

7. EHITUSFÜÜSIKA

7.1. EESTI KLIIMA

Siin esitatud andmed pärinevad allikast /5/. Selle järgi jaguneb Eesti kaheks kliimaraajooksiks: läänemereleiseks ja sise-eestiliseks. Merelise kliima iseloomustamiseks on kasutatud Tallinna, sisemaa kliima iseloomustamiseks Tartu andmeid.

7.1.1. Õhutemperatuur

Tabel 7.1. Õhutemperatuurid °C

Koht	Kuu keskmine												Aasta keskmine
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Tallinn	-5,3	-5,8	-2,8	2,8	8,8	13,8	16,5	15,4	11,1	5,8	1,0	-2,8	4,9
Tartu	-6,7	-6,7	-3,2	3,8	10,5	14,8	17,1	15,4	10,7	5,2	0,1	-4,1	4,7
Pärnu	-5,4	-5,8	-3,6	2,8	10,0	11,6	17,4	15,9	11,8	6,0	1,2	-2,8	5,2
Narva	-7,2	-7,6	-4,2	3,2	9,5	14,2	17,2	15,2	10,4	4,8	-0,4	-4,5	4,2

Tabel 7.2. Õhutemperatuurid °C

Koht	Keskmine miinimum vastavalt ööpäevade arvule				Kõikumise ööpäevane amplituud veebruaris		Ööpäevi keskmiselt alla °C	
	1	3	5	10	keskmine	suurim	0	8
Tallinn	-29,5	-28,1	-26,8	-23,5	5,3	22,1	120	216
Tartu	-34,4	-33,1	-31,9	-29,5	6,3	27,3		
Pärnu	-31,3	-29,6	-28,2	-25,3	6,2	24,1		
Narva	-32,9	-31,4	-30,1	-27,8		

Tallinnas on alla 0 °C temperatuuriga perioodil keskmine õhutemperatuur -4,3 °C, alla +8 °C temperatuuriga perioodil -0,4 °C.

7.1.2. Õhuniiskus

Tabel 7.3. Suhteline õhuniiskus %

Koht	Kuu keskmine												Aasta keskmine
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Tallinn	87	86	81	77	70	72	77	80	83	84	87	88	81
Tartu	86	84	78	74	69	71	76	80	83	86	86	88	80
Pärnu	86	84	80	80	72	74	77	80	84	86	87	88	82
Narva	87	85	78	75	68	71	75	80	83	86	88	88	80

Tabel 7.4. Veeauru osarõhk välisõhus hPa

Koht	Kuu keskmine												Aasta keskmine
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Tallinn	3,9	3,6	4,2	5,9	8,2	11,7	14,0	14,0	11,2	8,1	5,9	4,7	8,0
Tartu	3,5	3,4	4,0	6,1	8,7	12,2	14,3	13,9	10,9	7,9	5,8	4,5	7,9
Pärnu	4,0	3,6	3,9	6,2	9,1	12,8	15,0	14,9	12,0	8,8	6,1	4,9	8,4
Narva	3,6	3,4	3,6	6,0	8,3	12,0	14,1	13,9	10,9	8,1	5,6	4,6	7,8

Tabel 7.5. Absoluutne õhuniiskus g/m³

Koht	Kuu keskmine												Aasta keskmine
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Tallinn	3,3	3,1	3,5	4,7	6,5	9,0	10,6	10,6	8,6	6,4	4,7	3,9	6,3
Tartu	3,0	2,9	3,4	4,9	6,8	9,4	10,8	10,6	8,3	6,2	4,7	3,7	6,2
Pärnu	3,4	3,2	3,3	5,1	7,5	9,6	11,2	11,1	9,1	6,9	5,1	3,6	6,6
Narva	3,2	2,9	3,2	4,8	6,6	9,1	10,6	10,5	8,0	6,4	4,5	3,7	6,2

Kaste esineb Tallinnas keskmiselt 890, Tartus 1100 tunni jooksul aastas. Korrosiooniohtliku perioodi kestus on Tallinnas keskmiselt 4020, Tartus 3900 tundi aastas.

7.1.3. Külumissügavus

Saviliiv- või liivsavi-pinnase suurim külumissügavus tõenäosusega 1 kord 10 aasta jooksul on Tallinnas 80 ja Tartus 110 cm, tõenäosusega 1 kord 50 aasta jooksul – vastavalt 102 ja 134 cm.

7.1.4. Päikesepaiste

Päikesepaiste kestus on Tallinnas juunis keskmiselt 287 tundi, detsembris 16 tundi, aastas 1753 tundi.

Summaarne kiirgus rõhtpinnale on Eestis 3,2...3,6 GJ/m² (900...1000 kWh/m²) aastas (sisemaal vähem, rannikul rohkem). Otsekiirgus moodustab sellest ca 50%.

Tabel 7.6. Summaarne päikesekiirgus välispiirdele Tõraveres kWh/m²

Suund	Pinna kalle kraadi	Kuu keskmine											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
N	90	10	23	45	44	60	71	66	49	30	15	7	6
E	90	12	29	68	74	98	114	105	81	52	25	8	7
S	90	28	49	106	93	101	106	101	94	76	47	21	16
W	90	13	30	70	70	93	104	99	78	51	24	9	7
N	45	13	29	68	94	134	155	145	110	67	32	12	8
E	45	14	33	84	114	161	184	171	132	83	39	14	8
S	45	25	47	120	119	163	179	169	141	99	54	22	15
W	45	15	34	86	103	157	179	167	130	81	38	14	8
-	0	13	31	79	109	154	177	165	127	78	36	13	8

7.1.5. Tuul

Tabel 7.7. Tuule keskmine kiirus m/s

Koht	Kuu keskmine												Aasta keskmine
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Tallinn	5,6	5,2	5,0	5,0	4,7	4,5	4,1	4,2	4,7	5,2	5,5	5,6	4,9
Tartu	4,4	4,2	4,1	3,9	3,6	3,6	3,3	3,2	3,7	4,2	4,5	4,6	3,9
Pakri	6,6	5,8	5,6	5,2	4,7	4,8	4,4	4,7	5,7	6,4	6,6	6,6	5,6
Tooma	3,2	3,2	3,1	3,2	3,1	3,0	2,6	2,6	2,7	3,0	3,2	3,3	3,0

Tabel 7.8. Tuule maksimaalne kiirus m/s

Koht	Tuule maksimaalne tõenäone kiirus sõltuvalt aastate arvust					Suurim mõõdetud kiirus m/s		Päevi aastas tuule kiirusega m/s enam kui			Tugeva tuule valdav suund
	1	5	10	15	20	kiirus	puhang	8	15	20	
Tallinn	20	22	23	23	23	24	35	184	34	9	SW S
Tartu						20	35	119	20	3	W
Pakri	22	25	27	28	28	34					
Tooma	14	17	17	18	19						

7.1.6. Sademed

Sademetes keskmine hulk on Tallinnas 600, Tartus 607 mm aastas, sellest lumena vastavalt 97 ja 100 mm. Kuu maksimum on augustis vastavalt 78 ja 82 mm. Ööpäevane suurim mõõdetud sademete hulk on Tallinnas 82, Tar-

tus 68 mm. Lumikatte aasta keskmine paksus on Tallinnas 28, suurim 50 cm. Toomal on need arvud vastavalt 40 ja 72 cm. Lumikatte suurim erikoormus on Tallinnas 20 aasta jooksul 116 kg/m², 50 aasta jooksul 130 kg/m²; Kuusikul vastavalt 133 ja 148 kg/m².

7.2. SISEKLIIMA

Projekteerimisnormi eelnõu /8/ põhjal jaotatakse ruumid soojusmugavuse järgi kolme klassi: A, B ja C, milles ebamugavust tajuvad vastavalt kuni 6, kuni 10 või kuni 15% ruumis viibijatest. Tabelis 7.9 on toodud C-klassi ruumide sisekliima parameetrid.

B-klassi ruumides on temperatuuri kõikumispiirid kummaltki poolt 1 kraadi võrra kitsamad (st nt elamus suvel 23...26 °C) ja õhu liikumiskiiruse piirid 0,03 m/s võrra madalamad (elamus suvel 0,22 ja talvel 0,18 m/s).

A-klassi ruumides on temperatuuri kõikumispiirid kummaltki poolt 2 kraadi võrra kitsamad ja õhu liikumiskiirus ei tohi ületada 0,13...0,18 m/s sõltuvalt ruumi otstarbest ja aastaajast.

Normitud on ka õhutemperatuuri erinevused vertikaalsuunas (0,1 ja 1,1 m kõrgusel põrandast): C-klassi puhul 4 °C, B- ja A-klassi puhul vastavalt 3 ja 2 °C ja põranda pinna lubatud temperatuurid (C-, B- ja A-klassi puhul vastavalt 17...31, 19...29 ja 19...27 °C).

Õhuniiskus peab olema talvel 25...45%, suvel 30...70%.

Normitud on ka kahjulike gaaside (formaldehüüd, ammoniaak, süsihappegaas, vingugaas, osoon) hulk õhus. Tolmu ei tohi õhus olla rohkem kui 0,06 mg/m³ (kõigi ruumiklasside puhul) ja orgaanilisi aineid sõltuvalt klassist C, B või A vastavalt 0,6, 0,3 või 0,2 mg/m³.

Kui ruumis tohib suitsetada, kehtivad õhuhahetuse kohta erinõuded.

