

Puitkonstruktsioonid

Üldiselt puitkonstruktsioonidest



29.10.2015

Kalle Pilt



kalle@majavamm.ee

Kalle Pilt
COST action FP1101
IE0601

Tallinna Tehnikaülikool
Tartu Ülikool Viljandi Kultuuriakadeemia
Eesti Mükoloogiaühingute Keskus SA
Puleium OÜ
Wood NDT OÜ

29.10.2015

Kalle Pilt
kalle@majavamm.ee

st

**EUROKOODEKS 5:
PUIKONSTRUKTSIOONIDE
PROJEKTEERIMINE
Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid
hoonete projekteerimiseks**

**Eurocode 5: Design of timber structures
Part 1-1: General. Common rules and rules for
buildings**

PUIDUTEADUS



Puit ehitusmaterjalina

Konstruksioonid

Kandekonstruksioonid

Mittekandvad konstruksioonid

Piirseisundite meetod

Osavarutegurite meetod

Materjali osavarutegurid ja koormuste osavarutegurid

Kandepiirseisund - seisund, mille ületamisega kaasnevad konstruktsiooni kahjustused või purunemine

Piirseisundite meetod - Kandepiirseisund

- ✓ konstruktsiooni kui terviku või selle mis tahes osa staatilise tasakaalu kaotus jäiga keha eeldusel;**
- ✓ konstruktsiooni purunemine ülemäärase deformeerumise või mehhanismiks muutumise tõttu, habras purunemine, konstruktsiooni või selle mis tahes osa (kaasa arvatud toed ja vundamendid) stabiilsuse kaotus;**
- ✓ purunemine väsimuse või mingi muu ajast sõltuva mõjuri tagajärjel.**

Kasutuspiirseisund - seisund, mille ületamisel konstruktsioon või tema osa ei ole enam suuteline täitma talle esitatud ekspluatatsiooninõudeid

- ✓ **deformatsioonid, mis mõjutavad välimust, kasutajate mugavust või konstruktsiooni funktsioneerimist (kaasa arvatud masinate ja kommunikatsioonide funktsioneerimine) või mis kahjustavad viimistlust või mittekandvaid elemente;**

Tabel NA 7.2 – Soovitavad piirläbipained

Konstruktsioon	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}^{2)}$
Peakandjad	1 / 400	1 / 300	1 / 200
Pärliid ja teisejärgulised kandjad	-	1 / 200	1 / 150

1) puudutab põhiliselt pörandaid

2) puudutab eeltõusuga ning toepunktide vahel painutatud või murtud kujuga konstruktsioone.

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Kandepiirseisundi tingimuste täitmine**
 - **Kandekonstruktsioonide tugevus**
 - Elemendid
 - Sõlmed
 - **Kandekonstruktsioonide stabiilsus**
- **Kasutuspiirseisundi tingimuste täitmine**

Kandepiirseisund (ultimate limit state)

Kasutuspiirseisund (serviceability limit state)

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Kandepiirseisundi tingimuste täitmine**
 - **Kandekonstruktsioonide tugevus**
 - **Elemendid**

