

kaudu 220 päeva aastas. Neljal talvekuul on välisõhu keskmine temperatuur ligikaudu -5°C , kõige külmematel päevadel alla -30° , kütteperioodi keskmine on ligikaudu -1°C .

Kütmisega hoonesse antav soojus kulub esiteks vältimatuteks soojakadudeks läbi piirdekonstruktsioonide ja teiseks — ventilatsioonihü soojendamiseks.

Läbi piirdekonstruktsioonide minev soojusenergia hulk sõltub seinte ja lagede soojapidavusest ning nende pindalast, samuti akende suurusest. Mida väiksem on välisseinte pindala (s. o. mida kompaktsem on hoone) ja mida vähem on aknaid, seda vähem kulub soojust.

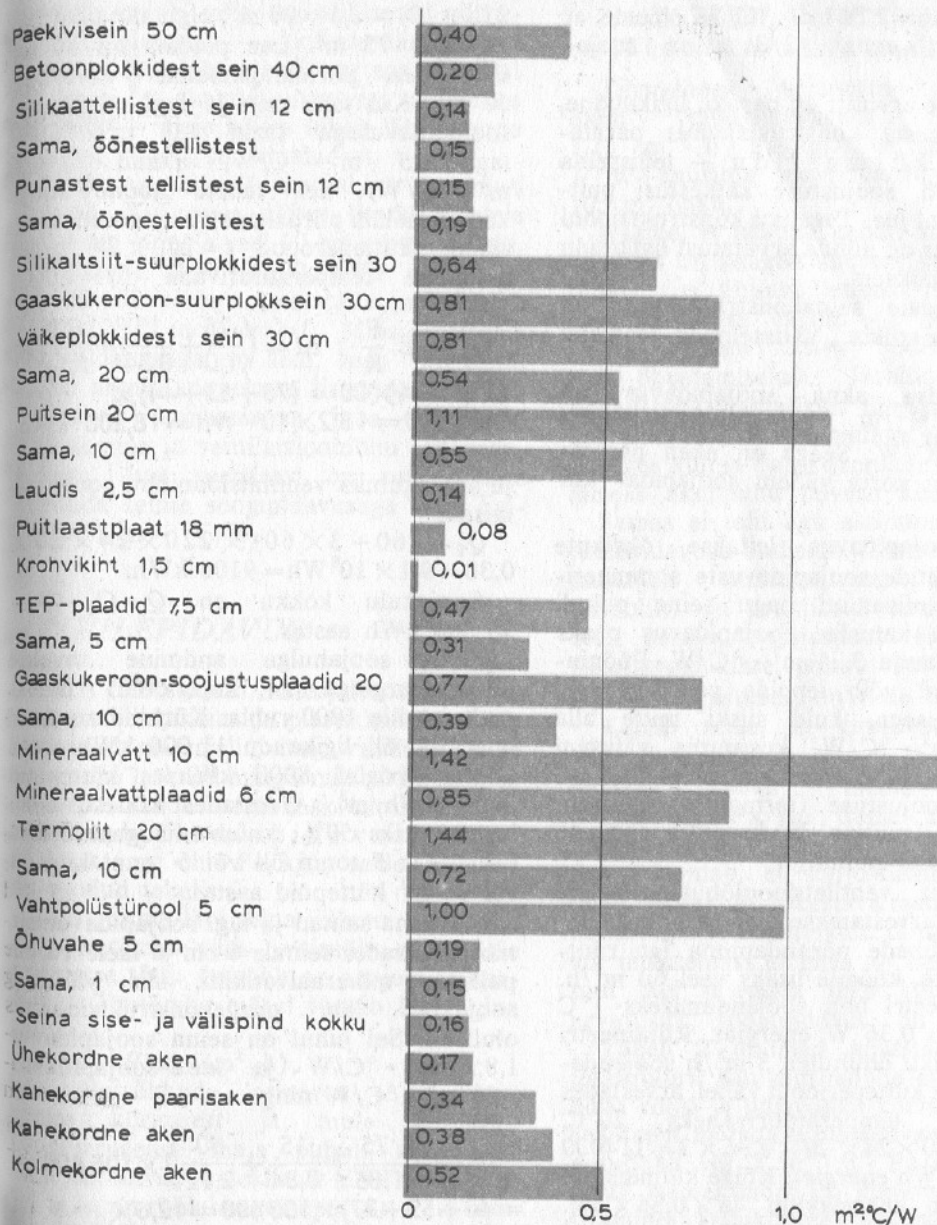
Kehtivate ehitusnormide järgi sõltub sein nõutav soojapidavus sein materjalist, massiivsusest ja ehituskoha kliimast. Mida massiivsem on sein, seda rohkem salvestab ta soojust ja seda vähem allub ta välisõhu temperatuurikõikumistele, seepärast nõutakse vähem massiivsetelt seintelt suuremat soojapidavust. Mere ääres on kliima pehmem ja selle järgi võib sein näiteks Vilsandil olla 15% võrra vähem soojapidav kui Tartus. Elamu suurusest sein nõutav soojapidavus ei sõltu. Eestis on elamuseina minimaalne lubatav soojapidavus piires $0,65...1,34 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$; näiteks gaasbetoonseinalt Tartus nõutakse soojapidavust $1,10 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ja Tallinnas $0,97 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Katuslagi või põõningulagi peab olema 1,5 korda soojapidavam kui sein.