Tabel 7.9. Sisekliima parameetrid C-klassi ruumides

Ruum	Pindala m ² /in.	Temperatuur °C		Õhu max kiirus m/s		Õhuvahetus	
		Suvel	Talvel	Suvel	Talvel	l/s/in	l/s/m ²
Eluruumid	10	22...27	19...25	0,25	0,21	5	0,5
Büroo	10	22...27	19...25	0,25	0,21	8	0,8
Konverentsiruum	2	22...27	19...25	0,25	0,21	5	2,4
Auditoorium	0,7	22...27	19...25	0,25	0,21	4	6,4
Kohvik, restoran	1,4	21...26	16,5...23,5	0,24	0,19	5	3,2
Klassiruum	2	22...27	19...25	0,25	0,21	5	2,4
Lastcaad	2	21...26	16,5...23,5	0,24	0,19	6	2,8
Kauplus	6,7	20...26	15...23	0,23	0,18	9	1,4

7.3. VEEAUR ÕHUS

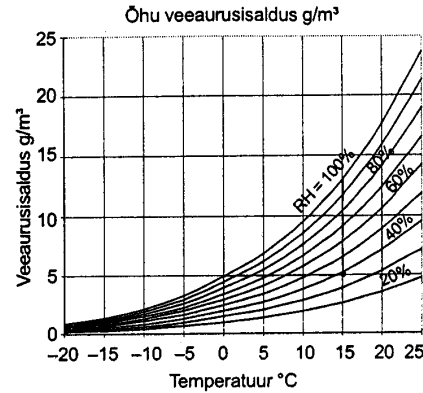
Õhu veeaurisaldust avaldatakse mitmeti:

- absoluutniiskusena (veeauuru hulgana mahuhükkus, tavaliselt g/m³);
- suhtelise niiskusena (veeauuru hulgana protsentides maksimaalsest võimalikust sel temperatuuril, tähistatakse RH = *relative humidity*; vt. joonis 7.1);
- veeauuru osarõhuna õhus (ühikuks tavaliselt Pa = N/m² või hPa = 100 Pa; varem kasutati ühikut mm Hg; 1 mm Hg = 133,3 Pa). Normaalne õhurõhk on 101 325 Pa ja veeauuru osarõhk vaid murdosa sellest.

Igale konkreetsele temperatuurile vastab maksimaalne võimalik absoluutne õhuniiskus, nn küllastusniiskus. Samuti vastab igale konkreetsele absoluutsele veeaurisaldusele teatud temperatuur, mille puhul veeaur hakkab kondenseeruma; seda nimetatakse **kastepunktiks**. Küllastusniikuse ja kastepunkti saab leida jooniselt 7.1. Kui võtta lähtekohaks näiteks temperatuur 15 °C ja õhu absoluutniiskus 5 g/m³ (suhteline õhuniiskus 40%), on küllastusniiskus ca 13 g/m³ ja kastepunkt 0 °C.

Õhu maksimaalne veeaurisaldus ja veeauuru maksimaalne osarõhk õhus, olenevalt temperatuurist, on esitatud tabelis 7.10.

Inimene tajub suhtelist, mitte absoluutset õhuniiskust. Toaõhk temperatuuriga 20 °C, niiskusega 40% ja veeaurisaldusega 6,9 g/m³ tundub kuivem kui välisõhk temperatuuriga 0 °C,



Joonis 7.1. Õhu niiskussaldus sõltuvalt temperatuurist

niiskusega 100% ja veeaurisaldusega 4,9 g/m³.

Keskondade absoluutse niiskussalduse erinevusega kaasneb veeauuru rõhk suuremalt niiskussalduselt väiksema poole.

Ülaltoodud näites on veeauuru osarõhk toaõhus 0,4·2337 = 935 Pa, välisõhus 611 Pa, veeauuru rõhk seestpoolt väljapoole 935 – 611 = 324 Pa. 324 Pa = 32 400 g/m² = 32,4 kg/m², mis vastab 3,2 cm paksuse veekihi rõhule.

Veeauuru rõhku piirdetarindile saab arvutada sise- ja väliskeskonna temperatuuri ja õhuniikuse järgi, lähtudes tabeli 7.10 andmetest või graafikust jooniselt 7.1.

Tabel 7.10. Õhu maksimaalne veeaurisaldus v_k g/m³ ja veeauuru osarõhk p_k Pa normaalõhurõhu

Temperatuur °C	v_k g/m ³	p_k Pa	Temperatuur °C	v_k g/m ³	p_k Pa
-20	0,87	102	6	7,31	941
-19	0,95	111	7	7,80	1008
-18	1,04	122	8	8,32	1079
-17	1,14	135	9	8,87	1154
-16	1,25	149	10	9,45	1234
-15	1,38	164	11	10,06	1318
-14	1,52	181	12	10,71	1408
-13	1,67	200	13	11,38	1502
-12	1,83	221	14	12,10	1602
-11	2,01	242	15	12,86	1708
-10	2,20	266	16	13,65	1820
-9	2,40	292	17	14,49	1939
-8	2,61	319	18	15,37	2064
-7	2,84	348	19	16,30	2179
-6	3,08	379	20	17,28	2337
-5	3,33	412	21	18,31	2484
-4	3,60	447	22	19,40	2640
-3	3,89	485	23	20,54	2805
-2	4,19	524	24	21,74	2979
-1	4,51	566	25	23,00	3162
0	4,85	611	30	30,31	4237
1	5,21	658	40	51,16	7388
2	5,58	708	50	83,14	12390
3	5,98	762	60	130,2	20010
4	6,40	818	70	197,1	31194
5	6,84	878	80	289,1	47084

7.4. EHTUSMATERJALIDE OMADUSED

Piirdetarindite ehitusfüüsikaliste karakteristike – sooja- ja tuulepidavuse, mürapidavuse, veeauruläbilaskvuse – seisukohalt on olulised ehitusmaterjalide järgmised omadused:

- mahukaal,
- sooja-erijuhtivus,
- veeaurutihedus,
- õhutihedus,
- niiskuseimavus,

- mahu muutlikkus (soojuse ja niiskuse muutuste mõjul).

omaduste arvvaartused sõltuvad konkreetsest materjalist, keskkonnatingimustest (eeskätt niiskusest) ning ka ehituskvaliteedist. Iga konkreetse materjali puhul tuleks kasutada tootja sellekohast infot ja ühtlasi tähele panna, kas andmed kehtivad labori või ehitise tingimustes. Meie suhteliselt jahe, niiske ja tuuline kliima võib materjalide tehnilisi omadusi ebasoodsalt mõjutada.

Tabel 7.11. Ehitusmaterjalide omadusi /3/

Nr.	Materjal	Kuiv-mahukaal kg/m ³	Veesisaldus % mahust	Sooja-erijuhtivus chitises λ _n W/(mK)	Veeauru difusioonitakistus μ
1	Raskbetoon	2400	5	2,1	70...150
	Kergbetoon	1500	5...15	0,89	70...150
		1000	5...15	0,49	70...150
	Gaasbetoon	800	3,5	0,23	5...10
		500	3,5	0,16	5...10
2	Graniit	2800		3,5	
3	Tellismüüritis:				
	Klinkertellistest	1800	0	0,81	50...100
		2000	0	0,96	50...100
	Savitellistest	1800	1,5	0,81	5...10
		2000	1,5	0,96	5...10
	Silikaattellistest	1800	5	0,99	5...10
		2000	5	1,10	5...10
	Lubikrohv	1800		0,87	15...35
	Tsementkrohv	2000		1,40	15...35
5	Kipskrohv	1200	15*	0,35	10
	Okaspuit	600	15*	0,13	40
6	Puitlaastplaadid	800	2	0,15	50...400
	Kõvad puitkiudplaadid	1000	15*	0,17	70
	Kipsplaadid	900	–	0,21	8
7	Tsementkiudplaadid	2000	–	0,58	20...50
	Teras	7850	–	60	
	Alumiinium	2700	–	200	
8	Vask	8900	–	380	
	Klaas	2500	–	0,80	
	Bituumen	1100	–	0,17	
	Asfalt	2000	–	0,70	
	Kummi	1000	–	0,20	

Märkused: 1. Tärniga (*) veesisaldused on kaaluprotsentides.

2. Sooja-erijuhtivus λ_n vastab materjali seisundile ehitises.

3. Veeauru difusioonitakistus μ on ühikuta suhtarv: vaadeldava materjali ja õhu difusioonitakistuste suhe. Mida suurem on μ, seda vähem laseb materjal veeauru läbi. 0,1 mm paksuse PVC-kile difusioonitakistus μ on 20000...50000, polüetüleenkile difusioonitakistus 100 000, fooliumil (metallkilel) lõpmata suur.

Tabelis 7.12 on esitatud andmeid soojustusmaterjalide kohta Soome juhendi /14/ järgi. Siin on sooja-erijuhtivuse kohta nii laboriandmed (λ) kui ka tegelikes ehitustingimustes tõenäolised väärtused (λ_n). Difusioonitakistused on antud allikast /3/.

