

PUITKONSTRUKTSIOONIDE ABIMATERJAL

EVS-EN 1995-1-1:2005

EUROKOODEKS 5 Puitkonstruktsioonide projekteerimine



Koostas: Georg Kodi
27.03.2012

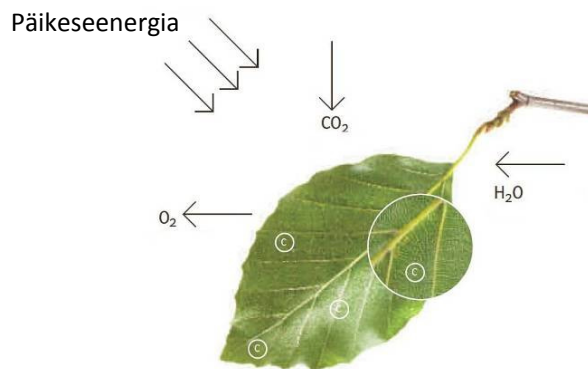
SISUKORD

1. PUIDUST ÜLDISELT.....	4
1. PUIDU TUGEVUSKLASSID.....	7
2. MATERJALI VARUTEGURID	11
2.1 Kandepiirseisund	11
2.2 Kasutuspiirseisund.....	16
4. RISTLÕIGETE TUGEVUSKONTROLL	18
4.1.1 Lõige (Nihe)	18
4.1.2 Lõige ümber mõlema telje	18
4.2.1 Vääne.....	19
4.2.2 Vääne koos lõikega	20
4.3 Tõmme	20
4.3.1 Tõmme pikikiudu	20
4.3.2 Tõmme ristikiudu	20
4.4 Surve.....	21
4.4.1 Surve pikikiudu	21
4.4.2 Surve ristikiudu.....	21
4.4.3 Surve kiudude suhtes nurga all	24
4.6 Vildakpaine	25
4.7 Tõmme koos paindega	26
4.8 Surve koos paindega.....	26
5. VARRASTE STABIILSUSKONTROLL.....	27
5.1 Surutud varda stabiilsus	27
5.2 Painutatud varda stabiilsus	28
5.3 Surutud ja painutatud varda stabiilsus.....	30
5.4 Tõmmatud ja painutatud varda stabiilsus.....	30
6. LIITED	31
6.1 Põiksuunas koormatud liidete kandevõime	38
6.1.1 Puit-puiduga ja (puidupõhjaline)plaat -puiduga ühendused	39
6.1.2 Puit-teras ühendused	42
6.2 Naelliited	44
6.2.2 Pikisuunas koormatud naelad	47
6.2.3 Põik- ja pikisuunas üheaegselt koormatud naelad.....	47
6.3 Poltliited	48
6.3.1 Põiksuunas koormatud poldid.....	48
6.3.2 Pikisuunas koormatud poldid	50
6.4 Naagelliited.....	51
6.5 Kruviliited	52
6.5.1 Põiksuunas koormatud kruvid.....	52
6.5.2 Pikisuunas koormatud kruvid	53
6.5.3 Samaaegselt põik- ja pikisuunas koormatud kruvid.....	54
6.6 Rõngastüüblid.....	55
6.7 Liidete järeleandvus	56
7. TALAD JA POSTID	58
7.1 Toel sisselõikega talad.....	58
7.1.1 Sisselõige toepoolsel küljel.....	58
7.1.2 Sisselõige toe vastasküljel	58
7.1.3 Täisnurkne sisselõige toepoolsel küljel	59
7.2 Augustatud talad	60
7.3 Liimpuittalad.....	61

7.3.1 Ühepoolse kaldega talad	61
7.3.2 Kahekaldega, harjaköverusega ja kahekaldega altköverusega talad	63
7.4 Liittalad	66
7.4.1 Liimitud õhukeseseinalised talad	66
7.4.2 Liimitud õhukesevöölised talad (paneeltalad)	68
7.5 Mehaaniliste liidetega talad ja postid	69
7.5.1 Mehaaniliste liidetega talad	69
7.5.2 Mehaaniliselt liidetud ja liimitud postid.....	72
7.5.2.1 Täisseinaga posti kandevõime.....	73
7.5.2.2 Nõtkelappide- või klotsidega posti kandevõime	74
7.5.2.3 Diagonaalsidemetega posti kandevõime	77
8. SÖRESTIKUD	80
9. ELAMUTE PÕRANDAD	85
10. ALGHÄLVED JA TEIST JÄRKU MÕJUD.....	86
11. PAINDELE TÖÖTAVAD MEHHAANILISED LIITED	91
11.1 Liite pöördemoodul	92
11.2 Varraste nõtkepikkused.....	95
11.3 Lisamomendid mehhaanilistes liidetes	102
12. JÄIKUSSIDEMED	103
12.1 Surutud üksikelemendid.....	103
12.2 Tala või sõrestiksüsteemi jäikussidemed	104
12.3 Karkassi sidemete kujundamine.....	106
13. TULEPÜSIVUS.....	107
13.1 Materjali omaduste arvutussuurused tulekahjus	108
13.2 Konstruktsiooni tulepüsivusarvutus.....	109
13.3 Liidete tulepüsivus.....	109

1. PUIDUST ÜLDISELT

Puit tekib puidurakkude kasvamisel puus fotosünteesi abil, millega talletatakse õhus leiduv süsinik.



Igal puuliigil on oma looduslikud tunnused: ainulaadne värvitoon, lõhn, tekstuur, kiud või eristatav heli (muusikariistad). Puit on kerge, tugev ja väga mitmekesise otstarbega, mis teeb temast kõrgtehnoloogilise materjali otse loodusest.

Puit on tugev nagu betoon ja tõestab, et **tugev ei pea olema kõva!**

Tootmise energiatarve, heitkogus ning süsiniku sidumine						
	Fossiilkütuse energia		Tihedus	Vabastatud süsinik		Seotud süsinik
	kWh/kg	kWh /m ³	kg/m ³	kg/T	kg/m ³	kg/m ³
Saematerjal (toores)	0.44	220	500	33	16	250
Betoon	0.55	1300	2400	50	120	0
Teras	9.72	74000	7600	700	5320	15
Alumiinium	122	306000	2500	9200	23000	0

PUIDU KEEMILINE KOOSTIS

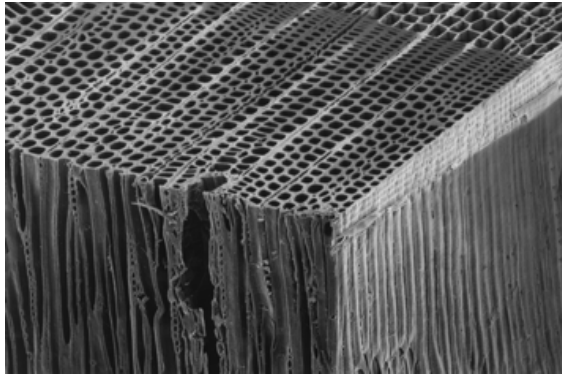
Puit kui looduslik komposiitmaterjal koosneb:

Tselluloos	$\rho = 1.58 \text{ g / cm}^3$	40 ... 54%	struktuuraine
Hemitselluloosi	$\rho = 1.49 \text{ g / cm}^3$	20 ... 25%	süivesikuid
Ligniini	$\rho = 1.40 \text{ g / cm}^3$	20 ... 30%	tsemendi või maatriks aine
Muu		1 ... 3%	

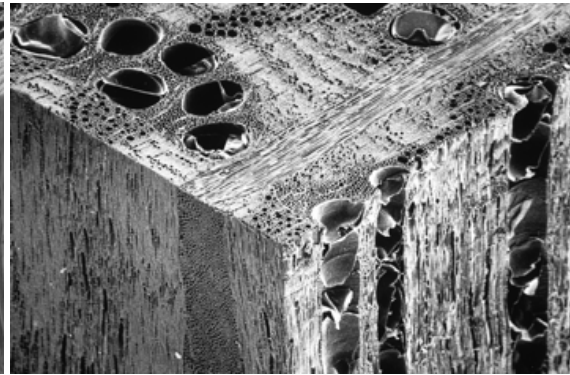
Puit koosneb põhiliselt neljast keemilisest elemendist:

Süsinik C	50%
Hapnik O ₂	43 ... 44%
Vesinik H ₂	6%
Lämmastik N ₂	0.1%

PUIDU SISEEHITUS



Okaspuu (kuusk)

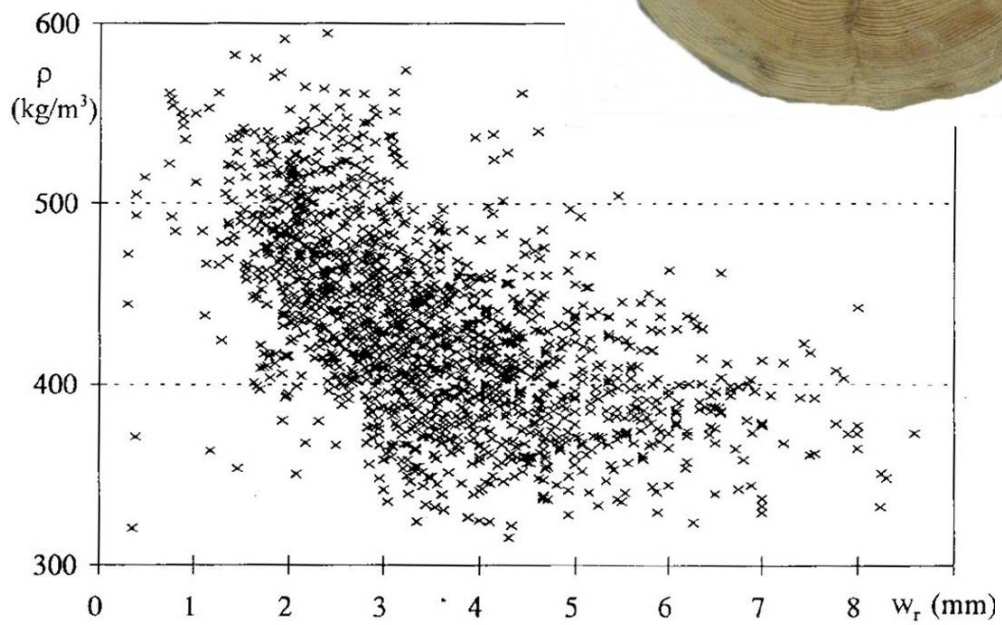
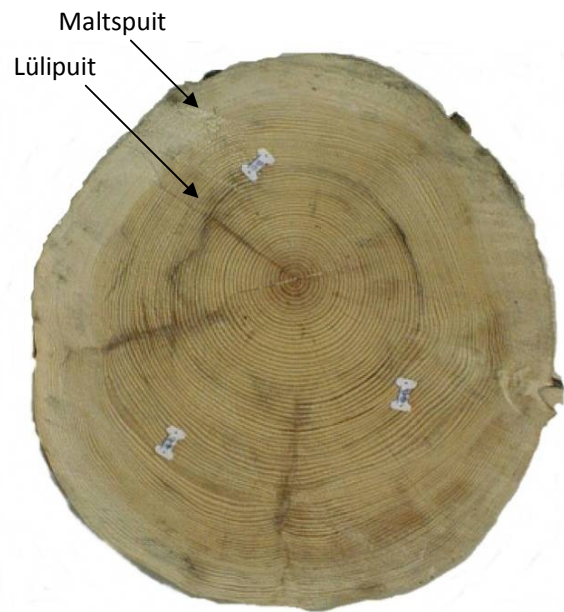


Lehtpuu (tamm)

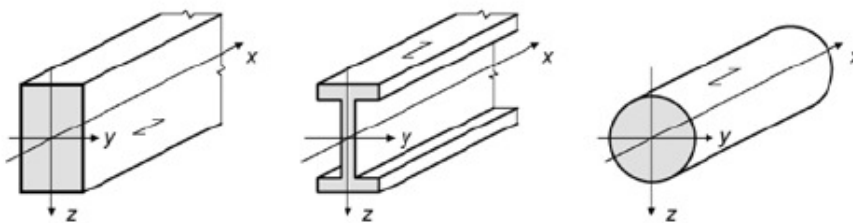
AASTARÕNGAD JA TIHEDUS



Oksakoht



PUITELEMENTIDE TELGEDE TÄHISTUS



MATERJALITUGEVUSE (f) TÄHISTUS

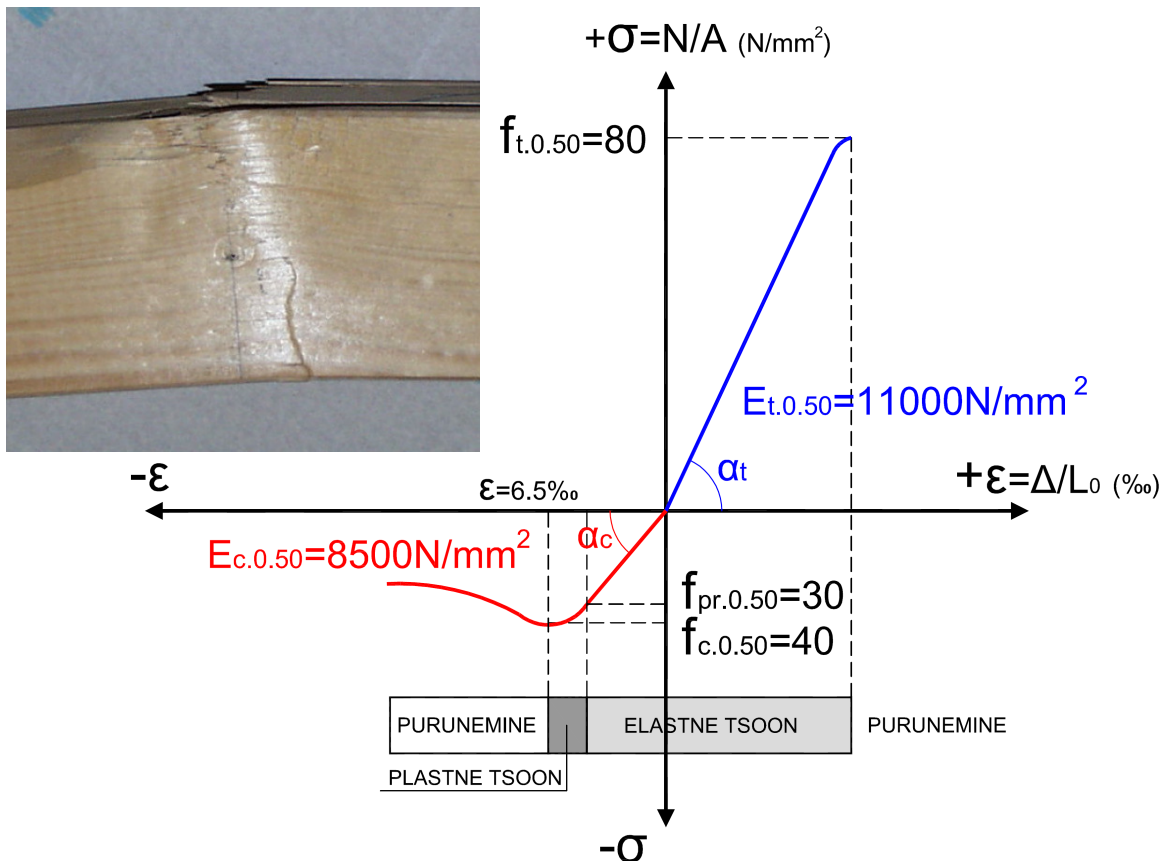
f_{c,0,k}

c – surve
 t – tõmme
 m – paine
 v – lõige (nihe)

0 – kiudude suunas
 90-kiudude suunaga risti

k – normatiivne
 d – arvutuslik

PUIDU TÕMBE-SURVEPINGE JA DEFORMATSIOONI DIAGRAMM



1. PUIDU TUGEVUSKLASSID

MONOLIITPUIT C

Tugevusklass		C16	C18	C22	C24	C30	C35
Tugevusomadus N/mm²							
Paine	$f_{m,k}$	16	18	22	24	30	35
Tõmme	$f_{t,0,k}$	10	11	13	14	18	21
	$f_{t,90,k}$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
Surve	$f_{c,0,k}$	17	18	20	21	23	25
	$f_{c,90,k}$	2.2	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8
Lõige	$f_{v,k}$	1.8	2.0	2.4	2.5	3.0	3.4
Jäikusomadus N/mm²							
Elastsusmoodul	$E_{0,mean}$	8000	9000	10000	11000	12000	13000
	$E_{0,05}$	5400	6000	6700	7400	8000	8700
	$E_{90,mean}$	270	300	330	370	400	430
Nihkemoodul	G_{mean}	500	560	630	690	750	810
	$G_{0,05}$	350	370	420	460	500	540
Tihedus kg/m³							
Tihedus	g_k	310	320	340	350	380	400
	g_{mean}	370	380	410	420	460	480

Märkus: Kasutuspiirseisundis kasutatakse E_{mean} , kandepiirseisundis $E_{0,05}$.
Puitmaterjali mahukaal on enamasti 500-600 kg/m², vineeril 700kg/m².

Tugevusklasse tähistatakse tähe ja numbri kombinatsiooniga.

- **Täht** tähistab puidu liiki:

C-okaspuit (coniferous), B- lehtpuuit (deciduous),

GL-liimpuit (gluelaminated) (c-kombineeritud, h-homogene),

- **Number** tähistab normatiivset paindetugevust.

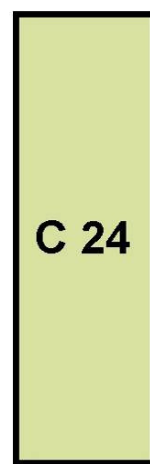
Eestis on enimkasutusel järgmised tugevusklassid: C16, C24, GL24h, GL28h.

Tugevussorteeritud saematerjal: 45×95, 45×120, 45×145, 45×195, 45×220

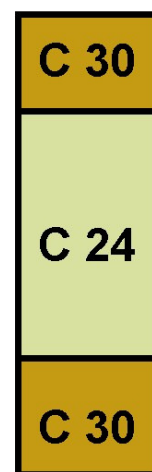


LIIMPUIT GL

Tugevusklass		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h		GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Tugevusomadused N/mm²										
Paine	$f_{m,k}$	24	28	32	36		24	28	32	36
Tõmme	$f_{t,0,k}$	16.5	19.5	22.5	26		14	16.5	19.5	22.5
	$f_{t,90,k}$	0.4	0.45	0.5	0.6		0.35	0.40	0.45	0.5
Surve	$f_{c,0,k}$	24	26.5	29	31		21	24	26.5	29
	$f_{c,90,k}$	2.7	3.0	3.3	3.6		2.4	2.7	3.0	3.3
Lõige	$f_{v,k}$	2.7	3.2	3.8	4.3		2.2	2.7	3.2	3.8
Jäikusomadused N/mm²										
Elastusmoodul	$E_{0,mean}$	11600	12600	13700	14700		11600	12600	13700	14700
	$E_{0,05}$	9400	10200	11100	11900		9400	10200	11100	11900
	$E_{90,mean}$	390	420	460	490		320	390	420	460
Nihkemoodul	G_{mean}	720	780	850	910		590	720	780	850
	$G_{0,05}$	580	630	690	740		480	580	630	690
Tihedused kg/m³										
Tihedus	g_k	380	410	430	450		350	380	410	430
	g_{mean}	450	490	510	540		420	450	490	510



GL24h



GL28c

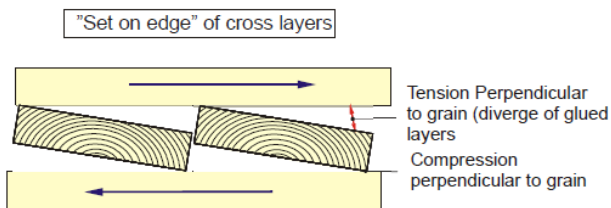
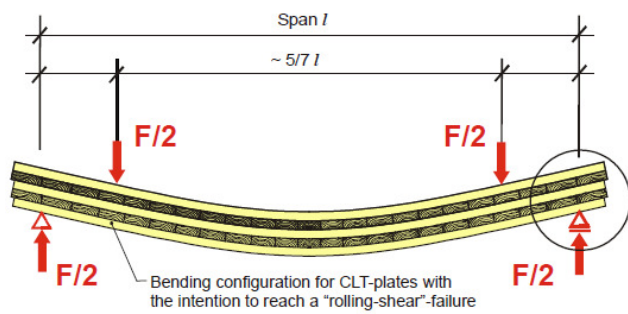
Liimpuidu maksimaalsed mõõtmed:

Laius: 60-220, kõrgus 120-2000, laiuse samm 20mm, kõrguse samm 40mm(lamelli paksus).

KASEVINEER

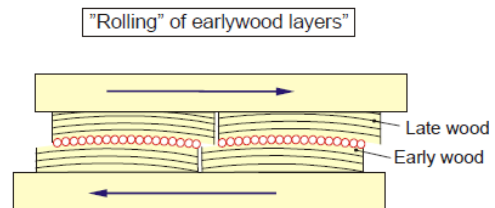
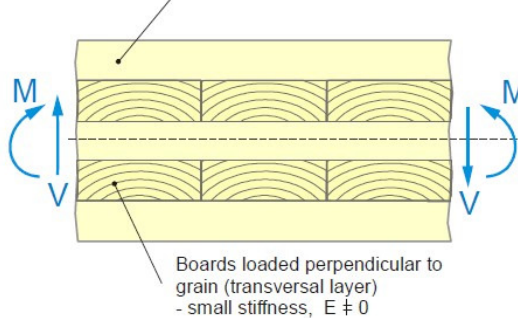
Vineeri paksus t=		4	6.5	9	12	15	18	21	24	27	30	35	40	45	50
Kihtide arv n		3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	25	29	32	35
Keskmine t=		3.6	6.4	9.2	12.0	14.8	17.6	20.4	23.2	26.0	28.8	34.4	40.0	44.2	48.4
A, mm ² /mm		3.6	6.4	9.2	12.0	14.8	17.6	20.4	23.2	26.0	28.8	34.4	40.0	44.2	48.4
W, mm ³ /mm		2.16	6.83	14.1	24.0	36.5	51.6	69.4	89.7	113	138	197	267	326	390
I, mm ⁴ /mm		3.89	21.8	64.9	144	270	454	707	1041	1465	1991	3392	5333	7196	9448
Tugevusomadused N/mm²															
Paine	f _{m,0,k}	65.9	50.9	45.9	42.9	41.3	40.2	39.4	38.9	38.4	38.1	37.6	37.2	37.0	36.8
	f _{m,90,k}	10.6	29.0	32.1	33.2	33.8	34.1	34.3	34.4	34.5	34.6	34.7	34.7	34.7	34.8
Surve	f _{c,0,k}	31.8	29.3	28.3	27.7	27.4	27.2	27.0	26.9	26.8	26.7	26.6	26.5	26.5	26.4
	f _{c,90,k}	20.2	22.8	23.7	24.3	24.6	24.8	25.0	25.1	25.2	25.3	25.4	25.5	25.5	25.6
Tõmme	f _{t,0,k}	45.8	42.2	40.8	40.0	39.5	39.2	39.0	38.8	38.7	38.5	38.4	38.3	38.2	38.1
	f _{t,90,k}	29.2	32.8	34.2	35.0	35.5	35.8	36.0	36.2	36.3	36.5	36.6	36.8	36.8	36.9
Lõige	f _{v,0,k}	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
	f _{v,90,k}	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
	f _{r,0,k}	2.77	3.20	2.68	2.78	2.62	2.67	2.59	2.62	2.57	2.59	2.57	2.56	2.55	2.54
	f _{r,90,k}	-	1.78	2.35	2.22	2.39	2.34	2.41	2.39	2.43	2.41	2.43	2.44	2.46	2.46
Jäikusomadused N/mm²															
Elastsusmoodul	E _{m,0,mean}	16471	12737	11395	10719	10316	10048	9858	9717	9607	9519	9389	9296	9259	9198
	E _{m,90,mean}	1029	4763	6105	6781	7184	7452	7642	7783	7893	7981	8111	8204	8241	8302
	E _{c/t,0,mean}	10694	9844	9511	9333	9223	9148	9093	9052	9019	8993	8953	8925	8914	8895
	E _{c/t,90,mean}	6806	7656	7989	8167	8277	8352	8407	8448	8481	8507	8547	8575	8586	8605
Nihkemoodul	G _{v,0,mean}	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620
	G _{v,90,mean}	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620	620
	G _{r,0,mean}	169	169	206	207	207	206	206	206	205	205	204	204	203	203
	G _{r,90,mean}	-	123	155	170	178	183	186	189	190	192	193	195	195	196
Tihedused kg/m³															
Tihedus	g _k	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680
E ₀₅ = 0.8·E _{mean} ja G ₀₅ = 0.8·G _{mean}															
0 ⁰ - äärmise spooni kiudude suunas, 90 ⁰ - äärmise spooni kiududega ristisuunas															

Vineeri mõõdud: 1525x1525, 1200x2400, 1250x2500

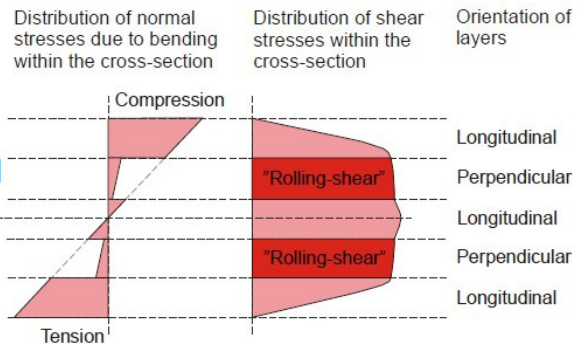


Failure due to high compression and tension perpendicular to the grain (diverge of glued layers)

Boards loaded longitudinal to grain (longitudinal layer) - high stiffness



Failure due to peeling of earlywood layers (rolling mechanism)



2. MATERJALI VARUTEGURID

2.1 Kandepiirseisund

Koormuskombinatsioon kandepiirseisundis:

$$\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Materjali arvutuslik tugevus:

$$f_d = \frac{k_{mod} \cdot f_k}{\gamma_M}$$

Arvutuslik kandevõime:

$$F_d = \frac{k_{mod} \cdot F_k}{\gamma_M}$$

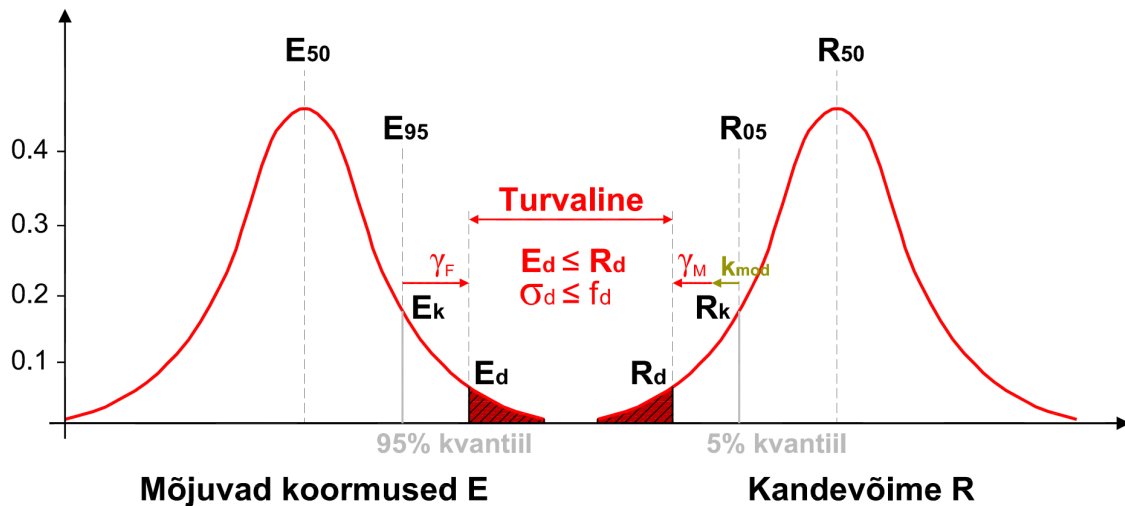
f_k – materjali normatiivne tugevus

F_k – normatiivne kandevõime

γ_M – materjali osavarutegur

k_{mod} – koormuse kestust ja kasutusklassi (niiskust) arvestav deformatsioonitegur

Gaussi normaaljaotuskõver materjali arvutusliku tugevuse/kandevõime ja mõjuvate koormuste määramisel. Tõrke esinemise tõenäosus $1/10^6$ ehitisetgevuses reeglina aktsepteeritav.



MATERJALI OSAVARUTEGUR γ_M

Materjal	γ_M
Monoliitpuit, MDF, puitlaast- ja kiudplaadid	1,3
Lamell-liimpuit	1,25
Spoonliimpuit, vineer, orienteeritud laastuga plaat (OSB)	1,2
Teraselemendid	1,1
Puitliited	1,3
Ogaplaatliited	1,25
Avariikombinatsioon	1,0

MODIFIKATSIOONITEGUR k_{mod}

Materjal	Kasutusklass	Koormuse kestusklass				
		Alaline koormus	Pikaajaline koormus	Keskkestev koormus	Lühiajaline koormus	Hetkeline koormus
Monoliitpuit	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	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
Spoonliim-puit (LVL)	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	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
Orienteeritud laastuga plaat (OSB)	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Puitlaast-plaat	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80

Märkus: Kui konstruktsioonile mõjuvad erinevate kestusklassidega koormused, siis enamasti valitakse k_{mod} lühema kestusklassi järgi.

Koormuse kestusklassid

Koormuse kestusklass	Normkoormuse kestus	Koormamise näited
Alaline	üle 10 aasta	omakaal
Pikaajaline	6 kuud – 10 aastat	laokoormus
Keskkestev	1 nädal – 6 kuud	kasuskoormus, lumi
Lühiajaline	vähem kui 1 nädal	lumi, tuul
Hetkeline		tuul, avariikoormus

Konstruksiooni kasutusklass:

Kasutusklass	1	2	3
Niiskusesisaldus puidus	5-15%	10-20%	12-24%

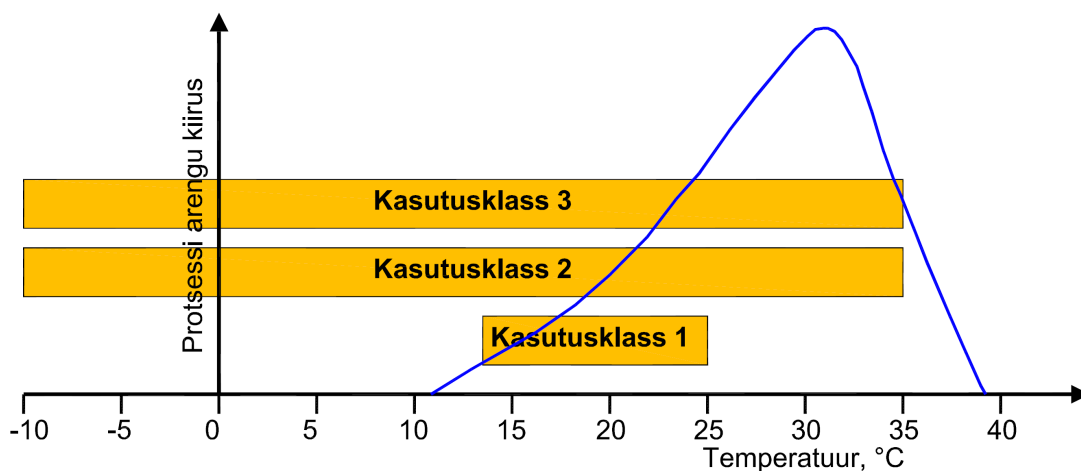
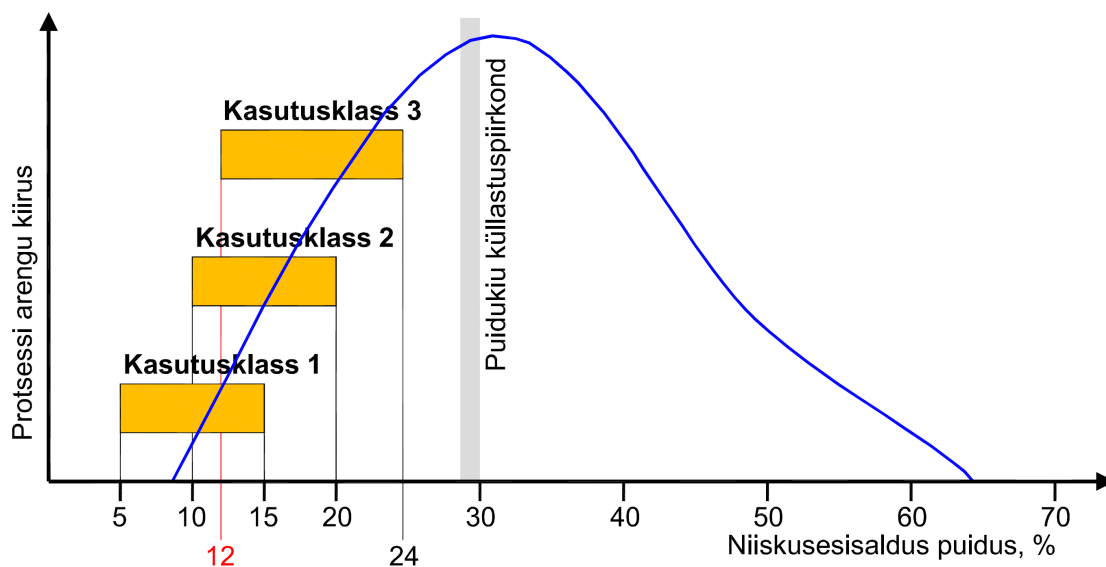
Kasutusklassi 1 iseloomustatakse materjali niiskusesisaldusega 5-15%, mis vastab temperatuurile 20°C ja õhu suhtelisele niiskusele kuni 65% (mida ületatakse ainult mõneks nädalaks aastas). (kuivades ruumides olevad konstruktsioonid nt. eluruumid)

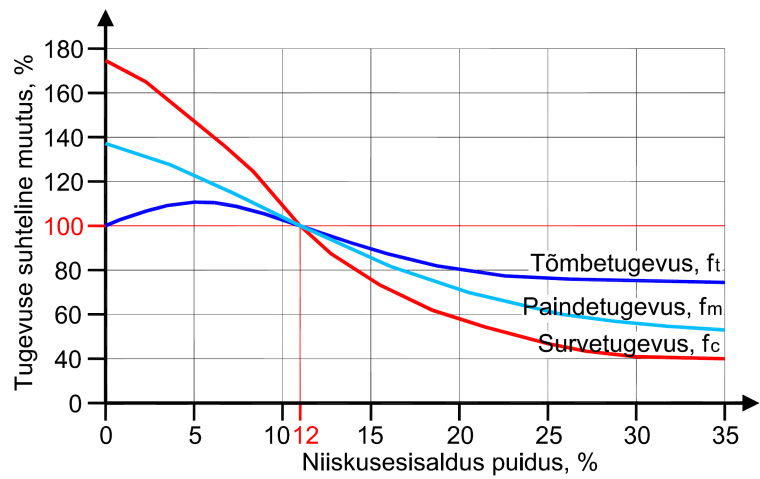
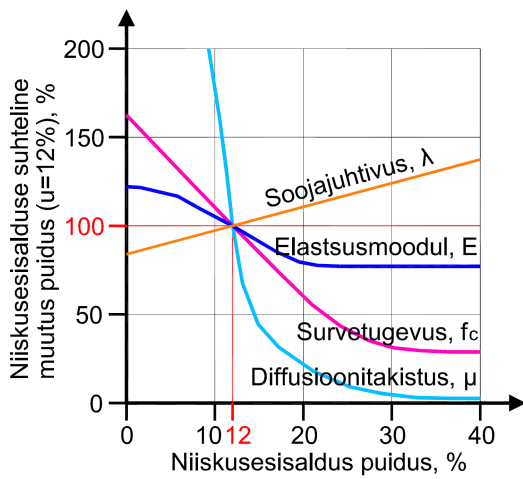
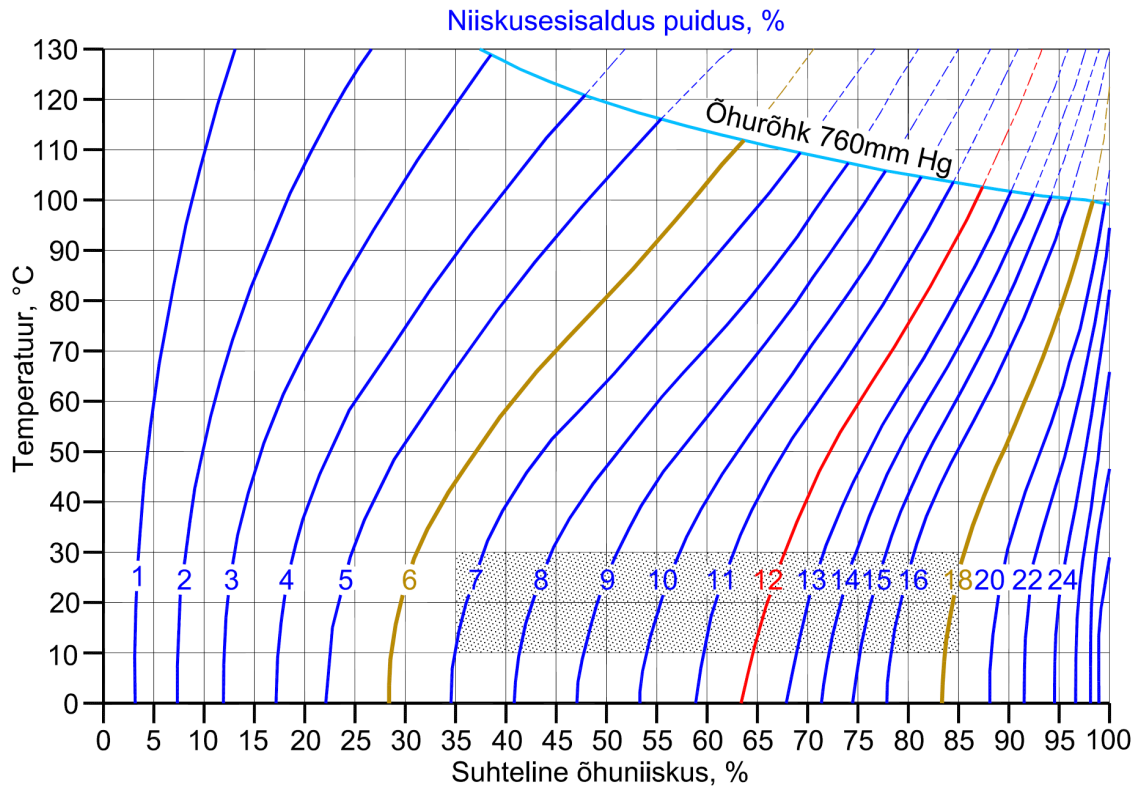
Märkus: Okaspuidu liikide enamiku keskmine niiskusesisaldus esimeses kasutusklassis ei ületa 12 %.