Kandekonstruktsioonid võtavad vastu koormust

järelikult kehtib ehituse põhiseadus

$$f \geq \sigma \text{ ehk teistpidi } \sigma/f \leq 1$$

tugevus peab olema suurem kui sisepinge

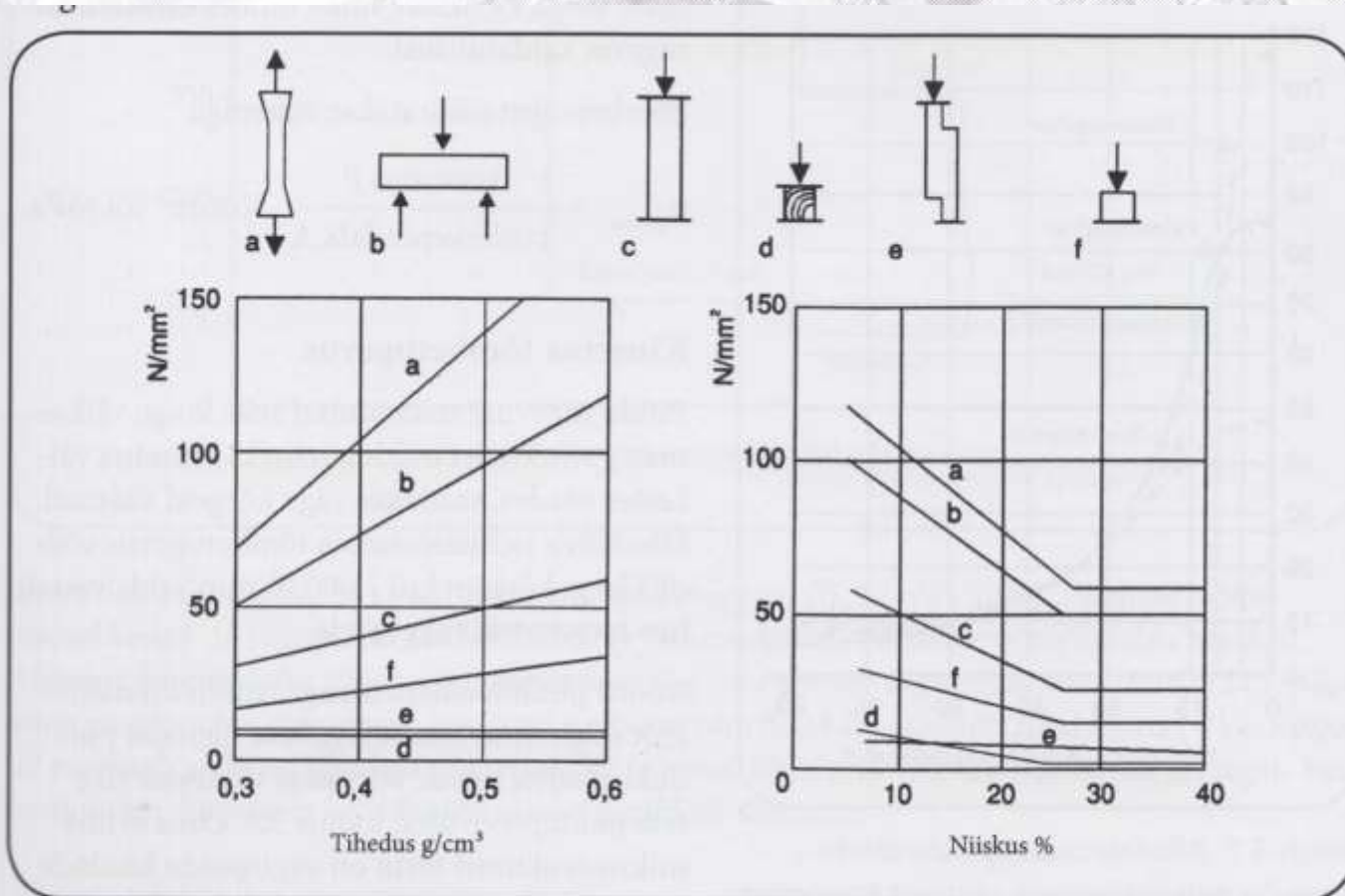
Tugevus ehk mehaanilised omadused

EVS-EN 338:2009

Tabel 1 — Tugevusklassid - Tunnusväärtused

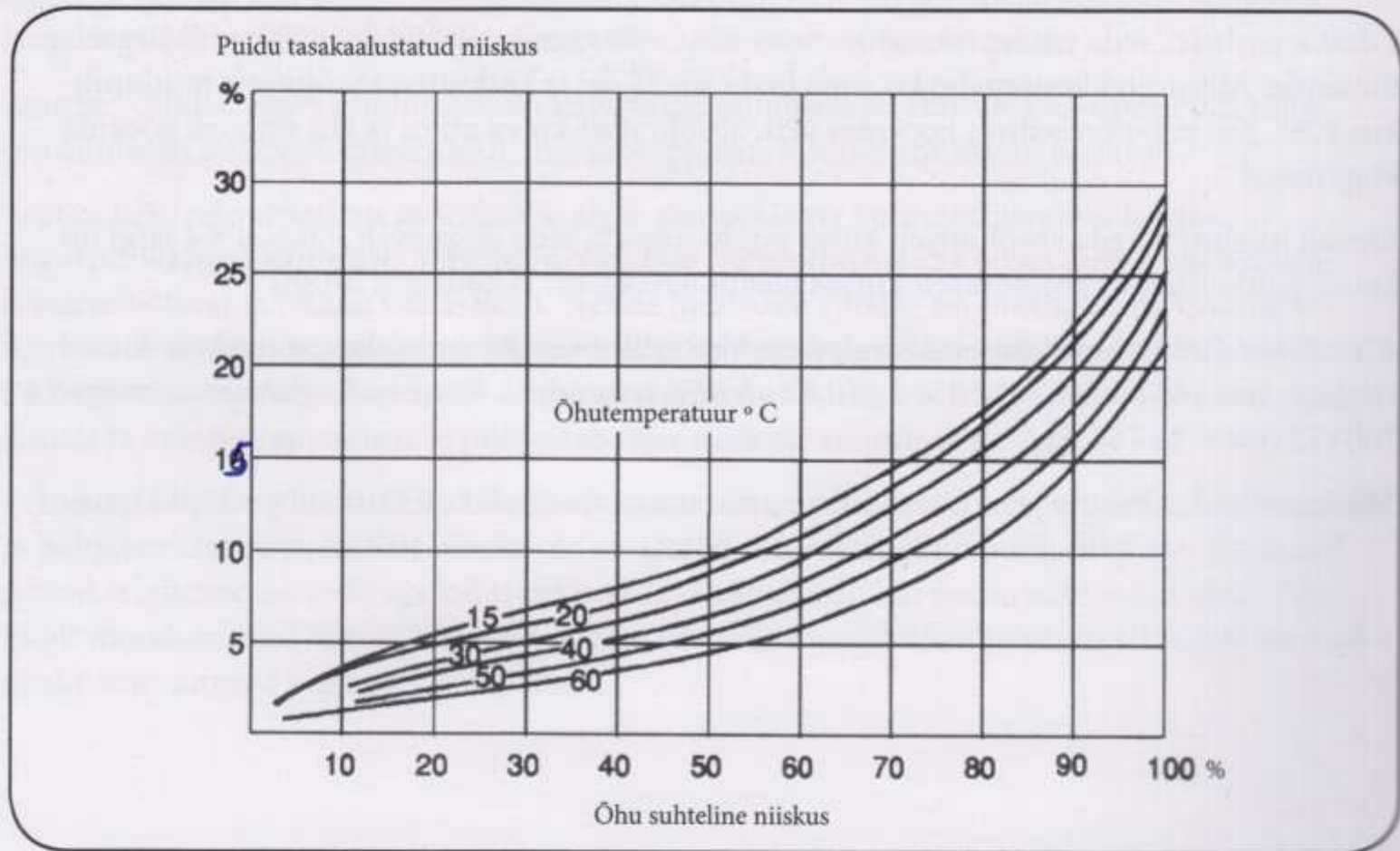
		Okaspuuliigid												Lehtpuuliigid							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Tugevusomadused (N/mm²)																					
Paine	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tõmme pikikiudu	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tõmme ristikiudu	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Surve pikikiudu	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Surve ristikiudu	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Nihe	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Jäikusomadused (kN/mm²)																					
Keskmine elastsusmoodul pikikiudu	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
5 % elastsusmoodul pikikiudu	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Keskmine elastsusmoodul ristikiudu	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Keskmine nihkemoodul	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Tihedus (kg/m³)																					
Tihedus	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Keskmine tihedus	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080