Tabel 7.12. Soojustusmaterjalide omadusi /14/

Nr.	Materjal	Kuiv-mahukaal kg/m ³	Sooja-erijuhtivus λ W/(mK)	Veesisaldus % kuivkaalust	Sooja-erijuhtivus chitises λ _n W/(mK)	Veeauru difusioonitakistus μ
1	Vahtpolüstüreen	30...60	0,033	2	0,041	20...100
		17...30	0,037		0,045	
2	Ekstrusioon-vahtpolüstüreen	35...40	0,030	2	0,037	80...250
3	Mineraalvill	15...300	0,040	0,5	0,050	1
					0,055	
					0,060	
4	Puiste-mineraalvill	50...90	0,040	0,5	0,055	1
5	Polüstüreenipuru	10...20		2	0,06	1
6	Säcpuru, kohcv	120		12	0,12	
		200		12	0,08	
7	Kergkruus	320	0,09	0,5	0,10	
		320	0,09	0,5	0,09	
8	Kergbetoon seinas	400	0,08	6	0,11	5...10
		450	0,11	6	0,13	
		500	0,12	6	0,15	
9	Kergbetoonmüüritis mõrdil	400	0,09	6	0,18	5...10
		450	0,11	6	0,19	
		500	0,12	6	0,21	
10	Kergbetoonplokkidest müüritis liimil	400	0,09	6	0,14	
		450	0,11	6	0,16	
		500	0,12	6	0,17	
11	Kergkruusplokkidest müüritis	800	0,21	4	0,23	
		650	0,16	4	0,20	
12	Kergkruus-kohtbetoon	1000	0,35	1	0,45	
		1300	0,35	1	0,45	

Märkused.

1. Tabel näitab soojustusmaterjalide sooja-erijuhtivust eksploatatsiooniingimustes mõnevõrra suuremana kui laboris.

2. Seinamaterjalide sooja-erijuhtivused on toodud maapealse müüritise kohta. Pinnases on müüritis niiskem ja seega mõnevõrra soojajuhtivam.

3. Mineraalvilla sooja-erijuhtivuse kohta on esitatud kolm arvu. Väikseim kehtib, kui soojustus paikneb kahe tiheda materjalikihi (betoon, müüritis, tihendatud vuukidega ehitusplaat või -kile) vahel. Keskmise kehtib, kui soojustusest ühel pool on tihe materjalikiht, teisel pool – tihendamata vuukidega tuuletõke (plaat või paber). Kolmas, suurim arv kehtib rõhttarindi puhul, kui soojustusest ühel pool on tihe materjalikiht, teisel pool – tihendamata vuukidega tuuletõke või õhuruum, kus õhu liikumiskiirus ei ületa 1 m/s.

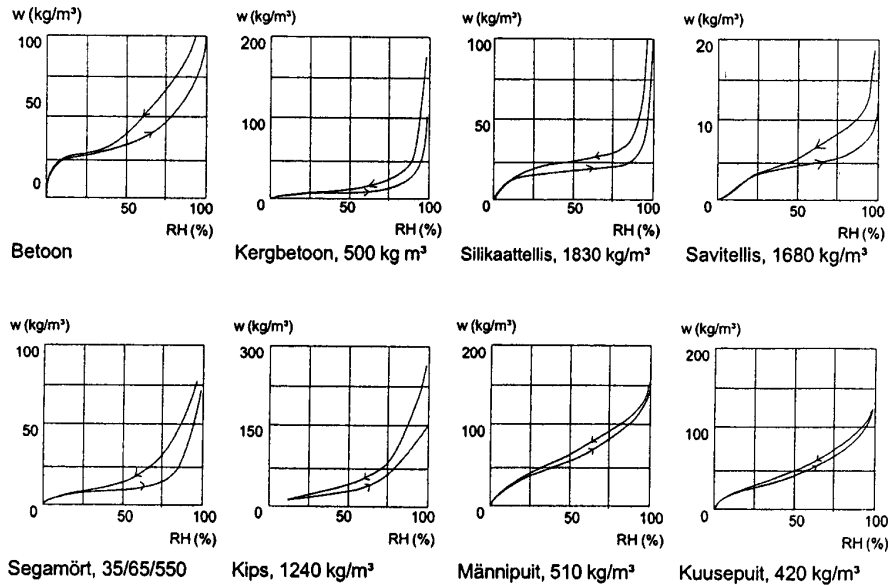
7.4.1. Sorptsioonniiskus

Kõigi poorsete ehitusmaterjalide niiskussisaldus sõltub ümbritsevast keskkonnast, sealhulgas õhuniiskusest. Õhu niiskussisalduse suurenedes niiskub ka materjal ja vastupidi – õhu niiskussisalduse vähenedes materjal kuivab. Seejuures sõltub materjali niiskus mitte õhu absoluutsest, vaid suhtelisest niiskusest. Seda nähtust nimetatakse sorptsiooniks ja sellekohast niiskust materjalis sorptsioonniiskuseks.

Niiskumise ja kuivamise graafikud ei kattu. Niiskumisel on materjal sama õhuniiskuse korral veidi kuivem kui kuivamisel.

Materjalide niiskusemahutavus on väga erinev. Puit ja kipsplaadid võivad sisaldada sorptsioonniiskust enam kui 150 kg/m^3 , betoon ja silikaattellised 100 kg/m^3 , punased tellised 20 kg/m^3 , kergkruus ja vahtplastid *ca* 2 kg/m^3 ja mineraalvill vähem kui $0,5 \text{ kg/m}^3$. Mõnede materjalide sorptsioonikõverad /1/ on esitatud joonisel 7.2.

Niiskumise ja kuivamisega kaasnevad paljude materjalide mahumuutused, mille tagajärjeks võib olla ehitise pragunemine.



Joonis 7.2. Mõnede materjalide adsorptsioonikõverad

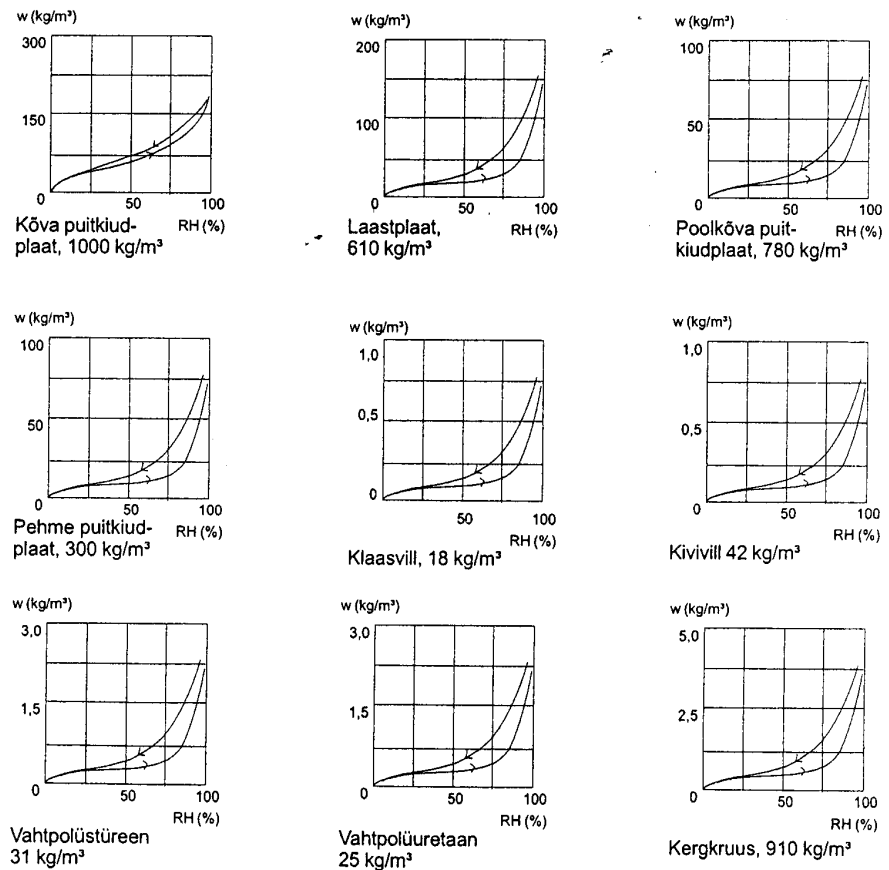
7.4.2. Ehitusniiskus

Ehitusmaterjalid sisaldavad vett. Sellest osa on vaja mõrdi või betooni kivistumiseks, osa ehitusseguga (mõrdi, betooni, pahtli, värvi) töödeldavuse jaoks, osa satub materjalisse soovimatult (sademevesi ja sorptsioonniiskus).

Liigne vesi aurab tarinditest välja. See nõuab aega. Kuivamisega võib kaasneda materjalide mahumuutus, sellega – tarindi soovimatu pragunemine.

Tabel 7.13. Ehitusniiskus /1/

Materjal	Ehitusniiskus kg/m^3	Keemiliselt seonduv niiskus kg/m^3	Hügrokoopne niiskus $\text{RH} = 50\%$ puhul kg/m^3	Väljaaurav chitusniiskus kg/m^3
Betoon				
K15	180	40	25	115
K25	180	60	30	90
K40	180	70	40	70
Kergbetoon	100...200	–	20	80...180
Segamört	300	20	30	250
Kraamiline tellis	10	–	10	0
Tellismüüritis	80	–	10	70
Puit	60...80	–	40	20...40



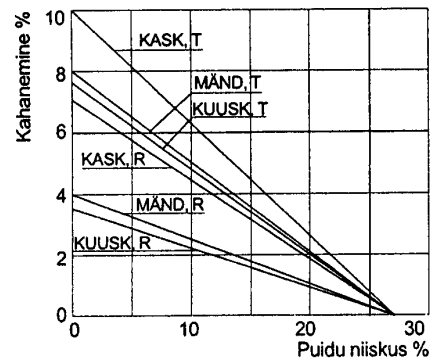
7.4.3. Niiskusdeformatsioonid

Niiskussisaldus mõjutab materjalide mahumuutusi.

