

Puitkonstruktsioonide konstrueerimise alustest ja rusikareeglitest. Lihtsamad arvutusnäited.

Marko Teder, PhD
tedermarko@gmail.com

01.11.2023

Marko Teder

Puit ehituses

Puidu bioloogiliste omaduste tõttu on see
tarbematerjal:

- heterogeenne (omaduste ebäühtlus erinevatel osadel);
- anisotroopne (füüsikaliste omaduste erinevus eri suundades);
- hügrokoopne (veesisalduse muutumine vastavalt keskkonnale) ja
- reoloogne (pikaajalise välisjõu mõjul puidu kuju ja mõõtmete muutumine).

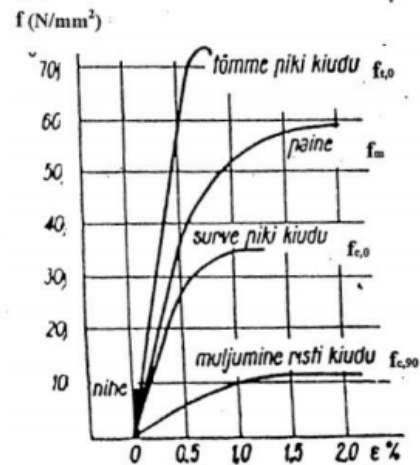
(Saarman ja Veibri 2006)

01.11.2023

Marko Teder

Puidu tugevus

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

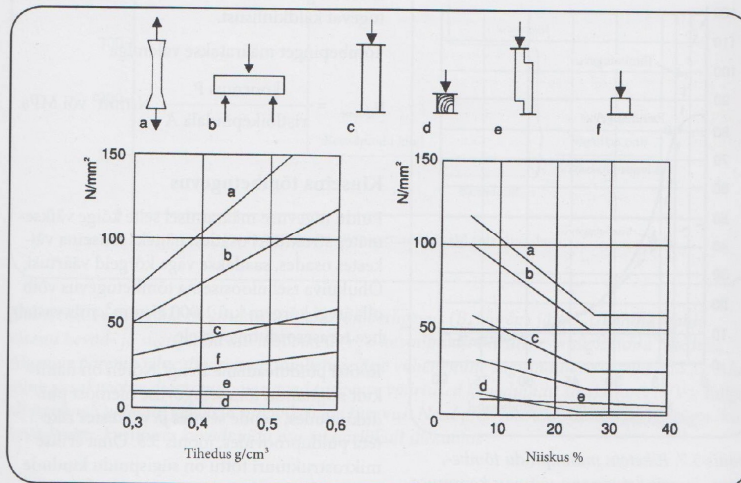


01.11.2023

Marko Teder

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) tõmbepeinge, b) paindepeinge, c) surve pikikiudu, d) surve risti kiudu, e) nihkepeinge, f) kõvadus (B² Thunell'i järgi)

Marko Teder

(Saarman ja Veibri 2006)

Üldist

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

01.11.2023

Marko Teder

Üldist

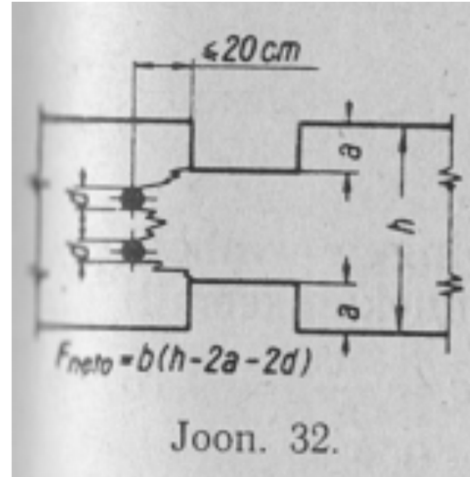
- Ristlõikepindala vähenemise võib jätta arvestamata järgmistel juhtudel:
 - 6 mm või väiksema läbimõõduga naelad ja kruvid, mis on sisestatud ilma ettepuurimiseta;
 - Survetsoonis olevad augud, mis on täidetud puidust suurema jäikusega materjaliga.