<p>MÄRKUS 1 Ülaltoodud tõmbetugevuse, survetugevuse, nihketugevuse, 5% elastsusmooduli, keskmise elastsusmooduli ristikiudu ja keskmise nihkemooduli väärtused on arvatatud lisas A toodud valemitega.</p> <p>MÄRKUS 2 Tabelis toodud omadused kehtivad puidule, mille niiskussisaldus vastab temperatuurile 20 °C ja õhu suhtelisele niiskusele 65 %.</p> <p>MÄRKUS 3 Tugevusklasside C45 ja C50 puit võib olla mitte vabalt saadaval.</p> <p>MÄRKUS 4 Nihketugevuse tunnusväärtused on antud lõhedeta puidule, vastavalt standardile EN 408. Lõhede mõju peab olema arvestatud projekteerimismäärustes.</p>																					

Niiskusesisalduse ja tugevuse seosed



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

Puidu tasakaaluniiskus



Joonis 3.20. Tasakaalukõverad õhu suhtelise niiskuse ja puidu tasakaalustatud niiskuse vahel erinevate õhutemperatuuride juures

Koormuse kestavusklassid ja puitmaterjali kasutusklassid

Tabel 2.1 – Koormuse kestavusklassid

Koormuse kestavusklass	Normkoormuse kestavus
Alaline	üle 10 aasta
Pikaajaline	6 kuud – 10 aastat
Keskkestev	1 nädal – 6 kuud
Lühiajaline	vähem kui 1 nädal

Kasutusklassi 1 kuuluvad puitkonstruktsioonid, mis asuvad köetavates sisetütingimustes vastava niiskussisalduse juures. Kasutusklassi 1 võib üldiselt lugeda ka konstruktsioonid mitmekihilise soojustusega ning talad, millede tõmbetsoon on soojustatud.

Kasutusklassi 2 kuuluvad välistingimustes kuivana olevad puitkonstruktsioonid. Konstruktsioon peab olema kaetud ja tuulutatud ning alt ja külgedelt märgumise vastu kaitstud. Siia kasutusklassi kuuluvad näiteks varjualuse ja külma pööningu puitkonstruktsioonid.