Betooni ja müüritise niiskusdeformatsioonid on enam-vähem ühesuunalised – niiskuse hulk mõjutab betooni ja mõrdi kahanemist kivistumisel; kivistunud tarindi mõõdetud niiskusest ei sõltu. Paljude materjalide niiskusdeformatsioonid on kahe-suunalised: materjal "mängib" – paisub ja kahaneb niiskuse lisandumisel või eemaldumisel. Eriti suured on puidu niiskusdeformatsioonid (joonis 7.3).

Tabel 7.14. Materjalide niiskusdeformatsioonid õhuniiskuse muutumisel 40...80%

Materjal	Mahumuutus mm/m
Puit pikikiudu	1
Okaspuit radiaalsuunas	10
Okaspuit tangentsiaalsuunas	20
Puitlaastplaadid oma tasandis	< 5
Puitlaastplaadid paksuse suunas	100
Kipsplaadid	0,4



Joonis 7.3. Puidu niiskusdeformatsioonid 1/2: T – tangentsiaalsuunas, R – radiaalsuunas.

7.4.4. Temperatuurideformatsioonid

Temperatuurideformatsioonid – paisumine soojenemisel ja kahanemine jahtumisel – on kõigil jäikadel anorgaanilistel ehitismaterjalidel vältimatud.

Orgaanilistel materjalidel (puidul) on temperatuurideformatsioonid võrreldes niiskusdeformatsioonidega tühised.

Tabel 7.15. Materjalide soojuspaisumine

Materjal	Soojuspaisumistegur 1/deg
Betoon, betoonkivid	10 ⁻⁵
Teras	10 ⁻⁵
Savitellis	0,6·10 ⁻⁵
Silikaattellis	0,9·10 ⁻⁵
Looduskivi	0,7·10 ⁻⁵
Puit	vähene
Kipsplaat	2,5·10 ⁻⁵
Bituumen-katusekatted	(2...6)·10 ⁻⁵

7.5. PIIRDE SOOJAPIDAVUS

7.5.1. Hoone soojakaad

Meie kliimas on hoone suurema osa aastast soojem kui väliskeskond ja piirdetarinditega püütakse tõkestada soojuse hoonest väljakandumist.

Hoone kaotab soojust kolmel viisil:

- juhtivuse teel läbi piirdetarindite,
- konvektsiooni teel koos hoonet läbiva õhuga,
- kiirguse teel.

Juhtivuse arvelt toimub tavaliselt suurem osa soojakadudest, konvektsiooni osa on väiksem ja kiirguse oma tühine. Siiski, tänapäeval võib väga hästi soojustatud majades olla konvektsiooni (sh ventilatsiooni) osatähtsus soojakadudes enam kui 50%.

Kiirguse mõju peab silmas pidama siis, kui käsitletakse hoone sisekliimat – kütet, ventilatsiooni ja jahutust.

7.5.2. Piirdetarindi soojapidavus ja soojajuhtivus

Piirde soojapidavus koosneb materjali- ja pinnakihtide ning õhkvahede soojatakistuste summast:

$$R = R_s + \sum(\delta/\lambda_v) + \sum R_{\delta} + R_v$$

kus indeks s tähistab sisekihti, v väliskihti ja õ õhkvahesid. Tähistused:

R – soojapidavus (soojatakistus) m²K/W,

δ – kihi paksus m,

λ – materjali sooja-erijuhtivus W/(mK).

Soojapidavuse pöördväärtust nimetatakse soojajuhtivuseks: U = 1/R ühikuga W/(m²K).

Siseseina sise- ja välispinna soojatakistuste summaks võetakse 0,25 m²K/W.

Välispinna soojatakistust võib korrigeerida tuule mõju arvel: tuulises kohas (tuule kiirus 10 m/s) 0,02 m²K/W, tuule eest varjatud kohas 0,08 m²K/W.

Õhukese materjalikihi (kile, papp) soojatakistuseks võetakse 0,02 m²K/W. Kui õhuke kiht paikneb teiste materjalikihtide vahel, võetakse selle soojatakistuseks 0,04 m²K/W.

Tuulutusetu õhkvahede soojatakistus sõltub selle laiusel ja soojavoolu suunast (tabel 7.17).

Tabel 7.16. Pinnakihtide soojatakistus m²K/W

Sisepind (R _s)			Välispind (R _v)		
Soojavoolu suund					
Rõhtne	Üles	Alla	Rõhtne	Üles	Alla
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Tabel 7.18. Materjalikihtide soojatakistus

Materjal	Mahukaal kg/m ³	Sooja-erijuhtivus λ _n W/(mK)	Materjalikihi soojatakistus	Kihi paksus cm	Soojatakistus R m ² K/W
Betoonid:					
Raskbetoon	2400	2,1	15		0,07
Kergbetoon	1000	0,49	30		0,6
	500	0,16	30		1,9
Müüritised:					
Pakkivist	2600	2,0	70		0,35
Silikaattellistest	2000	1,10	38		0,35
			25		0,23
Punastest tellistest	1800	0,81	38		0,47
			25		0,31
Kergkruusplokkidest	1000	0,20	30		1,5
Gaasbetoonist	500	0,16	30		1,9
Kipsplaadid	900	0,21	1,3		0,06
Puitmaterjalid:					
Massiivpuu 15 cm	600	0,13	15		1,15
Puitlaastplaat	800	0,15	2,5		0,17
Puitkiudplaat	1000	0,17	0,5		0,03
Soojustusmaterjalid:					
Mincraalvill	50	0,05	10		2,0
			15		3,0
			20		4,0
			30		6,0
Sama	100	0,06	10		1,67
Vahiplast	50	0,04	5		1,25
			10		2,5
			15		3,75

Pinnakihtide ja õhkvahede soojatakistus ei ole tabelis arvestatud.

Kui õhkvahede üks pind on kaetud peegeldava kihiga, on 5 mm paksuse õhkvahede soojatakistus ca 1,5 korda suurem, vähemalt 10 mm paksuse õhkvahede soojatakistus ca 2 korda suurem.

Tabel 7.17. Õhkvahede soojatakistus R_δ m²K/W

Õhkvahede paksus mm	Soojavoolu suund		
	Rõhtne	Üles	Alla
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,17	0,16	0,17
25	0,18	0,16	0,19
50	0,18	0,16	0,21
100	0,18	0,16	0,22
300	0,18	0,16	0,23

109560



Materjalikihi soojatakistus sõltub tema paksusest ja sooja-erijuhtivusest.

Kõik kandetarindite materjalid (sh puit, tellismüür, kergbetoonmüür) on köetava hoone piirdetarindiks liiga vähe soojapidavad ja vajavad lisasoojustust.

7.5.3. Mittehomogeenne piirdetarind

Kui mõned materjalikihid ei ole homogeenid (näiteks soojustus sõrestikupostide vahel), siis arvutatakse mittehomogeense kihi jaoks ekvivalent-soojatakistuse valemiga

$$R_x = \sum A_i / \sum (A_i / R_i)$$

kus A_i – kihi üksiku homogeenne osa pindala,

R_i – selle kihiosa soojatakistus ($R_i = \delta_i / \lambda_i$).

Seejärel arvutatakse piirde soojatakistuse ülemine ja alumine piirväärtus.

Ülemine piirväärtus:

$$R_t' = \sum A_i / \sum (A_i / R_i)$$

kus A_i – piirde erineva ristlõikega osa pindala,

R_{ti} – kogu piirde soojatakistus selle ristlõike kohal.

Alumine piirväärtus:

$$R_t'' = R_s + \sum R_i + \sum R_{xi} + \sum R_\delta + R_v$$

Piirdetarindi soojapidavus arvutatakse valemiga

$$R_t = (R_t' + R_t'') / 2$$

Valemi kasutamise suhteline viga

$$e = (R_t' - R_t'') / (2 R_t) \cdot 100\%$$

Kui viga ületab 20%, siis ei ole tulemus usaldusväärne ja tuleb teha temperatuurivälja arvutus.

Tabel 7.19. Mittehomogeensete materjalikihtide soojatakistusi

Kihi koosseis	Paksus cm	Kihi soojatakistus m ² K/W
Puitkarkass 5 cm laiustest prussidest sammuga 600 mm, vahel mineraalvill	5	0,88
	10	1,77
	15	2,65
	20	3,53
1 mm paksustest Z-plekkprofiilidest karkass sammuga 600 mm, vahel mineraalvill	10	2,00
	15	3,00

Puidu sooja-erijuhtivuseks on arvestatud 0,13 W/(mK), mineraalvillal 0,05 W/(mK).

7.5.4. Temperatuur ja niiskus piirde sisemuses

Temperatuur kihilise piirde iga kihi pinnal

$$t_i = t_s - (t_s - t_v) \sum R_s / R$$

kus t_i – temperatuur vaadeldaval pinnal,

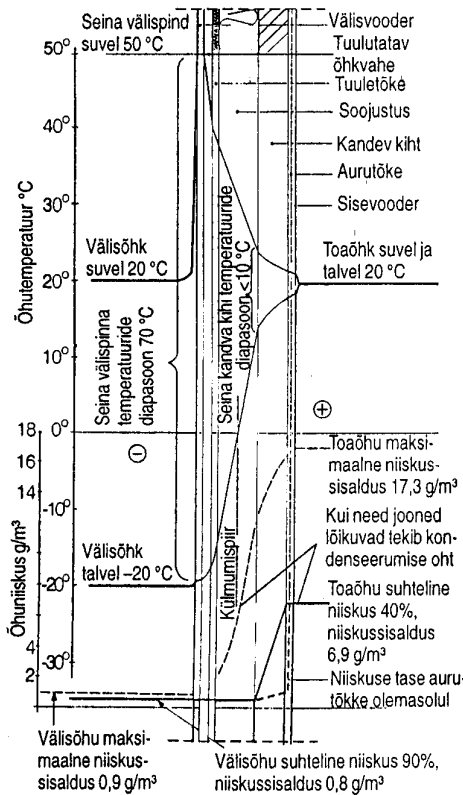
t_s – ruumi sisetemperatuur,

t_v – arvutuslik välistemperatuur,

$\sum R_s$ – vaadeldavast pinnast sissepoole jäävate kihtide soojatakistuste summa,

R – piirde soojatakistus.