01.11.2023

Marko Teder

Üldist

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



01.11.2023

Marko Teder

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**

01.11.2023

Marko Teder

Materjalitugevuse (f) tähistus

$f_{c,0,k}$

c – surve
t – tõmme
m – paine
v – lõige, nihe

0 – kiudude suunas
90 – kiudude suunaga
risti
z või y - vastava telje
suhtes

k – normatiivne
d – arvutuslik

Tugevusklassi tähistatakse tähe ja numbriga kombinatsiooniga:

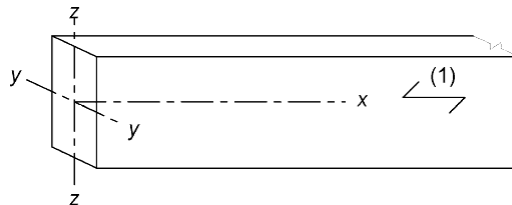
Täht tähistab puidu liiki **C** – okaspuu (coniferous); **D** – lehtpuu (deciduous); **GL** – liimpuit (gluelaminated) (**c** – kombineeritud; **h** – homogeenne)

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

01.11.2023

Marko Teder

Elemendi teljed

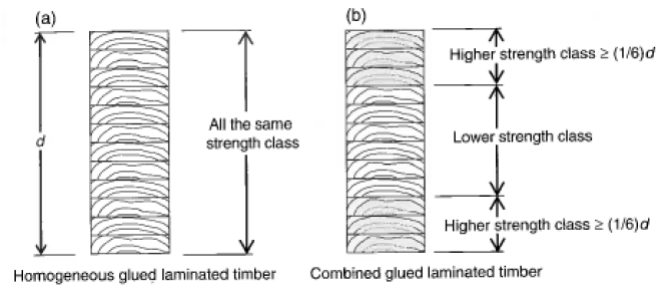


- (1) – kiudude suund

01.11.2023

Marko Teder

Liimpuit – homogeenne või kombineeritud



01.11.2023

Marko Teder

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

01.11.2023

Marko Teder

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

01.11.2023

Marko Teger

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

01.11.2023

Marko Teger

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.

01.11.2023

Marko Teder

Piirseisundid

Konstruktsiooniarvutustega 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)

01.11.2023

Marko Teder

Koormused

Ajalise kestuse järgi:

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

01.11.2023

Marko Teder

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

01.11.2023

Marko Teder

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 osavaru-tegur 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.

01.11.2023

Marko Teder

8.1.5. Kasutuspiirseisundi koormus-kombinatsioonid

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

Normkombinatsioon (kasutuspiirseisundi normatiivne koormuskombinatsioon, harv):

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

(Puitkonstruktsioonide puhul, algdeformatsioonid)

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.

01.11.2023

Marko Teder

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

01.11.2023

Marko Teder

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 (soovituslik varutegur)

01.11.2023

Marko Teder

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	*
- <i>nakketugevus</i>	1,25
- <i>plaadi tugevus</i>	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.

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.

01.11.2023

Marko Teder

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)

01.11.2023

Marko Teder

Kasutusklass 1



01.11.2023

Marko Teder

Kasutusklass 2



01.11.2023

Allikas: Puuinfo.ee

Kasutusklass 3



01.11.2023

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*
Lühiajaline	Vähem kui 1 nädal	Lumi*, tuul, koondatud kasuskoormus, pinnaklass H (katuste hooldus) ja E (liiklusvahendid), montaažikoormus, veovahendid
Hetkeline		Tuul, avariikoormus

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

01.11.2023

Marko Teder

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

Erinevatest materjalidest liite puhul aga

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

01.11.2023

Tabel 3.1 – k_{mod} väärtused

Materjal	Standard	Kasutus-klass	Koormuse kestusklass					
			Alaline koormus	Pikaajaline koormus	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	
Lamelliimpuit	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, keskmise	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 või 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MDF.HLS	1	–	–	–	0,45	0,80
		MDF.HLS	2	–	–	–	0,45	0,80

Materjalide varutegurid

Näide: vahelae põrandata arvutuslik paindetugevus ?