Kasutusklassi 3 kuuluvad välistingimustes ilmastiku mõjudele vastuvõtlikud, niiskes keskkonnas või vahetult vee poolt pikaajaliselt mõjutatud puitehitised. Puitkonstruktsioonide hindamisel 3 kasutusklassi kohaselt on veel kolm erinevat niiskuse alaklassi (vt prEN 335-1:2004).

Vastavalt koormuse kestavusklassile ja materjali kasutusklassile redigeeritakse puidu mehhaanilisi omadusi modifikatsiooniteguriga k_{mod}

Modifikatsiooniteguri väärtused saepuidule

Tabel 3.1 – k_{mod} väärtused

Materjal	Standard	Kasutus-klass	Koormuse kestusklass				
			Alaline koor-mus	Pika-ajaline koor-mus	Kesk-mise kestus-sega koor-mus	Lühi-aja-line koor-mus	Hetke-line koor-mus
Saepuit	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Arvutuslikud tugevused saepuidule N/mm²

		C24	1 ja 2 kasutusklass alaline	3 kasutusklass alaline	1 ja 2 kasutusklass keskkestev	3 kasutusklass keskkestev	1 ja 2 kasutusklass lühiajaline	3 kasutusklass lühiajaline
Paindetugevus	$f_{m,k}$	24,0	11,08	9,23	14,77	12,00	16,62	12,92
Tõmme pikikiudu	$f_{t,0,k}$	14,0	6,46	5,38	8,62	7,00	9,69	7,54
Tõmme ristikiudu	$f_{t,90,k}$	0,4	0,18	0,15	0,25	0,20	0,28	0,22
Surve pikikiudu	$f_{c,0,k}$	21,0	9,69	8,08	12,92	10,50	14,54	11,31
Surve ristikiudu	$f_{c,90,k}$	2,5	1,15	0,96	1,54	1,25	1,73	1,35
Nihketugevus	$f_{v,k}$	4,0	1,85	1,54	2,46	2,00	2,77	2,15

Arvutuslikud tugevused saepuidule kg/cm²

		C24	1 ja 2 kasutusklass alaline	3 kasutusklass alaline	1 ja 2 kasutusklass keskkestev	3 kasutusklass keskkestev	1 ja 2 kasutusklass lühiajaline	3 kasutusklass lühiajaline
Paindetugevus	$f_{m,k}$	245	113	94	151	122	169	132
Tõmme pikikiudu	$f_{t,0,k}$	143	66	55	88	71	99	77
Tõmme ristikiudu	$f_{t,90,k}$	4	2	2	3	2	3	2
Surve pikikiudu	$f_{c,0,k}$	214	99	82	132	107	148	115
Surve ristikiudu	$f_{c,90,k}$	25	12	10	16	13	18	14
Nihketugevus	$f_{v,k}$	41	19	16	25	20	28	22

Kandekonstruktsioonid võtavad vastu koormust

järelikult kehtib ehituse põhiseadus

$$f \geq \sigma \text{ ehk teistpidi } \sigma/f \leq 1$$

tugevus peab olema suurem kui sisepinge

Kus $\sigma = F/A$ või siis painde puhul $\sigma = M/W$

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

Kus $\sigma = F/A$ või siis painde puhul $\sigma = M/W$

NB ! Mõõtühikud – alati peab kokku saama

N/mm^2 ehk kg/cm^2

F on pindalaühikule mõjuv jõud (mis tuleneb koormustest)

- **Omakaalukoormused**
- **Kasuskoormused**
- **Lumekoormused**
- **Tuulekoormused**
- **Muud koormused** (kraanakoormused, mahutite koormused, transpordikoormused jne)

NB ! Ärge unustage ajutisi koormusolukordi !

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Omakaalukoormused (alaliskoormus $\gamma_G=1,2$)**
 - **Kasuskoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**
 - **Lumekoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**
 - **Tuulekoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**
-
- **Omakaalukoormused (alaliskoormus $\gamma_G=1,2$)**
Okaspuit (C24) normatiivne koormus $4,2 \text{ kN/m}^3$
ehk 428 kg/m^3 arvutuslik vastavalt $5,04 \text{ kN/m}^3$
ehk 514 kg/m^3

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Kasuskoormused (muutuvkoormus $V_Q=1,5$)**

Tabel 6.1 - Kasutusklassid

- ✓ **A** Majapidamis- ja elamispinnad Ruumid eluhoonetes ja majades, haiglapalatiid; hotelli ja hotelli numbritoad, köögid ja tualettruumid
- ✓ **B** Ametipinnad
- ✓ **C** Pinnad, millel inimesed võivad koguneda (v.a klassidesse A, B ja D1) kuuluvad pinnad)
 - **C1:** laudadega ruumid, nt klassi- ruumid, kohvikud, restoranid, sööklad, lugemissaalid, vastuvõturuumid
 - **C2:** kinnisistmetega ruumid, nt kirikud, teatrid või kinod, konverentsi- ja loenguruumid, koosolekusaalid, ooteruumid, rongide ootesaalid (-paviljonid)
 - **C3:** ruumid, kus inimesed võivad vabalt liikuda, nt muuseumid, näituseruumid jne, ühiskondlike ja haldushoonete, hotellide ja haiglate vestibüülid, (raudtee)jaamahooned