Kihtide temperatuuri järgi kontrollitakse veeauru kondenseerumist piirde jahedas tsoonis paikneva aurutiheda materjalikihi pinnale.



Joonis 7.4. Temperatuur köetava ruumi välisseina ristlõikes talvel (-20 °C puhul) ja suvel (+50 °C). Lisatud on õhu veeaurusisalduse graafikud

7.5.5. Akna soojapidavus

Akna soojajuhtivus sõltub raami ja piida materjalist ja tarindusest, klaasikihtide hulgast ja nende vahekaugusest, samuti klaasi liigist.

Puitraam suurendab akna soojajuhtivust (0,1...0,4 W/(m²K) võrra) vaid siis, kui klaaspaketi soojajuhtivus on kuni 1,5 W/(m²K). Plastraad suurendab akna soojajuhtivust, kui paketi soojajuhtivus on väiksem kui 2,3 W/(m²K). Metallraam suurendab akna soojajuhtivust alati, soojapidava klaaspaketi puhul väga tunduvalt (kuni 2...3-kordseks).

Soojakulu akende kaudu on tänapäeva hoonete tavaliselt ca 20...30% hoonete kogu soojakadudest. Akna valik mõjutab hoonete soojakulu oluliselt.

7.5.6. Külmasillad

Külmasillaks nimetatakse piirde osa, mille soojajuhtivus on muust tarindist märgatavalt suurem. Külmasillaks on sõrestikupostid soojustuse vahel, raudbetoonisillused kergplokkidest seinas, soojustust läbivad terasankrud jms. Eristatakse punkt- ja joonkülmasillu.

Punktkülmasilla põhjustatud lisa-soojakadu väljendatakse ühikutes W/K (vatti kraadi kohta), joonkülmasilla soojakadu – W/K/m.

Soojustust läbiva metallankru soojajuhtivus avaldub:

$$U_a = \alpha \lambda A / d$$

kus α – tegur tabelist 7.21,

λ – ankrusooja-erijuhtivus,

A – ankrus pindala,

d – soojustuskihhi paksus.

Köetavates ruumides on välisõhust läbi soojustuse siseruumi ulatuvad betoonist ja metallist külmasillad lubamatud, sest nendele tekib ruumis kondensniiskus.

Tabel 7.21. Tegur α

Ankrus paiknemine	Tegur α
Müüritise ja puidu vahel	0
Müüritise ja betooni vahel	0,5
Kahe betoonitarindi vahel	0,6
Rullkatte ja metalltarindi vahel	0,6
Sama, plastankru puhul	0,4
Kahe metallplaadi vahel	0,8

Tabel 7.20. Akende soojajuhtivus W/(m²K)

Akna tarindus	U W/(m ² K)
Ühekordne klaas	5,7
Ühekordne klaasiga puitraamidega aknen	4,5
Kahkekordne klaasiga ja puidust paarisraamidega aknen	3,0
Kahkekordne klaasiga ja puidust lahusraamidega aknen	2,7
Kolmekordne klaasiga ja kahkekordsete puidust lahusraamidega aknen	1,9
Klaaspaketid:	
kahkekordne, lihtklaasiga 4 + 6 + 4 mm (klaas + õhkvahe + klaas)	3,3
kahkekordne, lihtklaasiga 4 + 12 + 4 või 4 + 20 + 4	2,7
kolmekordne, lihtklaasiga 4 + 6 + 4 + 6 + 4	2,3
kolmekordne, lihtklaasiga 4 + 12 + 4 + 12 + 4	1,9
kahkekordne, selektiivklaasiga $e_n = 0,2$, paksused 4 + 6 + 4 mm	2,7
sama, 4 + 12 + 4 mm	1,9
sama, argoontäitcga	1,7
kolmekordne, lihtklaasiga 4 + 12 + 4 + 12 + 4 mm	1,9
kolmekordne, selektiivklaasiga $e_n = 0,2$, 4 + 12 + 4 + 12 + 4 mm	1,2
kolmekordne, selektiivklaasiga, argoontäitcga, 4 + 12 + 4 + 12 + 4 mm	1,0

7.5.7. Nõuded soojapidavusele

Tabel 7.22. Piirdetarindite soovitatav soojajuhtivus EPN 11.1 järgi

Piirdetarind	Max U W/(m ² K)
Välisssein	0,28
Aken, välisukse klaas	2,10
Välisukse klaasita osad	0,70
Põrand pinnasel (kuni 6 m välisseinast)	0,36
Põrand pinnase kohal	0,22
Katuslagi	0,22
Mittkõõrtava pööningu põrand	0,22
Mittkõõrtava ruumiga külgnv sein	0,45
Külmasild	0,60

Tabel kehtib sisetemperatuuri 18 °C puhul. Soojema sisekeskkonna (nt 20 või 22 °C) korral tuleks valida vastavalt (10 või 20% võrra) väiksem soojajuhtivus.

Hoone soojakulu vähendamiseks on soovitatav ehitada piirdetarindid tabelis näidatud väiksema soojajuhtivusega. Väikemaja (ühepereelamu) piirete soojajuhtivus võiks olla 60...70% tabelis näidatust

7.5.8. Soojakulu

Hoone soojakadusid mõjutavad väga paljud asjaolud: ilmastik, materjalide kvaliteet (eeskätt niiskussisaldus), ehitustööde kvaliteet

Tarind	Pindala A m ²	Soojajuhtivus U W/(m ² K)	Soojakulu kraad- tunni kohta A·U kW	Soojakulu aastas MWh
Välisseinad				
Aknad				
Katus või pööningu- vahelagi				
Sokliseinad				
Välisüksed				
Põrand pinnasel				
Kokku				

Joonis 7.5 Hoone soojakaod piirdetarindite kaudu (tabeli näidis)

(eeskätt soojustuse ja tuuletõkete paigaldamise korrektsus ning tarindite läbipuhutus), hoone ventilatsiooniga (reguleeritav või mitte, ventilatsiooni intensiivsus), hoone paiknemine (lagedal tuulisel või varjulisel kohal), ilmastik (talv võib olla kas suhteliselt külm või soe). Sellest hoolimata on arvatud soojakulu üsna tõepärane; arvatud ja tegeliku soojakulu erinevused jäävad tavaliselt 10% piiridesse.

Soojakulu läbi piirdetarindi sõltub piirde pindalast, tarindi soojapidavusest, eraldatavate keskkondade temperatuurivahest ja ajast. Kahete viimast iseloomustatakse nn kraadpäevade ja kraadtundide arvuga kütteperioodil. Tallinnas kestab kütteperiood (ajavahemik ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuriga alla 8 °C) keskmiselt 216 päeva aastas, perioodi vältel on keskmine temperatuur -0,4 °C ja sisetemperatuur 20 °C puhul keskmine temperatuurivahe 20,4 °C. Kraadpäevi on sel juhul aastas $216 \times 20,4 = 4406$ ja kraadtunde $4406 \times 24 = 105\,754$

Keskmine kraadpäevade hulk on toodud tabelis 7.23.

Tabel 7.23. Kraadpäevade hulk aastas /5/

Koht	Sisetemperatuur °C			
	16	18	20	22
Tallinn	3716	4166	4614	5062
Tartu	3780	4212	4644	5076
Pärnu	3549	3969	4389	4809
Narva	3880	4316	4752	5188
Saaremaa	3397	3841	4300	4729
Keskmine	3732	4166	4600	5034

Hoone keskmine soojakulu piirdetarindite kaudu arvatatakse tavaliselt tabelina (joonis 7.5).

Täpsema tulemuse saamiseks tuleks lisada soojakulu külmasildade kaudu.

Pinnasele toetuva põranda soojajuhtivus sõltub ka põranda perimeetrist, sokli soojustusest ja pinnase omadustest; see arvatatakse EPN 12.1 (eelno) järgi.

Tabelis ei kajastu soojakulu ventilatsiooniõhu soojendamiseks. See võib olla küllalt suur, 15...30 kWh kütava ja tuulutava hoone kuupmeetri kohta aastas.

Tavaliselt kontrollitakse piirde soojapidavust talvist olukorda silmas pidades. Kuid suvel võib tekkida olukord, kus ruumid läbi piirdetarindite kanduva soojuse mõjul üle kuumenevad. Seda välditakse otsese päikesekiirguse tõkestamise ning piirdetarindite ja ruumide tuulutamise.

7.6. PIIRDE TIHDUS

Eristatakse järgmisi isolatsioone:

- Veetõke (hüdroisolatsioon) on määratud tõkestama vee tungimist tarindisse raskus- või kapillaarjõudude toimel.
- Rõhuveetõket on vaja juhul, kui vee rõhk on suurem kui õhurõhk.
- Niiskustõket on vaja tõkestamaks veeauru difusiooni ja kapillaarvee pääsu tarindisse ning sellest läbi.
- Aurutõke on niiskustõke, määratud tõkestama ainult veeauru.
- Õhutõkkega (tuuletõkkega) tõkestatakse soovimatut õhuvoolu läbi tarindi.