Kasutusklassi 2 iseloomustatakse materjali niiskusesisaldusega 10-20%, mis vastab temperatuurile 20°C ja õhu suhtelisele niiskusele kuni 85% (mida ületatakse ainult mõneks nädalaks aastas). (niisketes ruumides olevad konstruktsioonid nt. siseujulad)

Märkus: Okaspuidu liikide enamiku keskmine niiskusesisaldus teises kasutusklassis ei ületa 20 %.

Kasutusklassi 3 iseloomustatakse kõrgema niiskusesisaldusega (12-24%) kui kasutusklassil 2. (välitingimustes olevad konstruktsioonid nt. varjualused, sillad)





Puidu omadused sõltuvad otseselt puidu niiskusesisaldusest!

Näide: Niiskusesisalduse tõus 12%-lt 20% peale, muudab paindetugevust $100\text{N/mm}^2 \rightarrow 72\text{N/mm}^2$

PUIDU NIISKUSESISALDUS

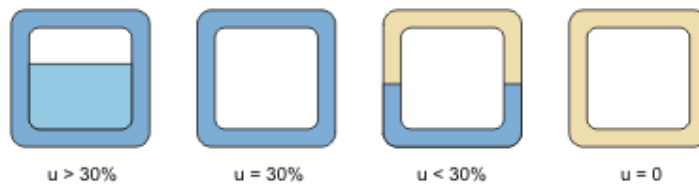
Puidu **niiskusesisaldust** väljendatakse veehulgaga protsentides puidu kuivkaalust

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100\% = \frac{m_w}{m_0} \cdot 100\%$$

m_u - märja puiduproovi kaal

m_0 – puiduproovi kaal konstantse kaaluni kuivamist ($t=100^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$)

m_w – veekaalu sisalduv puiduproov



Puidu ristlõike kahanemine ja tursumine niiskusesisalduse muutumisel

Ristlõike mõõtmete muutumine leitakse

$$\Delta h = \alpha \cdot \frac{\Delta u}{100\%} \cdot h$$

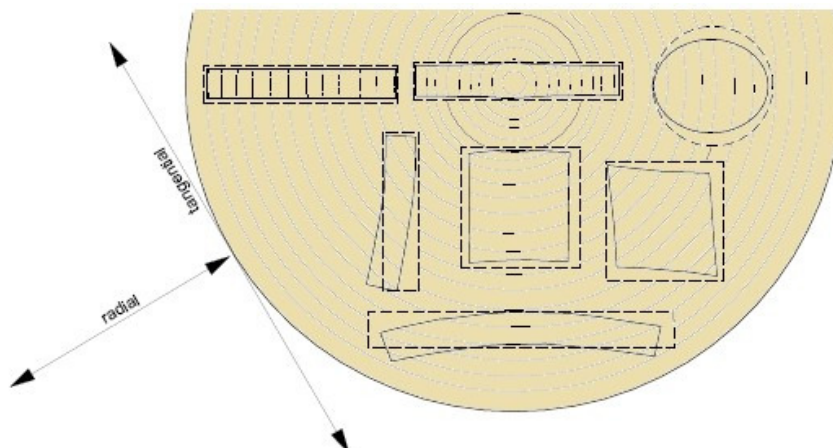
$$\Delta b = \alpha \cdot \frac{\Delta u}{100\%} \cdot b$$

Δu – niiskusesisalduse muutus puidus (4%-35%)

α - tabeli väärtus

h, b - ristlõike mõõtmed

PUULIIK	Keskvääratus	Tangentsiaalsuunas	Radiaalsuunas
Kuusk, mänd, lehis, tamm	0.24	0.32	0.16
Pööök	0.30	0.40	0.20
Tiik	0.20	0.25	0.15



2.2 Kasutuspiirseisund

Tavaline koormuskombinatsioon:

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

Normatiivne koormuskombinatsioon:

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

Materjali jäikusmodul: $E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}$ $G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}$

Juhul, kui konstruktsioonis on roomeomadustega elemente, siis tuleks kasutuspiirseisundis lõplike deformatsioonide arvutamisel võtta lõplikud keskväärtused elastsusmodulil $E_{\text{mean,fin}}$, nihkemoodulil $G_{\text{mean,fin}}$, ja kinnituselemendil $K_{\text{ser,fin}}$ järgmistest valemitest:

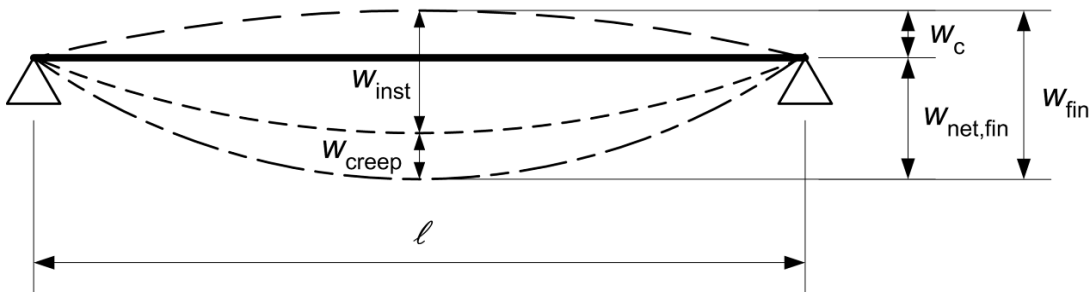
$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad K_d = \frac{K_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})}$$

ROOMEDEFORMATSIOONITEGUR k_{def}

Materjal	Kasutusklass		
	1	2	3
Monoliit ja liimpuit	0,60	0,80	2,00
Vineer	0,80	1,00	2,50
Orienteeritud laastuga plaat (OSB)	1,50	2,25	–
Puitlaastplaat	2,25	3,00	–

Märkused: Puidul, mis on paigaldatud küllastusniiskusega või sellele lähedase niiskusega ja mis tõenäoliselt kuivavad välja koormuse all, tuleb k_{def} väärtusi suurendada 1,0 võrra.

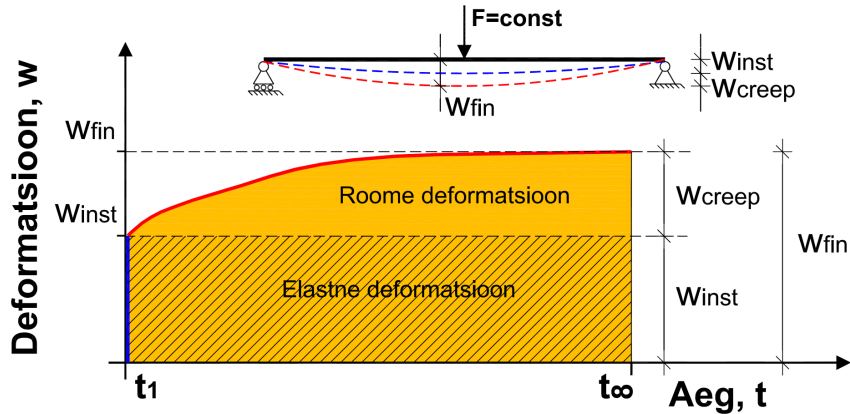
TALADE LUBATAVAD LÄBIPAANDED



- 1) Kehtib ainult pörandatele
- 2) Ei kehti kaarte puhul
- 3) Kehtib ainult eeltõusuga elementidele

	$W_{\text{inst}}^{1)}$	$W_{\text{net,fin}}^{2)}$	$W_{\text{fin}}^{3)}$
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

Roomeformatsioon – materjali omadus, kui konstantse pinge juures deformatsioonid ajas suurenevad.



Deformatsiooni leidmine lõppolukorras arvestades roome deformatsioone:

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep} = w_{inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$$

Deformatsiooni leidmine eeltõusuga taladele lõppolukorras arvestades roome deformatsioone:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_0 = w_{inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) - w_0$$

Elemendi deformatsioon:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

Deformatsioon alalisest koormusest:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def})$$

Deformatsioon domineerivast muutuvast koormusest:

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

Deformatsioon muudest muutuvatest koormustest:

$$w_{fin,Qi} = w_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

w_{fin} – lõplik deformatsioon

w_{inst} – hetkeline- või algdeformatsioon

k_{def} – (roome) deformatsioonitegur

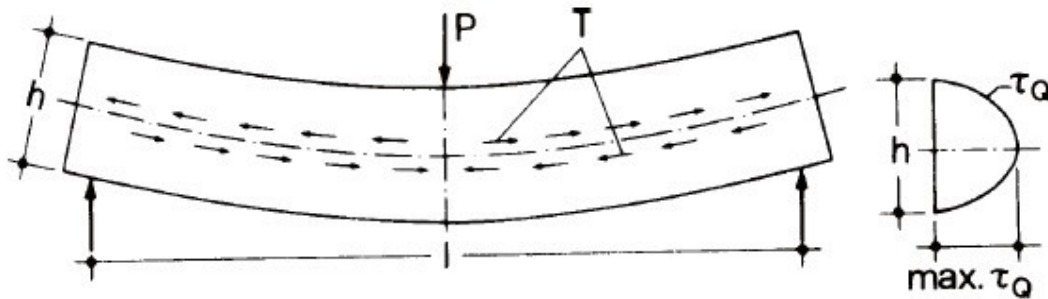
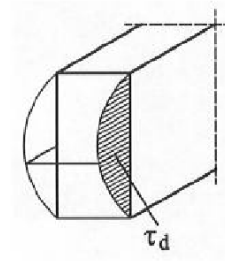
Koormus	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kasuskoormus			
Klass A: elamispinnad	0,7	0,5	0,3
Klass B: ametipinnad	0,7	0,5	0,3
Klass C: pinnad rahva kogunemiseks	0,7	0,7	0,6
Klass D: äripinnad	0,7	0,7	0,6
Klass E: laopinnad	1,0	0,9	0,8
Klass F: liikluspinnad (sõiduki kaal ≤30kN)	0,7	0,7	0,6
Klass G: liikluspinnad (sõiduki kaal 30-160kN)	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	0,6	0,5	0

4. RISTLÕIGETE TUGEVUSKONTROLL

4.1.1 Lõige (Nihe)

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

τ_d – arvutuslik nihkepinge
 $f_{v,d}$ – arvutuslik nihketugevus

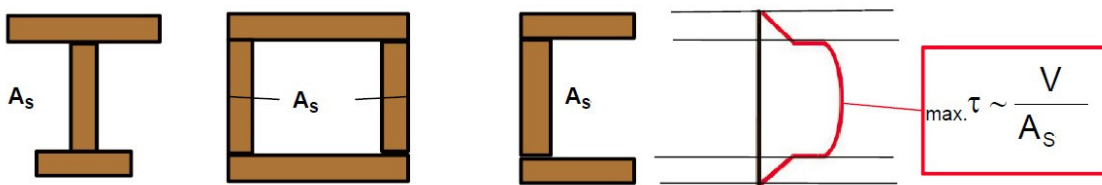


Nihkepingete leidmine ristkülikulise ristlõike korral:

$$\tau = \frac{V \cdot S_Y}{I_Y \cdot b}$$

$$\tau = \frac{V \cdot \frac{b \cdot h^2}{8}}{\frac{b \cdot h^3}{12} \cdot b} = \frac{V \cdot 12}{8 \cdot h \cdot b} = \frac{1,5 \cdot V}{A}$$

Nihkepingete leidmine seinas vöödega ristlõike korral (plastne pingeaotus, ebatäpne):



4.1.2 Lõige ümber mõlema telje

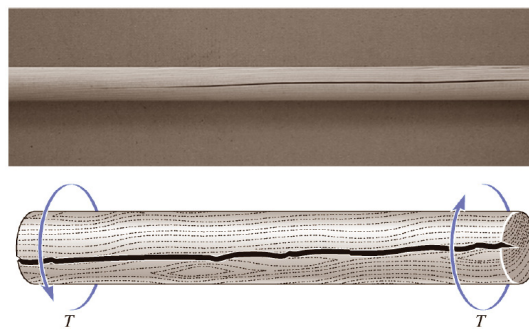
$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$$

4.2.1 Vääne

$$\frac{\tau_{\text{tor},d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\tau_{\text{tor},d} = \frac{T_d}{W_T}$$

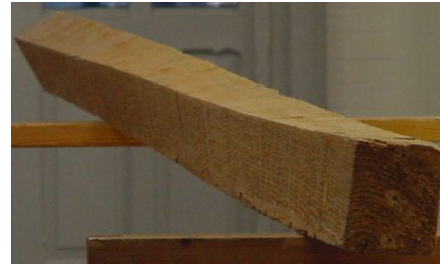
- $\tau_{\text{tor},d}$ – arvutuslik väändepinge
 $f_{v,d}$ – arvutuslik nihketugevus
 T_d – arvutuslik väändemoment
 W_T – arvutuslik väändevastupanumoment



RISTLÖIGE	VÄÄNDE INERTSIMOMENT I_T	VÄÄNDE VASTUPANUMOMENT W_T									
	$I_T = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$	$W_T = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$									
	$I_T = \frac{\pi \cdot (d^4 - d_i^4)}{32}$	$W_T = \frac{\pi \cdot (d^4 - d_i^4)}{16 \cdot d}$									
	$I_T = \sum \frac{b_i \cdot t_i^3}{3}$	$W_T = \frac{\sum b_i \cdot t_i^3}{3 \cdot t_{\text{max}}}$									
	$I_T = \frac{4 \cdot (A^*)^2}{\sum b_i / t_i}$	$W_T = 2 \cdot A^* \cdot t_{\text{min}}$									
	$I_T = \alpha \cdot b \cdot t^3$	$W_T = \beta \cdot b \cdot t^2$									
	h/b	1	1,25	1,50	2,00	3,00	4,00	6,00	10,00	∞	
	α	0,140	0,171	0,196	0,229	0,263	0,281	0,299	0,313	0,333	
	β	0,208	0,221	0,231	0,246	0,267	0,282	0,299	0,313	0,333	

4.2.2 Vääne koos lõikega

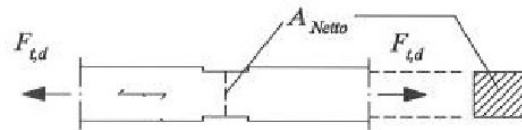
$$\frac{\tau_{tor,d}}{f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1$$



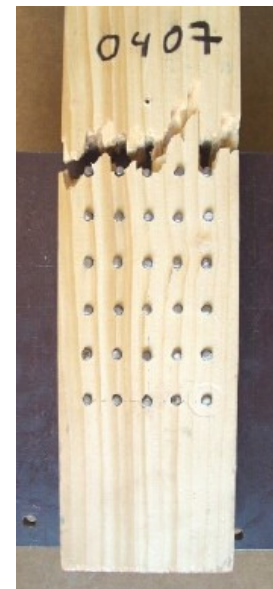
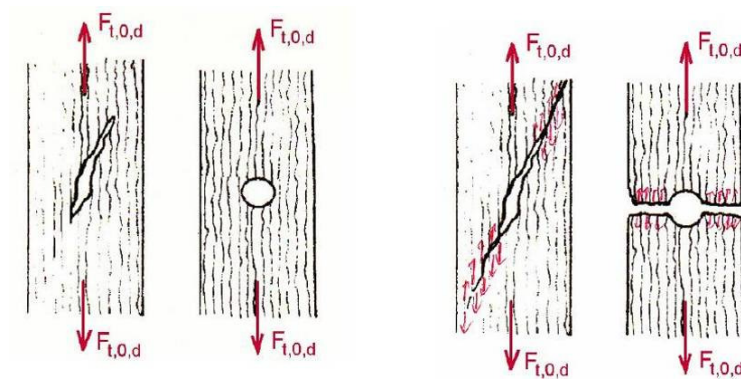
4.3 Tõmme

4.3.1 Tõmme pikikiudu

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

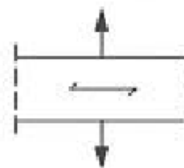


$\sigma_{t,0,d}$ – arvutuslik tõmbepinge pikikiudu NB! Arvestada netoristlõikega.
 $f_{t,0,d}$ – arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu



4.3.2 Tõmme ristikiudu

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} \leq 1$$



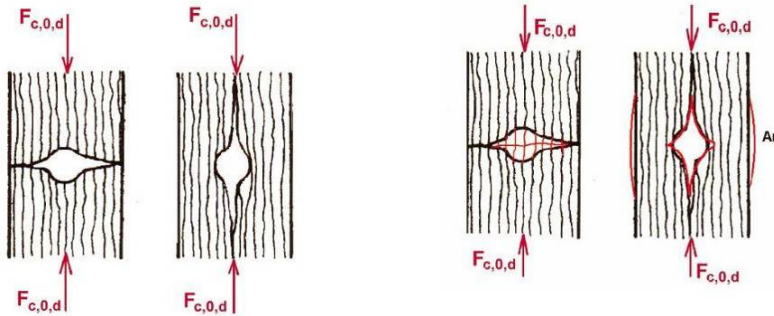
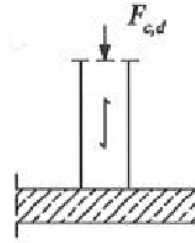
$\sigma_{t,90,d}$ – arvutuslik tõmbepinge ristikiudu
 $f_{t,90,d}$ – arvutuslik tõmbetugevus ristikiudu

4.4 Surve

4.4.1 Surve pikikiudu

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1$$

$\sigma_{c,0,d}$ – arvutuslik survepinge pikikiudu
 $f_{c,0,d}$ – arvutuslik survetugevus pikikiudu

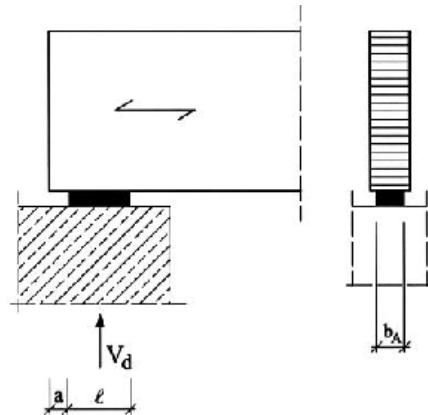


4.4.2 Surve ristikiudu

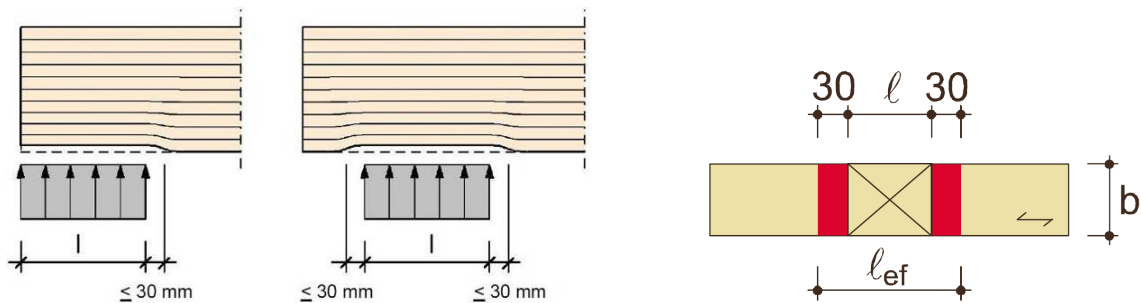
$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1$$

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

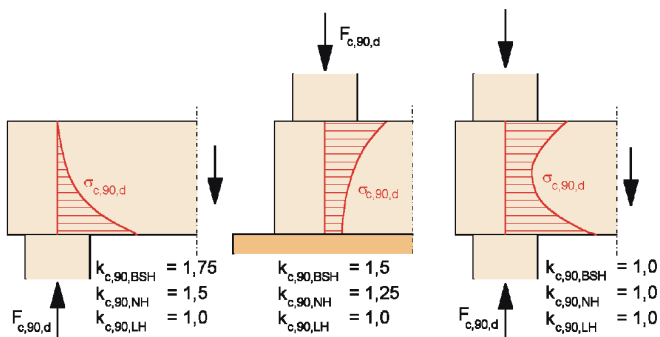
$$l_{ef} \leq 2 \cdot l$$



$\sigma_{c,90,d}$ – arvutuslik survepinge ristikiudu efektiivsel kontaktpinnal
 $f_{c,90,d}$ – arvutuslik survetugevus ristikiudu
 $k_{c,90}$ – tegur, mis arvestab koormuse konfiguratsiooni, lõhestumisvõimalust ning survedeformatsioonide astet ($k_{c,90} = 1.0 - 1.75$)

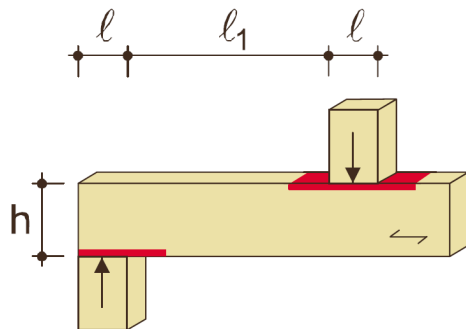


Teguri $k_{c,90}$ väärtuseks tuleks võtta 1,0 juhul, kui ei kehti alljärgnevate punktide tingimused, kus näidatud juhtudel võib võtta teguri $k_{c,90}$ väärtused suuremad - kuni $k_{c,90} = 1,75$.



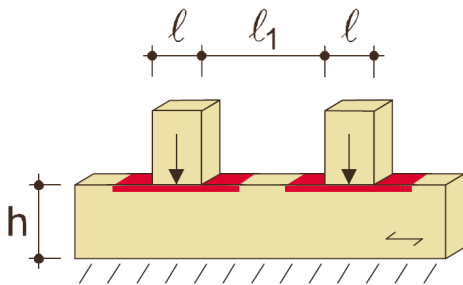
Kohttoel asuvale elemendile, mille puhul $l_1 \geq 2h$, tuleks teguri $k_{c,90}$ väärtus võtta järgmiselt:

- $k_{c,90} = 1,5$ monoliitpuidu jaoks
- $k_{c,90} = 1,75$ okaspuidust liimpuit juhul kui $l \leq 400$ mm
kus h on elemendi ristlõike kõrgus ning l on kontaktpikkus.

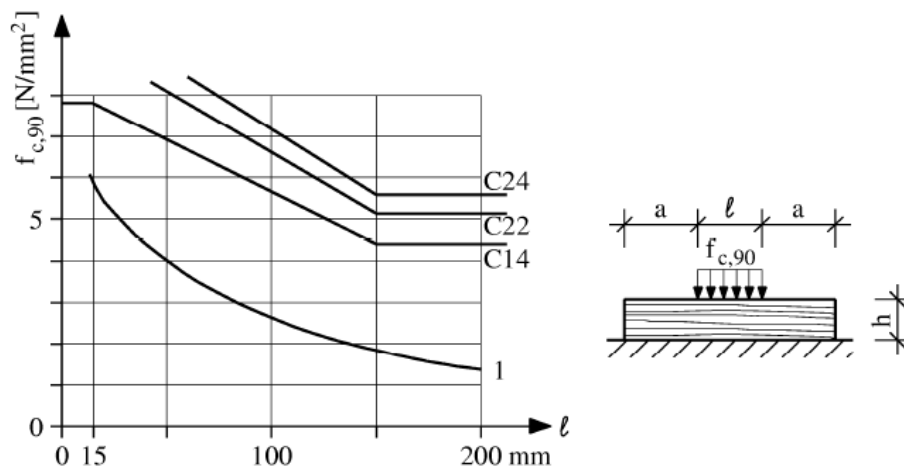
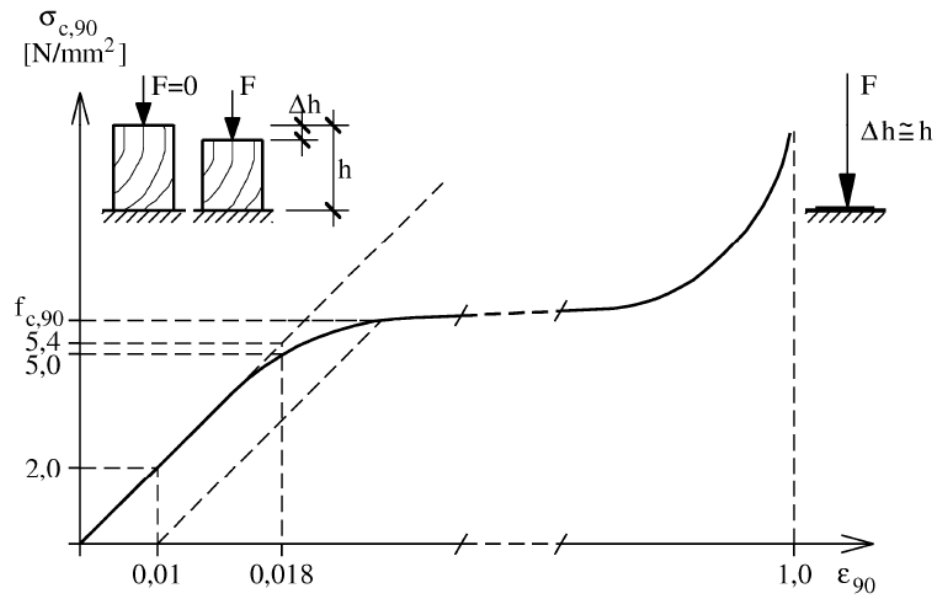


Pideval toel asuvale elemendile, mille puhul $l_1 \geq 2h$, tuleks teguri $k_{c,90}$ väärtus võtta järgmiselt:

- $k_{c,90} = 1,25$ monoliitpuidu jaoks
- $k_{c,90} = 1,5$ okaspuidust liimpuit juhul kui $l \leq 400$ mm
kus h on elemendi ristlõike kõrgus ning l on kontaktpikkus.



Survetugevus ristikiudu on piiratud deformatsiooniga!

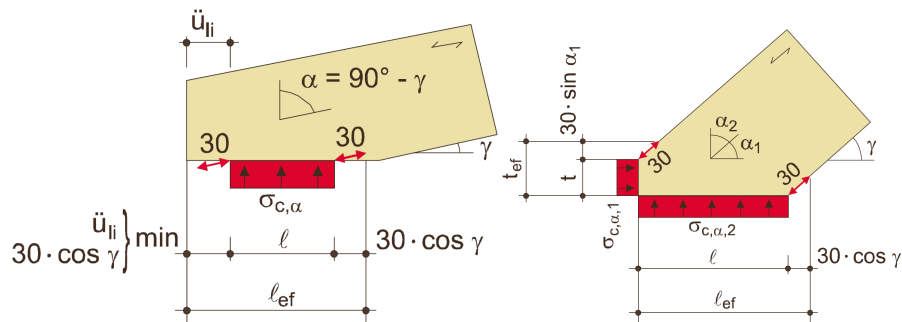


4.4.3 Surve kiudude suhtes nurga all

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

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$\sigma_{c,\alpha,d}$ – arvutuslik survepinge kiudude suhtes nurga α all

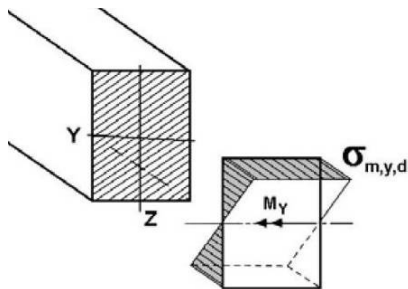


$l_{ef} = l + 30 \cdot \sin \alpha$	$l_{ef} = l + 2 \cdot 30 \cdot \sin \alpha$
$t_{ef} = t + 30 \cdot \sin \gamma$ $l_{ef} = l + 30 \cdot \cos \gamma$	$l_{ef} = l + \min \left\{ \begin{array}{l} \ddot{u}_{li} \\ 30 \cdot \cos \gamma \end{array} \right\} + 30 \cdot \cos \gamma$
$t_{ef} = \frac{t}{\cos \alpha} + 2 \cdot 30 \cdot \sin \alpha$	$l_{ef} = \frac{t}{\sin \gamma} + 2 \cdot 30 \cdot \cos \gamma$

4.5 Paine

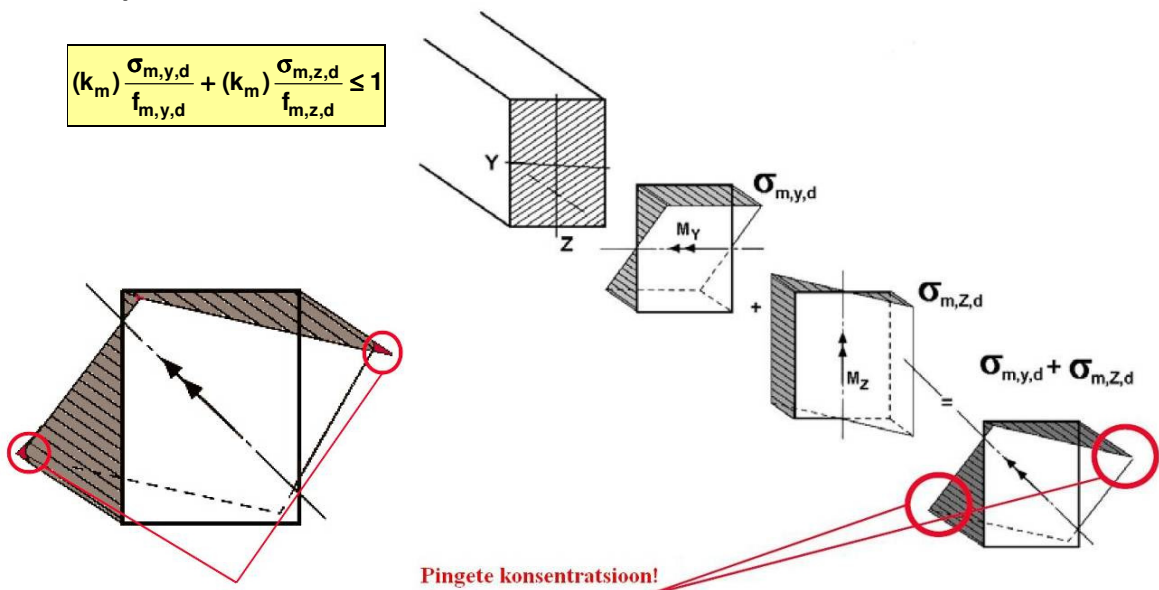
$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

σ_d – arvutuslik paindepinge
 $f_{m,d}$ – arvutuslik paindetugevus



4.6 Vildakpaine

$$(k_m) \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + (k_m) \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$



k_m – arvestab pingete ümberjagunemist ja materjali mittehomogeensust

Monoliitpuidu, lamell-liimpuidu ja spoonliimpuidu puhul:

- täisnurkse ristlõike korral: $k_m = 0,7$
- muu ristlõike korral: $k_m = 1,0$

Teiste puidupõhiste konstruktsioonitoodete jaoks, kõikide ristlõigete puhul: $k_m = 1,0$

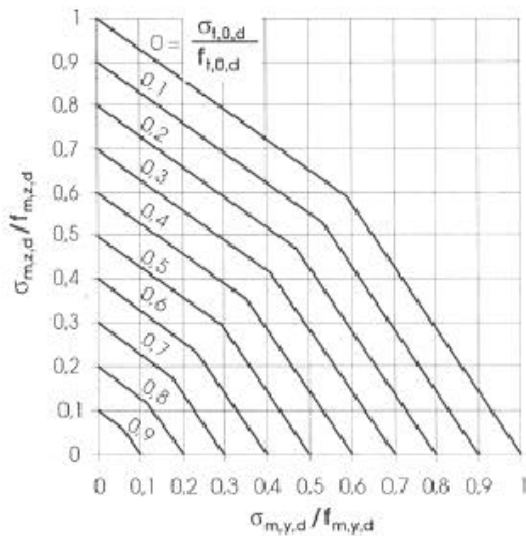
Märkus: k_m esineb valemis ainult vildakpaine puhul ja ainult ühe korra (juhul kui tegemist on täisnurkse monoliit- või liimpuiduga), korrutada väiksema väärtusega murdu.

4.7 Tõmme koos paindega

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + (k_m) \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + (k_m) \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

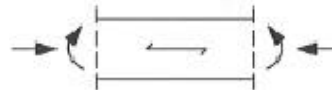


Märkus: k_m esineb valemis ainult vildakpaine puhul ja ainult ühe korra (juhul kui tegemist on täisnurkse monoliit- või liimpuiduga), korrutada väiksema väärtusega murdu

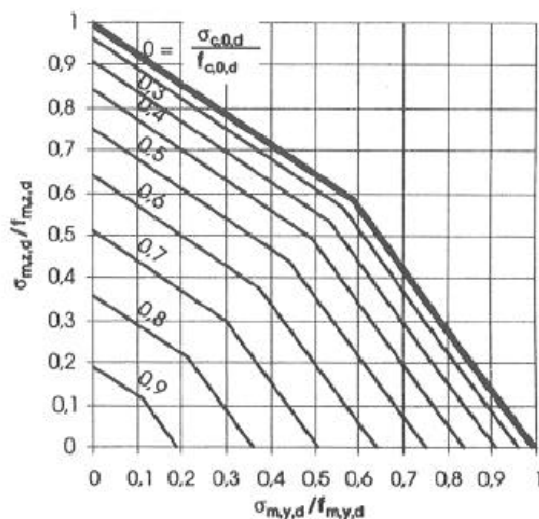


4.8 Surve koos paindega

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + (k_m) \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + (k_m) \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

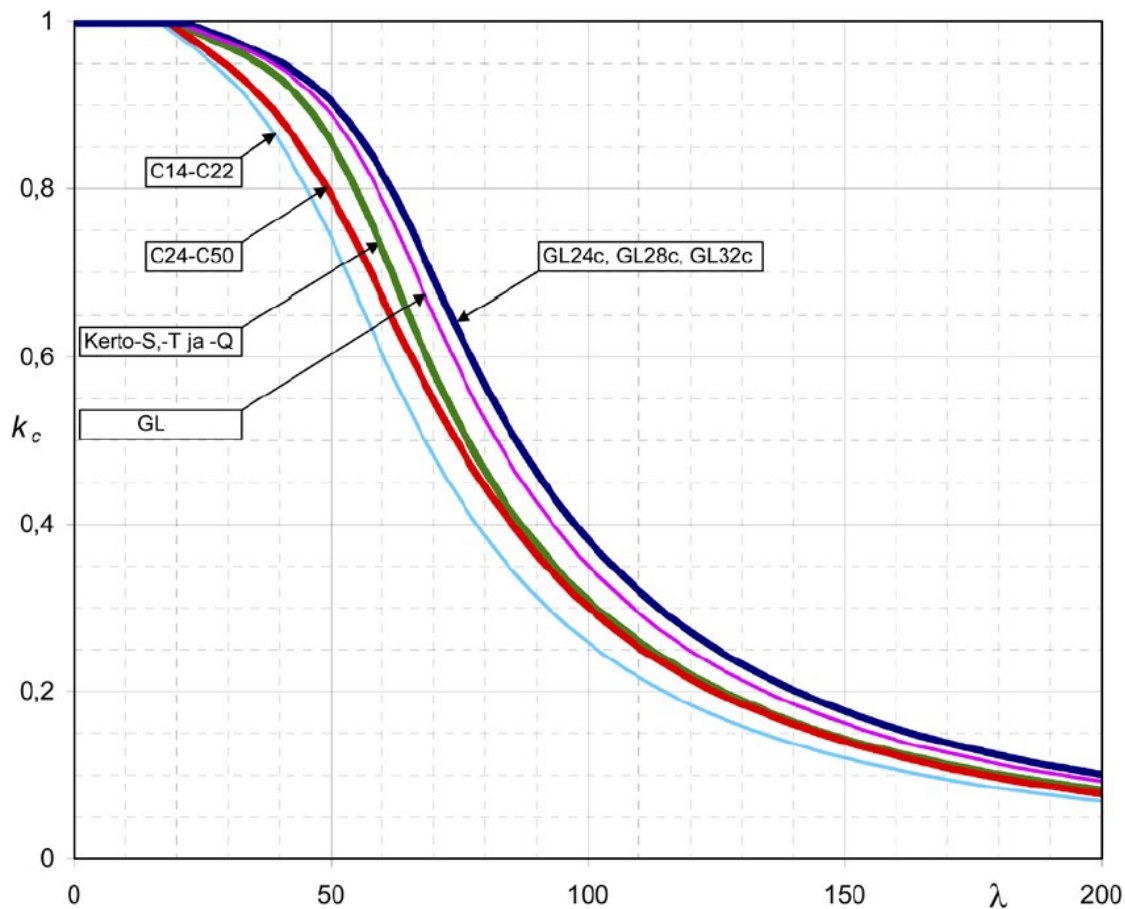


Märkus: k_m esineb valemis ainult vildakpaine puhul ja ainult ühe korra (juhul kui tegemist on täisnurkse monoliit- või liimpuiduga), korrutada väiksema väärtusega murdu.