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Kasuskoormused (muutuvkoormus $V_Q=1,5$)**

Tabel 6.1 - Kasutusklassid

- ✓ **C** Pinnad, millel inimesed võivad koguneda (v.a klassidesse A, B ja D1) kuuluvad pinnad
 - **C4:** ruumid füüsilise tegevuse jaoks, nt tantsusaalid, võimlad, näitelavad
 - **C5:** rahvakogunemiseks ette nähtud ruumid, nt kontserdisaalid, tribüünidega spordihallid, terrassid, juurdepääsud, raudteeperroonid
- ✓ **D** Äripinnad
 - **D1:** tavalised väikekauplused
 - **D2:** kaubamajad
- ✓ **E** laopinnad
- ✓ **F** liikumis- ja parkimispinnad

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- Kasuskoormused (muutuvkoormus $V_Q=1,5$)**

Tabel NA.6.2 – Hoonete vahelagede, rõdude ja treppide kasuskoormus

		q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)	q_d (kN/m ²)	Q_d (kN)
Klass A					
	Vahelaed ja trepid	2,00	2,00	3,00	3,00
	Rõdud	2,50	2,00	3,75	3,00
Klass B		3,00	2,00	4,50	3,00
Klass C					
	C1	3,00	4,00	4,50	6,00
	C2	4,00	4,00	6,00	6,00
	C3	5,00	4,00	7,50	6,00
	C4	5,00	4,00	7,50	6,00
	C5	5,00	4,00	7,50	6,00
Klass D					
	D1	5,00	4,00	7,50	6,00
	D2	5,00	7,00	7,50	10,50

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- Kasuskoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**

Tabel NA.6.2 – Hoonete vahelagede, rõdude ja treppide kasuskoormus

		q_k (kg/m ²)	Q_k (kg)	q_d (kg/m ²)	Q_d (kg)
Klass A					
	Vahelaed ja trepid	204	204	306	306
	Rõdud	255	204	382	306
Klass B		306	204	459	306
Klass C					
	C1	306	408	459	612
	C2	408	408	612	612
	C3	510	408	765	612
	C4	510	408	765	612
	C5	510	408	765	612
Klass D					
	D1	510	408	765	612
	D2	510	714	765	1070

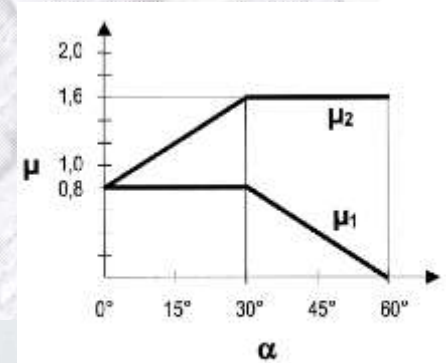
Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Lumekoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**



Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- Lumekoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**



Joonis 5.1 – Lumekoormuse kujutegurid

Tabel 5.2 – Lumekoormuse kujutegurid

Katuse kaldenurk α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	--

Näide: Tartus katusekalle 45 kraadi

lume kujutegur $0,8(60-45)/30=0,4$

lume normatiivkoormus maapinnal $1,5 \text{ kN/m}^2$

Arvutuslik lumekoormus katusel = $0,4*1,5*1,5 = 0,9 \text{ kN/m}^2$

ehk 92 kg/m^2

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Tuulekoormused (muutuvkoormus $V_Q=1,5$)**

Tuule baaskiirus Eestis võetakse 21 m/s

$$q_p(c) = C_e(z) \times q_b = C_e(z) \times \frac{1}{2} \times \rho \times (v_b)^2$$