7.6.1. Aurutõke

Käsiraamatu /3/ järgi rakendatakse veeauru läbikandumise kohta järgmisi suurusi ja tähiseid:

I — läbi piirde kanduv veeauru hulk kg/h või kg/s;

i — läbi piirde kanduv veeauru hulk kg/(m²h) või kg/(m²s);

Δ — materjalikihi või piirde auruläbilaskvus kg/(m²hPa) või kg/(m²sPa) = kg/(Ns);

1/Δ — materjalikihi või piirde aurutakistus (difusioonitakistus) m²hPa/kg või m²sPa/kg = Ns/kg;

δ — materjali auru-erijuhtivus kg/(mhPa) või kg/(msPa) = kgm/(Ns);

μ — materjali aurutakistus (difusioonitakistus) — ühikuta suhtarv, mis näitab antud materjali-

Tabel 7.24. Ehitusmaterjalide auruläbilaskvus /1/

Materjal	Mahukaal kg/m ³	Auru erijuhtivus δ 10 ⁻¹² kg/(m s Pa)
Õhk	1,2	185
Betoon	2300	2...10
Tsementmört	2000	2...10
Segamört	1800	6,5...17
Lubimört	1700	15...20
Gaasbetoon	650...400	15...42
Kergkruusbetoon	700...500	20...42
Silikaattellis	1800	10...20
Punane tellis	1800...1200	10...42
Kuuse- ja männipuit	500	1...3
Pehme puitkiudplaat	500...250	35...100
Mineraalvill	200...17	85...125
Vahtpolüstüreen	60...15	1,2...7
Vahtpolüuretaan	60...37	0,1...1,2
Tsementkiudplaat	1600...1300	2...5
Puitlaastplaat	350...270	3...7
Poorne puitkiudplaat	750...600	20...40
Poolkõva puitkiudplaat	800...600	4,4...7,1
Kõva puitkiudplaat	1050...800	4,2...6,1
Kipsplaat	770	10...20

Tabel 7.25. Materjalikihtide auruläbilaskvus /4/

Materjal	Paksus mm	Kaal g/m ²	Auruläbilaskvus 10 ⁻¹² kg/(Ns)
Polüetüleenkiil	0,03	28	14,3
	0,05	46	8,6
	0,10	92	4,3
	0,20	184	2,2
	0,30	280	1,4
	0,50	460	0,9
Katuskatte bituumenmaterjalid			1...2
Hüdroisolatsioonimaterjalid:			
Polüisobutüleen	1,5...2		0,5
Polüvinüülkloriid	1,5		10
Polüetüleen	0,5		4
Polüetüleenbituumen	1,5...2		1,5
Butüülkummi	1...2		0,2
Kloropreenkummi	1		5
Etüleen-propüleenkummi	1...1,5		1,5

kihi ja sellega võrdpaksu õhukihi aurutakistuste suhet.

Kui materjalikihi paksus on s , siis kihi aurutakistus $1/\Delta = 1,5 \cdot 10^6 \mu s \text{ m}^2\text{hPa/kg}$, kus s ühikuks on m.

Mitmehilise piirde aurutakistus $1/\Delta = 1,5 \cdot 10^6 \cdot \Sigma(\mu_i s_i)$, kus viimane liige on piirde kihtide aurutakistuste summa.

Ühikuid esitatakse mitmeti. Tuleb silmas pida, et $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.

Käsiraamatu /1/ järgi avaldub läbi piirde kanduv veeauru hulk:

$$i = (p_s - p_v) / \Sigma (d_i / \delta_i) = (p_s - p_v) / r$$

kus i – läbi piirde pinnahüki kanduv veeauru hulk ajaühikus (nt $\text{kg/m}^2\text{s}$),

p_s – veeauru osarõhk siseõhus (Pa),

p_v – veeauru osarõhk välisõhus (Pa),

d_i – materjalikihi paksus (m),

δ_i – materjali auruläbilaskvus (kgm / Ns);

Tabel 7.26. Materjalikihtide difusioonitakistus /1/ ; /4/

Materjalikiht	Paksus mm	Difusioonitakistus 10^9 Ns/kg
Ehituspaberid:		
criti tihe		>1000
tihe		> 250
aurupidav		> 50
vähe läbilaskev		<1,5
läbilaskev		-
Kipsplaat	13	ca 0,75
Laastplaat	13	1,8...4,3
Poome puitkiudplaat	13	ca 0,5
Poolkõva ja kõva puitkiudplaat	3,2	0,5...0,8
Polüetüleenkile	0,09	ca 200
	0,15	ca 345
	0,2	ca 450
	0,3	ca 700
Katuspapp	-	500...1000
Bituumenikiht	-	500...1000
PVC-kate	2...3	55...80
Värvid:		
Akrüüllatks	0,10...0,20	2,5...4,0
PVA-latks	0,10...0,12	1,0...1,4
Alküüdvärv	0,09...0,12	9,5...16,0
Kloorkautšukvärv	0,04...0,05	4,7...8,0
Polüurctaanvärv	0,03...0,04	11,5...16,0
PVC-värv	0,03...0,04	6,0...9,0
Silikaatvärv	0,08...0,10	0,7...0,8

$r = \Sigma (d_i / \delta_i) = 1/\Delta$ – tarindi difusioonitakistus (Ns/kg).

Näiteks polüetüleenkile materjali auru-erijuhitavus δ_i on ligikaudu $4 \cdot 10^{-16} \text{ kgm}/(\text{Ns})$. 0,1 mm paksuse polüetüleenkile auruläbilaskvus $d_i/\delta_i = 0,0001/(4 \cdot 10^{-16}) = 1/(4 \cdot 10^{-12}) \text{ Ns/kg} = 250 \cdot 10^9 \text{ Ns/kg}$.

Rõhuvahe 324 Pa puhul kandub läbi kile: $324/(250 \cdot 10^9) = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ kg/s} = 0,005 \text{ g/h}$ veeauru ruutmeetri kohta.

Kuna enamik aastast on kätava ja inimeste poolt kasutatava siseruumi õhus veeauru rohkem kui välisõhus, siis on veeauru rõhk suunatud seestpoolt väljapoole.

Tarind peab olema konstrueeritud nõnda, et veeaur ei kondenseeruks piirdesse.

Üldjuhul on niiskuse kondenseerumine piirdesse välditud, kui aurutihedad kihid paiknevad soojustusest seespool (soojema keskkonna

pool) ja soojustusest väljastpoolt pääseb veeaur välja kas tuulutuspilude või väikese aurutihedusega materjalikihtide kaudu.

Kontrollarvutuseks koostatakse piirde niiskusraafik analoogiliselt temperatuurigraafikule. Kui tegelik niiskusesisaldus osutub kõrgemaks kui kastepunktis, kondenseerub niiskus piirdes. Arvutusega saab kontrollida, kas kondenseerumine on lühiajaline (vaid külmal perioodil, millele järgneb kuivamine soojal ajal) või kestev. Konstruksioonide töökindluse huvides on otstarbekas konstrueerida piirded nõnda, et ka niiskuse lühiajaline kondenseerumine oleks nendes välditud. See on tagatud juhul, kui soojustusest väljastpoolt ei ole aurutihedaid kihte. Juhul kui aurutihe kiht piirde välispinnal on vältimatu (nt bituumenmaterjalist katusekate, klaasist fassaadikate), peab olema tagatud piirde tuulutus – välisõhu vaba läbipääs aurutiheda väliskihi sisepinna poolt. Selleks tehakse katustesse ja seintesse tuulutuspilud, mis peavad ühenduma välisõhuga.

Tavalises eluruumis, mille õhuniiskus kütteperioodil ei ületa 40%, võib siiski paigutada osa soojustust aurutihedast kihist sissepoole. Selle osa soojapidavus ei tohiks ületada 40% kogu piirdetarindi soojapidavusest. Niiskete ruumide piiretes (sh köök ja vannituba) on see lubamatu.

Tabel 7.27. Materjalide õhuläbilaskvusi /4/

Materjal	Õhuläbilaskvus või eriläbilaskvus
Ehituspaberid:	
criti tihe	Õigesti paigaldatuna praktiliselt õhutihe
tihe	Sama
tuultpidav	Sama
vähe läbilaskev	$(0,3 \dots 3,0) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{Ns})$
läbilaskev	Vähemalt $3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{Ns})$
Kergkruus:	
terajämedus 3...10 mm	$1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{msPa})$
10...20 mm	$6,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{msPa})$
Klaasvillplaadid:	
50 kg/m^3	$(20 \dots 80) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{msPa})$
150 kg/m^3	$(10 \dots 20) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{msPa})$
Kivivillplaadid:	
50 kg/m^3	$60 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{msPa})$
150 kg/m^3	$10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{msPa})$

Ka ei ole lubatud kaht aurutihedat kihti umbses piirdes. Sel juhul ei pääse tarindisse pääsenud niiskus välja kurrumalki poolt; tagajärjeks võib olla niiskuse kogunemine koos kõige sellega kaasnevaga (puidu mädanemine, hallitus, ebameeldiv lõhn, läbi piirde immitsevad veenired või niiskuselaidud).

Juhul kui piirdesse soovitakse siiski teha kaks aurutõket (nt kui seinast kummalgi pool on niiske ruum), tehakse sein kahekihiline ja vahelt tuulutatav. Siseseinu võib tuulutada siseõhuga.