5. VARRASTE STABIILSUSKONTROLL

5.1 Surutud varda stabiilsus



$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

$$k = 0,5 \cdot (1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2)$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

k_c – nõtketegur

λ – saledus

λ_{rel} – tingsaledus

$\beta_c = 0,2$ – monoliitpuidul

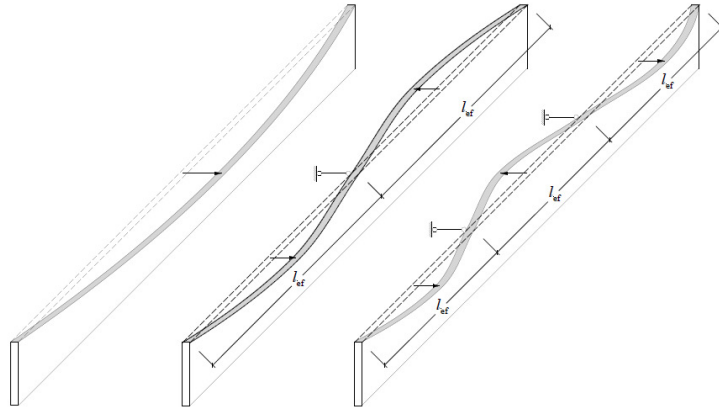
$\beta_c = 0,1$ – liim- ja spoonliimpuidul

5.2 Painutatud varda stabiilsus

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

k_{crit} – kiivetegur
 $\lambda_{rel,m}$ – tingsaledus

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$



$$k_{crit} = \begin{cases} 1.0 & \text{kui } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1.56 - 0.75\lambda_{rel,m} & \text{kui } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{kui } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

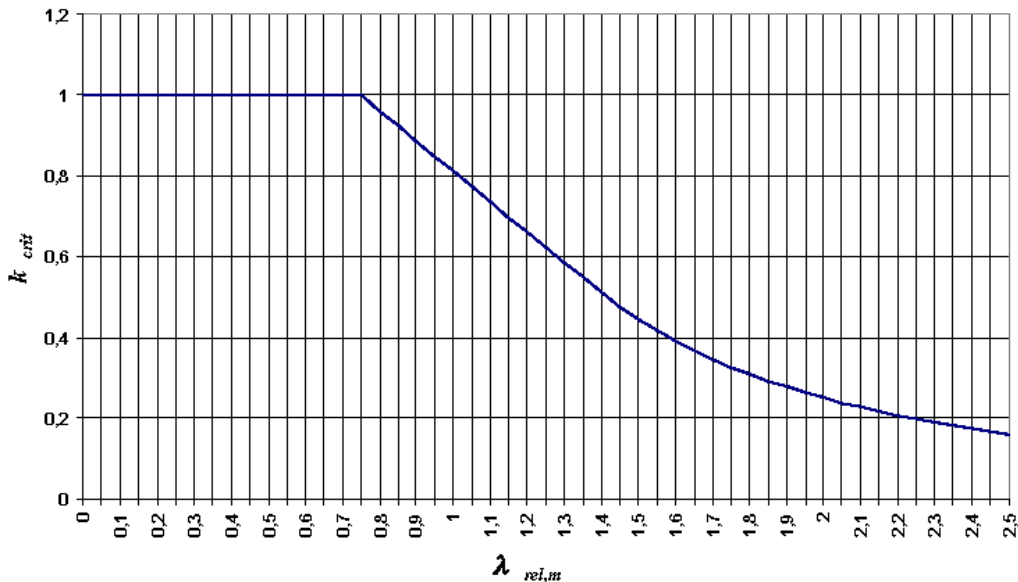
kui $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$
kui $0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$
kui $1,4 < \lambda_{rel,m}$

Ristkülikulise ristlõike korral: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot (\mu \cdot L_{eff})}$

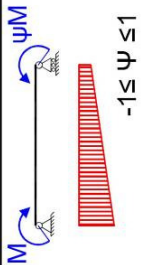
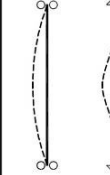
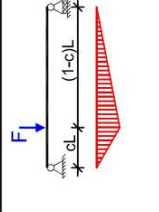
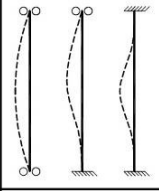
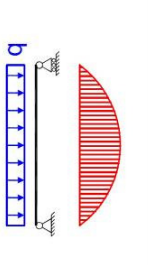
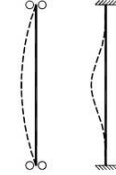
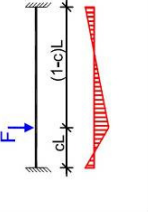
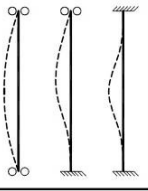
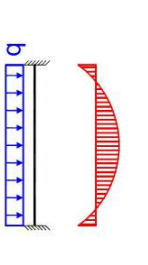
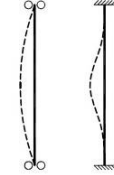
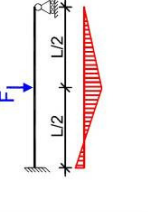
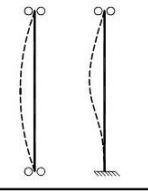
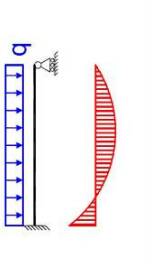
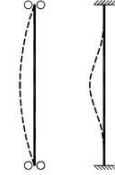
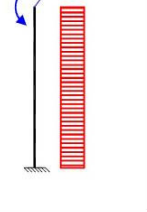
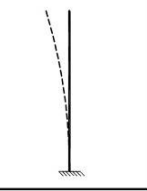
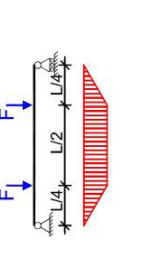
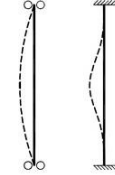
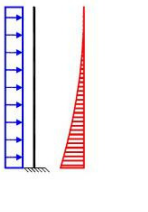
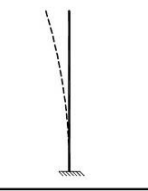


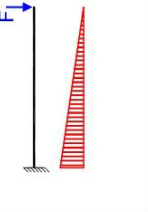
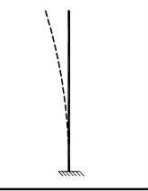
Suvalise ristlõike korral: $\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{(\mu \cdot L_{eff}) \cdot W_y}$

μ – paindemomendist ja külgsuunalisest kinnitusest (šarniir või jäik) sõltuv tegur, mis vähendab või suurendab kiivepikkust L_{eff} .

Märkus: Valemis on eeldatud, et y-y telg on paindetelg, ning on y-y telje inertsimoment on suurem kui z-z telje oma.



Tabelis on toodud tegur μ , millega suurendada või vähendada kiivepikkust vastavalt paindemomendi epüüri kujule ja kinnitusele toel ümber z-z telje (plaanis).

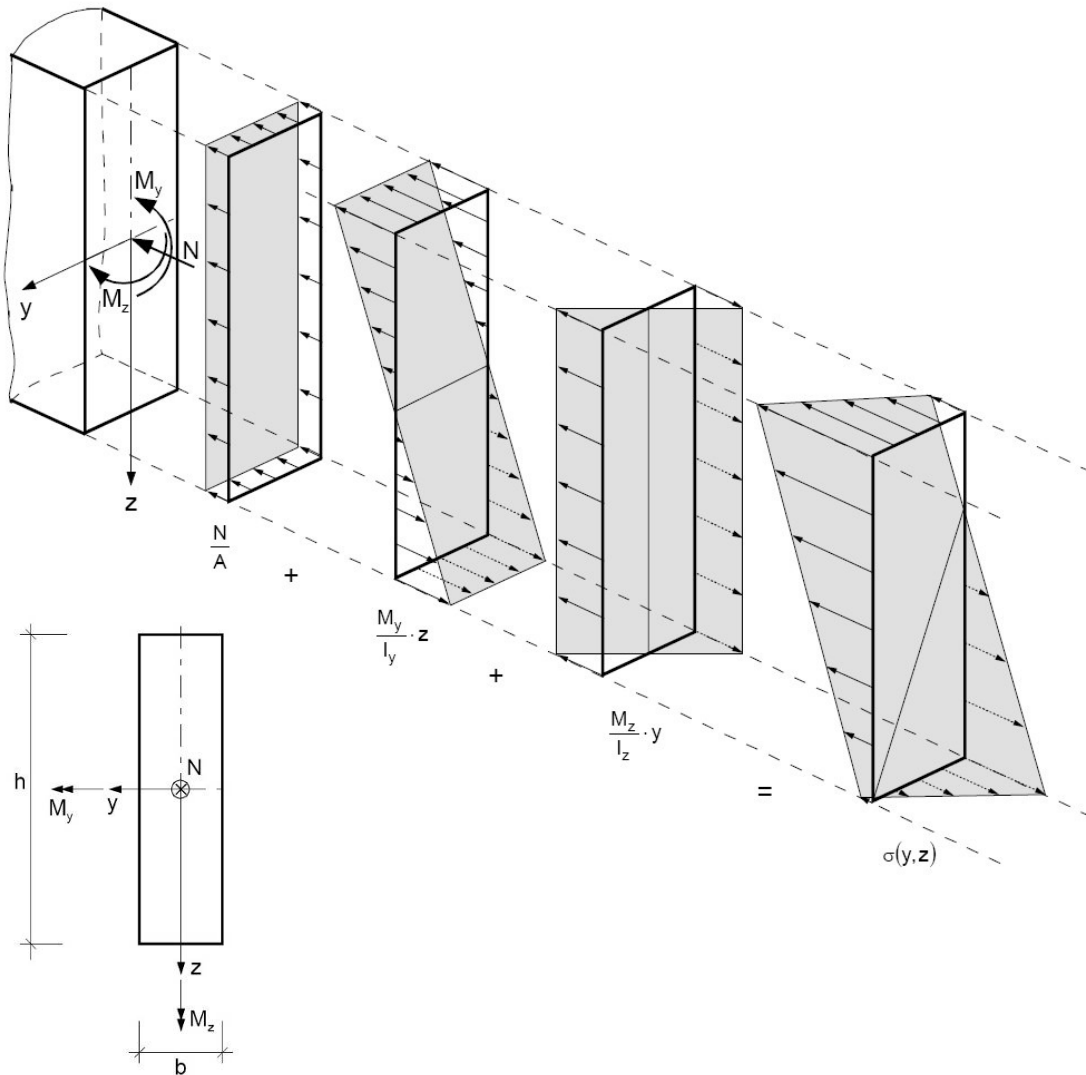
Staatiline skeem	Külgkinnitus	μ	Staatiline skeem	Külgkinnitus	μ
 <p>ψM $-1 \leq \psi \leq 1$</p>		<p>$0,60+0,40\psi > 0,40$ $0,60+0,40\psi > 0,20$</p>			<p>$0,56+0,47c(1-c)$ $0,28+0,80c(1-c)$ $0,49+0,60c(1-1,14c) > 0,35$</p>
		<p>0,90 0,55</p>			<p>$0,47+0,50c(1-c)$ $0,39+0,58c(1-c)$ $0,47+0,41c(1-1,17c) > 0,35$</p>
		<p>0,80 0,70</p>			<p>0,70 0,65</p>
		<p>0,80 0,75</p>			<p>2,00</p>
		<p>1,0 0,55</p>			<p>0,50</p>
		<p>0,80</p>			<p>0,80</p>

5.3 Surutud ja painutatud varda stabiilsus

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,min} \cdot f_{c,0,d}} + (k_m) \frac{\sigma_{m,y,d}}{(k_{crit}) \cdot f_{m,y,d}} + (k_m) \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Märkused:

- $k_{c,min}$ väikseim nõtketegur ($k_{c,y}$ või $k_{c,z}$)
- k_{crit} kiivetegur, eeldusel, et paindemoment mõjub ümber tugevama, st. y-y telje ($I_y > I_z$)
- k_m esineb valemis ainult vildakpaine puhul ja ainult ühe korra ja juhul kui tegemist on täisnurkse monoliit- või liimpuiduga $h/b < 4$ (korrutada väiksema väärtusega murdu).



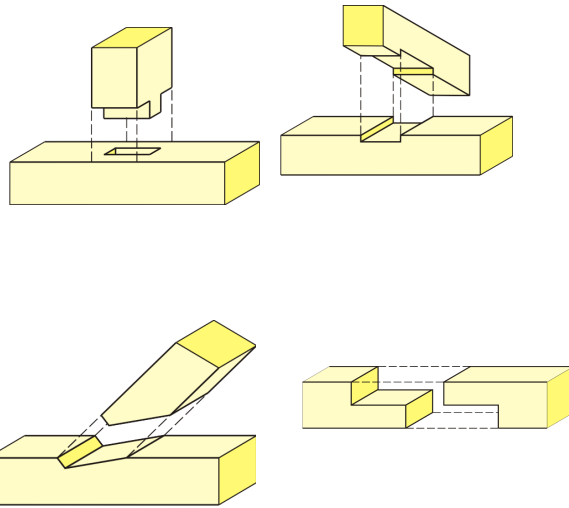
5.4 Tõmmatud ja painutatud varda stabiilsus

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + (k_m) \frac{\sigma_{m,y,d}}{(k_{crit}) \cdot f_{m,y,d}} + (k_m) \frac{\sigma_{m,z,d}}{(k_{crit}) \cdot f_{m,z,d}} \leq 1$$

6. LIITED

Puitliited jagunevad:

TAPPLIITED

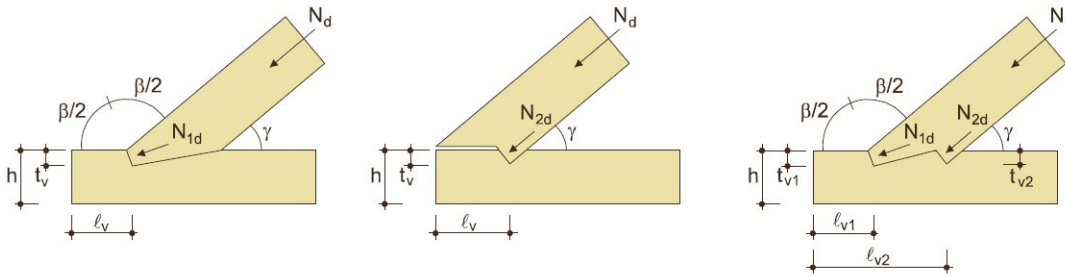


Kontaktpindade surve kontroll

$$\frac{N_{1(2),d}}{A_{\text{kontakt}} \cdot k_{c,\alpha} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

Alumise vöö nihke kontroll

$$\frac{N_d \cdot \cos \gamma}{b \cdot l_{v,d} \cdot f_{v,d}} \leq 1$$

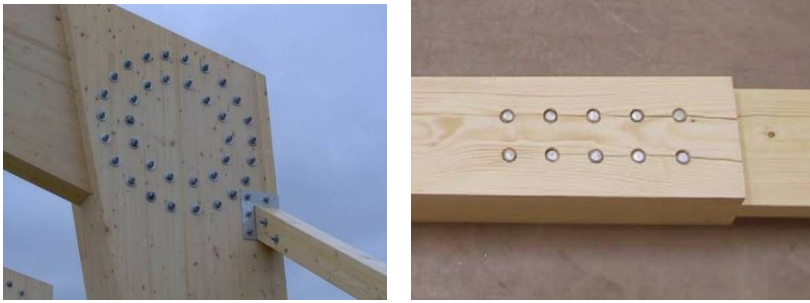


$R_{S,d} = b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_S$	$R_{F,d} = b \cdot t_v \cdot f_{c,0,d} \cdot k_F$	$R_{D,d} = R_{S,d} + R_{F,d}$
$l_v \geq \frac{N_d \cdot \cos \gamma}{b \cdot f_{v,d}}$	$l_v \geq \frac{N_d \cdot \cos \gamma}{b \cdot f_{v,d}}$	$l_{v,1} \geq \frac{N_{S(1),d} \cdot \cos \gamma}{b \cdot f_{v,d}} \quad l_{v,2} \geq \frac{N_d \cdot \cos \gamma}{b \cdot f_{v,d}}$
$k_S = \frac{1}{\cos^2\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)\right)^2 + \cos^4\left(\frac{\gamma}{2}\right)}}$		
$k_F = \frac{1}{\cos \gamma \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \gamma\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma\right)^2 + \cos^4 \gamma}}$		

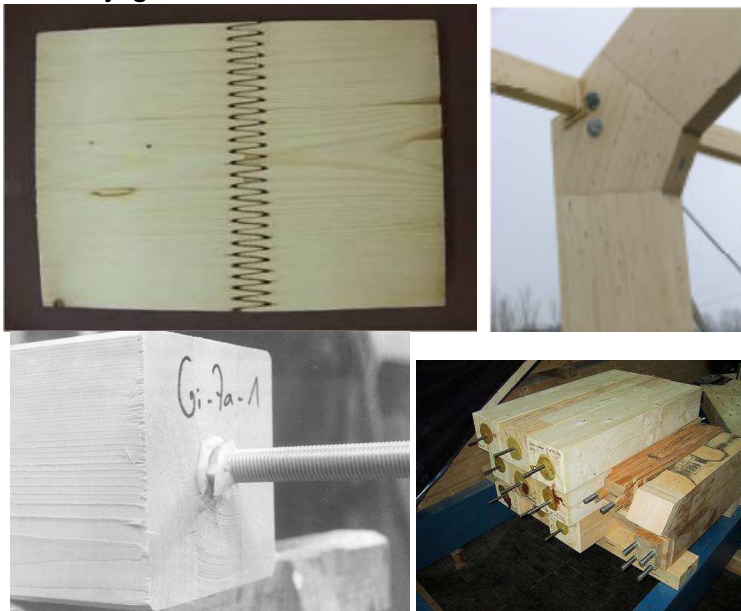
C 24

γ	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
k_S	0,926	0,882	0,836	0,793	0,754	0,720	0,692	0,670	0,654	0,643
k_F	0,766	0,677	0,607	0,557	0,522	0,502	0,495	0,501	0,522	0,563

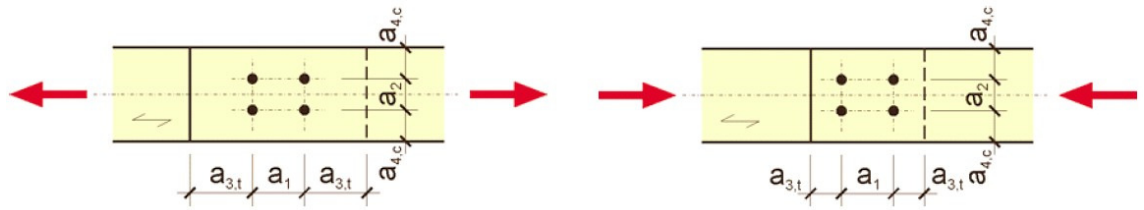
MEHAANILISED LIITED – deformatiivsed



LIIMLIITED – jäigad

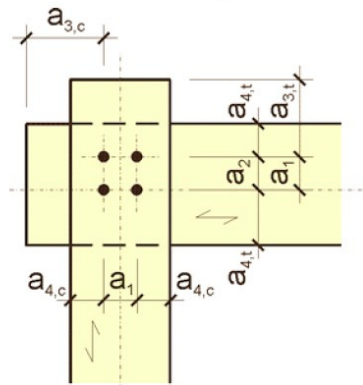


Liidete kinnituselementide vahekaugused:

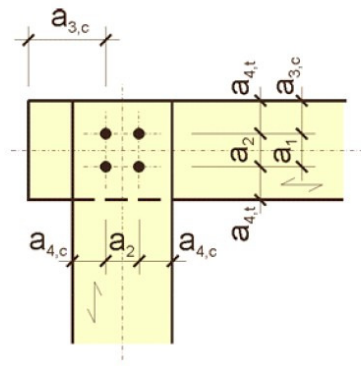


Tension joint

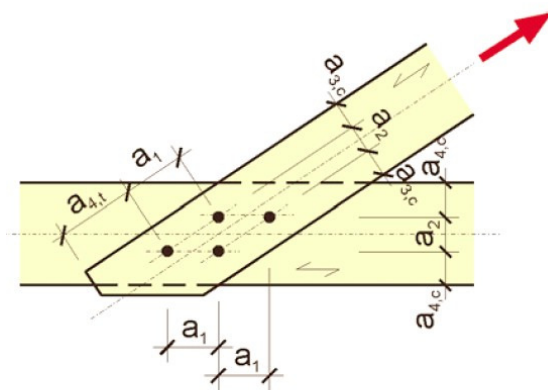
Compression joint



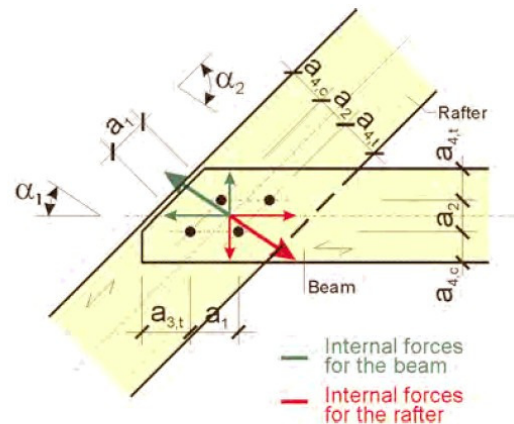
Joint with orthogonal members loaded in tension



Joint with orthogonal members loaded in compression

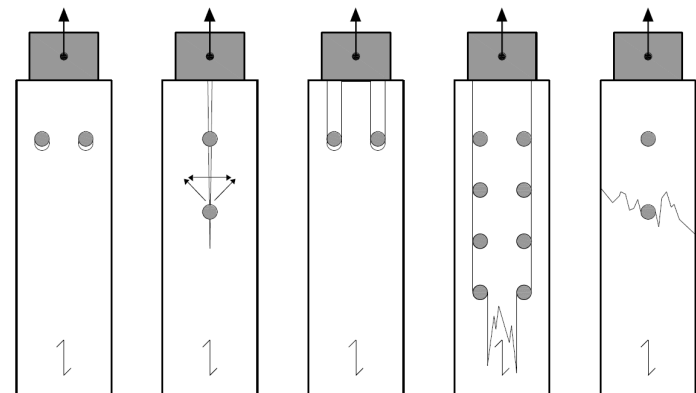


Joint loaded in tension under an angle



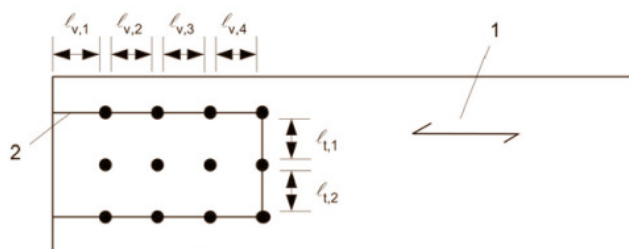
Joint loaded in compression under an angle

Puitelementide kontroll purunemisele



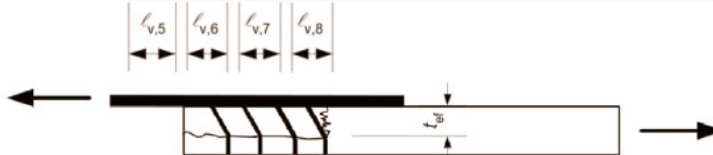
Teras-puiduga mitmenaagilise puitelemendi otsalähedase liite, mis koormatud kiudude suhtes paralleelse jõu komponendiga, selle purunemisel piki liitepinna perimeetrit, tuleb kontrollida:

$$F_{bs,Rd} = \begin{cases} 1.5A_{net,t} \cdot f_{t,0,d} \\ 0.7A_{net,v} \cdot f_{v,d} \end{cases}$$



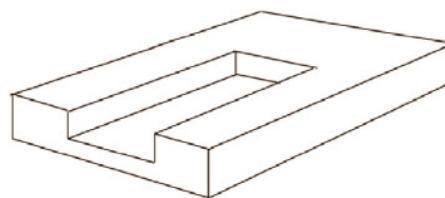
Õhukeste terasplaatide korral:

$$t_{ef} = \begin{cases} 0.4 \cdot t_1 \\ 1.4 \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \end{cases}$$



Paksude terasplaatide korral:

$$t_{ef} = \begin{cases} \sqrt{2 \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} \\ t_1 \left[\sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \end{cases}$$

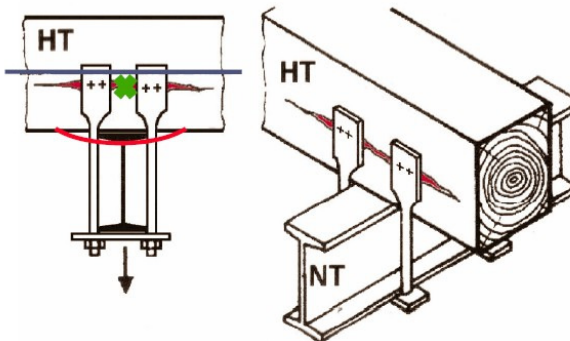
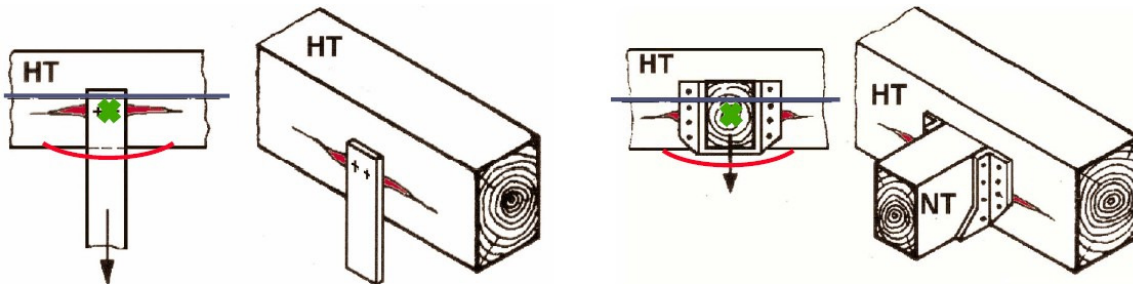
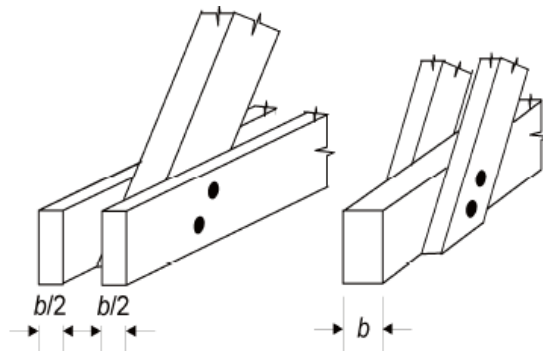
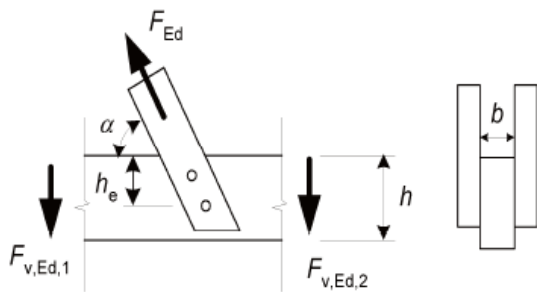
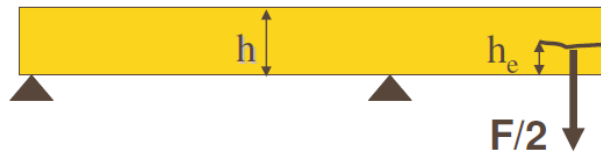
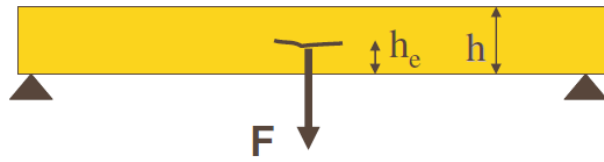


Ühenduses kiudude suhtes nurga all mõjuvad jõud

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Ed}$$

$$F_{v,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases}$$

$$F_{90,Rk} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

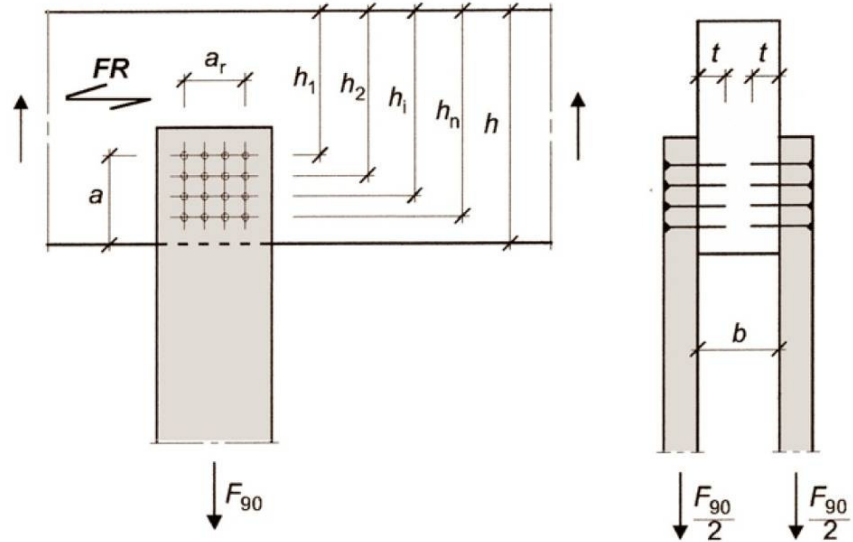


Ristikiudu koormatud elemente tuleb kontrollida tõmbele ristikiudu

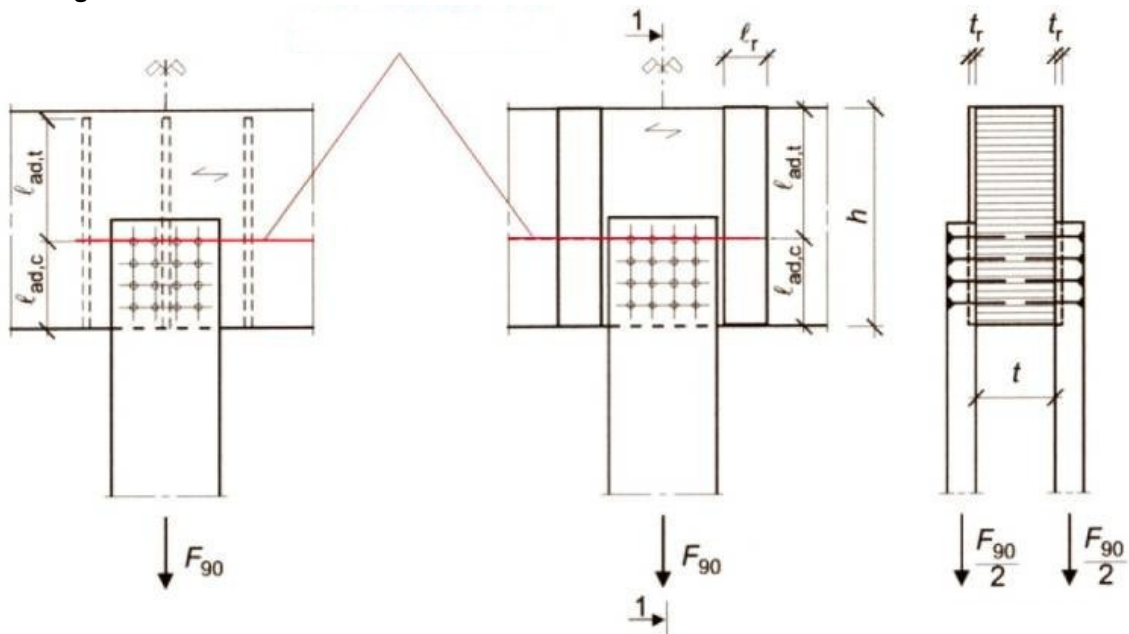
$$F_{90,k} = k_s \cdot k_r \left(6.5 + \frac{18a^2}{h^2} \right) (t_{ef} \cdot h)^{0.8} \cdot f_{t,90,k}$$

$$k_s = \max \left\{ 1, 0.7 + \frac{1.4a}{h} \right\}$$

$$k_r = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1}{h_i} \right)^2}$$

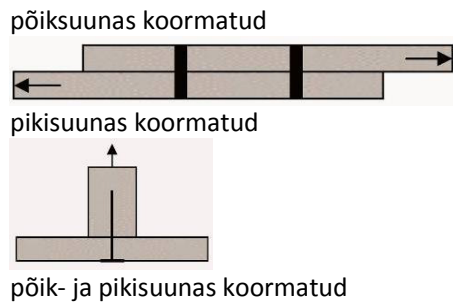


Liite tugevdus



Liidete arvutamiseks vajalikud algandmed:

A) kinnituselemendi koormamissuund



B) kinnituselemendi lõigete arv

Ühe-, kahe- või mitmelõikelised

C) ühendatavad elemendid:

puit-puit
puit-teras
puit-puitplaat

D) kinnituselement

naelad
kruvid
naaglid
poldid
(konnektor, liimitud poltliited)

Liite arvutuslik kandevõime:

$$F_d = \frac{k_{mod} \cdot F_k}{\gamma_m}$$

Kui liide koosneb kahest erinevast materjalist, siis:

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

6.1 Põiksuunas koormatud liidete kandevõime

NB! VALEMITES LEITAKSE KANDEVÕIME ALATI ÜHE LÕIKE KOHTA

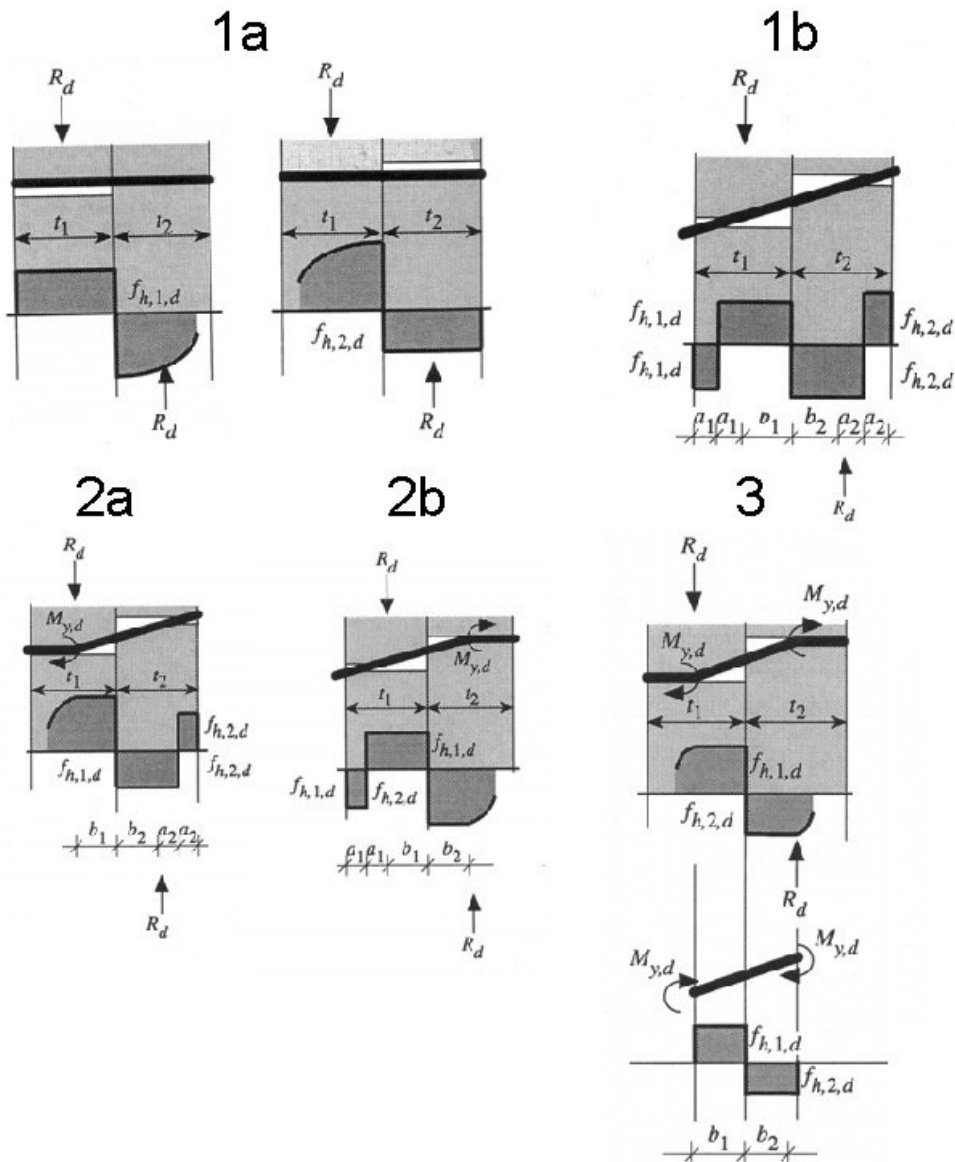
$f_{h,k}$ - puidu normatiivne muljumistugevus

$M_{y,Rk}$ - kinniti normatiivne paindekandevõime



6.1.1 Puit-puiduga ja (puidupõhjaline)plaat -puiduga ühendused

$f_{h,1,k}$	– puidu normatiivne muljumistugevus esimeses elemendis
$f_{h,2,k}$	– puidu normatiivne muljumistugevus teises elemendis
$M_{y,Rk}$	- kinnituselemendi normatiivne paindekandevõime
t_1	– süvistussügavus esimeses puitelemendis
t_2	– süvistussügavus teises puitelemendis
d	- kinnituselemendi diameeter
$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$	- muljumistugevuste suhe, $f_{h,2,k} = f_{h,1,k} \cdot \beta$
$F_{ax,Rk}$	– liite tõmbekandevõime (kui ei ole teada, siis võtta 0-ks)



PÕIKSUUNAS KOORMATUD LIIDETE KINNITUSELEMENTIDE EFEKTIIVNE SÜGAVUS

PUIT-PUIDUGA LIITED		
	$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k}$	$\beta = 1$
1-LÕIKELINE LIIDE	$t_{1,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$	$t_{1,req} = 3,93 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$
2-LÕIKELINE LIIDE	$t_{2,req} = 1,15 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{1+\beta}} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$	$t_{2,req} = 3,93 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$
MITMELÕIKELINE LIIDE	$t_{2,req} = 1,15 \cdot \frac{4}{\sqrt{1+\beta}} \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$	$t_{2,req} = 3,25 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,2,k} \cdot d}}$
TERAS-PUIDUGA LIITED		
Välimisele ja sisemisele paksudele kinnituselemendile $t \geq d$	$t_{req} = 1,15 \cdot 4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 4,60 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$	
Välimisele õhukestele kinnituselemendile $t \leq 0,5 \cdot d$	Kahelõikelised liited, kus puit on keskel: $t_{req} = 1,15 \cdot (2 \cdot \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 3,25 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$	
	Muud liited, kus puit on keskel: $t_{req} = 1,15 \cdot (2 + \sqrt{2}) \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}} = 3,93 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d}}$	

Ühelõikelise liite kandevõime:

$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$ $V_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} t_2 d$ $V_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $V_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $V_M = 1.2$	
$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $V_M = 1.2$	
$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $V_M = 1.1$	

Kahelõikelise liite kandevõime:

$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$ $V_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = 0.5 f_{h,2,k} t_2 d$ $V_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $V_M = 1.2$	
$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $V_M = 1.1$	

6.1.2 Puit-teras ühendused

Ühelõikelise liite kandevõime õhukese terasplaadi ($t \leq 0.5d$) korral:

$F_{v,Rk} = 0.4 f_{h,1,k} t_1 d$ $\gamma_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $\gamma_M = 1.1$	

Ühelõikelise liite kandevõime paksu terasplaadi ($t \geq d$) korral:

$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$ $\gamma_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $\gamma_M = 1.2$	
$F_{v,Rk} = 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $\gamma_M = 1.1$	

Õhukese ja paksu plaadi vahele jääva terasplaadi kandevõime määratakse lineaarse interpoleerimise teel.