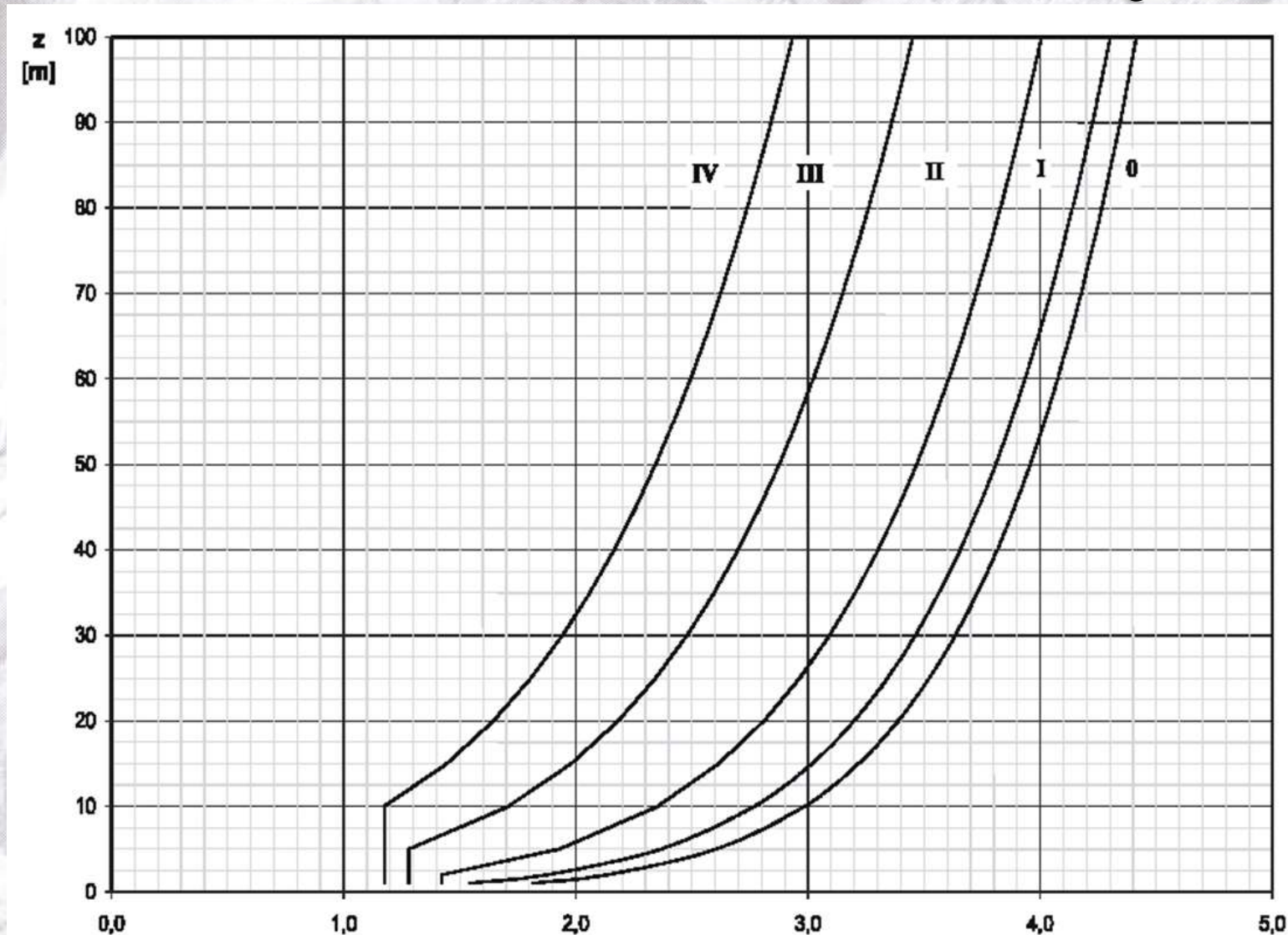
$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times (v_b)^2 = 0,5 \times 1,25 \times 21^2 = 276 \text{ N/m}^2$$

Keskmine tuule baaskiirusrõhk on 276 N/m^2

Tuulekoormuse (rõhu) saamiseks korrutatakse baaskiirusrõhk läbi ekspositsiooniteguri ja välisrõhuteguriga

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

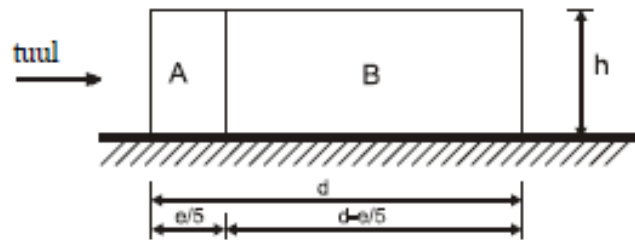
- **Tuulekoormused (muutuvkoormus $V_Q=1,5$)**