7.6.2. Piirde õhutihedus

Piirde õhutihedus sõltub õhurõhkude vahest, materjalide omadustest ja kihtide paksusest. Materjalikihtide õhutihedust iseloomustatakse samade ühikutega nagu auruläbilaskvust. Siingi tuleb eristada materjali omadusi – eriläbilaskvust $\text{m}^3/(\text{msPa}) = \text{m}^2/(\text{sPa})$ ja eritakistust sPa/m^2 – ning materjalikihi omadusi – õhuläbilaskvust $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{sPa}) = \text{m}/(\text{sPa}) = \text{m}^3/(\text{Ns})$ ning selle pöördarvu – õhutakistust Ns/m^3 .

Tõket läbiv õhuhulk avaldub ühikutes $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{sPa}) = \text{m}/(\text{sPa}) = \text{m}^3/(\text{Ns})$.

7.7. PIIRDE MÜRAPIDAVUS

7.7.1. Heli levik

Heli levib hoones kahel viisil: õhu kaudu (õhumüra) ja tarindite kaudu (löögimüra).

Õhumüra levib ka tarindite väikeste avade ja materjalide pooride kaudu; selle tõkestamiseks püütakse teha tarindid massiivsed ja võimalikult tihedad.

Õhumüra peavad tõkestama nii seinad ja vahelaed kui ka aknad ja ukсед. Samuti tuleb tõkestada õhumüra levikut ventilatsioonitorude ja torukanalite kaudu.

Löögimüra levib igas materjalis erinevalt; teda tõkestatakse mitmesugusest materjalist vahetükkide (torudel hülsid) ja vahekihtidega.

Löögimüra peavad tõkestama seinad ja vahelaed; eriti oluline on tõkestada sammumüra läbi vahelae all asuvatesse ruumidesse ja põrand kaudu naaberuumidesse. Vältida tuleb löögimüra levikut hoonet läbivate massiivsete ehitusosade (raudbetoon- ja teraskarkass) ning torustike kaudu.

Inimene tajub heli sagedusega 16...16 000 Hz, kusjuures helisagedusest oleneb ka tajutatav heli valjus.

Erineva sagedusega (st ka erineva kõrgusega) heli levib erinevalt. Iga konkreetset heli iseloomustab selle spekter – helitugevus erinevatel sagedustel. Tarindi helipidavust määratakse katseliselt paljudel sagedustel vahemikus 100...3150 Hz. Mürataseme ühikuks on logaritmiline ühik detsibell (kümnedik belli; dB). Ühele bellile vastab mürataseme 10-kordne erinevus.

Tarindi mürapidavuse näitarvud on tinglikud, kokkuleppeliselt teatud reeglite järgi määratavad suurused. Need saadakse tegeliku helispektri võrdlemisel normispektriga.

Lisaks mürapidavusele on hoonetes oluline ka akustika – heli levik ruumis, peegeldumine ja sumbumine. Ehitusnorm EPN 16.1 määrab ruumide maksimaalse lubatava järelkõlakeskuse:

- eluruumides, hotellides, raviasutustes, trepikodades, koridorides 1,3 s,
- klassiruumides 0,8 s,
- võimlates 1,5 s,
- ujulates 2,0 s,
- nõudliku akustikaga ruumides (muusikaklass, lugemissaal, teatrisaal jms) – vastavalt erinõuetele.

7.7.2. Nõuded mürapidavusele

Nõuded piirdetarindite mürapidavusele on sätestatud Eesti projekteerimisnormiga /9/. Selle järgi on hooned liigitatud 7 rühma; normitud on piirdetarindite õhumürapidavus R_w' ja löögimürajuhtivus $L_{n,w}'$ (detsibellides). Ülainedeks osutab, et mõeldakse ehitusel mõõdetavat suurt.

Õhumürapidavus R_w' näitab, kui palju helitugevusest tarind tõkestab. Mida suurem on number, seda mürapidavam on tarind.

Löögimürajuhtivus $L_{n,w}'$ näitab, kui tugev on tarindit läbinud heli tase naaberuumis (sammumüra puhul – all asuvas ruumis). Mida väiksem on number, seda mürapidavam on tarind.

Sisepiirete nõutavad mürapidavused on esitatud tabelis 7.28.

Välispiirde (välissein, aken) nõutav õhumürapidavus sõltub hoone asukohast (välismüra intensiivsusest) ja ruumi funktsioonist, samuti akna suhtelisest suurusel võrreldes välisseinaga.

Tabel 7.29 annab tavalise raskest materjalist (betoon, kivi) välisseina nõutava mürapidavuse dB juhul, kui akna pindala on vähem kui 50% piirde pindalast. Akna nõutav mürapidavus on $10 \log S/S_a$ võrra väiksem, kus S on välispiirde kogupindala ja S_a – akna pindala. Kui aken on suurem, kehtivad tabeli nõuded ka akna kohta.

Kergpiirete, suurte ruumide (üle 25 m²) ja liig kõrge välismürataseme korral on vaja täpsemat arvutust.

Normitud on ka hoone tehnoeadmetest põhjustatud keskmine ja maksimaalne mürataseme ruumides (EPN 16.1 tabel 5). See on valdavalt 30 (soovitavalt 25) dB, erijuhtudel kuni 50 dB.

Kehtestatud on hulk konstruktiivseid nõudeid tarindite helipidavusele. Nii peab korteritevahelise seina, mille külge kinnitatakse sanitaarseadmed, kaal olema vähemalt 200 kg/m².

Tabel 7.28. Sisepiirete nõutav mürapidavus /9/

Nr.	Hoone ja ruum	Nõutav mürapidavus dB	
		Minimaalne õhumürapidavus R_w'	Maksimaalne löögimürajuhtivus $L_{n,w}'$
Elamud			
1	Korterite eluruumide vahel	55	
2	Korteri eluruumide ja üldkasutatavate ning bürooruumide vahel	55	
3	Korteri ja müratekitava ruumi (teenindus-, töö- ja puhkeruumid, garaazid) vahel	60 (65)	
4	Ühe korteri ruumide vahel	43	
5	Korteriüks tropikotta	32	
	Korteriüks trepikojast eraldatud koridori	27	
6	Korteri elutubadest teise korterisse		53
7	Rõdukt, trepilt, koridorist, vannitoast ja WC-st teise korterisse		58
8	Müratekitavast teenindus-, töö- või puhkeruumist või garaazist korterisse		48
9	Kahekorruuselise korteri eluruumide vahel (ülalt alla)		63
Majutusasutused, ühiselamud ja hooldeasutused			
10	Majutusruumide vahel	52	58
11	Majutusruumi ja üldkasutatavate ruumide (trepikoda, koridor, puhvet) vahel	52	
12	Majutusruumi ja müratekitavate ruumide (teenindusruum, köök, restoran, spordiruum) vahel	60 (65)	
13	Sama majutusruumi üksikute tubade vahel	44	
14	Uksed või ustekompleksi majutusruumi ja koridori või trepikoja vahel	32	
16	Üldkasutatavast ruumist majutusruumi		58
17	Müratekitavast ruumist majutusruumi		53
Haiglad, sanatooriumid, muud tervishoiuasutused			
18	Palatite ja muude analoogiliste ruumide vahel	48 (52)	58
19	Palatite ja üldkasutatavate ruumide (trepikoda, koridor, söögituba) vahel	52	
20	Operatsiooniruumide vahel ja ümber	55	
21	Intensiivravipalatiite vahel ja ümber	37	
22	Palatite ja teenindusruumide (sh köökide ja tehnohoolderuumide) vahel	60	
24	Uksed või ustekompleksid:		
	palati ja koridori vahel	32	
	intensiivravipalati ja koridori vahel	27	
26	Üldkasutatavast ruumist palatisse		58
27	Müratekitavast ruumist palatisse		53 (48)
Koolid			
28	Klasside (sh õppekabinettide ja muude õpperuumide) vahel; klasside ja üldkasutatavate ruumide (trepikojad, koridorid) vahel	48 (52)	63
29	Suurte auditooriumide vahel, nende ja õpperuumide vahel	60	
30	Suurte auditooriumide ja üldkasutatavate ruumide vahel	55	
31	Klasside ja eriklasside (muusikaklass, töökoda, võimla) vahel	60 (65)	
32	Eriklasside ja üldkasutatavate ruumide vahel	55	
33	Klasside ja köökide ning sööklate vahel	55	

34	Uksed või ustekompleksid:		
	Klasside ja koridoride vahel	27 (32)	
	Klasside (v.a eriklassid) vahel	37	
36	Üldkasutatavast ruumist klassi		58
37	Eriklassist teise eriklassi		53 (48)
38	Suurest auditooriumist õpperuumi või teise auditooriumi		48
	Lasteaiad		
39	Rühma- ja magamisruumi vahel; samade ruumide ja koridori vahel	48 (52)	
40	Rühma- või magamisruumi ja köögi vahel	52	
41	Rühma- või magamisruumi ja muusikatoa ning võimla vahel	55	
42	Uksed rühma- või magamisruumist koridori	27	
43	Rühma- või magamisruumist teise		63 (58)
44	Üldkasutatavast ruumist või köögist rühma- või magamisruumi		58
45	Muusikatoast või võimlast rühma- või magamisruumi		53
	Büroohooned		
46	Tööruumide vahel; tööruumi ja üldkasutatava ruumi vahel	42 (48)	63
	Konfidentsiaalsust vajavate tööruumide vahel	52	
47	Uksed tööruumist koridori	27 (32)	

Märkused. 1. Loetelu järjekorranumbrid vastavad EPN 16.1 tabelile I.
2. Sulgudes arvud (rangemad nõuded) on soovitatavad.