Kahelõikelise liite kandvõime keskmise terasplaadi korral:

$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d$ $\gamma_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2} - 1} \right] + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $\gamma_M = 1.2$	
$F_{v,Rk} = 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $\gamma_M = 1.1$	

Kahelõikelise liite kandvõime, väliste õhukeste terasplaatide ($t \leq 0.5d$) korral:

$F_{v,Rk} = 0.5 f_{h,2,k} t_1 d$ $\gamma_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $\gamma_M = 1.1$	

Kahelõikelise liite kandvõime, väliste paksude terasplaatide ($t \geq d$) korral:

$F_{v,Rk} = 0.5 f_{h,2,k} t_1 d$ $\gamma_M = 1.3$	
$F_{v,Rk} = 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \left(\frac{F_{ax,Rk}}{4} \right)$ $\gamma_M = 1.1$	

6.2 Naelliited

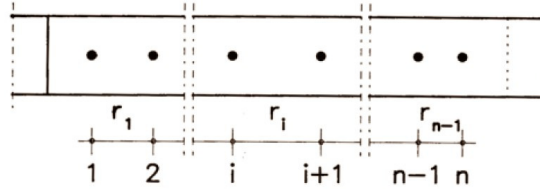
6.2.1 Põiksuunas koormatud naelad

Naelte süvistussügavus ja puitelemendi minimaalne paksus

Siledate naelte süvistussügavus teravikupoelses otsas peaks olema vähemalt **8d**!
Puidu minimaalne paksus avade ettepuurimiseta, et välistada lõhenemist.

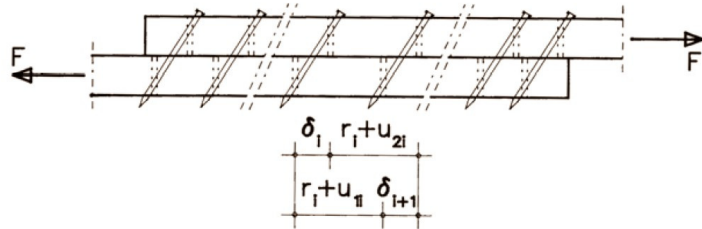
$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30)\rho_k / 400 \end{array} \right\}$$

NB! $d = \text{mm}$; $\rho = \text{kg/m}^3$



Naelte efektiivne arv ühes reas

Pikkikiudu ühes reas paiknevate n naela kandevõime leidmisel tuleb arvutada efektiivne naelte arv n_{ef} , sest vastavalt puitelementide pikideformatsioonide erinevusele naelte vahel pikkikiudu jaguneb jõud naelte vahel erinevalt.



$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

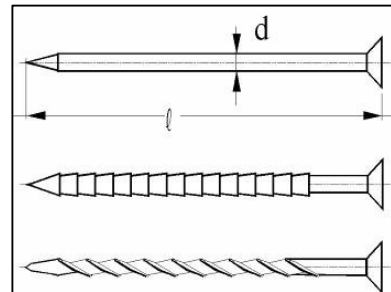
Paigutus pikkikiudu	k_{ef}	
	Ettepuurimiseta	Ettepuuritud avad
$a_1 \geq 14d$	1.0	1.0
$a_1 = 10d$	0.85	0.85
$a_1 = 7d$	0.7	0.7
$a_1 = 4d$	-	0.5

Naela normatiivne paindekandevõime

Siledate naelte jaoks, mis on valmistatud terastraadist tõmbetugevusega 600 N/mm^2 võetakse voolavuspiirile vastava paindemomendi normväärtuseks:

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0.3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} & \text{ümarnaelad} \\ 0.45 \cdot f_u \cdot d^{2,6} & \text{ruutnaelad} \end{cases}$$

- $M_{y,Rk}$ - naela voolavuspiirile vastav paindekandevõime, Nmm
 d - naela diameeter standardi EN 14592 kohaselt, mm
 f_u - naela normatiivne tõmbetugevus, N/mm^2
 ρ_k - puidu normtihedus, kg/m^3
 t - plaadi paksus, mm



Puidu normatiivne muljumistugevus naelliites

Märkus: Kinnituselementidel, mille $d \geq 6\text{mm}$ tuleb muljumistugevuse leidmisel arvestada jõu ja kiu vahelist nurka, (puidu muljumistugevus ristikiudu on väiksem kui pikikiudu).

Muljumistugevus pikikiudu avade ettepuurimiseta (naelad, kruvid $d < 6\text{mm}$):

$$f_{h,0,k} = 0.082 \cdot d^{-0.3} \cdot \rho_k$$

Muljumistugevus pikikiudu avade ettepuurimisega:

$$f_{h,0,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

Muljumistugevus vineeris:

$$f_{h,0,k} = 0.11 \cdot d^{-0.3} \cdot \rho_k$$

Muljumistugevus vineeris avade ettepuurimisega:

$$f_{h,k} = 0.11 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

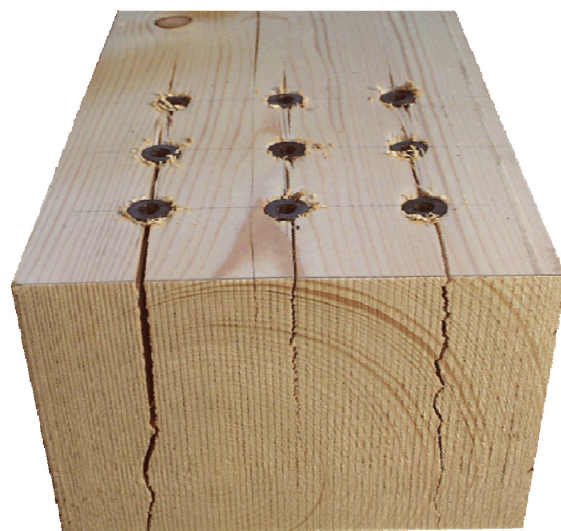
Muljumistugevus puitlaast- ja orienteeritud laastuga plaadis:

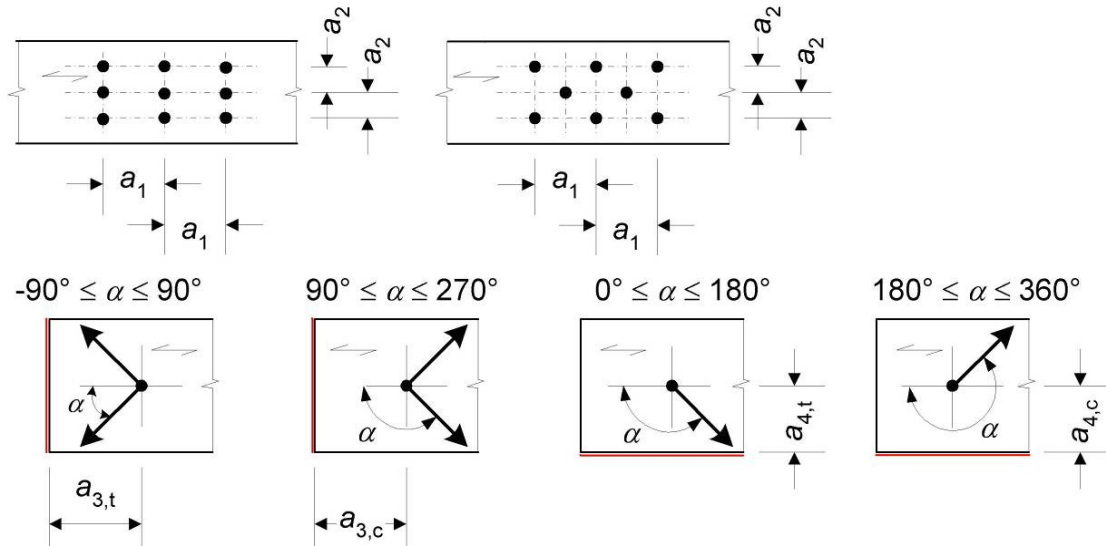
$$f_{h,k} = 65 \cdot d^{-0.7} \cdot t^{0.1}$$

Muljumistugevus puitlaast- ja orienteeritud laastuga plaadis avade ettepuurimisega:

$$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0.6} \cdot t^{0.2}$$

Naelte minimaalsed vahekaugused elemendi servast ning otsast





α – jõu ja kiu vaheline nurk

Vahekaugus või kaugus	Jõu ja puiduki vaheline nurk α	Minimaalsed vahekaugused või kaugused otsast või servast		
		Ettepuurimata avadega		Ettepuuritud avadega
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1 vahekaugus pikikiudu	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+5 \cdot \cos \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+7 \cdot \cos \alpha) d$	$(7+8 \cdot \cos \alpha) d$	$(4+ \cos \alpha) d$
a_2 vahekaugus ristikiudu	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+ \sin \alpha) d$
$a_{3,t}$ kaugus koormatud otsast	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5 \cos \alpha) d$	$(15+5 \cos \alpha) d$	$(7+5 \cos \alpha) d$
$a_{3,c}$ kaugus koormamata otsast	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,t}$ kaugus koormatud servast	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(7+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(3+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(3+4 \sin \alpha) d$
$a_{4,c}$ kaugus koormamata servast	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

6.2.2 Pikisuunas koormatud naelad

Alalise või pikaajalise pikikoormuse vastuvõtuks ei tohi kasutada siledaid naelu.

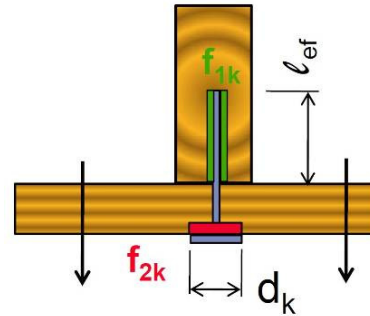
Naelte normatiivne väljatõmbe kandevõime $F_{ax,Rk}$ leitakse järgnevalt:

Siledatel naeltel

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_p \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{cases}$$

Kamm, keermesnaeltel

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_p \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{cases}$$

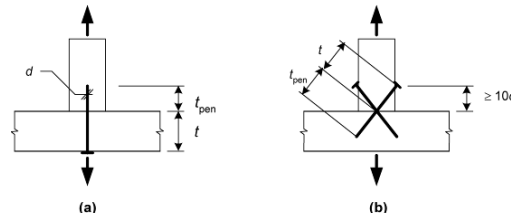


- $f_{ax,k}$ - normatiivne teravikupoolne väljatõmbetugevus
- $f_{head,k}$ - normatiivne peapoolne läbitõmbetugevus
- d - naela läbimõõt
- t_p - teravikupoolne süvistussügavus
- t - naelapeapoolse elemendi paksus
- d_h - naela pea diameeter

Siledatel naeltel, mille teravikupoolne süvistussügavus on vähemalt 12d, leitakse normväärtused väljatõmbel ja pea läbitõmbel järgmiste avaldistega:

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$$

$$f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$$



Ristikiudu naelutus

Kaldnaelutus

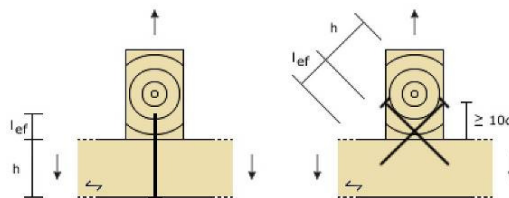
6.2.3 Põik- ja pikisuunas üheaegselt koormatud naelad

Siledate naelte korral:

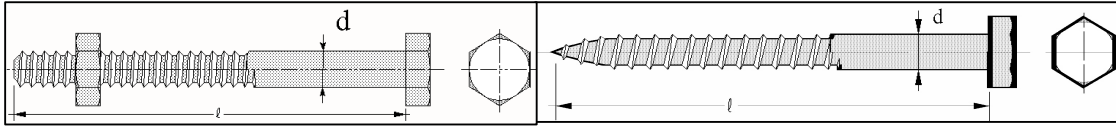
$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

Kamm, keermesnaeltel

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$



6.3 Poltliited



6.3.1 Põiksuunas koormatud poldid

Poldi normatiivne paindekandevõime

$$M_{y,Rk} = 0.3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2.6}$$

$M_{y,Rk}$ - poldi voolavuspiirile vastav paindekandevõime, Nmm

d - poldi diameeter standardi EN 14592 kohaselt, mm

$f_{u,k}$ - poldi normatiivne tõmbetugevus, N/mm²

Puidu normatiivne muljumistugevus poltliites

Muljumistugevus pikikiudu avade ettepuurimisega:

$$f_{h,0,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

ρ_k - puidu normtihedus, kg/m³

d - kinnituselemendi läbimõõt, mm

t - plaadi paksus, mm

Muljumistugevus kiudude suhtes nurga all, ettepuurimisega ($d \geq 8\text{mm}$):

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = \begin{cases} 1.35 + 0.015d & \text{- okaspuidule} \\ 1.30 + 0.015d & \text{- spoonpuidule} \\ 0.90 + 0.015d & \text{- lehtpuidule} \end{cases}$$

α - nurk jõu mõjumissuuna ja pikikiu vahel

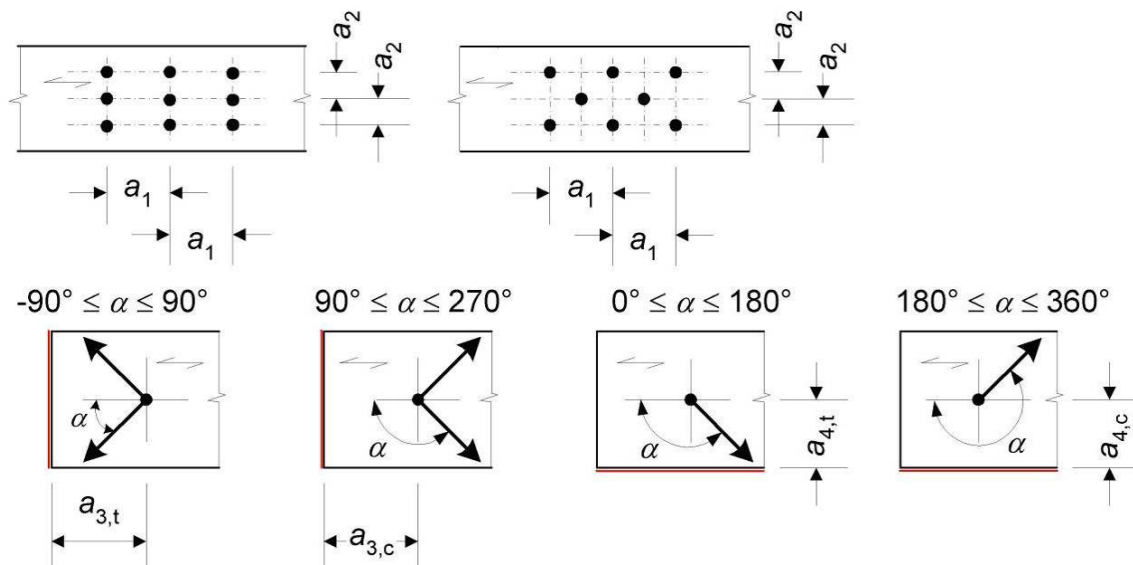
Muljumistugevus vineeris:

$$f_{h,k} = 0.11 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

Muljumistugevus puitlaast- ja orienteeritud laastuga plaadis:

$$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0.6} \cdot t^{0.2}$$

Poltide minimaalsed vahekaugused elemendi servast ning otsast

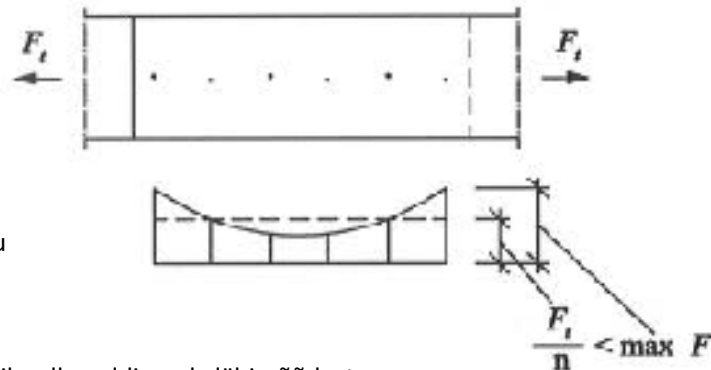


α – jõu ja kiu vaheline nurk

Vahekaugus või kaugus	Jõu ja puidukiu vaheline nurk α	Minimaalne vahekaugus või kaugus otsast või servast
a_1 vahekaugus pikikiudu	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 vahekaugus ristikiudu	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d$
$a_{3,t}$ kaugus koormatud otsast	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80\text{mm})$
$a_{3,c}$ kaugus koormamata otsast	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha) d; 4d]$ $4d$ $\max[(1 + 6 \sin \alpha) d; 4d]$
$a_{4,t}$ kaugus koormatud servast	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ kaugus koormamata servast	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

Pikikiudu ühes reas paiknevate n poldide $d > 6\text{mm}$ kandevõime leidmisel tuleb arvutada efektiivne poldide arv n_{ef} , sest kõik poldid ei ole võrdselt koormatud:

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right.$$



- a_1 - poldide vahekaugus pikikiudu
 d - poldi läbimõõt
 n - poldide arv reas

- Poldiaukude läbimõõt puidus ei tohiks olla poldi varda läbimõödust suurem.
- Poldiaugu läbimõõt terasplaadis ei tohiks olla poldi varda läbimõödust d suurem kui suurem kahest väärtusest: kas 2 mm või $0,1d$.
- Poldi pea või mutri all tuleb kasutada seibe külje mõõduga või diameetriga vähemalt $3d$ ja paksusega vähemalt $0,3d$. Seibid peavad toetuma kogu pinnal.

6.3.2 Pikisuunas koormatud poldid

Poldide pikisuunaline kandevõime ja väljatõmbe kandevõime leitakse lähtuvalt:

- poldi tõmbekandevõime (poldi keermestatud pindala järgi);

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

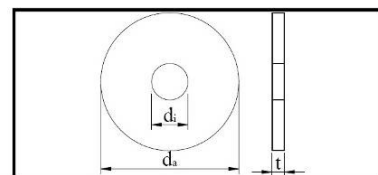
Poldi keermestamata osa brutopindala A ja keermestatud osa netopindala A_s

Polt	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M36	M42	M48
$A \text{ mm}^2$	113	154	201	254	314	380	452	572	706	1017	1385	1809
$A_s \text{ mm}^2$	84,3	114	157	192	245	303	352	459	560	816	1120	1472

- seibi või terasplaadi (teras-puiduga liidetes) muljumiskandevõime.

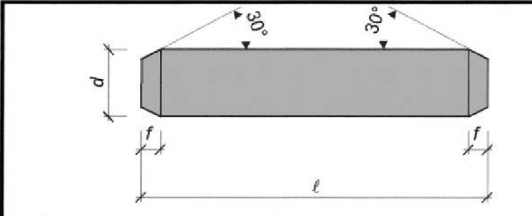
$$F_{Rk} = 3,0 \cdot f_{c,90,k} \cdot \pi \cdot (r_k^2 - r_s^2)$$

Seibi kandevõime leitakse eeldusel, et normatiivne survetugevus kontaktpinnal on $3,0f_{c,90,k}$.



Bolzen	Typ	d_a [mm]	d_i [mm]	t [mm]	$A_{\text{ef}}^{1)}$ [cm ²]
M 12	58/6	58	14	6	59,68
M 16	68/6	68	18	6	74,57
M 20	80/8	80	22	8	94,46
M 24	105/8	105	27	8	143,86

6.4 Naagelliited



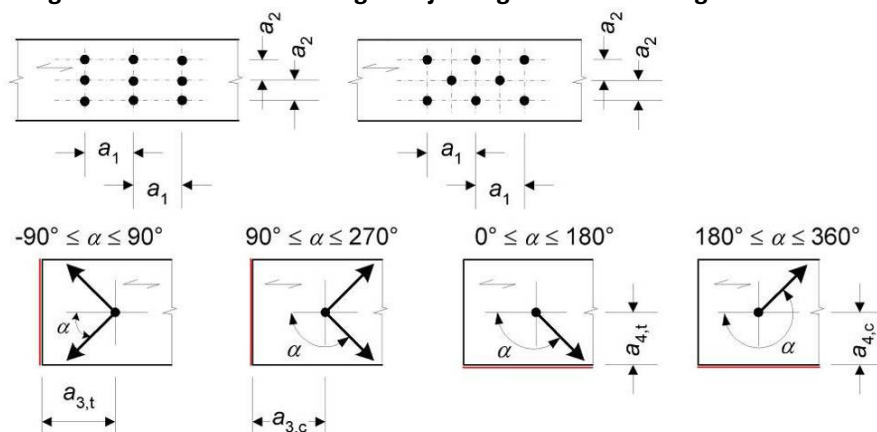
	1	2
1	d mm	f mm
2	6	1
3	8	1
4	10	1,5
5	12	2
6	16	2,5
7	20	3
8	24	3,5

Naagelliidetele kehtivad põiksuunas koormatud poltliidete nõuded.

Naagli läbimõõd peaks olema suurem kui 6 mm ja väiksem kui 30 mm.

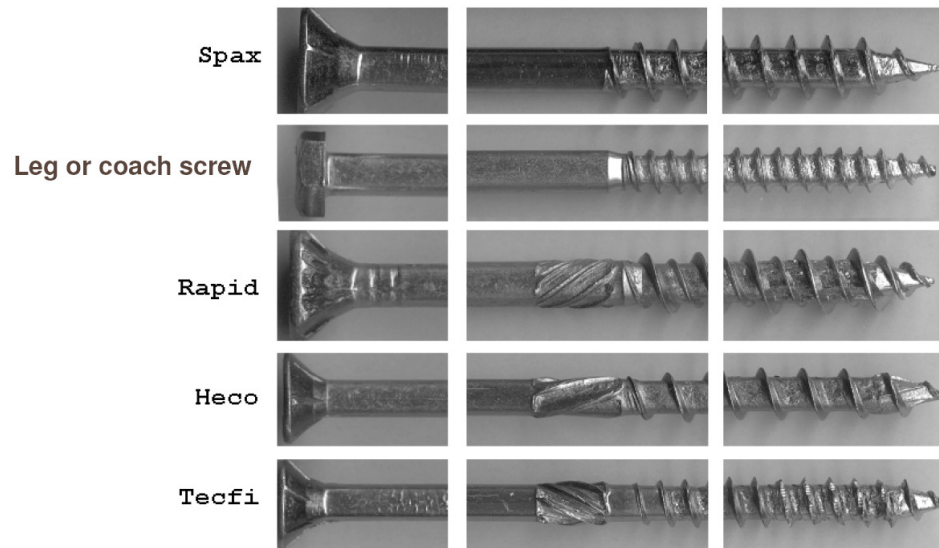
Ettepuuritud naagli aukude läbimõõd ei tohi olla suurem kui naagli diameeter.

Naaglite minimaalsed vahekaugused ja kaugused servast ning otsast



Vahekaugus või kaugus	Jõu ja puiduki vaheline nurk α	Minimaalne vahekaugus või kaugus otsast või servast
a_1 vahekaugus pikikiudu	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2 \cos \alpha) d$
a_2 vahekaugus ristikiudu	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$
$a_{3,t}$ kaugus koormatud otsast	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80\text{mm})$
$a_{3,c}$ kaugus koormamata otsast	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha) d; 3d$ $3d$ $\max(a_{3,t} \cdot \sin \alpha) d; 3d$
$a_{4,t}$ kaugus koormatud servast	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ kaugus koormamata servast	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

6.5 Kruviliited

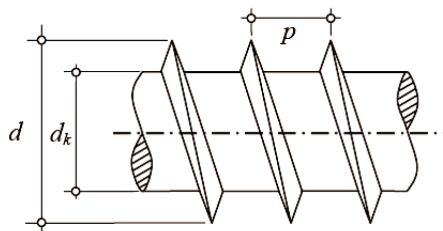


6.5.1 Põiksuunas koormatud kruvid

- Kruvid, mille läbimõõt $d \leq 6$ mm, kehtivad naelliidete nõuded.
- Kruvid, mille läbimõõt $d > 6$ mm, kehtivad polltiidete nõuded.

Harilikud kruvid

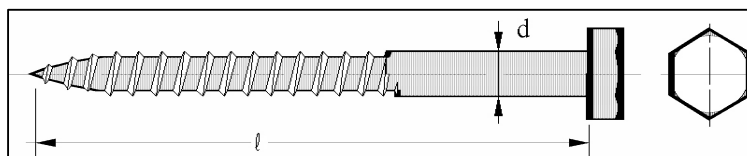
Valemites tuleb d võtta kui kruvi silindrilise osa diameeter mm-tes.
 $M_{y,k}$ väärtuse arvutamisel tuleb kasutada kruvi südamiku diameeterit.



Võtmekruvid

Valemites tuleb d võtta kui kruvi silindrilise osa diameeter mm-tes.

$M_{y,k}$ väärtuse arvutamisel tuleb kasutada efektiivset diameetrit $d_{ef} = 0.9d$ eeldusel, et kruvi südamiku diameeter ei ole väiksem kui $0.7d$.



6.5.2 Pikisuunas koormatud kruvid

Liite väljatõmbe normtugevus kruvide pikisuunalisel koormamisel tuleks leida järgmiselt:

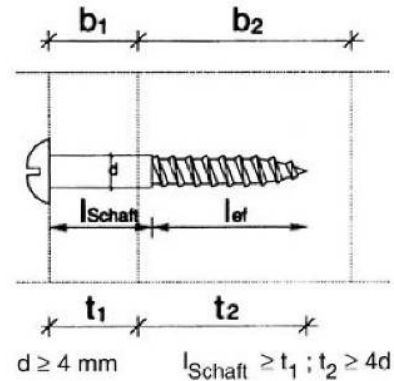
Keermestatud osa kandevõime:

Kruvid: , kus $-6\text{mm} < d < 12\text{mm}$
 $-0.6 \leq d_1/d \leq 0.75$

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \cdot f_{ax,d} \cdot d \cdot l_{ef}$$

$$n_{ef} = n^{0.9}$$

- n - koormatud kruvide arv liites
- n_{ef} - efektiivne kruvide arv
- d - keermestatud osa väline läbimõõt
- d_1 - keermestatud osa sisemine läbimõõt
- l_{ef} - keermestatud osa süvistuspikkus
- $f_{ax,\alpha,k}$ - väljatõmbe normtugevus pikikiudude suhtes nurga α all
- $f_{ax,k}$ - väljatõmbe normtugevus ristikiudu
- ρ_k - normtihedus, kg/m^3



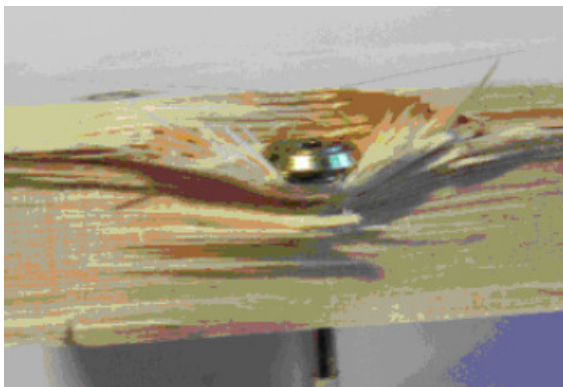
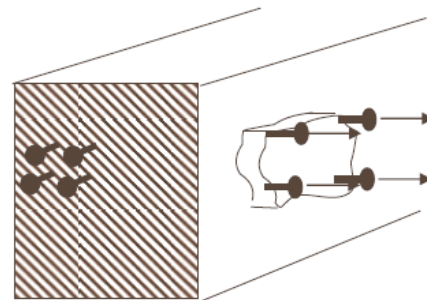
Väljatõmbe normtugevus kiudude suhtes nurga α all leitakse järgmiselt:

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,2 \cos^2 \alpha}$$

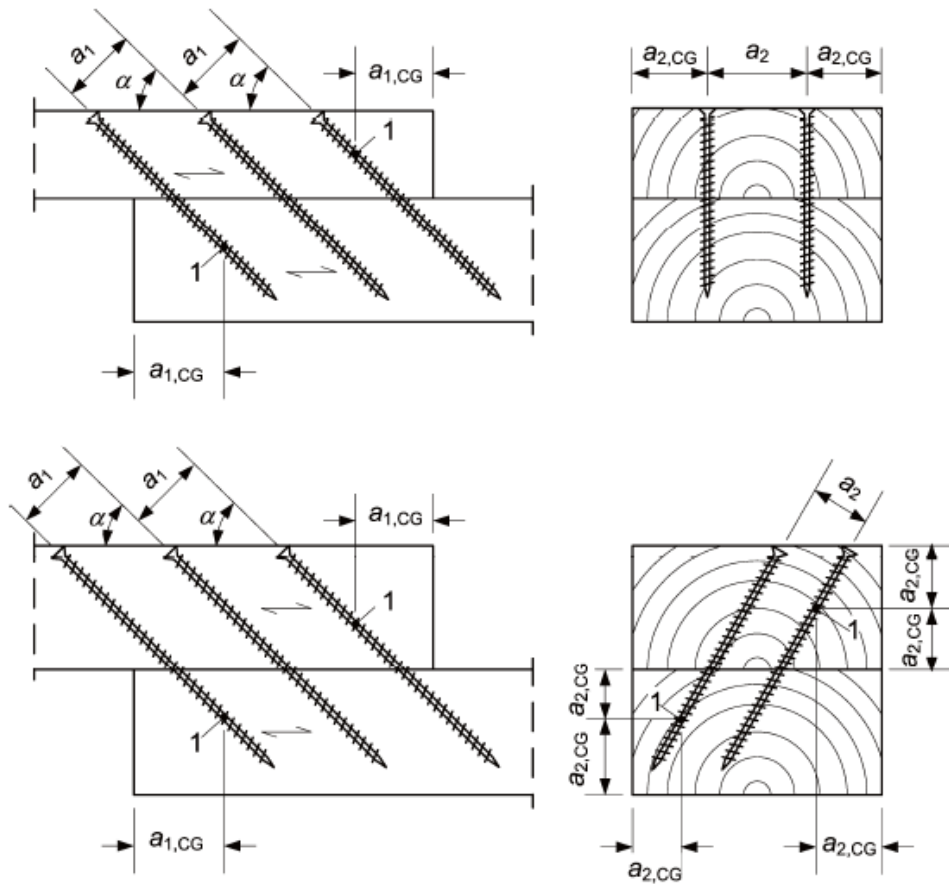
$$f_{ax,k} = 0.52 \cdot d^{-0.5} \cdot l_{ef}^{-0.1} \cdot \rho_k^{0.8}$$

Kruvipea kandevõime:

$$F_{Rk} = 3.0 \cdot f_{c,90,k} \cdot \pi \cdot (r_k^2 - r_s^2)$$



Minimaalsed vahekaugused ja kaugused servast kruvide pikisuunalisel koormamisel

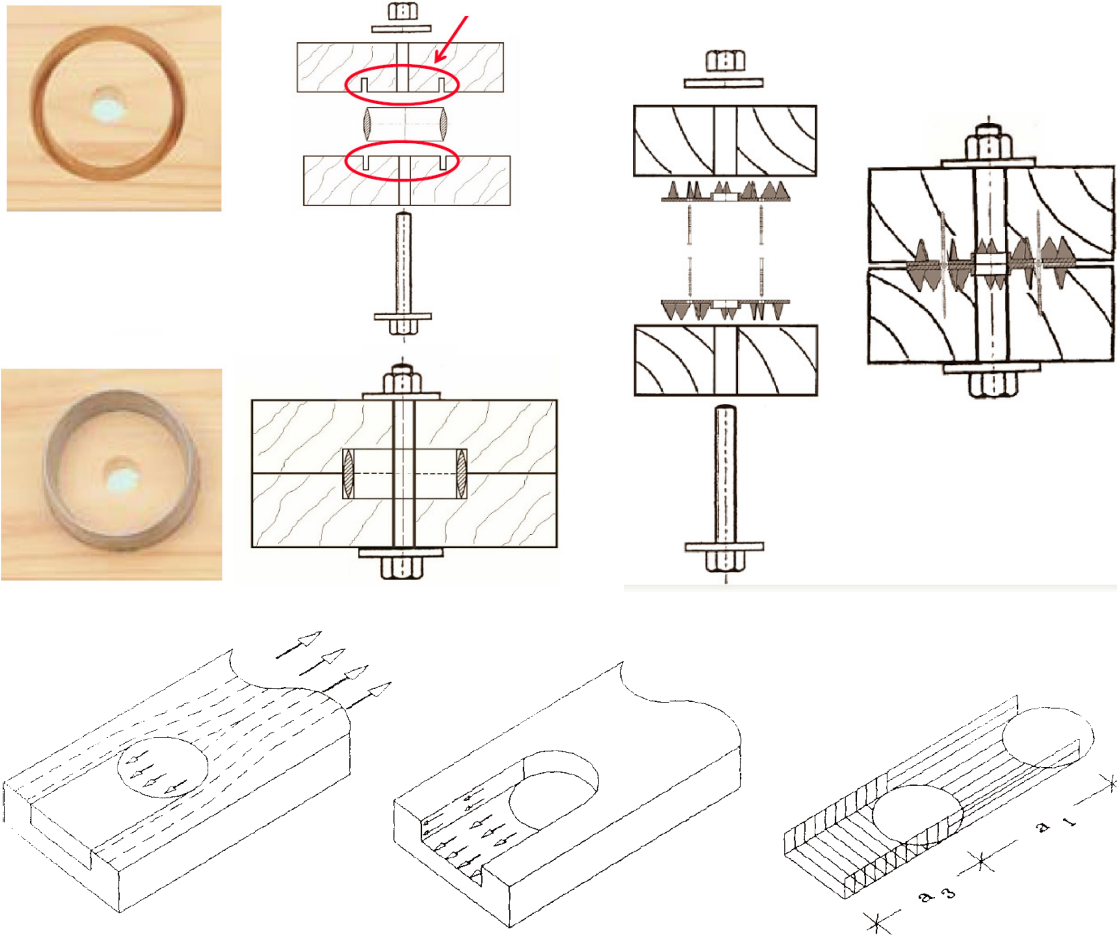


Minimaalne vahekaugus pikikiudu	Minimaalne vahekaugus ristikiudu	Minimaalne vahekaugus otsast	Minimaalne vahekaugus servast
a_1	a_2	$a_{1,c}$	$a_{2,c}$
7d	5d	10d	4d

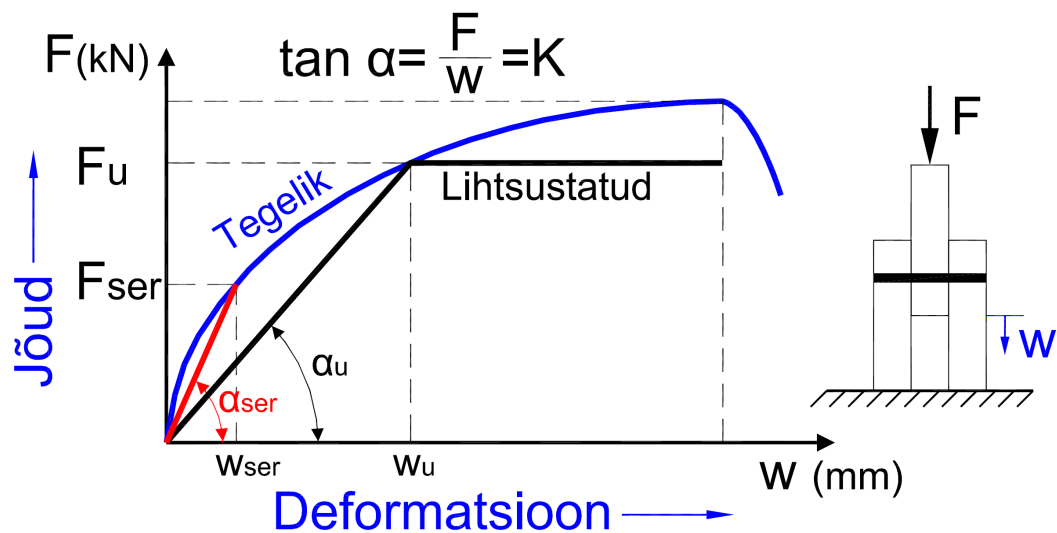
6.5.3 Samaaegselt põik- ja pikisuunas koormatud kruvid

Vastavalt punktile 6.2.3

6.6 Rõngastüübid



6.7 Liidete järeleandvus



Kinnituselemendi tüüp	K_{ser} (N/mm)
Naaglid Poldid (lõtkuga või ilma) Kruvid Naelad (ettepuurimisega)	$\frac{\rho_k^{1,5} d}{23}$
Naelad (ettepuurimiseta)	$\frac{\rho_k^{1,5} d^{0,8}}{30}$
Märkus: lõtkud lisatakse deformatsioonidele eraldi	

NB! Liite nihkemoodul K_{ser} leitakse kinnituselemendi ÜHE LÕIKE kohta

Kui **PUIT-PUIDUGA** (PUITPLAADIGA) elementide tiheduste keskväärtused ρ_1 ja ρ_2 on erinevad, siis tiheduse väärtuseks võetakse: $\rho_k = \sqrt{\rho_1 \cdot \rho_2}$

TERAS-PUIDUGA või **BETON-PUIDUGA** ühenduste korral korrutatakse K_{ser} teguriga 2.0.