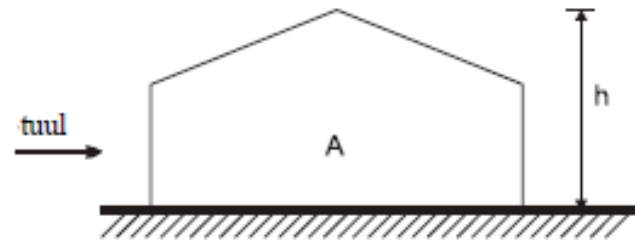
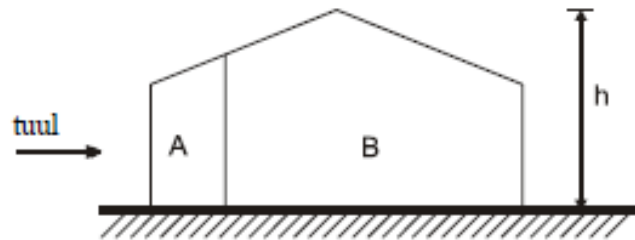
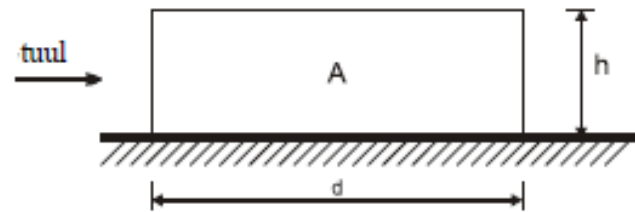
Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Tuulekoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**

Kõrgus kui $e \geq d$



Kõrgus kui $e \geq 5d$



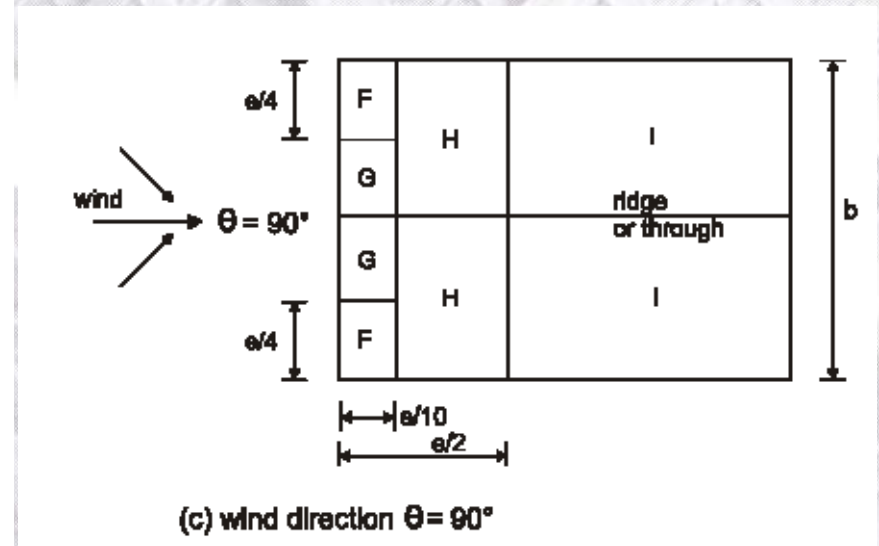
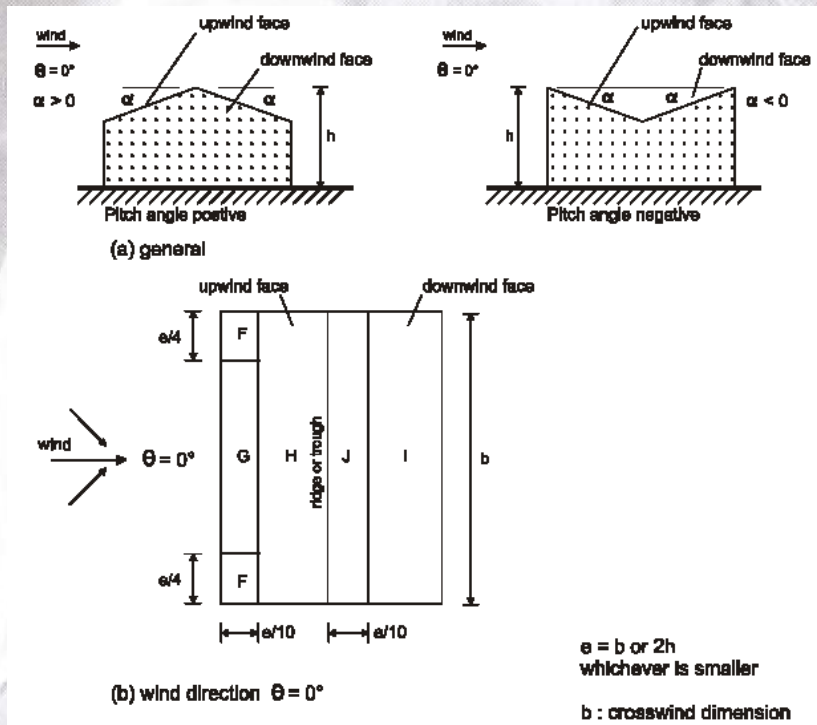
Joonis 7.5 – Inhised vertikaalsetele seintele