Puit C24 → $\gamma_M = 1,3$

Normatiivne paindetugevus →

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

Koormused: omakaal ja kasuskoormus

Kasutusklass 1

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

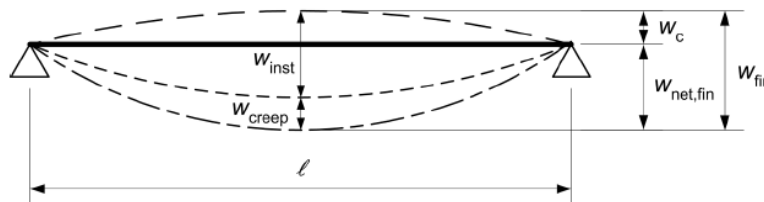
Paindetugevuse arvutuslik väärtus

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

01.11.2023

Marko Teder

Tala lubatav läbipaine

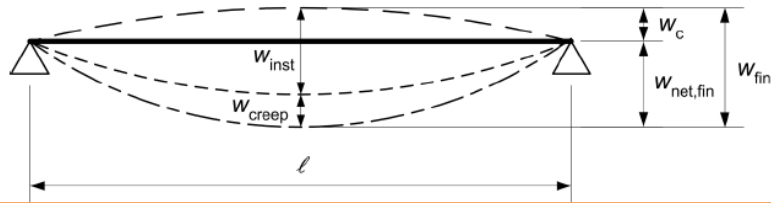


- W_c – eeltõus
- W_{inst} – on hetkeline läbipaine
- W_{creep} – on roomeläbipaine
- W_{fin} - On lõplik läbipaine
- $W_{net,fin}$ – on lõplik netoläbipaine (eesti standardis, tegelik läbipaine)
- $W_{net,fin} = W_{inst} + W_{creep} - W_c = W_{fin} - W_c$

01.11.2023

Marko Teder

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 pörandaid

** ei kehti kaarte puhul

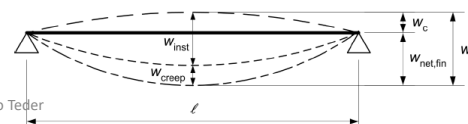
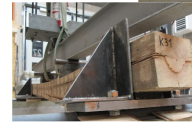
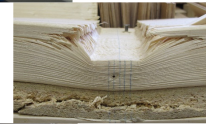
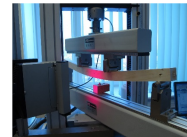
*** Puudutab eeltõusuga ning toepunktide vahel painutatud või murtud kujuga konstruktsioone.

01.11.2023

Marko Teder

Paindele töötava tala kontroll

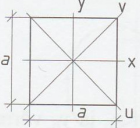
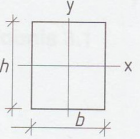
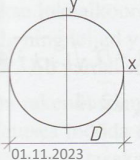
- Kandepiiriseisundis kontrollid:
 - **Paindele (paindemoment)**
 - Muljumisele/survele ristikiudu toel (toereaktsioon)
 - Nihkele (põikjõud)
- Kasutuspiiriseisundis kontrollid:
 - Lubatud läbipaine
 - Vibratsioon
 - Tulekahjuolukord (eraldi)



01.11.2023

Marko Teder









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 	$\pi D^2/4$	$I_x = I_y = \pi D^4/64$	$W_x = W_y = \pi D^3/32$	$i_x = i_y = D/4$

