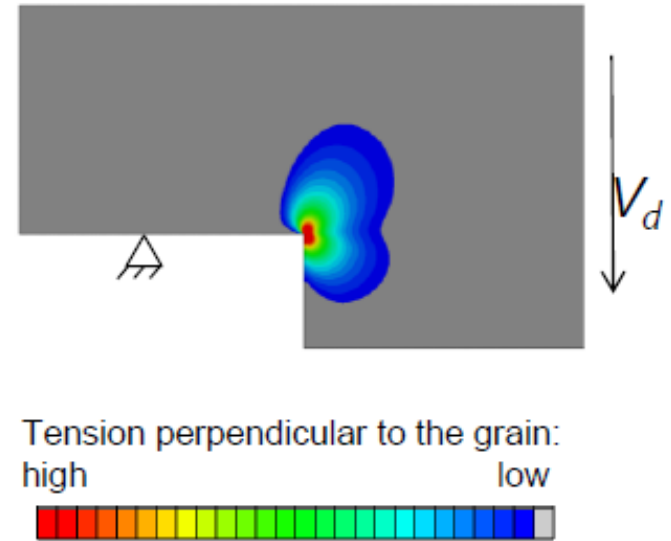


Liittala



Täiskeermekruvid

- Sisselõikega talad, suured pinged sisselõike nurgas



P.Dietsch 2016

Figure 5: Notched beam: reinforcement (left) and distribution of shear stresses (right).

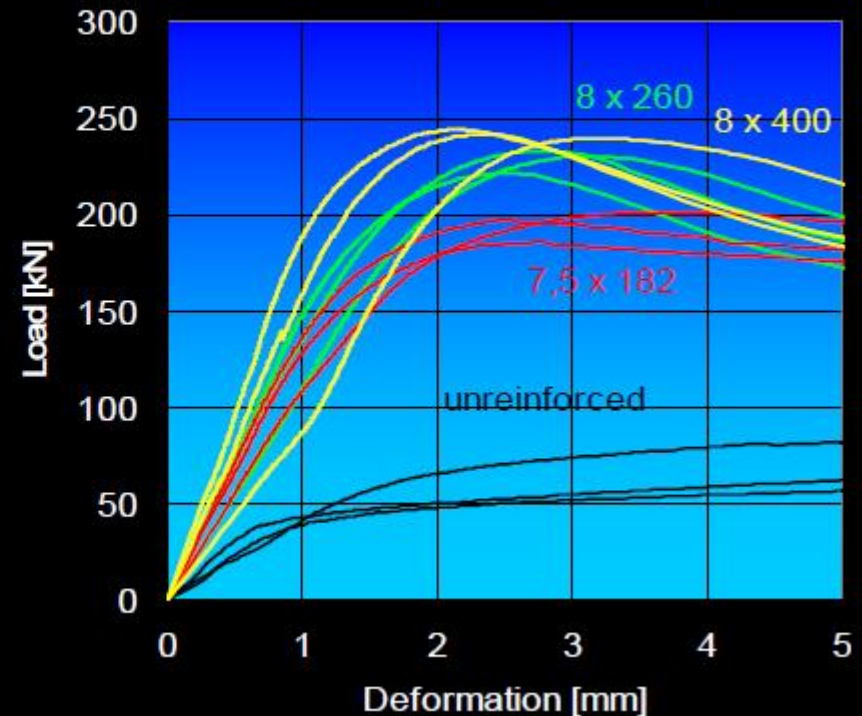
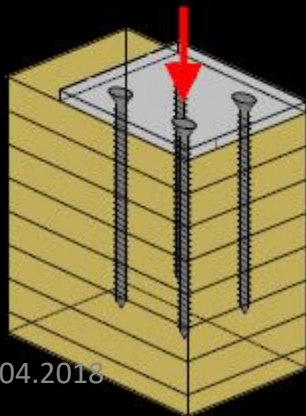
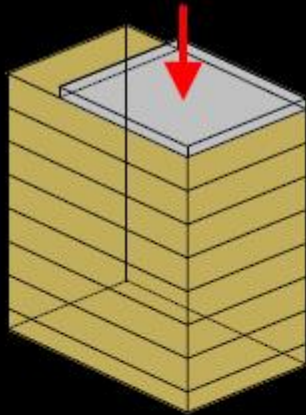
Marko Teder

Täiskeermekruvid

- Kui muljumise oht on suur, siis kasutada täiskeermekruve ja metallplaati

P.Dietsch 2016

- Self-tapping screws as reinforcements in beam supports (contents by courtesy of: H.J. Blaß et al., KIT Karlsruhe)



Täna kuulamast!



marko.teder@emu.ee