Liite kinnituselemendi nihkemoodul kasutuspiirseisundis arvestades roomedeformatsioone:

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + k_{def})}$$

Märkus: K_{ser} - liite nihkemoodul algolukorras

$K_{ser,fin}$ - liite nihkemoodul lõppolukorras arvestades roomedeformatsioone !

Ühesuguste roome omadustega liite lõplik deformatsioon:

$$k_{def} = 2 \cdot k_{def,1}$$

Erinevate roome omadustega liite lõplik deformatsioon:

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

Teras-puiduga või betoon-puiduga liite lõplik deformatsioon:

$$k_{def} = k_{def}$$

Liite kinnituselemendi nihkemoodul kandepiirseisundis:

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser,fin}$$

Liite deformatsioon mõjuvast koormusest leitakse:

$$w = \frac{F}{n \cdot K}$$

F - liite koormus nihkepinnal

K - liite nihkemoodul nihkepinna kohta

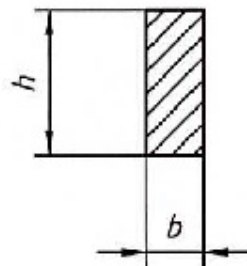
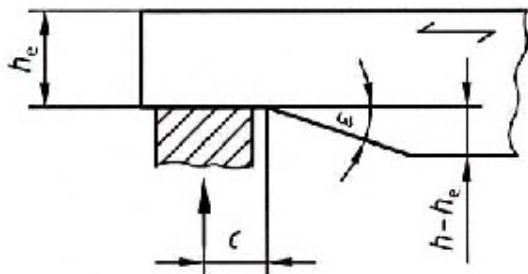
n - löigete arv nihkepinnal

Märkus: lõtk tuleb w väärtusele eraldi juurde liita!

7. TALAD JA POSTID

7.1 Toel sisselõikega talad

7.1.1 Sisselõige toepoolisel küljel



$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot V_d}{b \cdot h_e} \leq k_v f_{v,d} \quad k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ k_{90} \cdot k_\epsilon \end{array} \right.$$

$$k_{90} = \frac{k_n}{\sqrt{h \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)} + 0.8 \cdot \frac{c}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)}}$$

$$k_\epsilon = 1 + \frac{1.1}{\tan \epsilon \cdot \sqrt{h \cdot \tan \epsilon}}$$

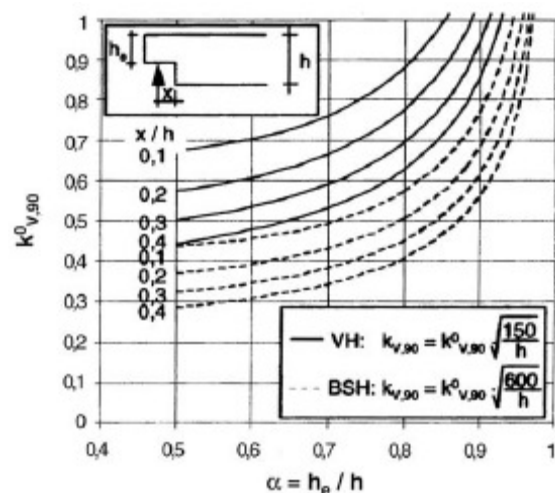
$$\alpha = \frac{h_e}{h} \geq 0.5$$

$$\frac{c}{h} \leq 0.4 \quad h - \text{tala kõrgus, mm}$$

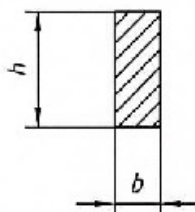
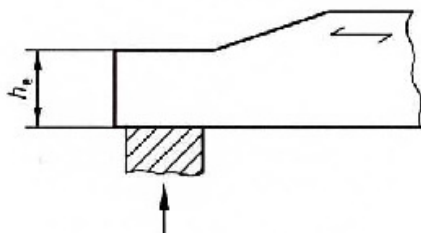
$$k_n = 6.5 \quad \text{liimpuit}$$

$$k_n = 5.0 \quad \text{täispuit}$$

$$k_n = 4.5 \quad \text{spoonliimpuit}$$

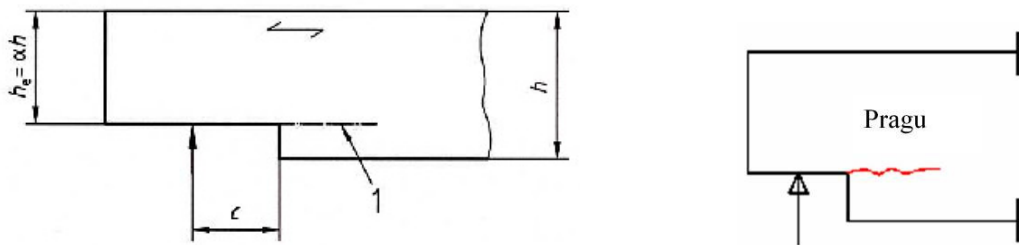


7.1.2 Sisselõige toe vastasküljel



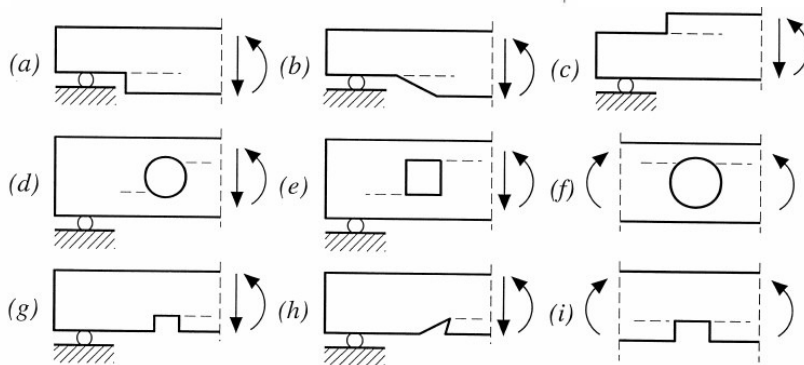
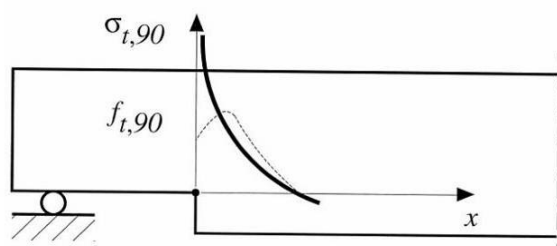
$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot V_d}{b \cdot h_e} \leq k_v f_{v,d} \quad k_v = 1.0$$

7.1.3 Täisnurkne sisselõige toepoolsel küljel

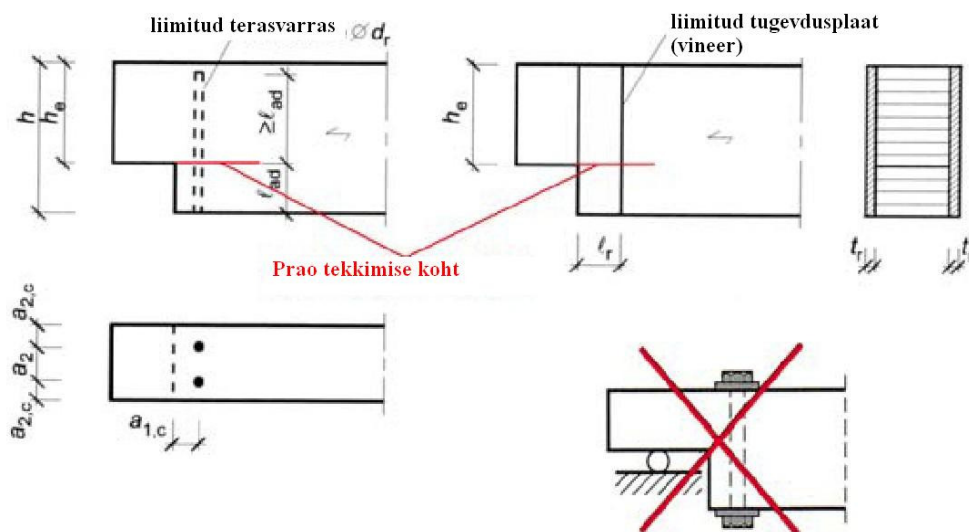


1- ohtlik ristlõige

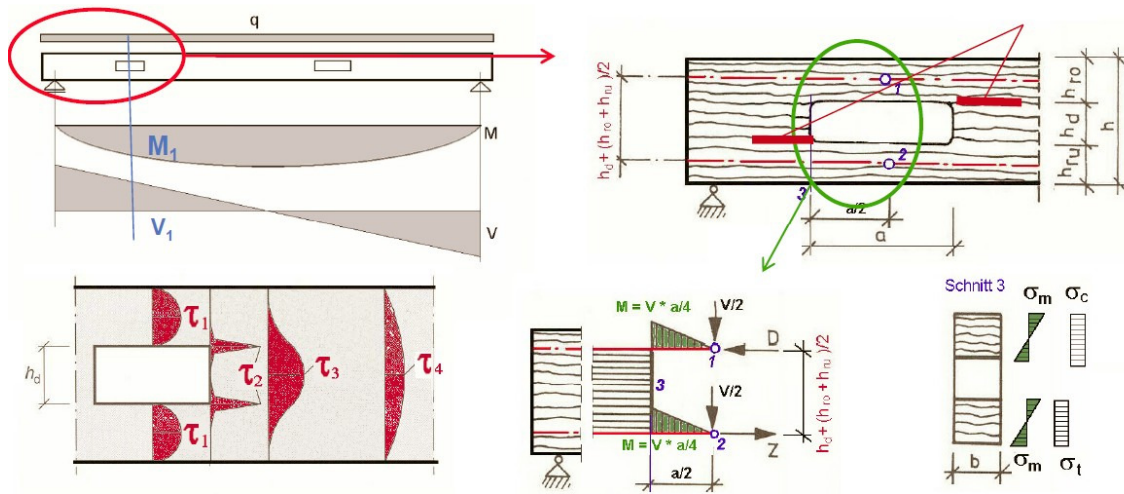
$$F_{t,90,d} = 1.3 \cdot V_d \cdot [3 \cdot (1-\alpha)^2 - 2 \cdot (1-\alpha)^3] \quad \alpha = \frac{h_e}{h}$$



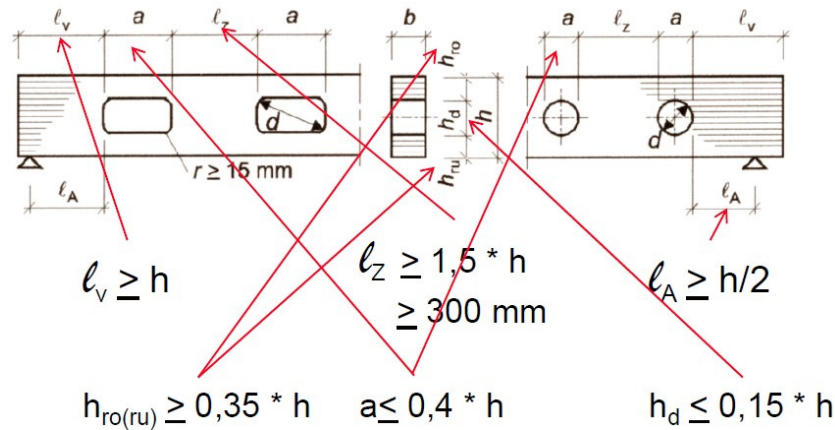
Sisselõikega tala toetugevdus:



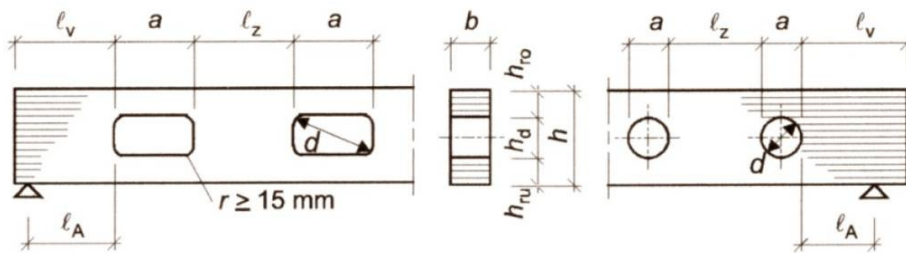
7.2 Augustatud talad



Nõuded avadele $d \geq 50\text{mm}$:



Tugevuskontroll:



$$\frac{F_{t,90,d}}{0.5 \cdot l_{t,90} \cdot b \cdot k_{t,90} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$F_{t,90,d} = F_{t,V,d} + F_{t,M,d}$$

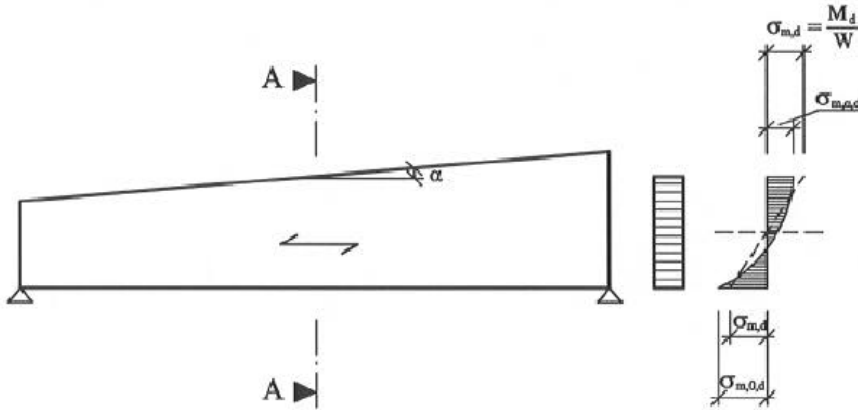
$$F_{t,V,d} = \frac{V_d \cdot h_d}{4 \cdot h} \cdot \left[3 - \frac{h_d^2}{h^2} \right]$$

$$F_{t,M,d} = 0.008 \cdot \frac{M_d}{h_r}$$

7.3 Liimpuittalad

7.3.1 Ühepoolse kaldega talad

Kontrollitakse paindepingeid ohtlikus ristlõikes:



Arvutuslikud pinged $\sigma_{m,\alpha,d}$ ja $\sigma_{m,0,d}$ võib leida järgmiselt:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2}$$

Kiududega paralleelse äärmise kiu pinged peaksid rahuldama järgmist tingimust:

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

Kaldpinna äärmise kiu pinged peaksid rahuldama järgmist tingimust:

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d}$$

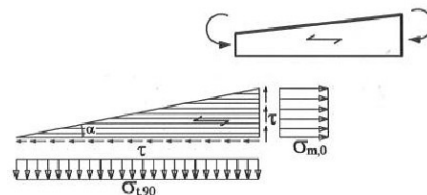
$\sigma_{m,\alpha,d}$ - arvutuslik paindepinge kiudude suhtes nurga all

$f_{m,d}$ - arvutuslik paindetugevus

$k_{m,\alpha}$ - arvutatakse järgmiselt:

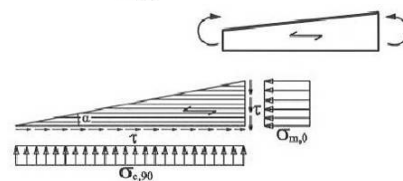
Elemendi kaldpinna suunaliste tõmbepingete korral:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}$$

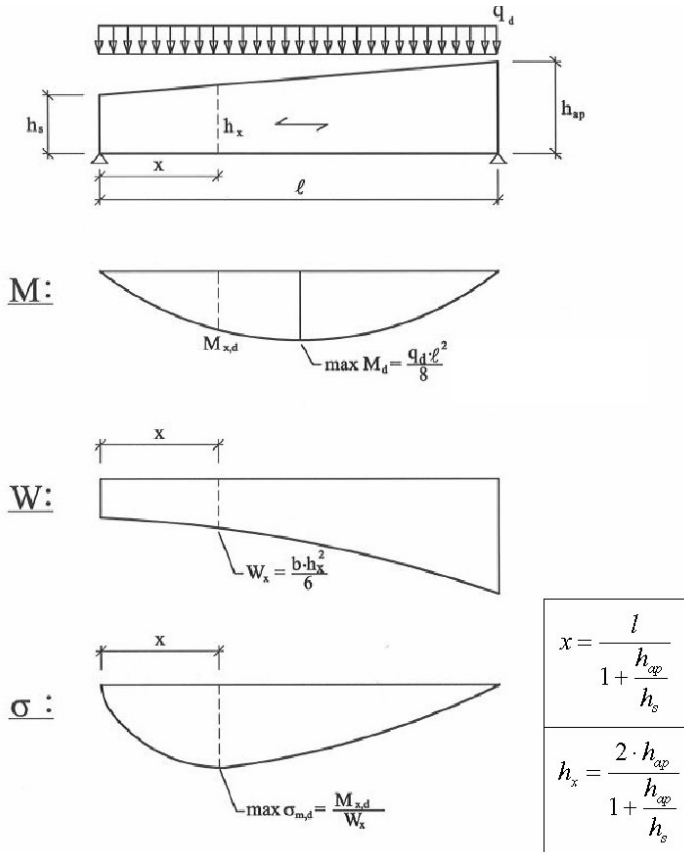


Elemendi kaldpinna suunaliste survepingete korral:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}$$



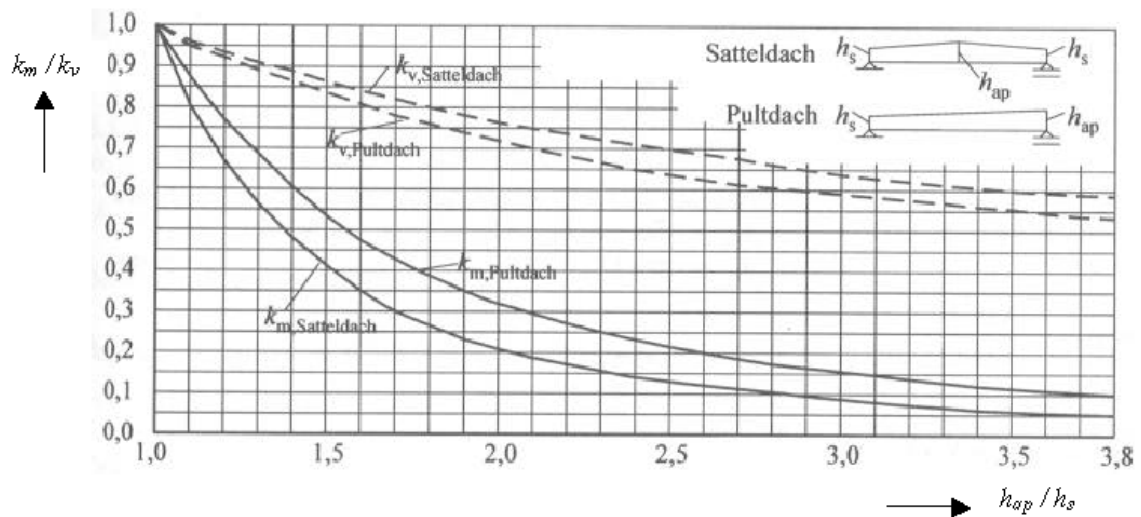
Ohtliku ristlõike määramine:



Tala läbipainde leidmine:

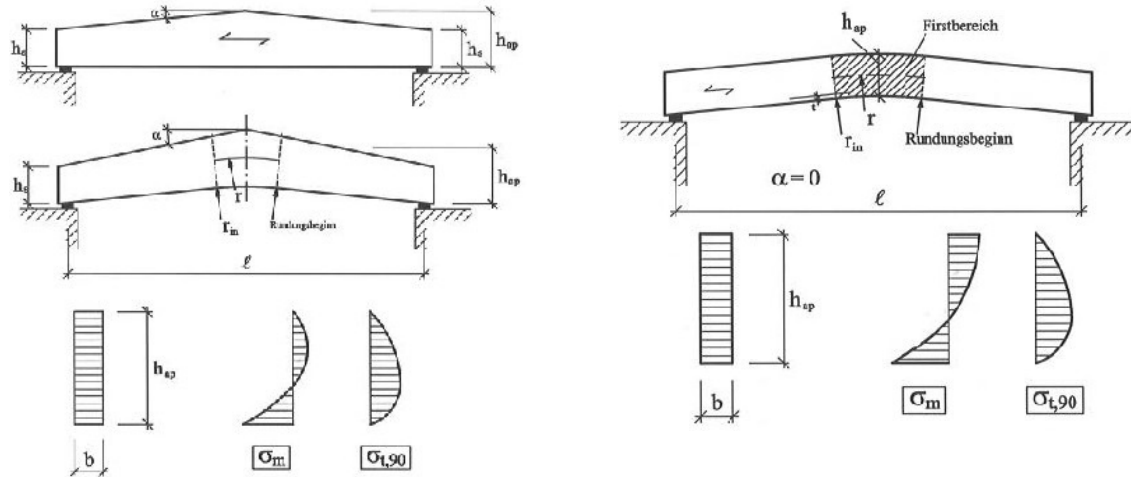
Paindedeformatsioon: $u_{m,inst} = k_m \cdot \frac{M_{max} \cdot l^2}{9,6 \cdot E_{0,mean} \cdot I_s}$ $I_s = \frac{b \cdot h_s^3}{12}$

Nihkedeformatsioon: $u_{v,inst} = k_v \cdot \frac{1,2 \cdot M_{max}}{G_{0,mean} \cdot A_s}$ $A_s = b \cdot h_s$

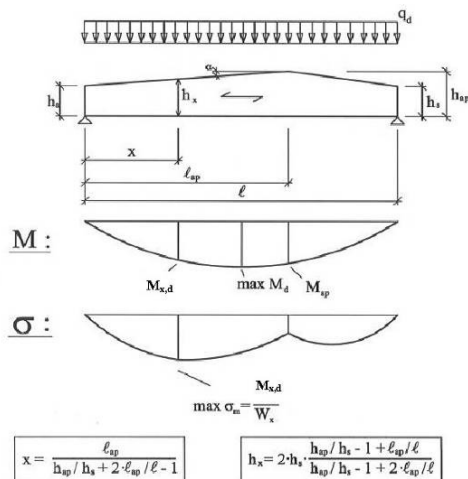
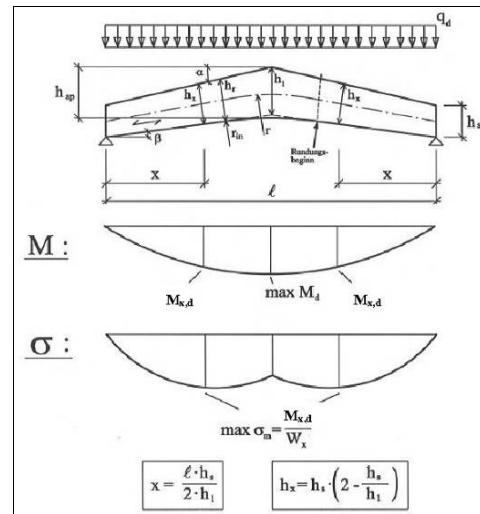
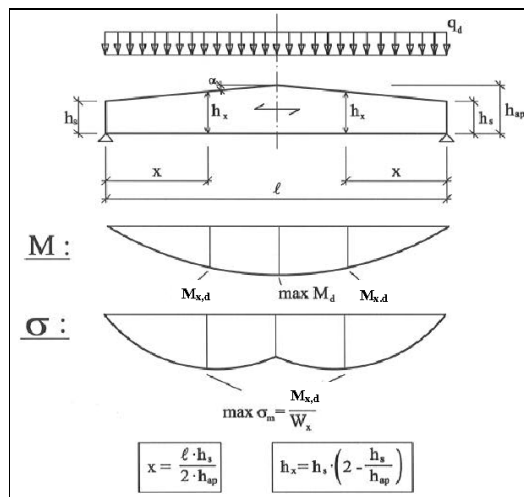


7.3.2 Kahekaldega, harjaköverusega ja kahekaldega altköverusega talad

Kontrollitakse paindepingeid ohtlikus ristlõikes (vt. ühekaldelised talad) ja harjatsoonis painde- ja tõmbepingeid:



Ohtliku ristlõike leidmine:



Talade läbipainde leidmine:

$$u_{m,inst} = k_m \cdot \frac{M_{max} \cdot l^2}{9,6 \cdot E_{0,mean} \cdot I_s} \quad I_s = \frac{b \cdot h_s^3}{12}$$

$$u_{v,inst} = k_v \cdot \frac{1,2 \cdot M_{max}}{G_{0,mean} \cdot A_s} \quad A_s = b \cdot h_s$$

Harjatsoonis peavad paindepinged rahuldama tingimust:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d}$$

Paindepinge harjas leitakse:

$$\sigma_{m,d} = k_1 \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$$

$$k_1 = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

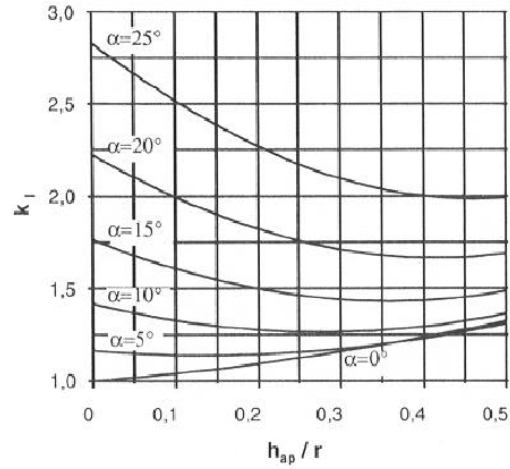
$$k_1 = 1,0 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_2 = 0,35 - 8,0 \tan \alpha_{ap}$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} + 7,8 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_4 = 6,0 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$r = r_{in} + 0,5h_{ap}$$



- Kahekaldelistel taladel $k_r = 1.0$

- Harjaköverusega ja altköverusega talade korral määratakse k_r järgmiselt:

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{kui } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \frac{r_{in}}{t} & \text{kui } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases}$$

$M_{ap,d}$ - arvutuslik moment harjatsoonis

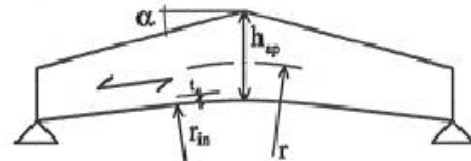
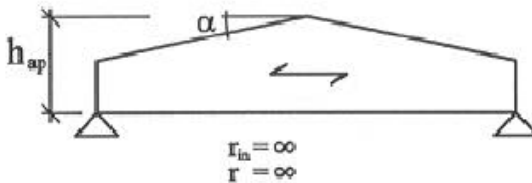
h_{ap} - tala kõrgus harjatsoonis

b - tala laius

r_{in} - sisemine raadius

α_{ap} - harjatsooni kaldenurk

t - lamelli paksus

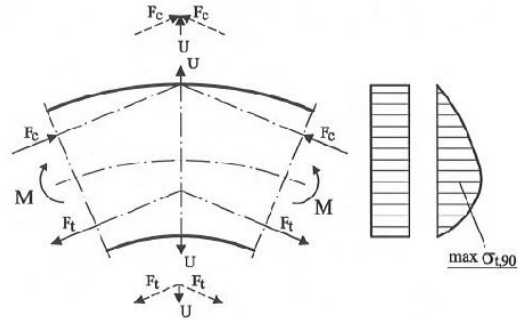


Harjatsoonis peavad tõmbepinged rahuldama tingimust:

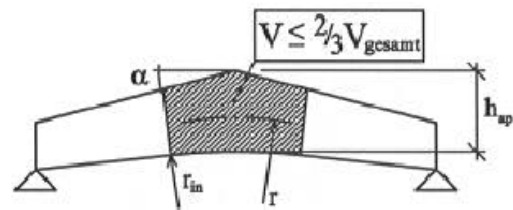
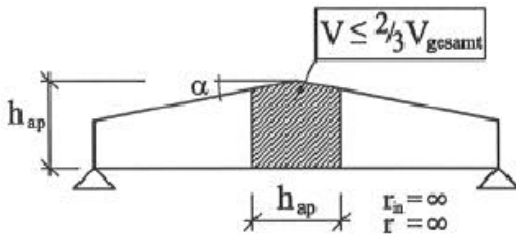
$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{monoliitpuidul} \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} & \text{liim- ja spoonliimpuit, vineer} \end{cases}$$

$$k_{dis} = \begin{cases} 1,4 & \text{kahekaldelised talad} \\ 1,7 & \text{harjakõverusega talad} \end{cases}$$



Pragu harjatsoonis



Tõmbepinge leidmine:

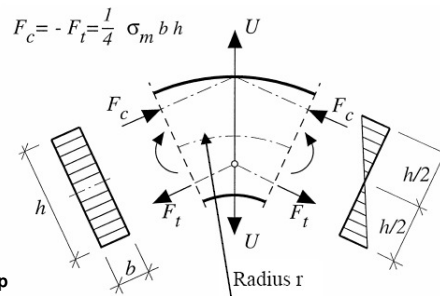
$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4,0 \tan^2 \alpha_{ap}$$



$$\max \sigma_{t,90} = \frac{F_c}{r \cdot b} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma_m \cdot h}{r}$$

- τ_d - arvutuslik nihkepinge (kui harjas on põikjõud)
- $f_{v,d}$ - arvutuslik nihketugevus
- $\sigma_{t,90,d}$ - arvutuslik tõmbepinge ristikiudu
- k_{dis} - tegur, mis arvestab pingeaotuse mõju harjatsoonis;
- k_{vol} - mahutegur
- $f_{t,90,d}$ - arvutuslik tõmbetugevus ristikiudu
- V_0 - viitemaht 0,01 m³
- V - harjatsooni maht m³-tes, kuid $V \leq 2V_0/3$, kus V_0 on tala maht

7.4 Liittalad

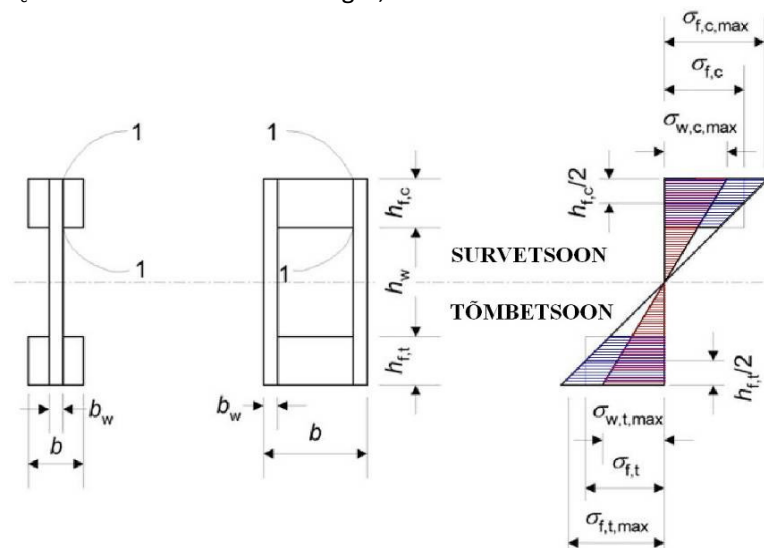
7.4.1 Liimitud õhukeseseinalised talad

Normaalpinged paindel

Tala vöödes peavad normaalpinged rahuldama tingimusi:

$$\begin{aligned} \sigma_{f,c,max,d} &\leq f_{m,d} \\ \sigma_{f,t,max,d} &\leq f_{m,d} \\ \sigma_{f,c,d} &\leq k_c \cdot f_{c,0,d} \\ \sigma_{f,t,d} &\leq f_{t,0,d} \end{aligned}$$

- $\sigma_{c,max,d}$ - vöö äärmise kiu arvutuslik survepinge
- $\sigma_{t,max,d}$ - vöö äärmise kiu arvutuslik tõmbepinge
- $\sigma_{c,d}$ - vöö keskmine arvutuslik survepinge
- $\sigma_{t,d}$ - vöö keskmine arvutuslik tõmbepinge
- k_c - surutud vöö nõtketegur, mis arvestab kiivet



Tegur k_c määratakse analoogselt surutud varda arvutustele, surutud vöö saledus leitakse:

$$\lambda_z = \frac{\sqrt{12} \cdot l_{ef}}{b}$$

- l_{ef} - surutud vöö külgtugede vahekaugus (kiivepikkus)
- b - surutud vöö laius

Märkus: Kui määratakse spetsiaalselt kogu tala põiksuunalist püsivust (kiive), siis võib võtta $k_c = 1$

Tala seinas peavad normaalpinged rahuldama tingimusi:

$$\begin{aligned} \sigma_{w,c,d} &\leq f_{c,w,d} \\ \sigma_{w,t,d} &\leq f_{t,w,d} \end{aligned}$$

- $\sigma_{w,c,d}$ ja $\sigma_{w,t,d}$ - seina arvutuslikud surve- ja tõmbepinged
- $f_{c,w,d}$ ja $f_{t,w,d}$ - seina surve- ja tõmbetugevus paindel.