01.11.2023 Marko Teder

4.1. ÜHESILDELISE JA KONSOOLTALAD

Tabel 4.1. Liit- ja konsooltalad

Skeem	Toereaktsioonid	Ekstreemne pöikjõud Q ja paisdemoment M	Ekstreemne pöördemoment ϕ ja paisutus Δ
	$R = 0$ $M = M$	$Q = 0$ $M = M$	$\phi = ML/EI$ $\Delta = ML^2/2EI$
	$R = P$ $M = PL$	$Q = P$ $M = PL$ $X = 0$	$\phi = PL^2/2EI$ $\Delta = PL^3/3EI$
	$R = qL/2$ $M = qL^2/6$	$Q = qL/2$ $M = qL^2/6$	$\phi = qL^3/24EI$ $\Delta = qL^4/30EI$
	$R = qL/2$ $M = qL^2/3$	$Q = qL/2$ $M = qL^2/3$	$\phi = qL^3/8EI$ $\Delta = 11qL^4/120EI$
	$R = qL/2$ $M = qL^2/4$	$Q = qL/2$ $M = qL^2/4$	$\phi = 7qL^3/96EI$ $\Delta = 11qL^4/192EI$
	$R = qL$ $M = qL^2/2$	$Q = qL$ $M = qL^2/2$ $X = 0$	$\phi = qL^3/6EI$ $\Delta = qL^4/8EI$
	$R_1 = Pb/L$ $R_2 = Pa/L$	$Q = R_2$ kui $a > b$ $M = Pab/L$ $X = a$ $X' = [(L^2 - b^2)/3]^{0.5}$	$\phi_1 = (PL^2/6EI)(bL - b^3/L^2)$ $\phi_2 = (PL^2/6EI)(aL - a^3/L^2)$ $\Delta_{x=a} = Pa^2b^2/3EIL$ $\Delta = Pb^3/3(L^2 - b^2)^{0.5}/27EIL$
	$R_1 = R_2 = P/2$	$Q = P/2$ $M = PL/4$	$\phi = PL^2/16EI$ $\Delta = PL^3/48EI$

01.11.2023 Marko Teder

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

EI – tala ristlõike paindejätkus
 L – silde või konsooli pikkus
 X – ekstreemse paindemomendi asukoht
 X^* – ekstreemse paigutise asukoht, kui see erineb jõu rakenduspunktist
 M – välismoment
 P – punktkoormus
 q – lauskoormus

01.11.2023 Marko Teder

Kontroll paindele

• Paindetugevus

– Puhas paine (elastse materjali järgi)

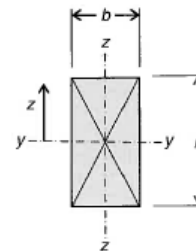
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y}$$

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

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

$f_{m,d}$ - arvutuslik paindetugevus

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



Näitearvutus

- Vahelaepõrand, puit C24

50x200 mm, samm 600 mm, sille
3,0 m (kiive on takistatud)

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

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

Kandepiiriseisundi järgi
koormuskomb.:

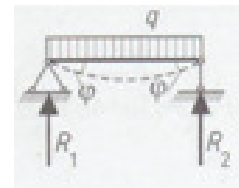
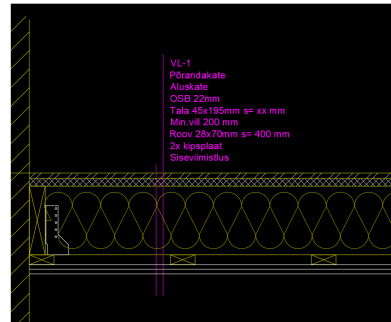
$$K_d = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) \cdot S_{tala} = 2,232 \text{ kN/m}$$

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{q \cdot l^2}{8} \\ W_y &= \frac{b \cdot h^2}{6} = 3,333 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \end{aligned} \right\} \sigma_{m,y,d} = \frac{M}{W_y}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \rightarrow \leq 0,5 \dots 0,6, \text{ et tagada läbipaindekontroll}$$

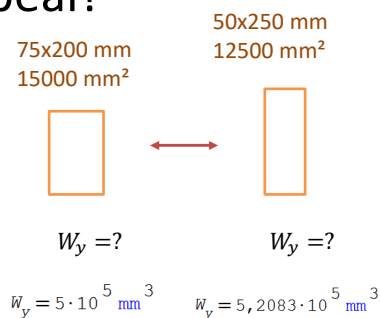
01.11.2023

Marko Teder



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

- Tugevusklassi muutmine
- Ristlõike muutmine, kas kasvatada kõrgusesse või laiusesse; liittalad
- Talade samm
- Koormusskeem