Tabel 7.1 – Välisrõhutegurid ristkülikulise põhiplaaniga hoonete vertikaalsetele seintele

Tsoon	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Tuulekoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**



Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Tuulekoormused (muutuvkoormus $V_Q=1,5$)**

Tabel 7.4a – Välisrõhutegurid kahekaldelistele katustele

		Tsoonid tuule suunale $\theta = 0^\circ$									
Katuse kaldenurk α	F		G		H		I		J		
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5	
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4	
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2	
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2		
							-0,6		-0,6		
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2			+0,2		
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6		
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5	
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0	
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5		
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0		
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3		
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0		
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3		
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3		

Tabel 7.4b – Välisrõhutegurid kahekaldelistele katustele

		Tuule suund $\theta = 90^\circ$							
Katuse kaldenurk α	F		G		H		I		
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2	
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2	
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2	
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2	
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6		
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5		
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5		
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	0,5		
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5		
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5		

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

- **Tuulekoormused (muutuvkoormus $\gamma_Q=1,5$)**

Näide:

Tuulekoormus järve rannas asuva maja (h=6 m) seinale:

$$q_w = 276 * 2,5 * 0,8 * 1,5 = 828 \text{ N/m}^2$$

ehk 84 kg/m^2

või tuule vastassuunas olev sein

$$q_w = 276 * 2,5 * -1,2 * 1,5 = -1242 \text{ N/m}^2$$

ehk -127 kg/m^2

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

Tõmbetugevus

$$\sigma_{t,0,d} = F_{t,0,d} / A_{\text{net}}$$

$$\sigma_{t,90,d} = F_{t,90,d} / A_{\text{net}}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad \text{ehk} \quad \sigma_{t,90,d} / f_{t,90,d} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad \text{ehk} \quad \sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} \leq 1$$

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

Survetugevus

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

$$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d} / A_{net}$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_c * f_{c,90,d} \quad \text{ehk} \quad \sigma_{c,90,d} / k_c * f_{c,90,d} \leq 1$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c * f_{c,0,d} \quad \text{ehk} \quad \sigma_{c,0,d} / k_c * f_{c,0,d} \leq 1$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}$$

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

$$k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c \left(\lambda_{rel,y} - 0,3 \right) + \lambda_{rel,y}^2 \right)$$

ja

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

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c \left(\lambda_{rel,z} - 0,3 \right) + \lambda_{rel,z}^2 \right)$$

Saledused

Maksimaalsed piirsaledused. milledest projekteerimisel on soovitatav lähtuda oleksid järgmised:

- Sõrestike toediagonaalid, surutud vööd, toepostid, postid **120**
- Teised sõrestike elemendid 150
- Surutud sidemed 200
- Tõmmatud sõrestike vööd vertikaalpinnas 150
- Muud tõmmatud elemendid 200

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

Sõrestike toediagonaalid, surutud
vööd, toepostid, postid **120**

Pikkus m	Väiksem ristlõikemõõt (mm)	
	Puit C24	Kc=0,218
1		29
1,5		43
2		58
2,5		72
3		87
3,5		101
4		115
4,5		130
5		144
5,5		159
6		173

Kui soovida, et nõtketegur oleks 1,
siis peaks saledus olema **18 !**

Pikkus m	Väiksem ristlõikemõõt (mm) Kc=1	
1		192
1,5		289
2		385
2,5		481
3		577
3,5		674
4		770
4,5		866
5		962
5,5		1058
6		1155

Puitkonstruktsioonid ehitusinseneri seisukohast

Paindetugevus

$$\sigma_{m,d} = M_d/W$$

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

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

Kokkuvõte puitkonstruktsioonide arvutamisest

Ajalooliste puitkonstruktsioonide säilitamise üle otsustamisel tuleb kasutada inseneriarvutusi.

- Leida hoone kasutusotstarve järgmisteks perioodideks
- Teha põhjalik hoone dokumenteerimine sh.
 - Visandada konstruktsiooni skeemid
 - Leida elementide jääkristlõiked
 - Leida elementide mehhaanilised omadused
 - Kontrollida sõlmede seisukorda
- Modelleerida konstruktsioonid (sh. sõlmed)
- Modelleerida koormused
- Leida tugevdamise, proteesimise, plommimise ja/või asendamise vajadus.

Ajalooline puit väärib säilitamist !!

Ajalooline puit ja konstruktsioonid

Teeme koostööd:

Arhitektuuriajaloolased

Muinsuskaitjad

Puiduteadlased

Ehitusinsenerid

Konservaatorid

Restaureerijad

Bioloogid

Ehitajad

Kalle Pilt

Ehitusinsener

kalle@woodndt.eu

kalle@majavamm.ee
29.10.2015