Tabel 7.29. Välispiirete nõutav mürapidavus dB /9/

Ruumi funktsioon	Välismüratase dB						
	≤ 55	56...60	61...65	66...70	71...75	76...80	>80
Haiglapalat, sanatooriumi magamisruum	30	35	40	45	50	*	*
Elutuba, hotellituba, magamisruum lasteaias, hooldesutuses, puhkekodus või ühiselamus	30	35	40	45	50	55	*
Klassiruum, arstikabinett, numbrituba majutusasutuses	30	30	35	40	45	50	*
Bürooruumid	—	30	30	35	40	45	50

Tämiga * tähistatud puhkudel on vajalikud erimeetmed.

Tabeli suurustele lisatakse parandus sõltuvalt ruumi välispiire ja põranda pindalade suhtest S/S_0 :

Suhe S/S_0	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Parandus	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3

7.7.3. Tarindite mürapidavus

Eesti ehitusjuhendid konkreetsete tarindite helipidavust ei anna. Tarindite valikul helipidavuse järgi saab juhinduda Soome sellekohasest, Eesti kasutajale ETF-kartoteegi kaudu

kättesaadavast juhised /15/, samuti tootjate infost.

Ligikaudse hinnangu kiviseinte õhumürapidavusele annavad tabelid 7.30 ja 7.31.

Tabel 7.30. Ühekihilise kiviseina ligikaudne õhumürapidavus $R_w'/3/$

Mass kg/m^2	85	105	175	190	270	380	490	580
R_w' dB	34	37	43	44	48	52	55	57

Tabel 7.31. Kiviseinte õhumürapidavus $R_w'/3/$

Õhumürapidavus dB	Mahukaal kg/m^3	Kiviseina miinimumpaksus mm		
		Krohvimata	Krohvi 10 mm	Krohvi 15 mm
37	1200	100		80
	1600	70		70
40	500	240		175
	1200	115		80
	1800	80		70
42	1400	115	115	
	2000	80	100	
45	1200		175	
	2000		115	
47	1000		240	
	1600		175	
52	1000		365	
	1600		240	
53	1200		365	
	1800		240	
55	1800		300	
	1600		365	
57	1600		365	
	2000		300	

Krohvikihit on arvestatud mõlemal pool.

Tabel 7.32. Vaheseinte õhumürapidavus $R_w'/3/$

Kirjeldus	Kipsplaadi kiht kummalgi pool	Karkassi miinimumpaksus mm	Villakihi miinimumpaksus mm	Õhumürapidavus dB
Kipsplaatscinad puitkarkassil, postide samm 600 mm, postide vahel mineraalvill	1	60	40	38
	2			46
Sama, plekkprofiilidest karkassil	1	50	40	45
	2	50	40	49
Kipsplaatscinad kahekordsel puit- või plekk-karkassil, karkasside vahe 5 mm, mõlema karkassi vahel mineraalvill	1	100	80	50
	2	125	2x40	49
Kipsplaatscinad kahekordsel puit- või plekk-karkassil, postid nihutatud, postide vahel mineraalvill	1	160	40	49
	2	200	80	50

Vahelaed

Vahelaed löögimürapidavus püstsüunas sõltub nii vahelaed kandevosa kui ka põranda tarindusest.

Soome juhise /15/ järgi liigitatakse põranda tarindused järgmiselt:

- A – viitalusega (džuudist või polüestrist) PVC-katted, korkalusega PVC- ja linoleumkatted, vahtplastalusega nõeltorkevaibad;
- B – parketid pehmel alusel (lainepapp, kork, tekstiilkiudvilt, vahtplastplaat, elastne korkplaat);
- C – vahtplastalusega katted (PVC); tavalised 4 mm paksused nõeltorkevaibad;
- D – kõvad katted (ilma aluskihita parkett, plastplaadid, aluskihita linoleum);

Nende põrandate pealiskihit on järgmine:

- A-1 – vahtplastalusega nõeltorkevaip;
- A-2 – PVC-kate, aluseks elastne polüestervilt 550...600 g/m²;
- A-3 – PVC-kate, aluseks elastne džuutvilt 600...700 g/m², elastne polüestervilt 300 g/m² või korkplaat;
- A-4 – PVC-kate, aluseks elastne džuutvilt 400...500 g/m²;
- B – 15 mm laudparkett, aluseks lainepapp, korkplaat, tekstiilkiudvilt, vahtplast-

plaat vms., samuti 8 mm mosaiikparkett (tamm, saar, kask, mänd vms), aluseks elastne korgipuruplaat, tekstiilkiudvilt vms;

- C1 – vahtplastalusega põrandakate, pealiskihiks PVC vms, aluseks eriti elastne vaht-PVC, kas polüestrikihiga või ilma, või tavaline 4...5 mm paksune nõeltorkematt;
- C2 – vahtplastalusega põrandakate, pealiskihiks PVC vms, aluseks tavaline elastne vaht-PVC, kas polüestrikihiga või ilma;
- C3 – vahtplastalusega põrandakate, pealiskihiks PVC vms, aluseks suhteliselt kõva (vähe-elastne) vaht-PVC;
- D-1 – korkplaat ca 3 mm, pealiskihiks PVC, vahel korgipuruplaat, aluskihiks kõva PVC-kile;
- D-2 – vana kasutatud viitalusega (džuut või polüester) PVC-kate, mis on sammumürasummutuse seisukohalt lõpuni kulunud;
- D-3 – tükparkett 8 mm (pehme puit, nt mänd) ilma aluskihita; aluskorgita linoleum;
- D-4 – tükparkett 8 mm (kõva puit, nt tamm), kõva PVC-kate ilma vilt- või vahtplastalusega.

Tabel 7.33. Raudbetoonvahelagede löögimürapidavus /15/

Tarindus	Põrand, mis tagab löögimürajuhtivuse	
	$L_{n'w} \leq 63$ dB	$L_{n'w} \leq 58$ dB
Massiivplaat 160 mm	A-1, A-2, A-3, A-4, B, C-1, C-2, D-1	A-1, A-2, C-1
Massiivplaat 190 mm	A-1, A-2, A-3, A-4, B, C-1, C-2, C-3, D-1, D-2	A-1, A-2, A-3, B, C-1, C-2
Massiivplaat 210 mm	A-1, A-2, A-3, A-4, B, C-1, C-2, C-3, D-1, D-2	A-1, A-2, A-3, B, C-1, C-2
Õõnespancel omakaaluga enam kui 375 kg/m ²	A-1, A-2, A-3, A-4, B, C-1, C-2, D-1	A-1, A-2, B, C-1
Õõnespancel omakaaluga 300...375 kg/m ²	A-1, A-2, A-3, B, C-1, C-2	A-1, A-2, C-1
Õõnespancel omakaaluga 250...300 kg/m ²	A-1, A-2, A-3, B, C-1, C-2	A-1, A-2
Ujuvpõrand: 40 mm betooni + 30...50 mm jäika mineraalvilla (100 kg/m ²) + kandev tarindus – massiivplaat 160...210 mm või õõnespancel ≥ 300 kg/m ²	Kõik	Kõik
Ribipancl, all ribide vahel 50 mm jäika mineraalvilla	A-1, A-2, A-3, B, C-1, C-2	A-1

8. KOORMUSED**8.1. KONSTRUKTSIOONIARVUTUSE PÕHIMÕTTED****8.1.1. Piirseisundid**

Konstruktioonarvutusega kontrollitakse, kas ületatakse mingi piirseisundi tingimusi. Kontrollida tuleb kõiki võimalikke arvutusolukordi ja neile vastavaid võimalikke koormusjuhte. Üldjuhul tehakse vahet kandev- ja kasutuspiirseisundite vahel.

Kandepiirseisundid seostuvad konstruktsiooni purunemise, staatilise tasakaalu kaotuse, stabiilsuse kaotuse või muude kahjustustega, millest tulenevad konstruktsiooni kandevõime kaotus ja oht inimestele.

Kasutuspiirseisundid lähtuvad konstruktsiooni normaalse kasutamise nõuetest, inimese mugavusest ja ehitiste välimusest (deformatsioonid, vibratsioonid, mittekandvate elementide kahjustused). Johtuvalt sellest, kas koormuse põhjustatud tagajärjed jäävad alles ka pärast koormuste mõju eemaldamist või kaovad, võib kasutuspiirseisund olla taastumatu või taastuv.

Arvutusolukorrad valitakse selle järgi, mis sugustes tingimustes peab konstruktsioon oma otstarvet täitma. Eristatakse järgmisi arvutusolukordi:

- **alalised** (normaalsed kasutustingimused),
- **ajutised** (ajutised tingimused, näiteks ehituse või remondi ajal),
- **erakordsed** (tulekahju, kokkupõrke või loomuliku purunemise tagajärjel jms).

Koormusjuhu moodustavad füüsikaliselt kokkusobivad, samaaegselt mõjuvad koormusvariandid.

Koormusvariant on määratud koormuse asendi, suuruse ja suuna väärtusega vaadeldaval hetkel.

8.1.2. Koormuste liigitus

Koormused liigitatakse:

- ajalise kestuse järgi:
 - alalised e püsikoormused (G) – konstruktsioonide omakaal, püsiv tehnoloogiline sissesead ja teede pinnakatte kaal, otsesed mahukahanemise ja ebaühtlase