- Talade esialgne dimensioneerimine

T. Masso „Väikemajad“ või
Ehituskonstruktori käsiraamat

$$I_y = 5,0 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \quad I_y = 6,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

Oluline kasutuspiiriseisundi kontrollis (läbipaine)

01.11.2023

Marko Teder

14.5. TABELID (sobivad kasutada eeldimensionimisei)

Tabel 14.38. Puittalade maksimaalne sille
 Kehib, kui vibratsioonitingimus on rahuldatud
 $g_s = 0,7 \text{ kN/m}^2$, $k_{prod} = 0,6$
 $g_t = 2,0 \text{ kN/m}^2$, $k_{prod} = 0,8$
 Mõõdmed mm

Tala kõrgus H	Tala laius B	Talade samm D	Max sille L	Max läbipaine $U_{\text{net,fin}}$
240	60	400	5370	26,7
240	60	600	4610	21,7
240	60	800	4120	18,5
240	60	900	3930	17,2
240	60	1000	3770	16,2
240	60	1200	3500	14,4
220	45	300	4370	15,2
220	45	400	3960	13,7
220	45	500	3660	12,5
220	45	600	3430	11,5
220	45	800	3000	9,0
220	45	900	2950	9,5
220	45	1000	2830	8,9
220	45	1200	2640	8,1
195	45	300	4170	16,9
195	45	400	3760	15,9
195	45	500	3460	14,3
195	45	600	3230	13,0
195	45	700	3000	11,3
195	45	800	2890	11,1
195	45	900	2760	10,4
170	45	300	3810	19,0
170	45	400	3470	17,4
170	45	600	2980	14,2
170	45	900	2539	11,1
145	45	300	3250	16,2
145	45	400	2950	14,7
145	45	500	2740	13,7
145	45	600	2580	12,9

01.11.2023

T. Masso (toim.)
 Ehituskonstruktori
 käsiraamat

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. $1,0 \leq k_{c,90} \leq 1,75$
 (kohttoel, puidul 1,5 ja liimpuidul 1,75)

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

Arvut. survetugevus ristikiudu

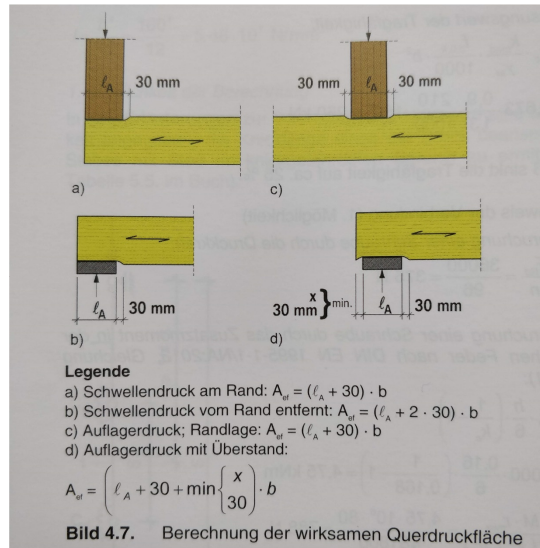
A_{ef} – efektiivne kontaktpind, mis määratakse arvestades efektiivset kontaktpikkust pikikiudu, kus tegelikku kontaktpikkust l on suurendatud mõlemas suunas **30 mm võrra**, kuid mitte rohkem kui toe vaba otsa pikkus l või $l_1 / 2$



01.11.2023

Marko Teder

Surve ristikiudu e. muljumine



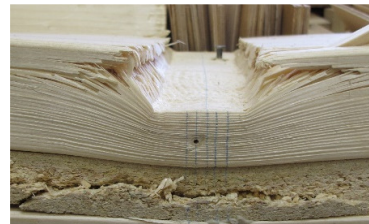
Ca 30 mm pikkusel alal töötavad muljumisel kiud kaasa.