Nihkepinged

Kui seinad detailset mõlkumiskontrolli ei tehta, siis tuleks näidata, et:

$$h_w \leq 70b_w$$

ja

$$F_{v,w,Ed} \leq \begin{cases} b_w h_w \left(1 + \frac{0,5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) f_{v,0,d} & h_w \leq 35b_w \\ 35b_w^2 \left(1 + \frac{0,5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) f_{v,0,d} & 35b_w \leq h_w \leq 70b_w \end{cases} \text{ kui}$$

$F_{v,w,Ed}$ - tala igas seinas mõjuv arvutuslik nihkejõud (põikjõud)

h_w - vööde vaheline puhaskaugus

$h_{f,c}$ - survevöö kõrgus

$h_{f,t}$ - tõmbevöö kõrgus

b_w - tala iga seina paksus

$f_{v,0,d}$ - tala seinaplaadi arvutuslik löiketugevus

Puidupõhistest plaatidest seinte lõikes 1-1 tuleb kontrollida, et:

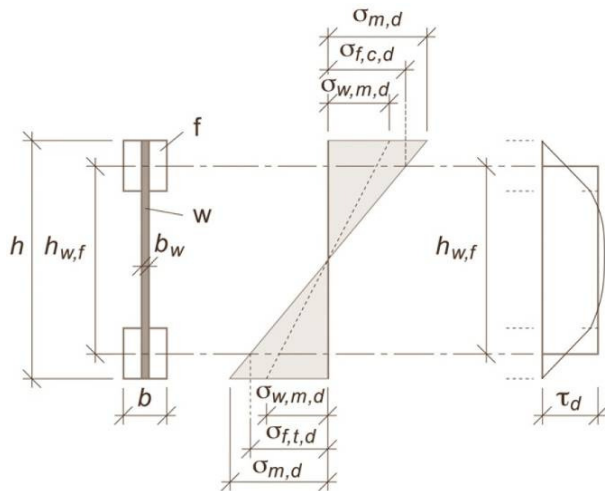
$$\tau_{\text{mean},d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & h_f \leq 4b_{\text{ef}} \\ f_{v,90,d} \left(\frac{4b_{\text{ef}}}{h_f} \right)^{0,8} \text{ kui} & h_f > 4b_{\text{ef}} \end{cases}$$

$\tau_{\text{mean},d}$ - arvutuslik nihkepinge lõikes 1-1, eeldades ühtlast pingeaotust

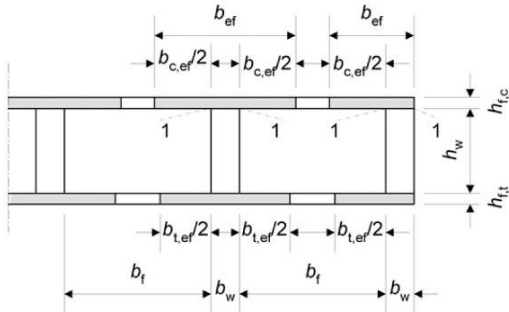
$f_{v,90,d}$ - seinaplaadi arvutuslik nihketugevus plaadi tasandis-„rolling shear“

h_f - on kas $h_{f,c}$ või $h_{f,t}$

$$b_{\text{ef}} = \begin{cases} b_w & \text{- karpristlõikega taladele} \\ \frac{b_w}{2} & \text{- I-ristlõikega taladele} \end{cases}$$



7.4.2 Liimitud õhukesevöölistel taladel (paneeltalad)



Liimitud õhukesevööliste talade tugevuskontrollil tuleb arvesse võtta nihkedeformatsioonidest ja mõlkumisest tingitud pingete ebahütlast jaotust vöödes.

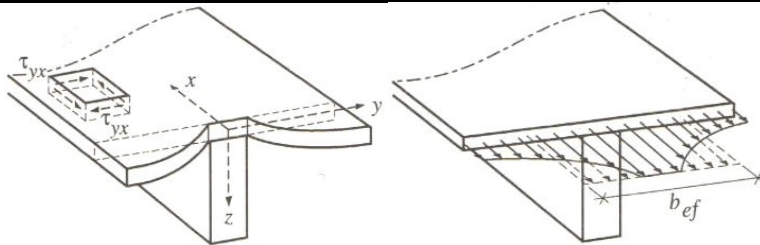
Kui täpsemat arvutust ei tehta, siis käsitletakse konstruktsiooni I- või U- talade ühendusena, mille vöö efektiivne laius b_{ef} on:

I- taladel:
$$\begin{cases} b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \\ b_{ef} = b_{t,ef} + b_w \end{cases}$$

U- taladel:
$$\begin{cases} b_{ef} = 0.5b_{c,ef} + b_w \\ b_{ef} = 0.5b_{t,ef} + b_w \end{cases}$$

Nihkedeformatsioonidest või mõlkumisest määratud suurim vööplaadi laius

Vöö materjal	Nihe	Mõlkumine
Vineer, mille kiudude suund välises sponis on:		
Seina suunaline	0,1L	20h _f
Risti seinaga	0,1L	25h _f
Orienteeritud laastplaat	0,15L	25h _f
Laast- või kiudplaat juhusliku kiudude orientatsiooniga	0,2L	30h _f



Kui täpsemat mõlkumiskontrolli ei tehta, siis ei tohi vöö vaba laiust (ribidevahelist kaugust) võtta suuremana kui kahekordne mõlkumisest määratud efektiivlaius.

Puidupõhjaliste paneelide puhul tuleks I-kujulise ristlõikega talade lõikes 1-1 kontrollida, kas

$$\tau_{mean,d} = \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{korral } b_w > 8h_f \\ f_{v,90,d} \left(\frac{8h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{korral } b_w > 8h_f \end{cases}$$

$\tau_{mean,d}$ - arvutuslik nihkepinge lõikes 1-1, eeldades pingete ühtlast jaotust

$f_{v,90,d}$ - vööplaadi arvutuslik nihketugevus plaadi tasandis

U-kujulise ristlõikega talade kontrollil lõikes 1-1 tuleb kasutada samu avaldise, kuid $8h_f$ asendatakse $4h_f$ -ga.

Vööplaadi efektiivlaiusega arvatud normaalpinged peaksid rahuldama tingimusi:

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

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

- $\sigma_{f,c,d}$ - keskmine vöö arvutuslik survepinge
 $\sigma_{f,t,d}$ - keskmine vöö arvutuslik tõmbepingeline
 $f_{f,c,d}$ - vöö arvutuslik survetugevus
 $f_{f,t,d}$ - vöö arvutuslik tõmbetugevus

Seina normaalpinged peaksid rahuldama tingimusi:

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

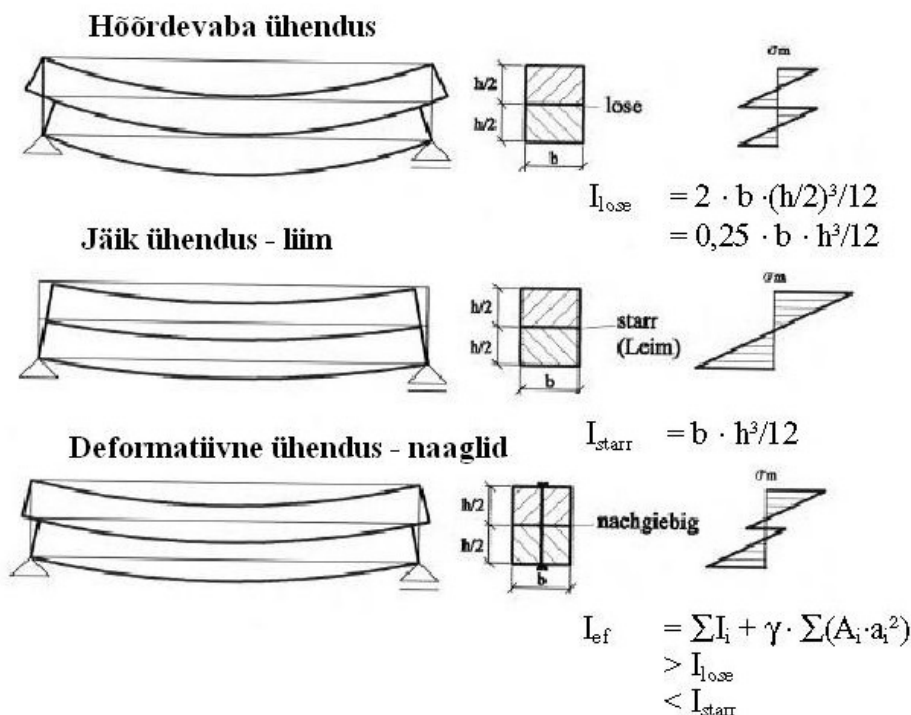
$$\sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d}$$

- $\sigma_{w,c,d}$ ja $\sigma_{w,t,d}$ - seina arvutuslikud surve- ja tõmbepinged
 $f_{c,w,d}$ ja $f_{t,w,d}$ - seina surve- ja tõmbetugevus paindel.

7.5 Mehaaniliste liidetega talad ja postid

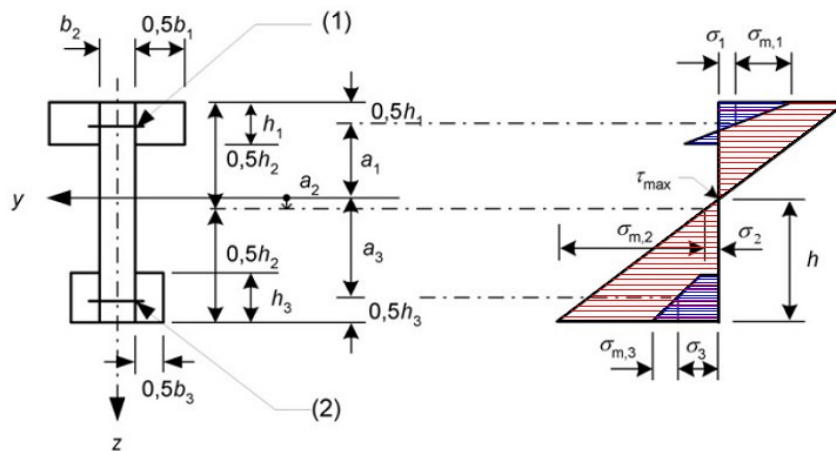
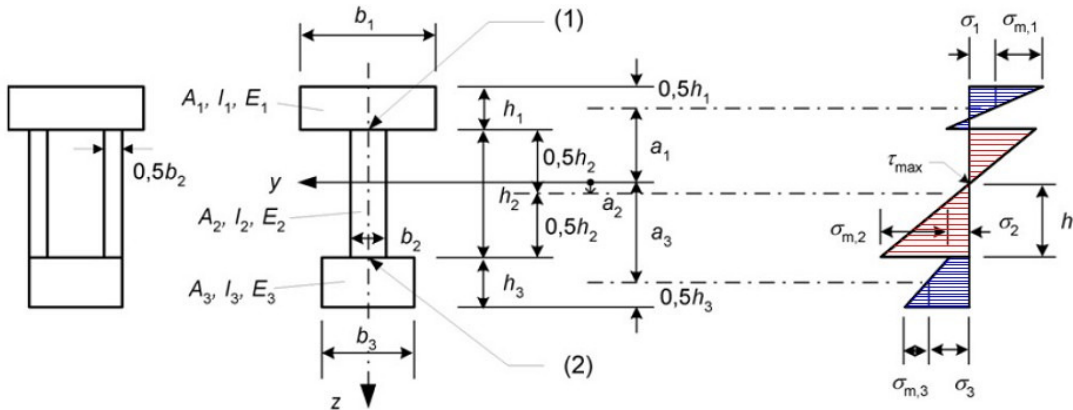
7.5.1 Mehaaniliste liidetega talad

Kui konstruktsioonielemendi ristlõige koosneb mitmest mehaaniliste sidemetega liidetud osast, siis tuleb arvestada liidete järeleandvuse mõju. Arvutustes eeldatakse lineaarset seost jõu ja liidetes toimuva nihke vahel.



Efektiivne paindejäikus:

$$(EI)_{ef} = \sum (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$



Ristlõige (vasakul) ja paindepingete jaotus (paremal). Kõik mõõtmised on positiivsed välja arvatud a_2 , milline võetakse positiivseks joonisel näidatu korral.

$a_2 = 0$	$a_2 = \frac{(\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2))}{2 \sum_{i=1}^2 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i}$	$a_2 = \frac{(\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2)) - (\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3))}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i}$

$$Y_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot L^2}} \quad \text{kus } i = 1 \text{ ja } i = 3$$

$$Y_2 = 1$$

$E_i = E_{0,05}$ – kandepiirteisundis

$E_i = E_{0,mean}$ – kasutuspiirteisundis

$A_i = b_i \cdot h_i$

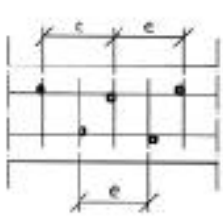
$I_i = b_i \cdot h_i^3 / 12$

a_i = vöö või seina raskuskeskme kaugus paindeteljest (0-joonest)

$K_i = K_{ser,j}$ kasutuspiirteisundis, $K_{u,j}$ kandepiirteisundis

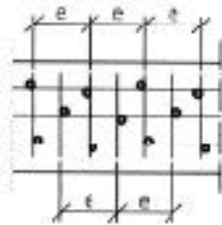
L = tala sille, talad on lihttalad avaga L . Jätkuvtaladel võib L võtta võrdseks 0,8 ava- ja konsooltaladel võrdseks kahekordse konsooli pikkusega

s_i = kinnituselementide samm. Kui sidemete pikivahe muutub koos nihkejõuga vahemikus s_{min} ja s_{max} ($\leq 4s_{min}$) ebaühtlaselt, siis võib kasutada s_{ef} efektiivse väärtusena $s_{ef} = 0,75s_{min} + 0,25s_{max}$



$$s_i = e / 2$$

$$m = 2$$



$$s_i = e / 3$$

$$m = 3$$



$$s_i = e / m$$

$$m = 5$$

Keskised surve- ja tõmbepinged

$$\sigma_{i,d} = \frac{M \cdot \gamma_i \cdot E_i \cdot a_i}{(EI)_{ef}} \leq \begin{cases} f_{i,c,d} \text{ (surve)} \\ f_{i,t,d} \text{ (tõmme)} \end{cases}$$

Paindepinged

$$\sigma_{m,i,d} = \sigma_{i,d} + \frac{M \cdot E_i \cdot h_i}{2 \cdot (EI)_{ef}} \leq f_{i,m,d}$$

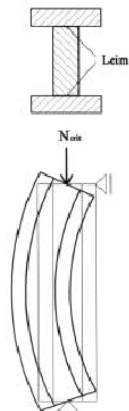
Maksimaalne nihkepinge

$$\tau_{2,max,d} = \frac{V \cdot \left(\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot \left(\frac{h_2}{2} - a_2 \right)^2 \right)}{(EI)_{ef} \cdot b_2} \leq f_{2,v,d}$$

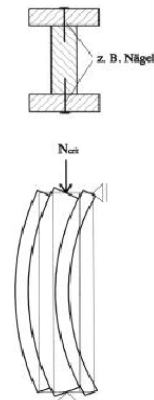
Liidete koormus

$$F_i = \frac{V \cdot (\gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i) \cdot s_i}{(EI)_{ef}} \leq F_{v,Rd} \quad i = 1 \text{ ja } i = 3$$

7.5.2 Mehaaniliselt liidetud ja liimitud postid



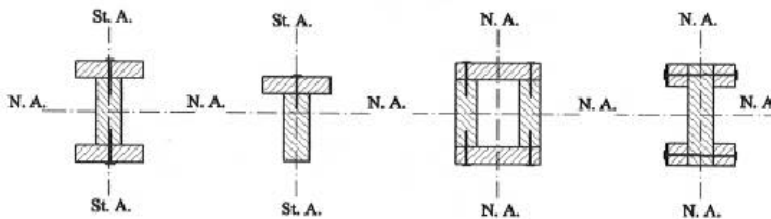
Jäiga liitega ristlõige
(liimliide)
(posti otstes ristlõikeosade vahel nihe puudub)
Arvutatakse kui tervikristlõiget



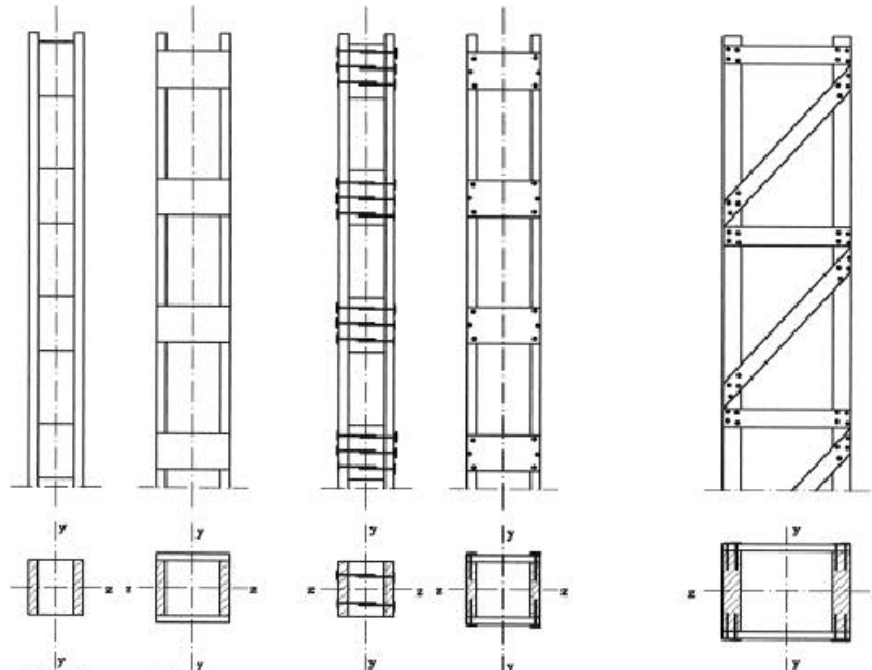
Deformatsiivse liitega ristlõige
(mehaaniline liide)
(posti otstes ristlõikeosade vahel on nihe)
Arvutatakse kui efektiivristlõiget

Kandevõime "jäik liide" > Kandevõime "deformatsiivne liide"

Täisseinaga postid



Vaheklotside-, nõtkelappide-, ja diagonaalsidemetega postid



7.5.2.1 Täisseinaga posti kandevõime

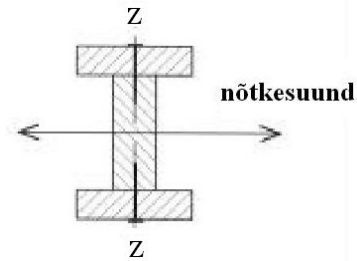
„y-y“ telje nõtkekandevõime

$$A = \sum A_i$$

$$I = \sum I_i$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow \lambda \rightarrow \lambda_{rel} \rightarrow k_c$$

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



„z-z“ telje nõtkekandevõime

$$A = \sum A_i$$

$$(EI)_{ef} = \sum (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

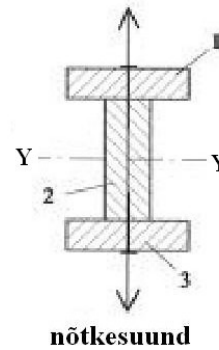
$$\rightarrow I_{ef} = \sum (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2), \text{ kui } E_1 = E_2 = E_3$$

$$\rightarrow I_{ef} = (I_1 + I_2 + I_3 + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + \gamma_3 \cdot A_3 \cdot a_3^2)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot L^2}} \text{ kus } i = 1 \text{ ja } i = 3$$

$$\gamma_2 = 1$$

Märkus: Tähised vaata liitlalde osast



$$i_{ef} = \sqrt{\frac{I_{ef}}{A}} \rightarrow \lambda_{ef} \rightarrow \lambda_{rel,ef} \rightarrow k_{c,ef}$$

Tugevustingimus: $\sigma_{c,o,d} \leq k_{c,ef} \cdot f_{c,0,d}$

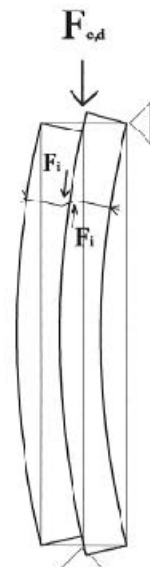
Liidete koormus:

$$F_{i,d} = \frac{V \cdot (\gamma_i \cdot A_i \cdot a_i) \cdot s_i}{I_{ef}} \quad i = 1 \text{ ja } i = 3$$

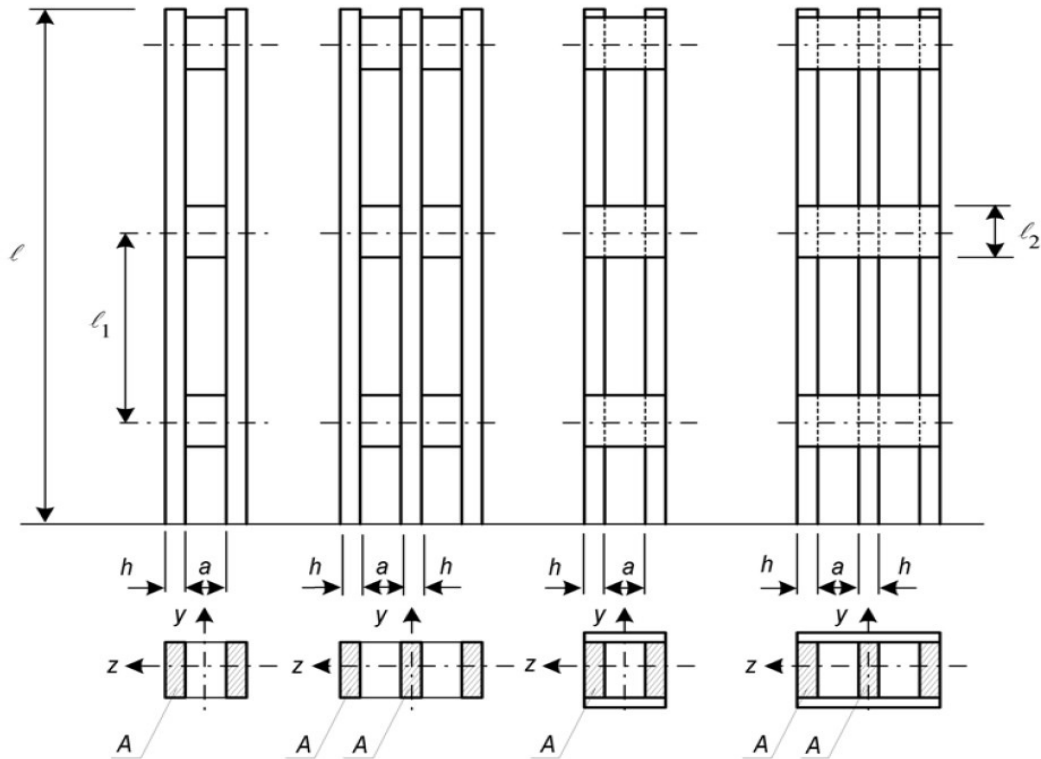
Tugevustingimus: $F_{i,d} \leq F_{v,Rd}$

Nihkejõud

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 \cdot k_c} & \text{kui } \lambda_{ef} \leq 30 \\ \frac{F_{c,d} \cdot \lambda_{ef}}{3600 \cdot k_c} & \text{kui } 30 < \lambda_{ef} \leq 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 \cdot k_c} & \text{kui } \lambda_{ef} > 60 \end{cases}$$



7.5.2.2 Nõtkelappide- või klotsidega posti kandevõime



Eeldused:

- ristlõike moodustavad 2, 3 või 4 samasugust varrast
- posti koormavad teljesuunalised tsentreeritud jõud
- ristlõige on mõlema telje suhtes sümmeetriline
- vabade vardaväljade arv ≥ 3 (lapid või klotsid posti otstes ja kolmandikel)
- varraste puhas vahekaugus a klotside puhul $a/h \leq 3$
- varraste puhas vahekaugus a nõtkelappide puhul $a/h \leq 6$
- klotsi pikkus l_2 rahuldab tingimust $l_2/a \geq 1,5$
- nõtkelapi pikkus l_2 täidab tingimust $l_2/a \geq 2$
- vaheklotsi või nõtkelapi igas liitepinnas peab olema vähemalt 4 naela ja poltliites 2 tüübliga polti.
- Naelühendustes peab posti mõlemas otsas pikisuunas olema vähemalt 4 naela reas

„y-y“ telje nõtkekandevõime

$$A = n \cdot A_1$$

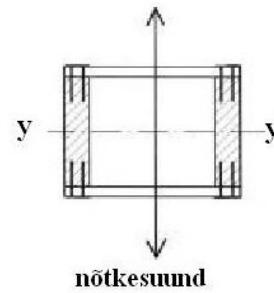
$$I = n \cdot I_1$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow \lambda \rightarrow \lambda_{rel} \rightarrow k_c$$

n- postivarraste arv

A_1, I_1 – ühe postivarda pindala või inertsimoment

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



„z-z“ telje nõtkekandevõime

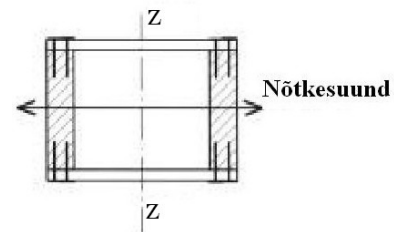
$$A = \sum A_i$$

$$I = \sum (I_i + A_i \cdot a_i^2)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow \lambda_{ef} \rightarrow \lambda_{rel,ef} \rightarrow k_{c,ef}$$

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \cdot \frac{n}{2} \cdot \lambda_1^2}$$

$$\lambda_1 = \max \left\{ \frac{\sqrt{12} \cdot I_1}{h}, 30 \right\}$$



n – postivarraste arv

η – liitetüübist sõltuv tegur

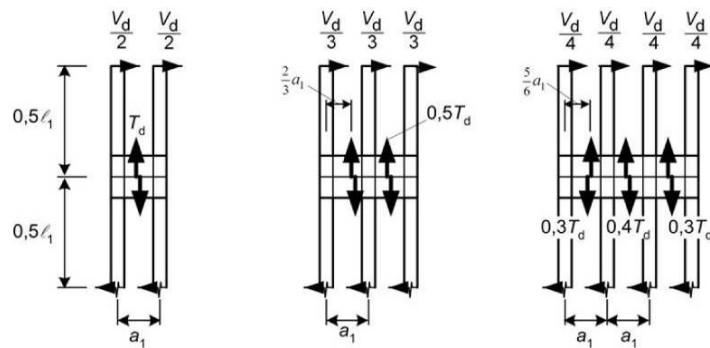
λ_1 – postivarraste saledus nõtkelappide vahel

a_1 – postivarraste raskuskeskmete vaheline kaugus

Koormus	η				
	Klotsid			Lapid	
	Liimliide	Naelliide	Poltliide	Liimliide	Naelliide
Alaline / pikaajaline	1	4	3,5	3	6
Kesk / lühiaajaline	1	3	2,5	2	4,5

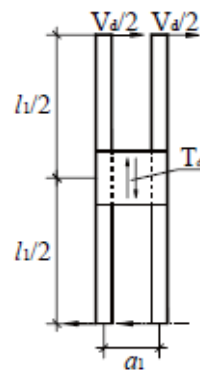
Tugevustingimus: $\sigma_{c,o,d} \leq k_{c,ef} \cdot f_{c,0,d}$

Lappide ja klotside nihkejõud:



$$T_d = \frac{V_d \cdot l_1}{a_1}$$

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 \cdot k_c} & \text{kui } \lambda_{ef} \leq 30 \\ \frac{F_{c,d} \cdot \lambda_{ef}}{3600 \cdot k_c} & \text{kui } 30 < \lambda_{ef} \leq 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 \cdot k_c} & \text{kui } \lambda_{ef} > 60 \end{cases}$$

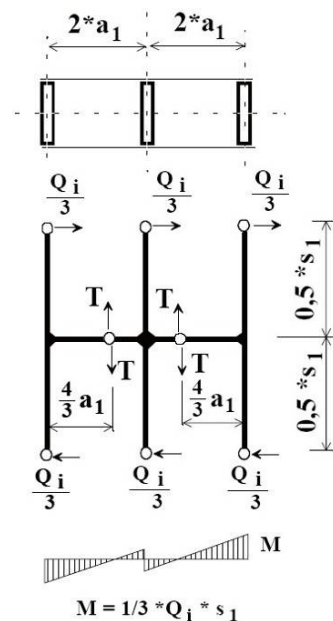
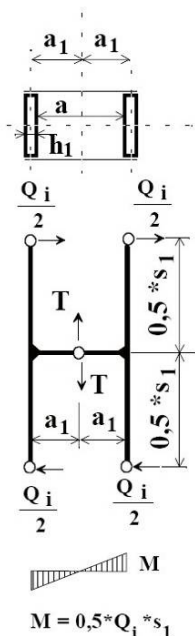


Ühele kinnitile tulev koormus:

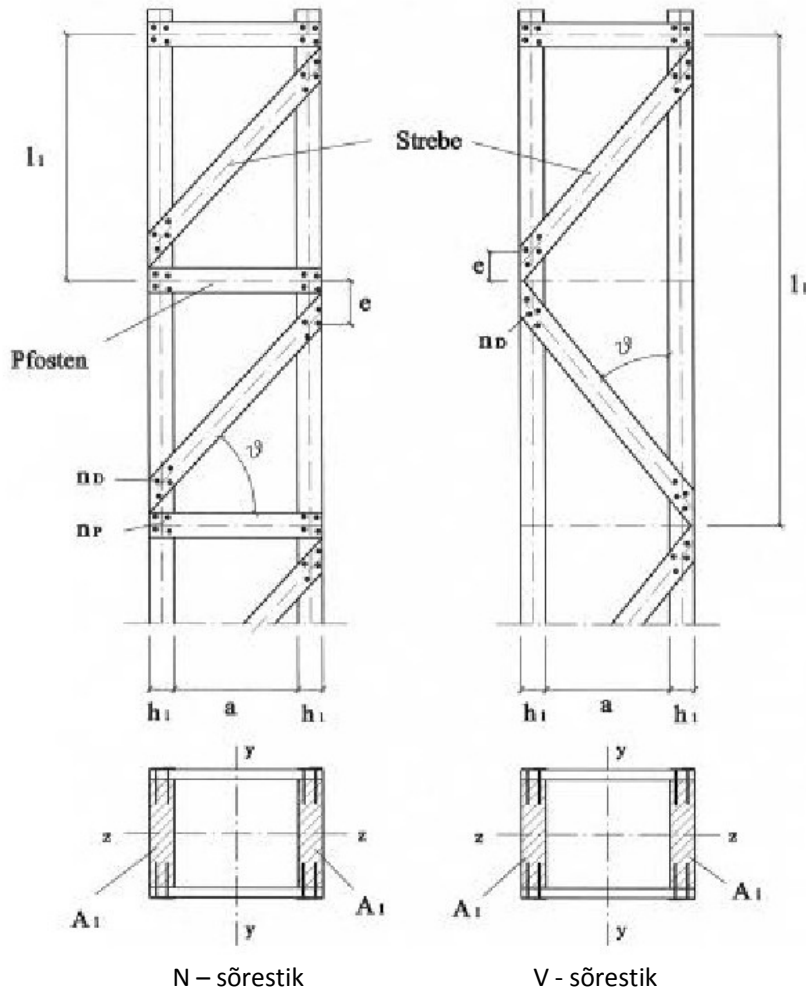
Tugevustingimus: $F_{i,d} \leq F_{v,Rd}$

$$F_{i,d} = \frac{T_d}{n}$$

n – kinnitite arv ühel lapil või klotsil



7.5.2.3 Diagonaalsidemetega posti kandevõime



Eeldused:

- konstruktsioon on mõlema telje suhtes sümmeetriline. Võrk ühel ja teisel pool võib olla teineteise suhtes nihutatud $l_1/2$ võrra, kus l_1 on sõlmedevaheline kaugus
- võrgu paneelide arv ≥ 3 , ning $a/h_1 \leq 10$
- varda pikkusel l_1 ei esine kohalikku väljanõtkumist
- $\lambda_1 = l_1 / i_{\min} \leq 60$
- tüvevarraste mõlemad otsad on ühendatud
- naelutatud konstruktsioonides on igal diagonaalil igas sõlmes ja igas nihkepinnas vähim naelte arv 4
- naelte arv N-sõrestiku võrgu postides $n_p \geq 4$
- naelte arv N-sõrestiku diagonaalides $n_D \geq n_p \cdot \sin 2\alpha$

„y-y“ telje nõtkekandevõime

$$A = n \cdot A_1$$

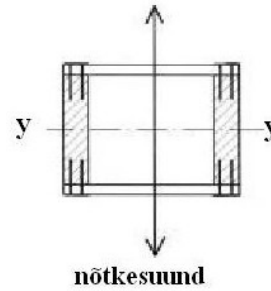
$$I = n \cdot I_1$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow \lambda \rightarrow \lambda_{rel} \rightarrow k_c$$

n- postivarraste arv

A_1, I_1 – ühe postivarda pindala või inertsimoment

Tugevustingimus: $\sigma_{c,o,d} \leq k_c \cdot f_{c,o,d}$



„z-z“ telje nõtkekandevõime

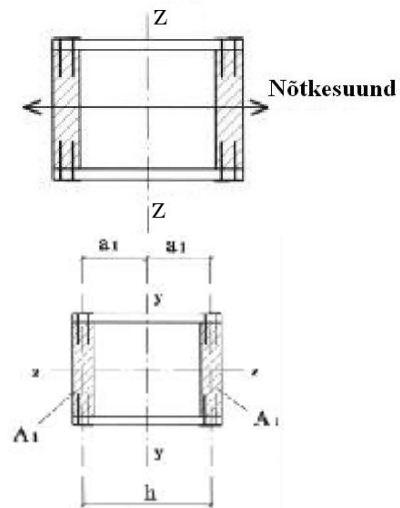
$$A = \sum A_i$$

$$I = \sum (I_i + A_i \cdot a_i^2)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow \lambda_{ef} \rightarrow \lambda_{rel,ef} \rightarrow k_{c,ef}$$

$$\lambda_{ef} = \max \begin{cases} \lambda_{tot} \cdot \sqrt{1 + \mu} \\ 1,05 \cdot \lambda_{tot} \end{cases}$$

$$\lambda_{tot} \approx \frac{2 \cdot L}{h}$$



λ_{tot} - on sama pikkuse, ristlõike ja inertsimomendiga täisristlõikega (massivse) posti saledus

μ – liitetüübist sõltuv tegur

L – posti pikkus

h – postivööde raskuskeskmete vaheline kaugus ($2 \cdot a_1$)

e – sõlme ekstsentrilisus

A_1 – ühe vöö pind

n - naelte arv diagonaalis ja K ühe naela nihkemoodul. Kui diagonaal koosneb kahest või enamast elemendist, siis n on naelte summa (mitte naelte arv ühe nihkepinna kohta)

Tugevustingimus: $\sigma_{c,o,d} \leq k_{c,ef} \cdot f_{c,o,d}$

μ				
Liitetüüp	V- sõrestikpost		V- sõrestikpost	
	Liimliide	Naelliide	Liimliide	Naelliide
μ	$4 \cdot \mu_1$	$25 \cdot \mu_2$	μ_1	$50 \cdot \mu_2$

$$\mu_1 = \frac{e^2 \cdot A_1}{I_1} \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^2$$

$$\mu_2 = \frac{h \cdot E_{0,05} \cdot A_1}{L^2 \cdot n \cdot K_u \cdot \sin 2u}$$

Võrguvardale tulev jõud:

$$D = \frac{V_d}{\sin u}$$

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 \cdot k_c} & \text{kui } \lambda_{ef} \leq 30 \\ \frac{F_{c,d} \cdot \lambda_{ef}}{3600 \cdot k_c} & \text{kui } 30 < \lambda_{ef} \leq 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 \cdot k_c} & \text{kui } \lambda_{ef} > 60 \end{cases}$$

Vajalik naelte arv liites:

Diagonaalvardas: $n_D = \frac{D}{F_{v,Rd}}$

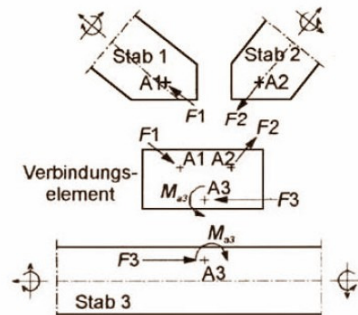
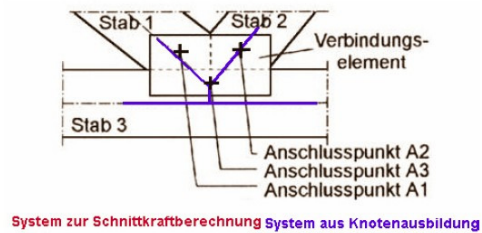
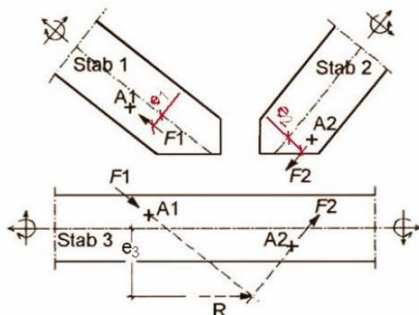
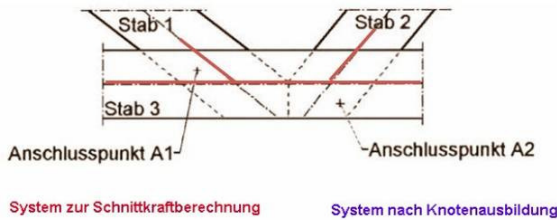
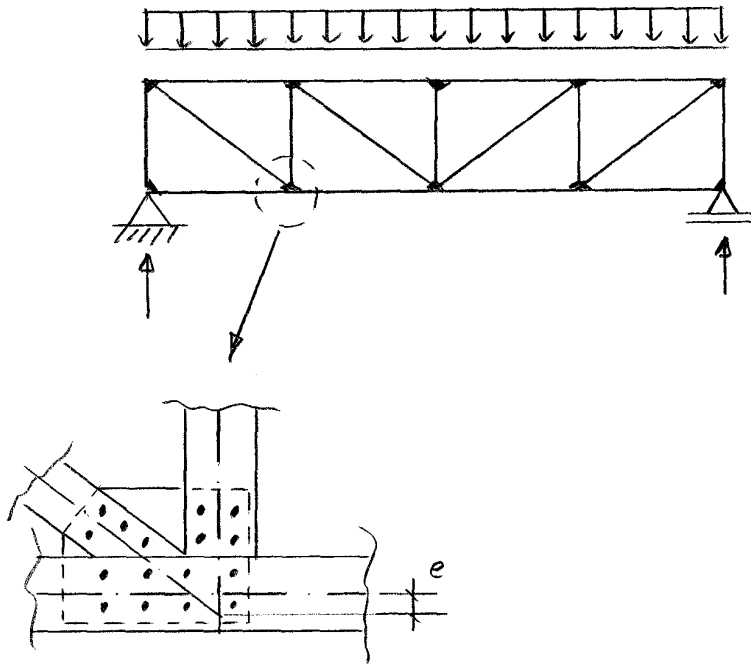
Horisontaalses postis: $n_p = n_D \cdot \sin u$

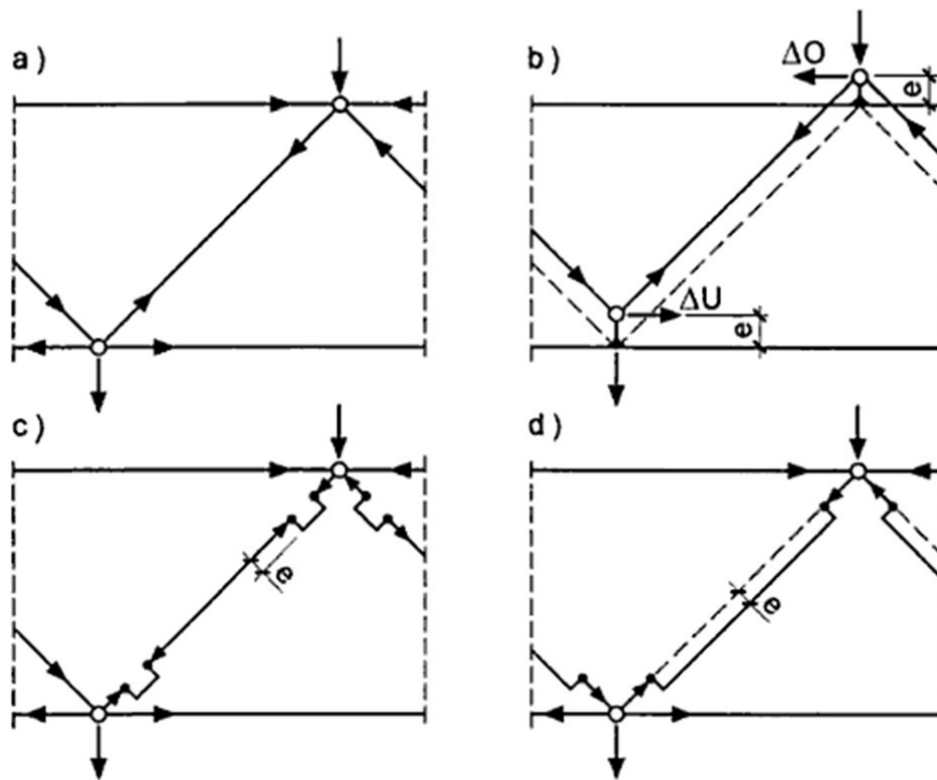
8. SÕRESTIKUD

Sõrestiku arvutusel peavad kõikide elementide süsteemi teljed jääma nende elementide enda piiridesse. Põhielementidele, nagu näiteks sõrestiku välimised vardad, peavad süsteemi teljed ühilduma elemendi keskelgedega.