Holzbau
Bemessung und Konstruktion
W. Rug ja W.Mönck

01.11.2023

Marko Teder

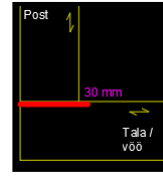
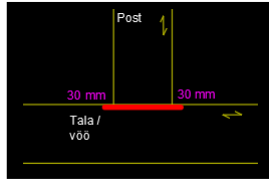
Surve ristikiudu e. muljumine



01.11.2023

Marko Teder

Surve ristikiudu (muljumine)



Puit C24,
ristlõikepind surve
ristikiudu toel
($k_{c90}=1,5$; $k_{mod}=0,8$),
L x P

Ligikaudne arvutuslik max
koormustaluvus muljumisel
(kN)

Ligikaudne arvutuslik max
koormustaluvus muljumisel
(kN)

45x50 mm ²	11,5	8,3
50x100 mm ²	24,5	18
150x150 mm ²	70	60
200x200 mm ²	117	103
250x250 mm ²	175	155

01.11.2023

Marko Teder

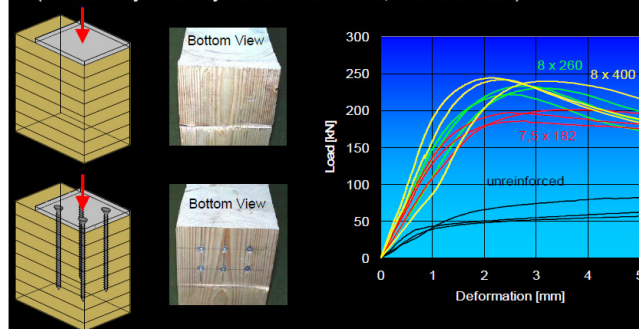
Muljumine

Mis teha, kui on muljumise probleem?

- Muuta posti ristlõiget
- Kasutada posti ja tala vahel metallplaati
- Muuta koormusskeemi
- Kasutada posti ja tala vahel metallplaati + täiskeermega kruve

P.Dietsch 2016

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



01.11.2023

Marko Teder

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 $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$

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

- h – ristlõike kõrgus

Kehtib nii saepuidu kui liimpuidule

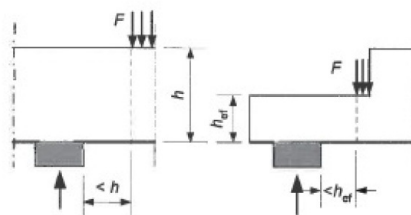


01.11.2023

Marko Teder

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.



01.11.2023

Marko Teder

Kandepiirseisund

- Toel sisselõikega ristkülikulise ristlõikega talade

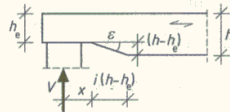
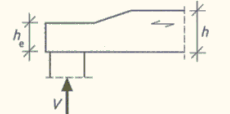
$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v f_{v,d}$$

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

01.11.2023

Marko Teder

Tabel 14.20. Tegurid k_v sisselõikega taladele

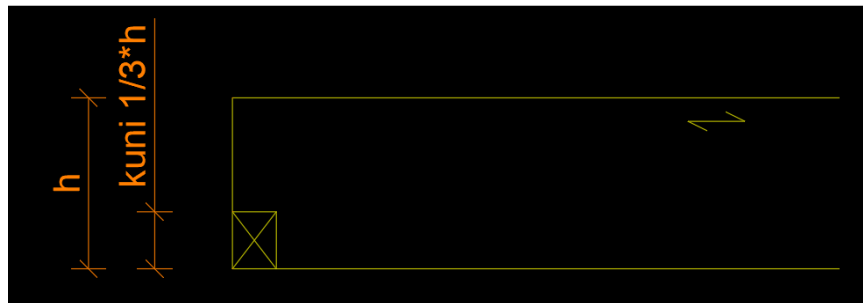
Sisselõike kuju	Tegur k_v
<p>Sisselõige tala toepoolsel küljel</p> 	$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ k_n \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right) \\ \sqrt{h \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right.$
<p>Sisselõige tala vastasküljel</p> 	$k_v = 1$
<p>kus h ristlõike kõrgus x kaugus toereksioonist kuni ristlõike kaldenurgani mm $\alpha = h_{ef}/h$ i sisselõike kalle, $i = \tan \varepsilon$ ε sisselõike kaldenurk k_n spoonliimpuidu puhul 4,5, saepuidu puhul 5,0, liimpuidu puhul 6,5</p>	