Juhul, kui sisemiste varraste süsteemi teljed ei ühildu nende keskelgedega, tuleb nende varraste tugevuskontrollil arvestada ekstsentrilisuse mõjuga.

Esimest järku lineaarse elastse arvutuse puhul võib algdeformatsioonide mõju jätta arvestamata, kui seda tugevuse kontrollil on tehtud.

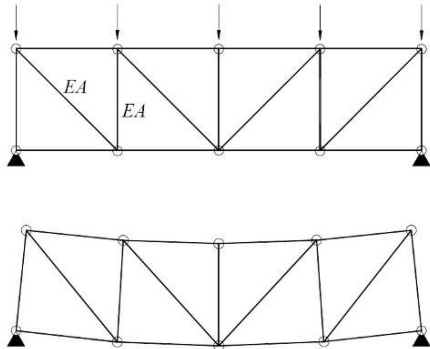




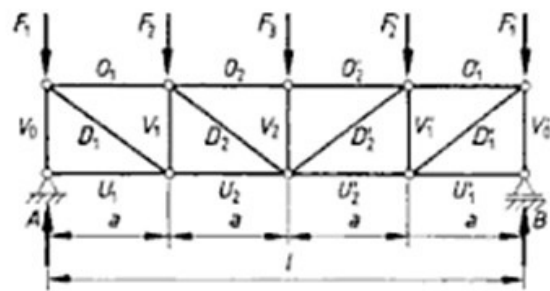
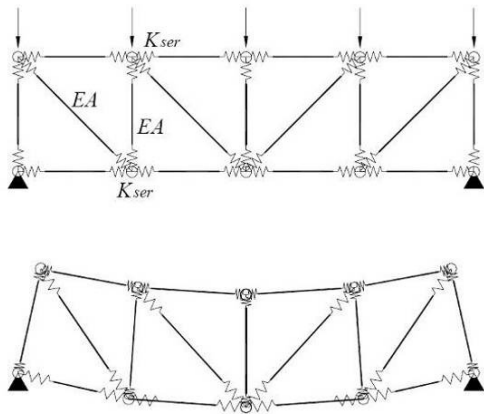
Sõrestiku tüüp		
	l	5-30
	h	$\geq 0.11 l$
	l	5-25
	h	$\geq 0.12 l$
	l	5-30
	h	$\geq 0.15 l$
	l	Ei piirata
	h	$\geq 0.13 l - 0.17 l$

Kui sõrestike sõlmed on teostatud mehhaaniliste kinnititega (poldid, naelad,...), siis sõrestike läbipainete leidmisel tuleb sõlmede järeleandvusest tekkivad lisadeformatsioonid arvesse võtta.

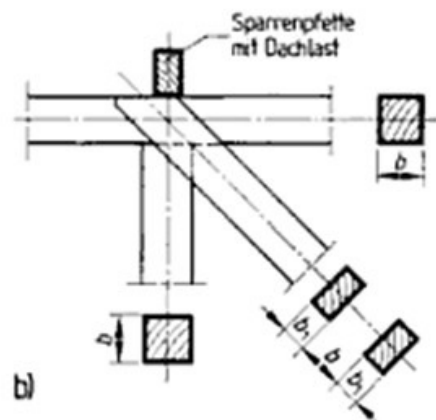
Liigendsõlmedega sõrestiku läbipaine varraste deformeerumisest



Deformeeruvate (liigend)sõlmedega sõrestiku läbipaine varraste deformeerumisest ja sõlmede järeleandvusest.



a)



b)

Kui arvestatakse varda pikenemisele või lühenemisele lisaks sõlmede järeleandvusest tingitud lisadeformatsioone, siis tehakse seda redutseeritud (vähendatud) pindala A kaudu.

Tõmmatud või surutud varda pikenemise või lühenemise elastses staadiumis võib leida valemiga:

$$u_{el} = \frac{N \cdot l}{EA}$$

Kui arvestatakse varda pikenemisele või lühenemisele lisaks sõlmede järeleandvusest tingitud lisadeformatsioone, siis võib kogu deformatsiooni leida valemiga:

$$u_k = u_{el} + u_j = \frac{N \cdot l}{EA} + \frac{N}{K_j}$$

Tekkiv deformatsioon peab olema seotud elastsusmooduliga:

$$u_k = u_{el} + \Delta u = \frac{N \cdot l}{EA} + \Delta u$$

Võrdsustades liite järeleandvuse puidu elastsusmooduliga ja redutseerides pindala vajaliku suuruseni

saame: $u_{el}^* = \frac{N \cdot l}{EA^*} = u_k = \frac{N \cdot l}{EA} + \frac{N}{K_j}$ või $u_{el}^* = \frac{N \cdot l}{EA^*} = u_k = \frac{N \cdot l}{EA} + \Delta u$

Järgnevalt saame redutseeritud pindala avaldada:

$$A^* = \frac{A}{1 + \frac{EA}{l} \cdot \frac{1}{K_j}}$$

või

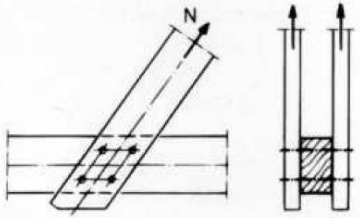
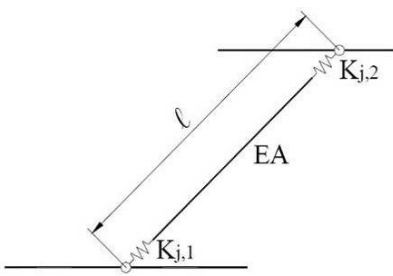
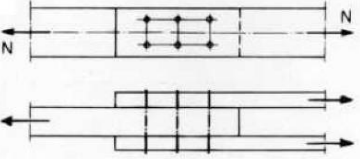
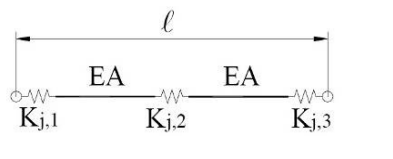
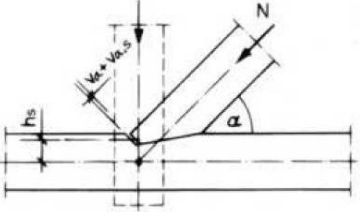
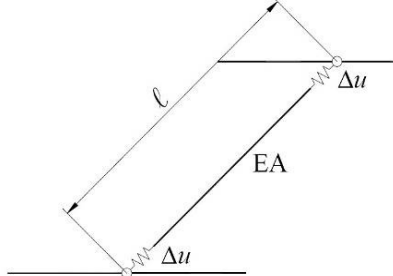
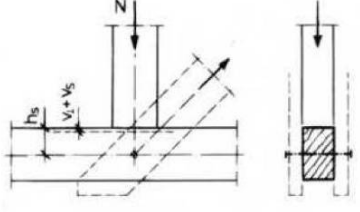
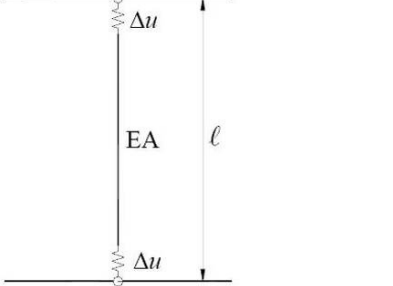
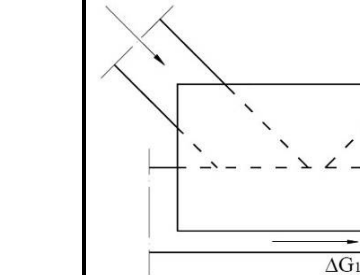
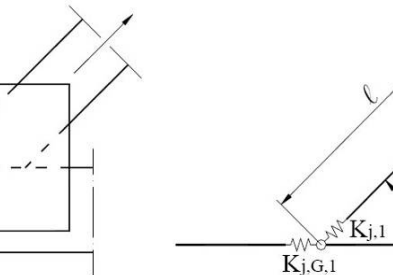
$$A^* = \frac{A}{1 + \frac{EA}{l} \cdot \frac{\Delta u}{N}}$$

Sõrestiku läbipainde võib leida valemiga:

$$w = \sum \frac{N_i \cdot \bar{N}_i}{E_i \cdot A_i^*} \cdot l_i$$

- A* - redutseeritud pindala
- A - tegelik varda pindala
- EA - varda pikijäikus
- l - varda pikkus
- K_j - liites olevate liidete kogu nihkemoodul
- Δu - liite deformatsioon
- N_i - sisejõud vardas
- \bar{N}_i - ühikjõust põhjustatud sisejõud vardas

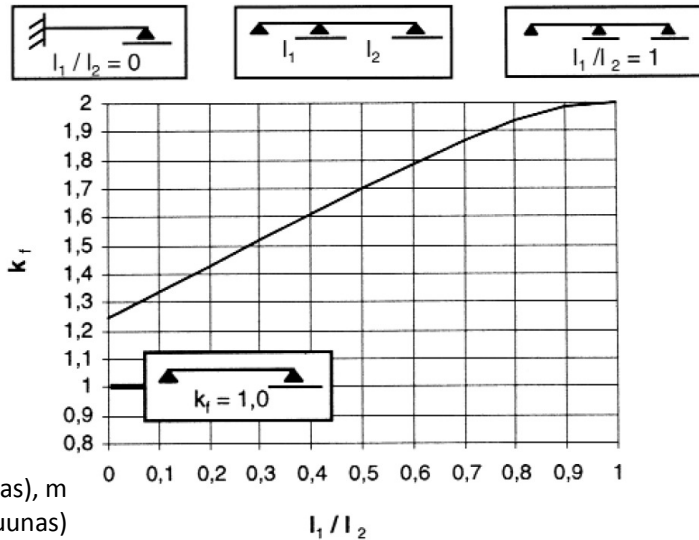


Liide	Staatiline skeem	Redutseeritud ristlõike pindala
		$A^* = \frac{A}{1 + \frac{EA}{l} \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{1}{K_{j,i}}}$ $u_k = \frac{N \cdot l}{EA} + \frac{N}{K_{j,1}} + \frac{N}{K_{j,2}}$ $\frac{1}{K_j} = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{K_{j,i}}$
		$A^* = \frac{A}{1 + \frac{EA}{l} \cdot \sum_{i=1}^3 \frac{1}{K_{j,i}}}$ $\frac{1}{K_j} = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{K_{j,i}}$
		$A^* = \frac{A}{1 + \frac{EA}{l} \cdot 2 \cdot \frac{\Delta u}{N}}$
		$A^* = \frac{A}{1 + \frac{EA}{l} \cdot 2 \cdot \frac{\Delta u}{N}}$
		
$A^* = \frac{A}{1 + \frac{EA}{l} \left(\sum_{i=1}^2 \frac{1}{K_{j,i}} + \frac{\Delta G}{N} \cdot \cos \alpha \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{1}{K_{j,G,i}} \right)}$		

9. ELAMUTE PÕRANDAD

Kontuuril toetatud täisnurkse, mõõtmetega $l \times b$, puittaladel vahelaeplaadi, põhisagedus f :

$$f = k_f \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \geq 8.0 \text{ Hz}$$



m - ühikpinna mass, kg/m^2

l - põranda sildeava (talade suunas), m

b - põranda laius (taladega risti suunas)

$(EI)_l$ - põrandaplaadi paindejäikus tala suunas, Nm^2/m

$(EI)_b$ - põrandaplaadi paindejäikus Nm^2/m põranda talade ristsuunas $(EI)_b < (EI)_l$.

k_f - tala arvutuskeemi tegur

v - ühikimpulsi kiirusvaste, s.o. põranda vertikaalse vibratsiooni kiiruse (m/s) algväärtus, mis on põhjustatud ideaalsest ühikimpulsist (1 Ns) rakendatuna põrandale etteantud maksimaalse vastupanuga punkti

ζ - sumbuvustegur

v - ühikimpulsi kiirusvaste, $\text{m}/(\text{Ns}^2)$

n_{40} - võnkeperioodide arv, kui põhisagedus on alla 40 Hz

u - maksimaalne vertikaalne hetkeline läbipaine, mis on põhjustatud vertikaalsest koondatud staatilisest jõust F

Elamute põrandad, mille põhisagedus on suurem, kui 8 Hz , peaksid rahuldama tingimusi:

- Ühikkoorumuselt 1 kN põhjustatud läbipaine, kN/mm

$$u = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI} \leq u_{\text{lim}} = 1.5 \text{ mm}$$

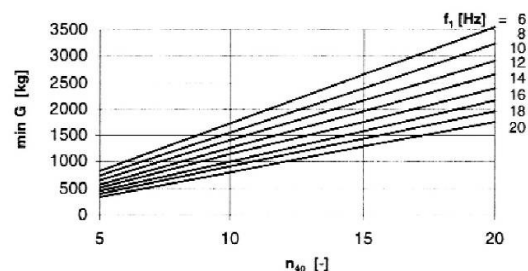
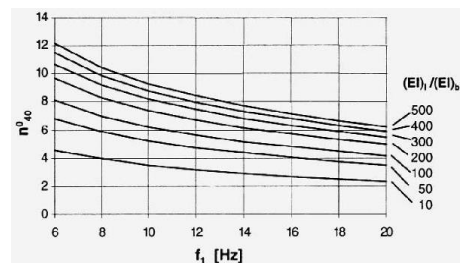
- Impulsi kiirusvaste, $\text{m}/(\text{Ns})^2$

$$v_{\text{max}} = \frac{4(0.4 + 0.6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l + 200} \leq v_{\text{lim}}$$

$$v_{\text{lim}} = 100^{(f \cdot \xi - 1)}$$

Võnkeperioodide arv n_{40}

$$n_{40} = k_f \cdot 4 \sqrt{\left[\left(\frac{40}{f} \right)^2 - 1 \right]} \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_l}{(EI)_b}$$



10. ALGHÄLVED JA TEIST JÄRKU MÕJUD

Puitkonstruktsioonide arvutustes tuleb arvestada geomeetriliste ja struktuuriliste ebatäpsustega.

Geomeetrilised ebatäpsused

Kõrvalekalle vertikaalset, läbipainete suurenemine (varda telje kõverdumine).

Struktuurilised ebatäpsused

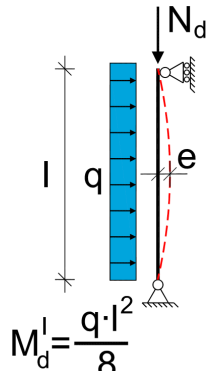
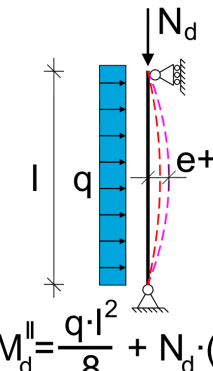
Puidu ebahomogeensus, ebaregulaarsed aastaringid ja ebaühtlane tihedus, ning sellest tingitud ristlõike elastse- ja geomeetiline raskuskeskme erinevus.

Mõlemat ebatäpsuse liiki võib arvestada geomeetrilise ebatäpsuse ehk alghälvete kaudu, kus painutatud või surutud varraste kõverdunud kuju võetakse kas siinuse või parabooli kujuline.

KOHALIKUD HÄLVED

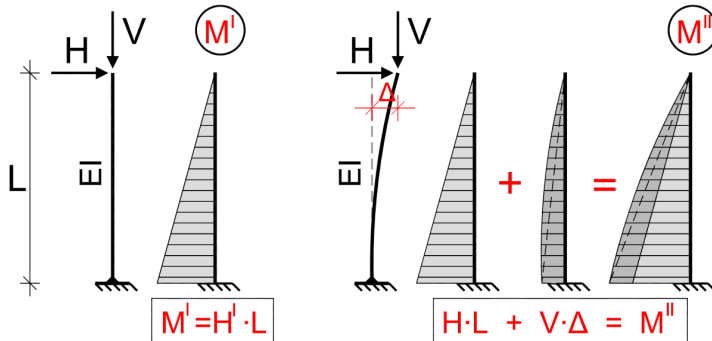
Surutud konstruktsioonelemendid ei ole kunagi ideaalselt sirged ega homogeensed, seepärast tekib neis varrastes alati lisapaindemoment:

- algekõverusest e
- põikkoormusest põhjustatud (painde)deformatsioonist w_{el}

<p>I järku sisejõud</p>	 $M_d^I = \frac{q \cdot l^2}{8}$	$N_d^I = N_d$ $M_d^I = \frac{q \cdot l^2}{8}$ <p>Varda stabiilsuskontroll:</p> $\frac{N_d^I / A}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{M_d^I / W}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$
<p>II järku sisejõud (lisamoment)</p>	 $M_d^{II} = \frac{q \cdot l^2}{8} + N_d \cdot (e + w_{el})$	$N_d^{II} \approx N_d^I = N_d$ $M_d^{II} = \frac{q \cdot l^2}{8} + N_d^I \cdot (e + w_{el})$ <p>Ristlõike tugevuskontroll:</p> $\frac{N_d^{II} / A}{f_{c,0,d}} + \frac{M_d^{II} / W}{f_{m,d}} \leq 1$

ÜLDHÄLVED

Üldhälveteks on põhiliselt geomeetrilised hälbed, mis moodustuvad kogu varraskonstruksiooni üldhälvetest kui ka üksikvarraste kohalikest hälvetest.



Arvutustes võib kasutada ka asenduskoormuste varianti, mis viib samade tulemusteni nagu ka alghälvete arvutamine.

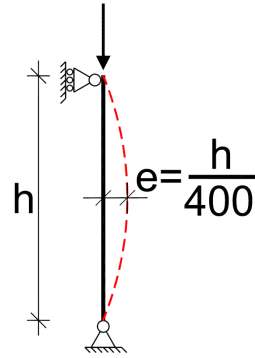
	Eelkalle	Paraboolne eelkõverus	Siinusoidne eelkõverus
Eeldeformeerunud skeem			
Asenduskoormuse skeem			

Üldhälvete mõju sisejõududele võib arvestada teist järku lineaarse arvutusega: konstruktsiooni kõrvalekaldeid oletatakse võrdseiks deformeerunud kujule vastavate algdeformatsioonidega. Deformeerunud kuju saadakse:

- andes konstruktsioonile või selle osadele **kaldenurga φ**
- sõlmede vahel algsele sinusoidkõverale vastava **ekstsentrilisuse e**

EKSTSENTRILISUS e

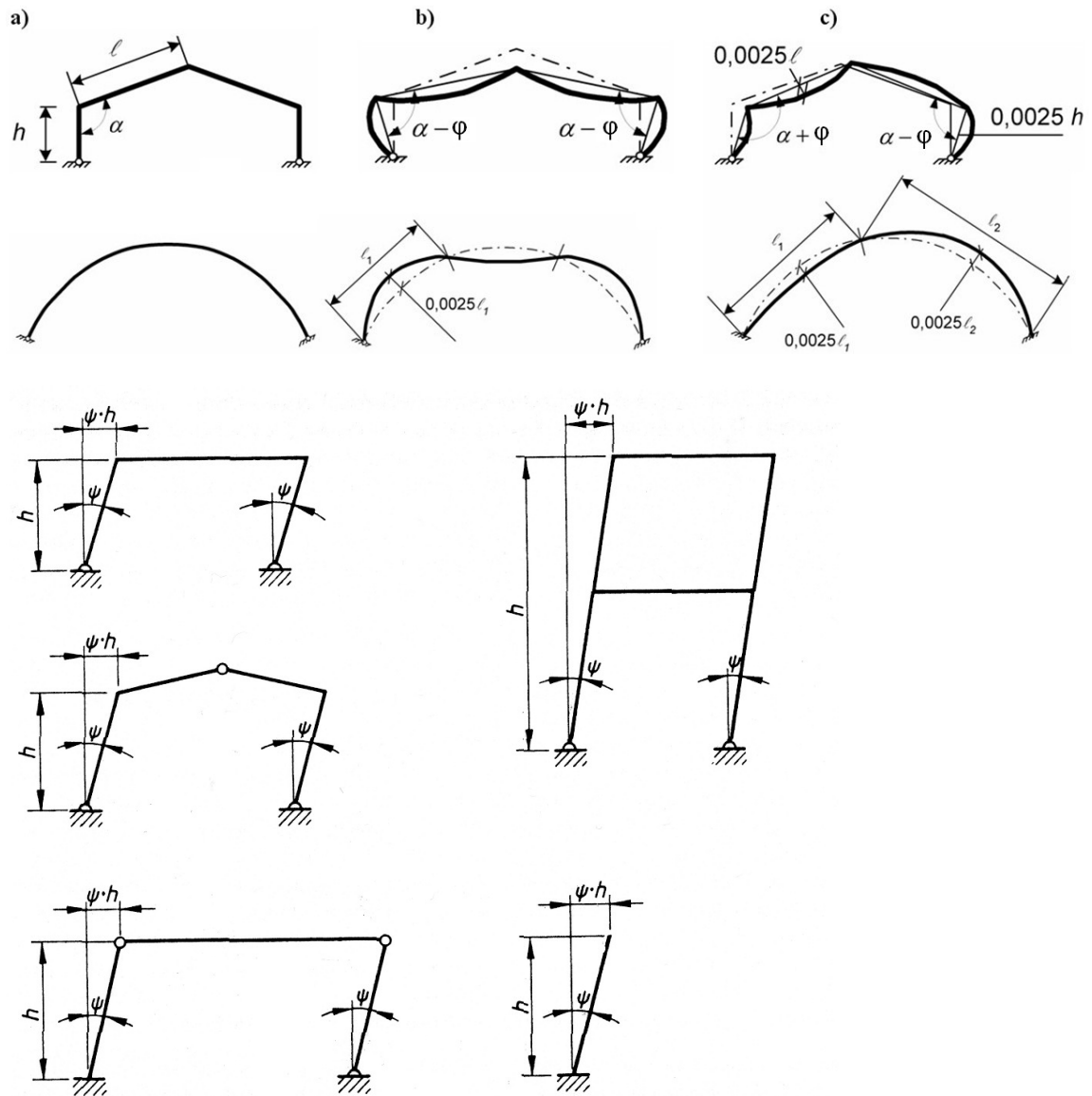
$$e = \frac{h}{400} = 0.0025 \cdot h$$



KALDENURK φ (radiaanides)

$$\varphi = \frac{1}{200} = 0.005 \quad \text{kui } h \leq 5\text{m}$$

$$\varphi = \frac{\sqrt{5/h}}{200} = 0.005 \cdot \sqrt{\frac{5}{h}} \quad \text{kui } h > 5\text{m}$$



Joonisel on toodud varraste erinevad eelkõveruste ja kallete variandid.

TEIST JÄRKU MÕJURID

Survele töötavas konstruktsioonis tekib varda siirdest (kõverdumisest) lisajõud, mis põhjustab täiendavaid deformatsioone ja sisejõudude suurenemist. Vaatleme sinusoidelt kõverdunud surutud varrast:

Arvutuskeem:

I JÄRKU MÕJU

II JÄRKU MÕJU

Algolukord ("0" samm): $e_0 = e$ ja $M_0 = N \cdot e_0$

$\rightarrow w_{el,0} = \frac{M_0}{N_{cr}} = \frac{M_0 \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI} = \frac{N \cdot e_0 \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI} = e_0 \cdot \frac{N \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI}$ asendame $k = \frac{N \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI}$:

$\rightarrow w_{el,0} = e_0 \cdot k = e \cdot k$

„1" samm: $e_1 = e + w_{el,0} = e + e \cdot k$ ja $M_1 = N \cdot e_1$

$\rightarrow w_{el,1} = e_1 \cdot k = e \cdot k + e \cdot k^2$

„2" samm: $e_2 = e + w_{el,1} = e + e \cdot k + e \cdot k^2$ ja $M_2 = N \cdot e_2$

$\rightarrow w_{el,2} = e_2 \cdot k = e \cdot k + e \cdot k^2 + e \cdot k^3$

„n" samm: $e_n = e + w_{el,n-1} = e + e \cdot k + e \cdot k^2 + \dots + e \cdot k^n$ ja $M_n = N \cdot e_n$

$\rightarrow w_{el,n} = e_n \cdot k = e \cdot k + e \cdot k^2 + e \cdot k^3 + \dots + e \cdot k^{n+1}$

Lõpmata arvu tehete puhul süsteem koondub, mille juures lõpliku deformatsiooni e , võib väljendada järgnevalt:

$$e_\infty = \sum_{n=0}^{\infty} e \cdot k^n = e \cdot \sum_{n=0}^{\infty} k^n$$

See avaldis vastab geomeetrilisele reale, mida võib kirjutada järgnevalt:

$$e_\infty = \frac{e}{1-k} = \frac{e}{1 - \frac{N \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI}} = \frac{e}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$

Lõplik moment M^{II} avaldub: $M^{II} = N \cdot e_\infty = N \cdot \frac{e}{1 - \frac{N \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI}} = \frac{M^I}{1 - \frac{N \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI}}$

Paindemomendi või deformatsiooni lõpliku suurenemise tegur α (Dischinger'i valem):

$$\alpha = \frac{M^{II}}{M^I} = \frac{1}{1 - \frac{N \cdot l^2}{\pi^2 \cdot EI}} = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$

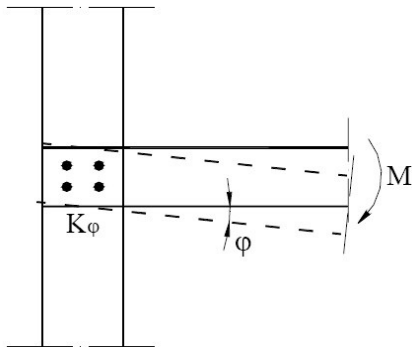
Vastavalt arvutuseeskirjadele on kandevõime kontrollil arvutusväärtused jagatud γ_M -iga, millega vähendatakse jäikuste väärtusi, seega **LISAMOMENDI** suurenemise tegur on arvatud järgnevalt:

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{N_d \cdot \gamma_M \cdot I_{ef}^2}{EI \cdot \pi^2}}$$

TEIST JÄRKU MÕJUD PÕHJUSTAVAD VARRASTES JA PAINDELIIDETES **LISAMOMENTE**
LISAMOMENDID TULEB VARRASTE JA JÄIKADE SÕLMEDE DIMENSIONEERIMISEL ARVESSE VÕTTA.

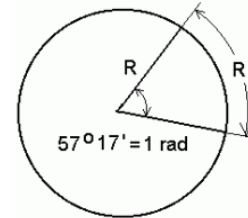
LISAMOMENTE VÕIB VARRASTE STABIILSUSARVUTUSTES ARVESTADA KA SUURENDATUD **NÕTKEPIKKUSE** KAUDU, KUID SIIS JÄÄVAD PAINDELIIDETES NEED MOMENDID ARVESTAMATA.

11. PAINDELE TÖÖTAVAD MEHHAANILISED LIITED



Paindemomendiga koormatud liite pööre sõltub liites mõjuvast paindemomendi suuruselt ja kinnituselementide summaarsest pöördemoodulist:

$$\varphi = \frac{M}{K_\varphi}$$



Paindele töötava liite järelandvust väljendatakse pöördemooduliga K_φ (kNm), mis on defineeritud kui moment, mis põhjustab liites pööre suurusega 1 rad (radiaan).

PAINDEMOMENDIGA KOORMATUD LIITE PÖÖRE φ SUURENDAB:

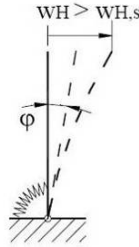
- KONSTRUKTSIOONI SIIRDEID
- KONSTRUKTSIOONI NÕTKEPIKKUSI
- SIIRDE SUURENEMISEST TINGITUD MOMENDI SUURENEMIST LIITES (TEIST JÄRKU LISAMOMENT)

SIIRETE ARVUTUS

Võrreldes jäiga liitega suurendab deformatsiivse liite pöördemooduli vähenemine konstruktsiooni siirdeid.



Jäik liide



Deformatsiivne liide

Siirde w võib leida järgmiselt:

$$w = \varphi \cdot l + \int \frac{M_i \cdot \bar{M}_i}{E_i \cdot I_i} \cdot ds$$

kus $\varphi = \frac{M}{K_\varphi}$

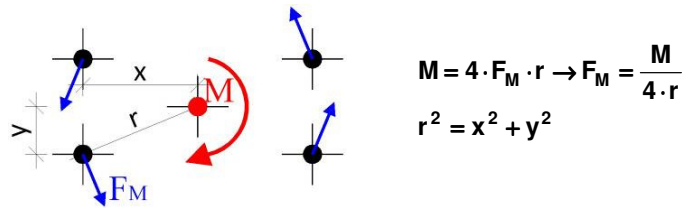
NÕTKEPIKKUS

Liidete järelandvus suurendab konstruktsiooni nõtkepikkust, st: konstruktsiooni stabiilsusarvutused tuleb teha suurendatud nõtkepikkustega.

LISAMOMENT

Nii konstruktsiooni stabiilsusest (suurendatud nõtkepikkus), kui ka mõjuvatest koormustest tekib lisamoment, mida peab liite tugevusarvutustes arvestama.

11.1 Liite pöördemoodul



$$K_\varphi = \sum_{i=1}^n K_1 \cdot r_i^2$$

või

$$K_\varphi = K_1 \cdot I_p$$

K_1 - ühe kinnituselemendi nihkemoodul (N/mm)

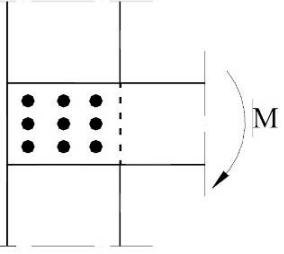
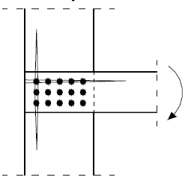
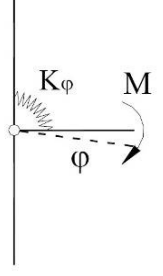
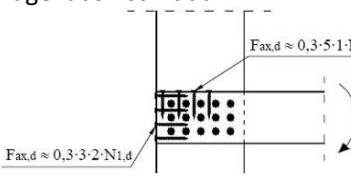
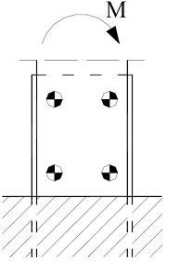
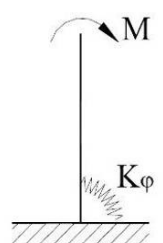
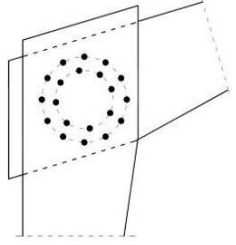
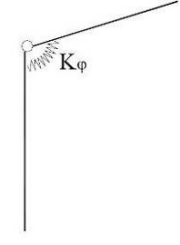
kasutuspiirseisundis K_{ser} või kandepiirseisundis $K_u = \frac{2 \cdot K_{ser}}{3}$

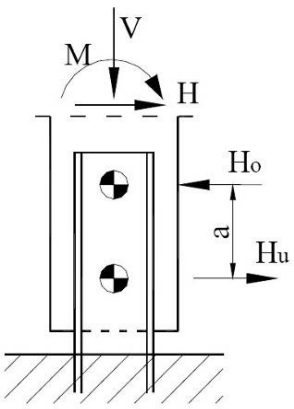
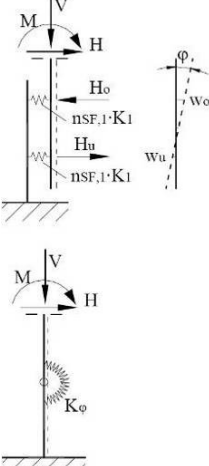
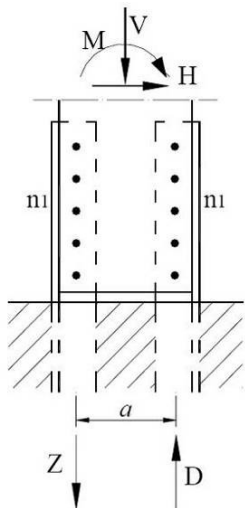
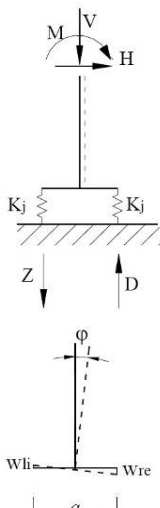
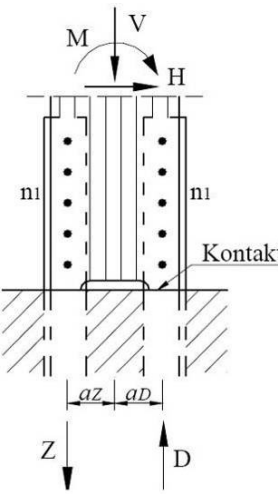
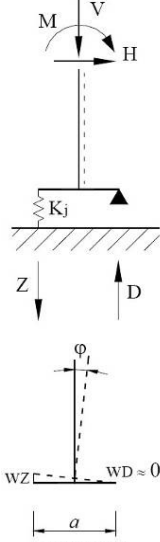
I_p - liite polaarinerksimoment (mm^2)

$$I_p = \sum r_i^2 = \sum (x_i^2 + y_i^2) = \sum x_i^2 + \sum y_i^2$$

r_i - kinnituselemendi ja liite pöördekeskme vaheline kaugus (mm)

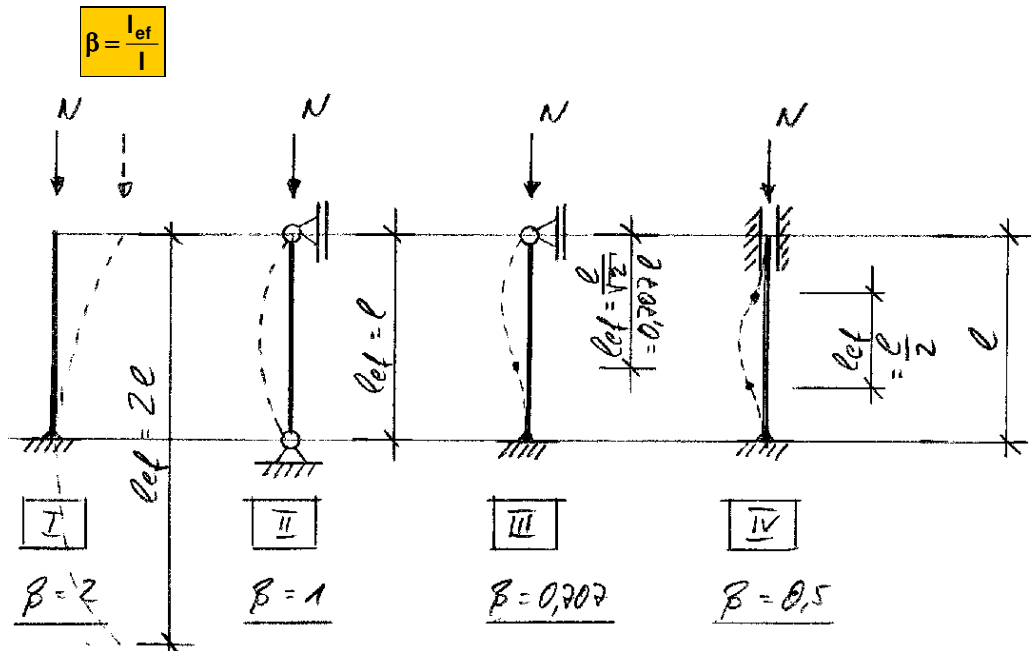
	1 poldiring	2 poldiringi
F_M		
I_p	$n \cdot r^2$	$n_i \cdot r_i^2 + n_a \cdot r_a^2$
F_V	$\frac{V}{n}$	$\frac{V}{n_i + n_a}$
F_N	$\frac{N}{n}$	$\frac{N}{n_i + n_a}$
F_M	$\frac{M \cdot r}{I_p} = \frac{M}{n \cdot r}$	$\frac{M \cdot r_a}{I_p} = \frac{M \cdot r_a}{n_i \cdot r_i^2 + n_a \cdot r_a^2}$
F_{res}	$F_M + \sqrt{F_V^2 + F_N^2}$	

Liide	Staatileine skeem	Pöördemoodul K_φ
 <p>Puidu purunemine tõmbele ristikiudu:</p> 	 <p>Tugevdus ristikiudu:</p> 	$K_\varphi = \frac{M}{\varphi}$ $K_\varphi = K_1 \cdot I_p$ $I_p = \sum x_i^2 + \sum y_i^2$
		$K_\varphi = \frac{M}{\varphi}$ $K_\varphi = K_1 \cdot I_p$ $I_p = \sum x_i^2 + \sum y_i^2$
		$K_\varphi = \frac{M}{\varphi}$ $K_\varphi = K_1 \cdot I_p$ $I_p = n_i \cdot r_i^2 + n_a \cdot r_a^2$

Liide	Staatiline skeem	Pöördemoodul K_ϕ
		$H_0 = \frac{M}{a} + \frac{H}{2} \quad H_u = \frac{M}{a} - \frac{H}{2}$ $w_0 = \frac{H_0}{K_1} \quad w_u = -\frac{H_u}{K_1}$ $\phi = \frac{w_0 - w_u}{a} = \frac{2 \cdot M}{K_1 \cdot a^2}$ $K_\phi = \frac{M}{\phi} \rightarrow K_\phi = K_1 \cdot \frac{a^2}{2}$ $I_p = \frac{a^2}{2}$
		$K_j = n_1 \cdot K_1$ $Z = \frac{M}{a} - \frac{V}{2} \quad D = \frac{M}{a} + \frac{V}{2}$ $w_{li} = -\frac{Z}{K_j} \quad w_{re} = \frac{D}{K_j}$ $\phi = \frac{w_{re} - w_{li}}{a} = \frac{2 \cdot M}{K_j \cdot a^2}$ $K_\phi = \frac{M}{\phi} \rightarrow K_\phi = K_1 \cdot \frac{a^2}{2}$ $K_\phi = K_1 \cdot n_1 \cdot \frac{a^2}{2}$ $I_p = n_1 \cdot \frac{a^2}{2}$
		$K_j = n_1 \cdot K_1$ $Z = \frac{M - V \cdot a_D}{a} \quad D = \frac{M + V \cdot a_Z}{a}$ $w_Z = \frac{Z}{K_j} \quad \phi = \frac{w_Z}{a}$ $K_\phi = \frac{M}{\phi}$ <p>Kui Z tuleb negatiivne, siis: $w_Z = 0, \phi = 0, K_\phi = 0$</p>

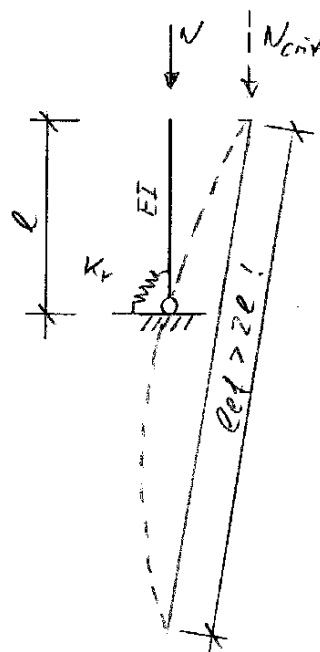
11.2 Varraste nõtkepikkused

Varda nõtkepikkus l_{ef} väljendatakse varda tegeliku pikkuse ja teguri β korrutise kaudu!