01.11.2023

Marko Teder

Sisselõige talal

Üldiselt põrandataladel võib teha sisselõike kuni 1/3 sügavuselt tala kõrguse suhtes. Muul juhul tuleks seda arvutuslikult kontrollida.

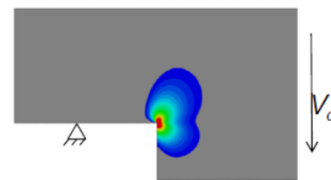


01.11.2023

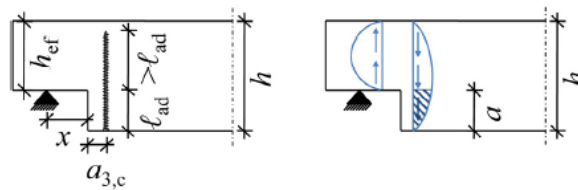
Marko Teder

Sisselõike koha tugevdamine

- Sisselõikega talad, suured pinged sisselõike nurgas



Tension perpendicular to the grain:
high low



P.Dietsch 2016

01.11.2023

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

Marko Teder

Surve pikikiudu

Surve postile

Puitpost C24, L=2,5 m (koos 20 mm ekstsentrilisusega, liigendkinnitustega)	Ligikaudne arvutuslik max koormustaluvus (kN)	Muljumine posti all või peal puittala või palgi sisse
100x100 mm ²	30	OK
150x150 mm ²	110	Ületab lubatud!
200x200 mm ²	250	Ületab lubatud!



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.

01.11.2023

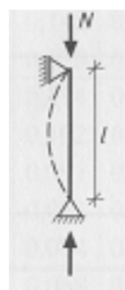
Marko Teder

Enamlevinud nõtkepikkused



Konsoolpost

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



Liigendkinnitustega post

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



Ühes otsas jäiga, teises liigendkinnitusega post

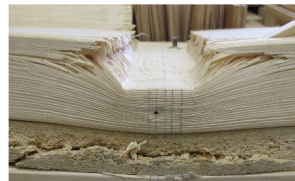
$$l_{ef} = 0,707 \times l$$

01.11.2023

Marko Teder

Üldisi nõuandeid

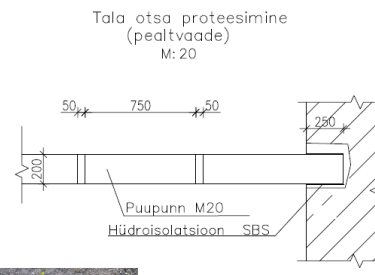
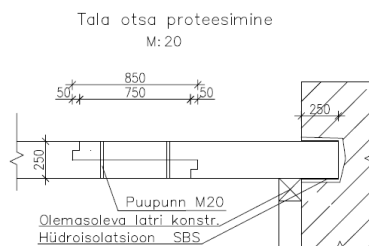
- Post-talade süsteemis peavad diagonaalid sees olema (ehk moodustuma kolmnurgad), et oleks tagatud kujukindlus või kasutada momendikindlaid tugesid
- Jälgida, et poleks suuri nõrgestusi (oksakohad jm) talade tõmbetsoonis
- Nihkele purunemine on ohtlik peamiselt lühemate silletega taladel (raudbetoon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