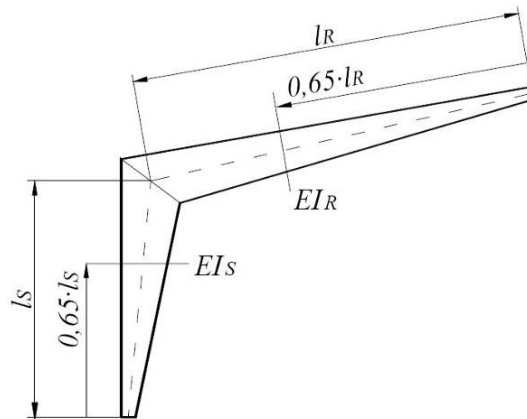
Paindele töötavad mehaaniliste kinnititega liited on järeleandvad (deformatsioonid), põhjustades sellega elementide suuremaid nõtkepikkusi.

$$\beta = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot EI}{l \cdot K_{\varphi}}}$$



Konstruksiooni varraste nõtkepikkuste määramine deformatiivsete liidete ja muutuvate ristlõigete puhul.

Muutuva ristlõikega varraste kohad, kus määratakse ristlõike EI ja i .



Tegurid nõtkepikkuste määramiseks:

Tegur, mis arvestab liite pöördemoodulit:

$$k_{K\varphi} = \frac{\pi^2 \cdot EI_s}{l_s \cdot K_\varphi}$$

Tegur, mis arvestab posti ja riivi suhtelisi jäikusi $\left(\frac{EI}{I}\right)$:

$$k_R = \frac{2 \cdot EI_s \cdot l_R}{n_R \cdot EI_R \cdot l_s}$$

Tegur, mis arvestab riivitsa pöördumist pikijõudust N_R :

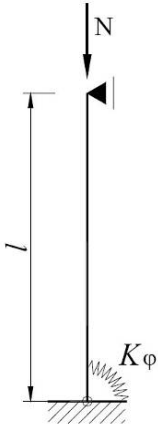
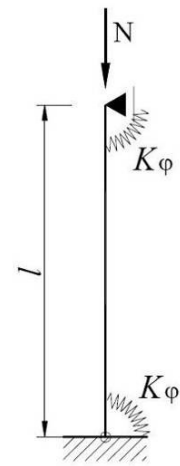
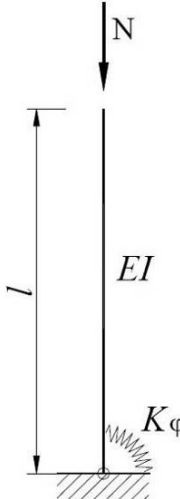
$$k_{NR} = \frac{EI_s \cdot N_R}{EI_R \cdot N_s} \left(\frac{l_R}{l_s}\right)^2$$

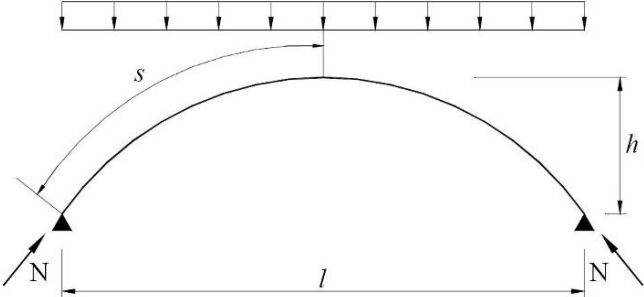
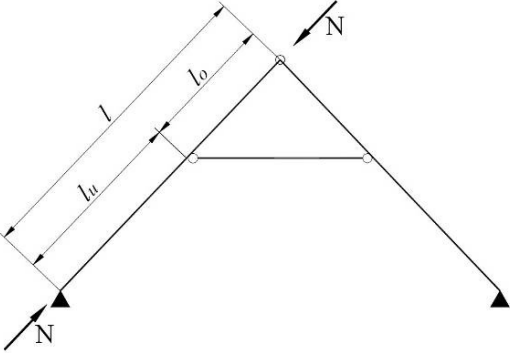
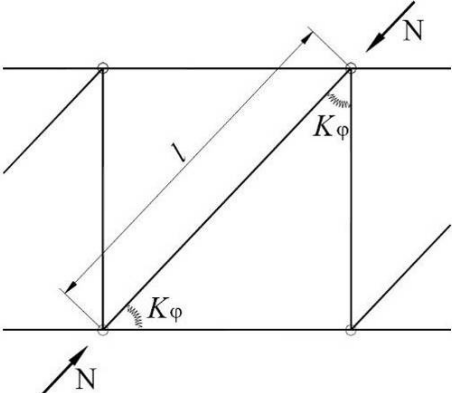
Tegur, mis arvestab pendelpostide „toetust“ konsoolpostile:

$$k_P = 1 + \frac{\sum N_{P,i} / l_{P,i}}{\sum N_{S,i} / l_{S,i}}$$

- EI_s - posti paindejäikus
- EI_R - riivi paindejäikus
- K_φ - liite pöördemoodul
- l_s - postipikkus
- l_R - riivipikkus
- n_R - posti ja riivide kinnitussõlmes olevate riivide(talade) arv (1 või 2)
- N_s - survejõud postis
- N_R - survejõud riivis
- N_P - survejõud pendelpostis (šarniirne kinnitus)
- N_s - survejõud konsoolpostis
- $l_{P,i}$ - pendelposti pikkus
- $l_{S,i}$ - konsoolposti pikkus

Lihtsamate arvutuskeemide nõtketeguri β leidmine:

	<p>$I_{ef} = \beta \cdot I$</p> $\beta \approx \sqrt{\frac{k_{K\varphi} + 2}{k_{K\varphi} + 4}}$ <p>$K_{\varphi} = 0 \rightarrow \beta = 1,0$ $K_{\varphi} = \infty \rightarrow \beta = 0,7$</p>
	<p>$I_{ef} = \beta \cdot I$</p> $\beta \approx \sqrt{\frac{k_{K\varphi} + 1,5}{k_{K\varphi} + 6}}$ <p>$K_{\varphi} = 0 \rightarrow \beta = 1,0$ $K_{\varphi} = \infty \rightarrow \beta = 0,5$</p>
	<p>$I_{ef} = \beta \cdot I$</p> $\beta \approx \sqrt{4 + k_{K\varphi}}$ <p>$K_{\varphi} = \infty \rightarrow \beta = 2,0$</p>

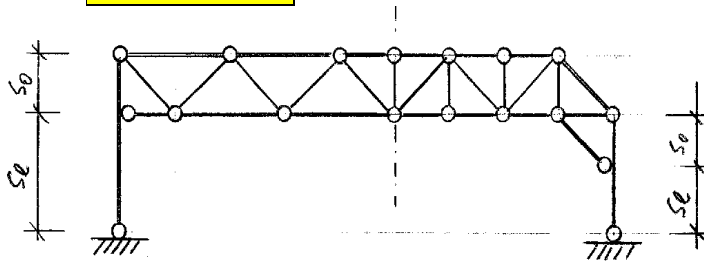
	<p>Kui: $0,15 \leq \frac{h}{l} \leq 0,5$</p> <p>$l_{ef} = \beta \cdot s$</p> <p>$\beta \approx 1,25$</p>
	<p>$l_{ef} = \beta \cdot l$</p> <p>$l_u < 0,7 \cdot l \rightarrow \beta \approx 0,8$</p> <p>$l_u \geq 0,7 \cdot l \rightarrow \beta \approx 1,0$</p> <p>$l_{ef} = \max \begin{cases} l_u \\ l_0 \end{cases}$</p> <p>$\beta \approx 1,25$</p>
	<p>$K_\varphi \approx 0 \rightarrow \beta = 1,0$</p> <p>$K_\varphi \gg 0 \rightarrow \beta = 0,8$</p>

	$l_{ef} = \beta \cdot l$ $\beta \approx \sqrt{4 + 1,6 \cdot k_R + k_{K\phi}}$
	<p>Post: $l_{ef,s} = \beta_s \cdot l_s$</p> $\beta_s \approx \sqrt{4 + 1,6 \cdot k_R + k_{K\phi} + k_{NR}}$ <p>Riiv: $l_{ef,R} = \beta_R \cdot l_R$</p> $\beta_R \approx \frac{\beta_s}{\sqrt{k_{NR}}}$
	<p>Kui $\alpha \leq 15^\circ$:</p> <p>Post: $l_{ef,s} = \beta_s \cdot l_s$</p> $\beta_s \approx \sqrt{4 + 1,6 \cdot k_R + k_{K\phi} + k_{NR}}$ <p>Riiv: $l_{ef,R} = \beta_R \cdot l_R$</p> $\beta_R \approx \frac{\beta_s}{\sqrt{k_{NR}}}$

	$l_{ef,s} = \beta_s \cdot l$ $\beta_s \approx \sqrt{4 + k_{K\phi} \cdot \sqrt{k_P}}$
	$l_{ef} = \beta_s \cdot l$ $\beta_s \approx \sqrt{4 + k_{K\phi} \cdot \sqrt{k_P}}$
	$l_{ef} = \beta_s \cdot l$ $\beta_s \approx \sqrt{4 + k_{K\phi} \cdot \sqrt{k_P}}$
	$l_{ef,s} = \beta_s \cdot l$ $\beta_s \approx \sqrt{4 + 1,6 \cdot k_R + k_{K\phi} \cdot \sqrt{k_P}}$ $n_R = 1$
	$l_{ef,s} = \beta_s \cdot l$ $\beta_s \approx \sqrt{4 + 1,6 \cdot k_R + k_{K\phi} \cdot \sqrt{k_P}}$ $n_R = 2$

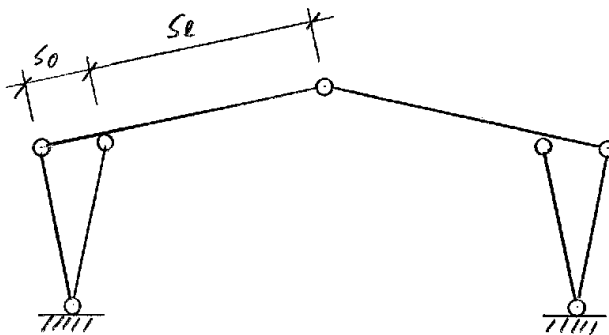
Raam ülevalt jäigakinnitusega või V-kujulise postiga:
 Raamiposti nõtkepikkus:

$$l_{ef} = 2 \cdot s_1 + 0,7 \cdot s_0$$



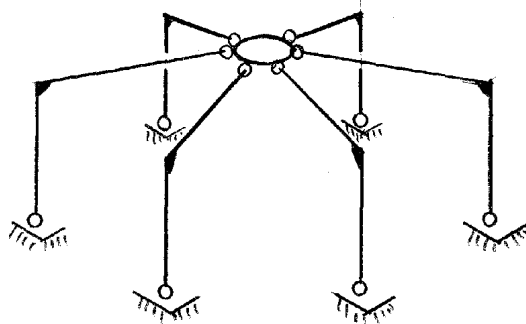
Raamiriivi nõtkepikkus:

$$l_{ef} = 2 \cdot s_1 + 0,7 \cdot s_0$$



Ruumilise raami nõtkepikkused:

$$\beta = \sqrt{1 + \frac{2 \cdot a}{s} + \frac{3\pi^2 \cdot a \cdot EI}{4 \cdot s^2 \left(1 + \frac{a}{s}\right) \cdot K_\psi}}$$



- a - surverõnga raadius
- s - raamiriivi pikkus
- EI - posti ja riivi paindejäikus
- K_ψ - riivi- ja postiliite paindemoodul

11.3 Lisamomendid mehhaanilistes liidetes

Konstruksiooni algköverus või deformeerumine suurendab paindemomente nii varrastes kui ka paindele töötavates sõlmedes. Paindemomendi suurenemist vardas arvestatakse II järku mõjude (ekstsentrilisuse) kaudu ja nõtkepikkuse suurendamise kaudu. Paindele töötavates sõlmedes tuleb alati leida lisamoment (sõltub II järku nõtketegurist).

Moment kinnitustes võetakse arvesse järgmise kontrolliga:

$$\frac{N_d / A}{k_c \cdot f_{c,o,d}} \approx \frac{N_d / A + \Delta M_d / W}{f_{c,o,d}}$$

Avaldame valemi lisamomendi ΔM leidmiseks:

$$\Delta M_d \approx \frac{N_d}{A} \cdot W \cdot \left(\frac{1}{k_c} - 1 \right)$$

Ristkülikulise ristlõike jaoks:

$$\Delta M_d \approx N_d \cdot \frac{h}{6} \cdot \left(\frac{1}{k_c} - 1 \right)$$

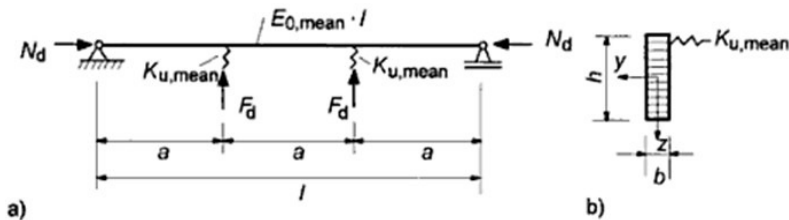
$$A = b \cdot h$$

kus ristkülikulisel ristlõikel:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

12. JÄIKUSSIDEMED

12.1 Surutud üksikelemendid



Surutud üksikelemendil, mis vajab põiksidemeid sammuga a , mõjub igale sidemele jõud:

$$F_d = \frac{N_d}{50} \quad \text{- monoliitpuidu korral}$$

$$F_d = \frac{N_d}{80} \quad \text{- lamelliimpuidu korral}$$

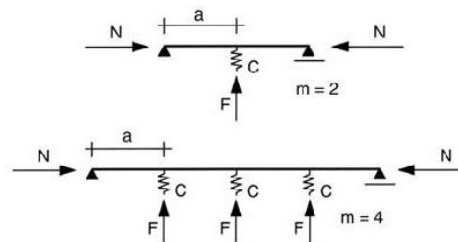
Sidemete kinnituspunktide vahel (a) peab algkõrvalekalle peab jääma lamelliimpuit- või spoonliimpuitelementidel piiridesse $a/500$ ja teistel elementidel $a/300$.

Igal vahepealsel sidemel peaks minimaalne survejäikus (vedrukonstant) $K_{u,mean}$ olema:

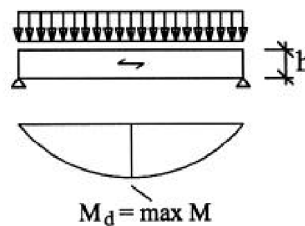
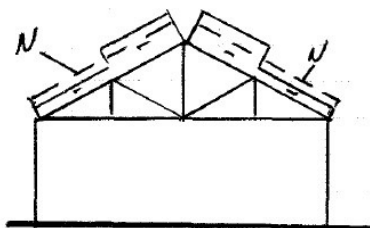
$$K_{u,mean} = \frac{k_s \cdot \pi^2 \cdot E_{0,mean} \cdot I}{a^3}$$

$$k_s = 2 \cdot \left(1 + \cos \frac{\pi}{m} \right) \leq 4.0$$

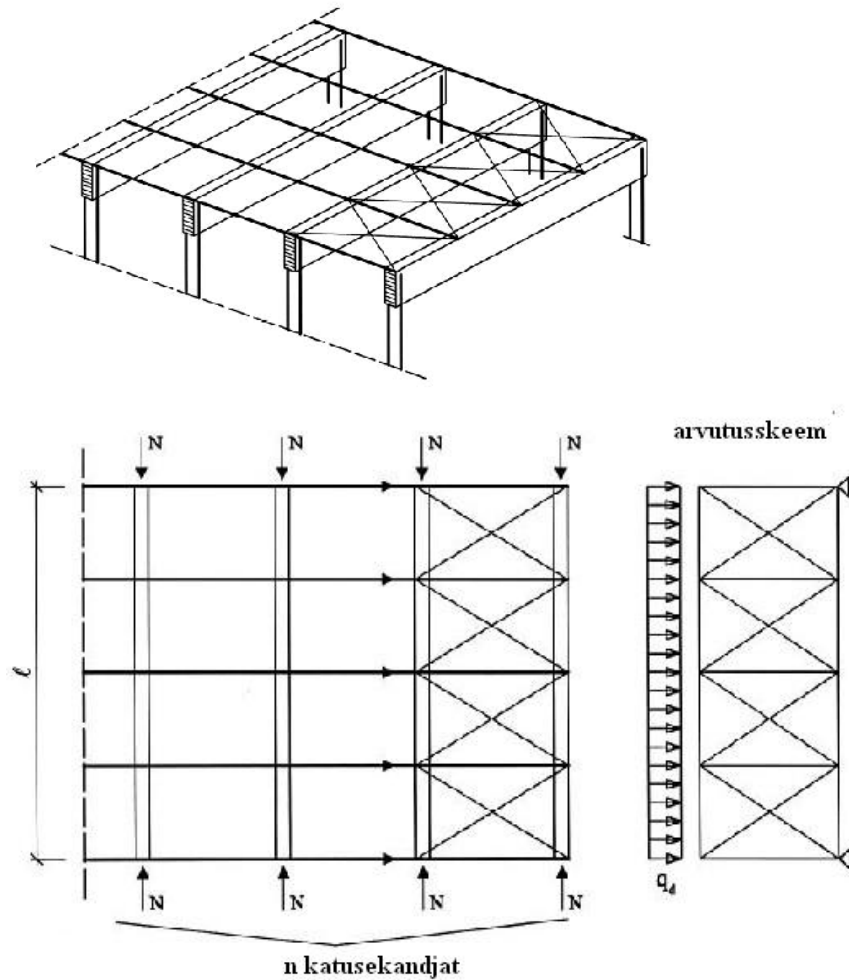
- k_s - modifikatsiooni tegur
- N - elemendi arvutusliku survejõu keskvärtus
- a - sideme kinnituspunktide vaheline pikkus
- h - tala kõrgus
- M - talas mõjuv paindemoment
- k_{crit} - kiivetegur



Painutatud ristkülikulise ristlõikega tala surutud serva jõud N leitakse: $N = (1 - k_{crit}) \frac{3 \cdot M}{2 \cdot h}$



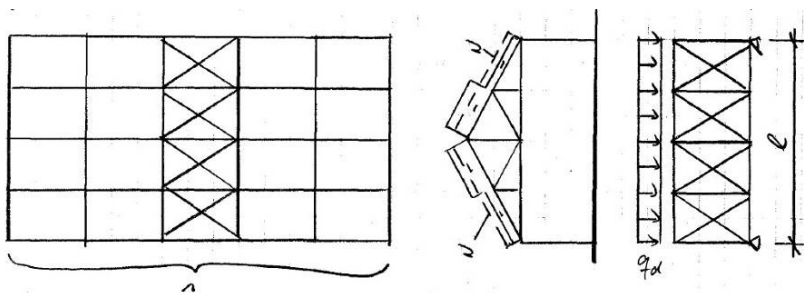
12.2 Tala või sõrestiksüsteemi jäikussidemed



Talade või sõrestike sarja korral, mis koosneb n paralleelsest elemendist ja millised vajavad vahepealsetes sõlmedes põiksuunalist toetust, tuleks ette näha jäikussidemete süsteem, mis peale horisontaalsete väliskoormuste (näiteks tuul) suudab kanda ka sisemise stabiilsuse tagamiseks ühikpikkusele mõjuvat põiksuunalist koormust q vastavalt avaldisele:

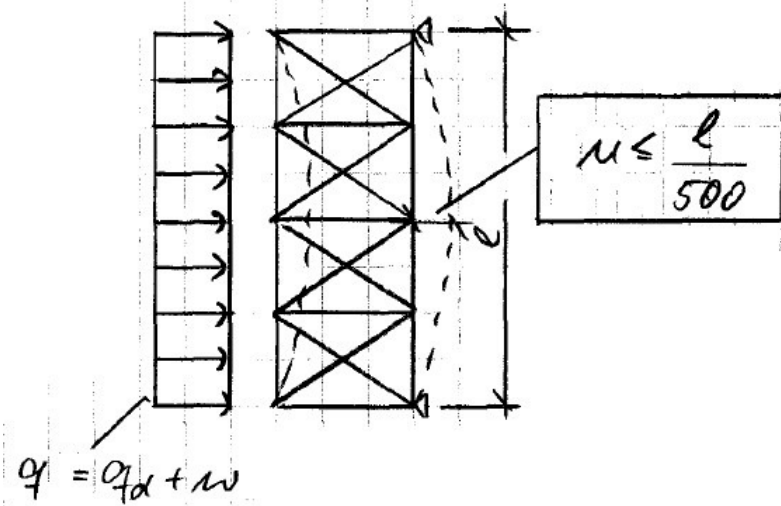
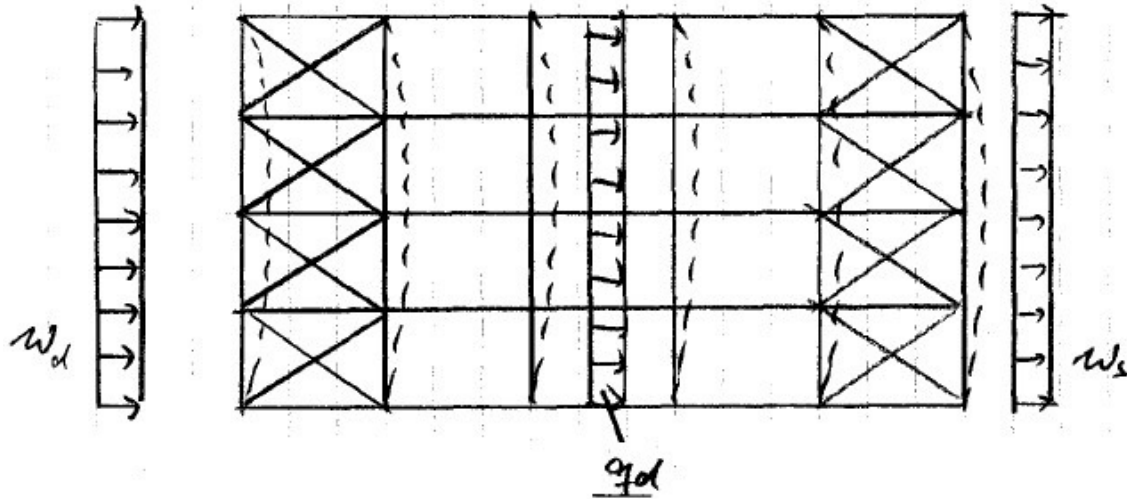
$$q_{\text{stab}} = k_1 \cdot n \cdot \frac{N}{30 \cdot l}$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{l}} \end{array} \right.$$



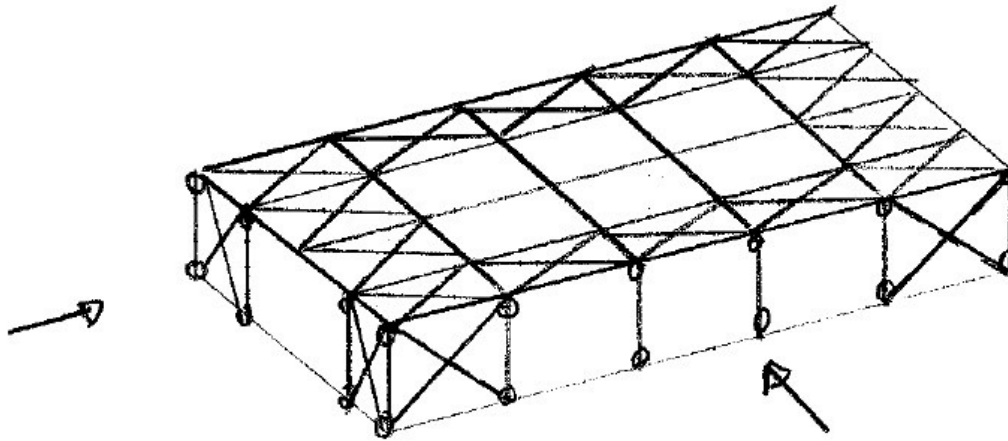
Koormusest q_d ja teistest väliskoormustest (näiteks tuul) põhjustatud sisesüsteemi horisontaalne läbipaine ei tohiks ületada väärtust:

$$u \leq \frac{l}{500}$$

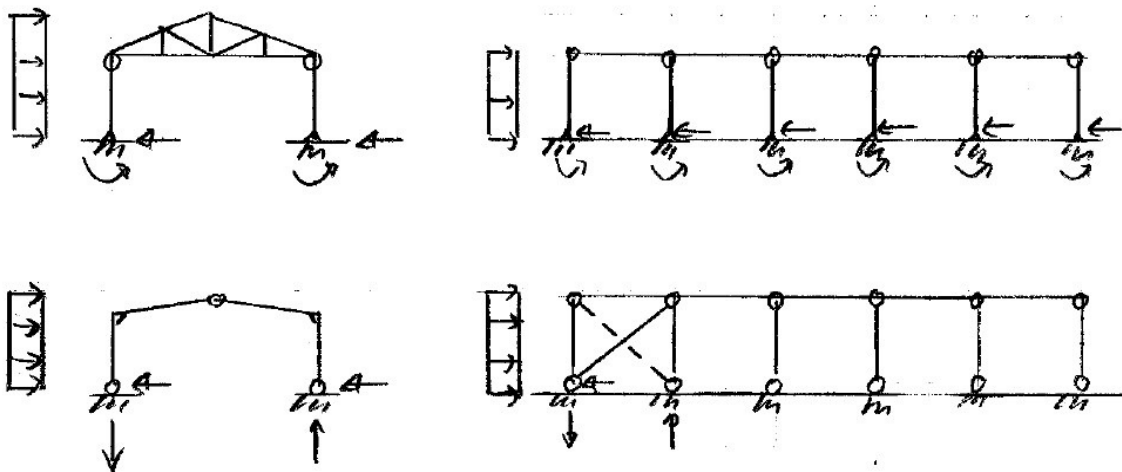


12.3 Karkassi sidemete kujundamine

Sidemetesüsteem, kui kõik hoone postid on šarniirsete kinnitustega (pendelpostid).



Horisontaalkoormuste vastuvõtmine:

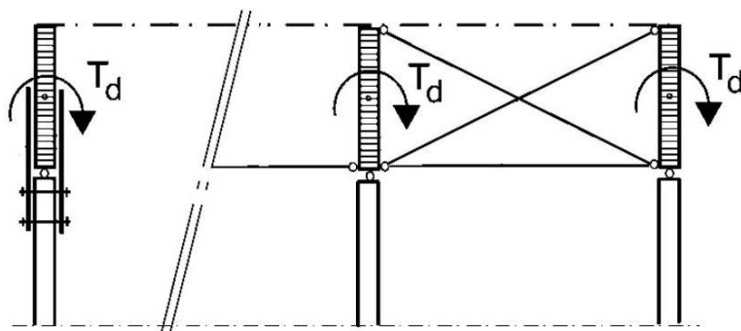


Tala ja postivaheline ühendus:

$$T_d = \frac{M_d}{80}$$

$$T_d = \frac{M_d}{60} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{e}{h} \cdot (1 - k_{crit})$$

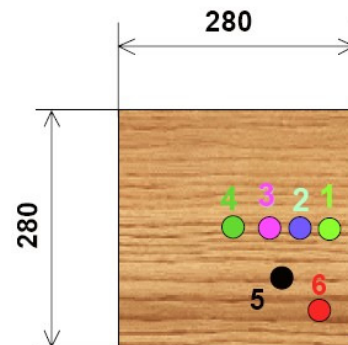
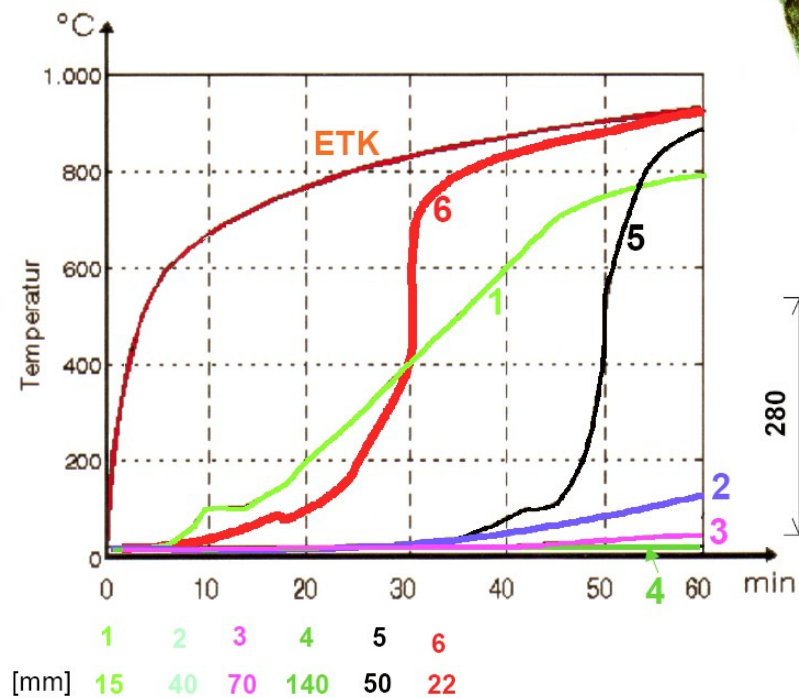
h - tala kõrgus avas
 e - tala kõrgus toel



13. TULEPÜSIVUS



Aja ja temperatuuri graafik puidu põlemisel



13.1 Materjali omaduste arvutussuurused tulekahjus

Kandevõime kontrollimiseks tuleb määrata arvutustugevus ja -jäikus:

$$f_{fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{k,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

Deformatsioonide kontrolliks tuleb kasutada arvutusjäikust:

$$E_{fi,d} = k_{mod,fi} \frac{E_{mean}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$\gamma_{M,fi} = 1.0$$

$$k_{mod,fi} = 1.0$$

$$k_{fi} = 1.25 \text{ monoliitpuidul}$$

$$k_{fi} = 1.15 \text{ liimpuidul ja puidupõhistel paneelidel}$$

f_k - arvutustugevus normaaltemperatuuril

E_{mean} - keskmine elastsusmoodul normaaltemperatuuril

$E_{0,05}$ - elastsusmoodul normaaltemperatuuril

Söestumissügavus

Standardtulekahju jaoks tuleb söestumissügavus leida avaldisest $d_{char} = \beta_0 \cdot t$

β_0 - söestumisaste

t - aeg minutites

Puidu söestumisaste sõltuvalt puiduliigist ja omadusest	mm/min
a) Okaspuit	
Monoliitne okaspuit normtihedusega $>290\text{kg/m}^3$ ja ristlõike minimaalmõõdmetega 35 mm.	0,8
Liimpuit normtihedusega $>290\text{kg/m}^3$	0,7
Puitplaat paksusega 20 mm ja normtihedusega $>450\text{kg/m}^3$	0,9
b) Monoliitne või liimitud lehtpuit normtihedusega $>450\text{kg/m}^3$ ja tammepuit	0,5
c) Monoliitne või liimitud lehtpuit normtihedusega $>290\text{kg/m}^3$	0,7

13.2 Konstruksiooni tulepüsusarvutus

Efektiivristlõike meetod

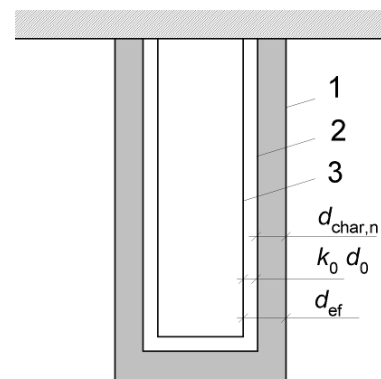
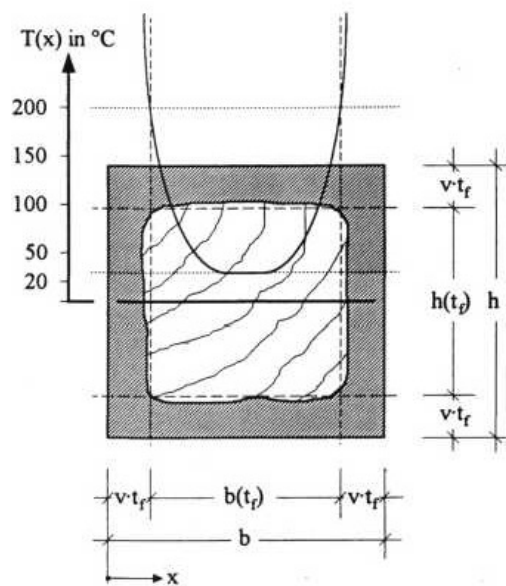
Efektiivristlõige arvutatakse algristlõike mõõtude vähendamise teel söestunud kihi võrra

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 d_0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 \leq 1,0, \text{ (kui } t < 20 \text{ min, siis } k_0 = t/20)$$

Juhul, kui elemendi jäikusside tulekahjuolukorras puruneb, tuleks selle elemendi nõtk- või kiivearvutus teha ilma jäikussidemeta.



Tähised:

- | | | |
|---|-----------------------|------------------|
| 1 | Elemendi | algristlõikepind |
| 2 | Jääkristlõikepiir | |
| 3 | Efektiivristlõikepiir | |

13.3 Liidete tulepüsus