01.11.2023

Marko Teder

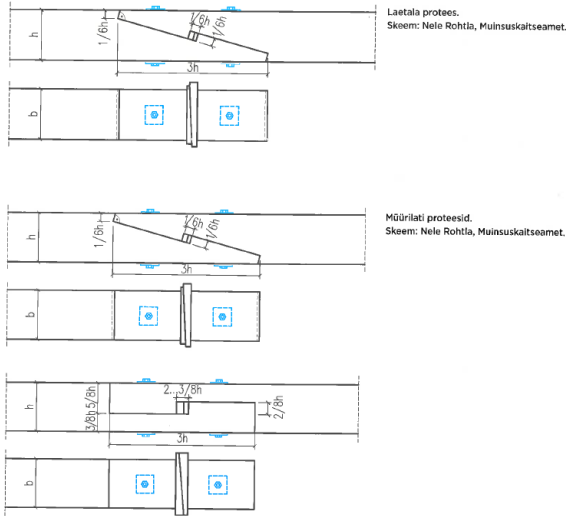
Tapliide paindele



01.11.2023

Marko Teder

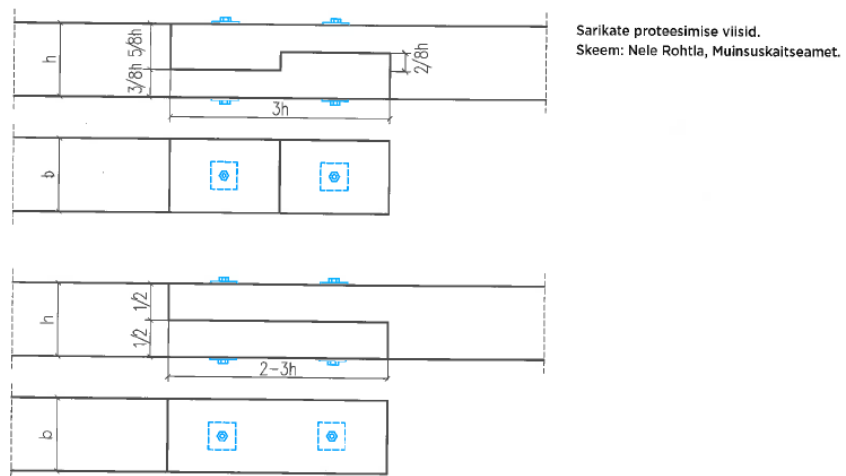
Tappliited



01.11.2023

Marko Teder

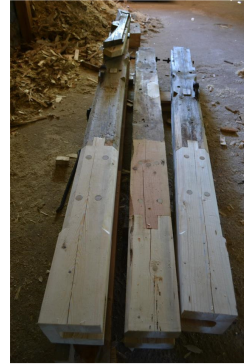
Tappliited



01.11.2023

Marko Teder

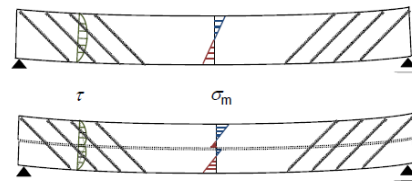
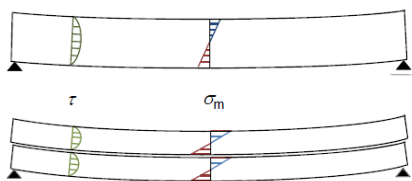
Tappliited



01.11.2023

Marko Teder

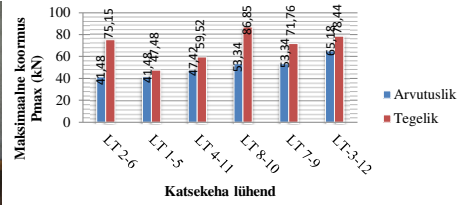
Liittala



01.11.2023

Marko Teder

Puitplaatnaaglitega liittala



01.11.2023

Marko Teder

Täna kuulamast!



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
 Estonian University of Life Sciences
 Metsandus- ja maaehitusinstituut
 Institute of Forestry and Rural Engineering

WOOD
 WOOD NDT / WE CAN SEE INSIDE THE WOOD
www.woodndt.eu

tedermarko@gmail.com

Viitama kuvatõmmised pärinevad Ehituskonstruktori käsiraamatust, toim. Tiit Masso (2014)