Selleks et ehituskulud oleksid minimaalsed, projekteeritakse suurte eluhoonete, samuti tüüp-väikeelamute seinad tavaliselt minimaalse lubatava soojapidavusega. Väikeelamutes on aga piirdekonstruktsi-

oonide pindala suhteliselt (põrandapinna ruutmeetri kohta) mitu korda suurem kui korterimajades ja seepärast on väikeelamute soojakaod palju suuremad. Kütuse kokkuhoiduks on otstarbekas teha väikeelamute seinad ja laed minimaalselt lubatavast märksa soojapidavamad.

Nii tellistest kui ka gaasbetoonist sein, millel puudub lisasoojustus, on elamu-seinaks liiga vähese soojapidavusega. Soojustusmaterjalid (eeskätt mineraalvati ja termoliit) on meil suhteliselt odavad ja kättesaadavad. Ehitusmaksumust ja tööjõukulu ei mõjuta kuigivõrd, kas soojustusmaterjali kiht on 5 või 10 cm paksune, kuid hoone kütusekulu mõjutab see väga oluliselt. Seepärast peaks väikeelamu välisseinte soojapidavus olema meie kliimas ligikaudu $2...3 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$, millele vastab 10 cm paksune mineraalvati- või 20 cm paksune termoliidikiht. Laes peaks soojustuskihi paksus olema vastavalt 15 cm mineraalvati ja 30 cm termoliidi puhul.

Seina soojapidavus koosneb tema sise- ja välispinna soojapidavusest (kokku $0,16 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$), õhuvahede soojapidavusest (1 cm paksuse õhuvahede puhul $0,15 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$, 5 cm paksuse puhul $0,17 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$) ja kõigi materjalikihtide soojapidavuste summast. Mitmesuguste materjalikihtide soojapidavused on toodud tabelis 2 ja joonisel 27. Piirde soojapidavuse saame, kui liidame üksikkihtide soojapidavused ja lisame õhuvahede ning sise- ja välispinna soojapidavused. Näiteks kui sein koosneb 20 cm paksusest gaasbetoon-väikeplokkmüürist ja 12 cm paksusest silikaattellisvoodrist, mille vahel on 10 cm paksune mineraalvattsoojustus, on sein soojapidavus $R = 0,54 + 0,14 +$



SEINA SOOJAPIDAVUS OLGU $2...3 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$, MILLELE VASTAB 10 CM MINERAALVATTI VÕI 20 CM TERMOLIITI

KOLMANDIK KÜTTESOOJAST KULUB VENTILATSIOONIÕHU SOOJENDAMISEKS, KOLMANDIK LÄHEB KAOTSI LÄBI SEINTE KUUENDIK LÄBI AKENDE JA KUUENDIK LÄBI LAE

Joonis 27. Seinamaterjalikihtide soojapidavus $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Elamuseina soovitatav soojapidavus $2 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$, nõutav minimaalne $0,65...1,34 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Kogu sein soojapidavuse saamiseks liidetakse kihtide ja õhuvahede soojapidavused ning lisatakse $0,16 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ sein sise- ja välispinna soojata-

+1,42+0,16=2,26 m² · °C/W. Näeme, et mineraalvatt annab 2/3 seinä soojapidavusest.

Niisugune arvutus on paraku ligikaudne, sest ei arvesta konstruktsioonis paramatuid nn. külmasildu — tellisseina diafragmasid, soojustuse katkestusi puitpostide kohal jne. Tegelik konstruktsiooni soojapidavus on nõnda arvatust ligikaudu 1,2 korda väiksem.

Soovitavaid seinakonstruktsioone on kujutatud peatükis „Välisseinad“ joonistel 36 ja 37.

Kahekordse akna soojapidavus on 0,34 m² · °C/W, kolmekordsel aknal 0,52 m² · °C/W. Seega on aken paratamatult palju kordi vähem soojapidav kui sein.

Lae soojapidavus leitakse üksikute materjalikihtide soojapidavuste summeerimise teel niisamuti nagu seinä puhul. Väikeelamu katuslae soojapidavus peaks olema ligikaudu 3...4 m² · °C/W. Pöönin-gulae puhul võib leppida veidi vähema soojapidavusega, kuid siiski mitte alla 2,5...3,5 m² · °C/W, kusjuures väiksem number kehtib raudbetoonpaneelidest lae ja raske soojustuse (termoliidi), suurem number — puitlae ja kerge soojustuse (mineraalvati) puhul.

Soojakulu ventilatsiooniõhule. Ventilatsiooniks arvestatakse elamus õhku 3 m³ tunnis elutubade põrandapinna iga ruut-meetri kohta, kõõgile lisaks veel 60 m³/h. Iga kuupmeetri õhu soojendamiseks 1°C võrra kulub 0,36 W energiat. Ruutmeetri kohta vajaliku õhuhulga 3 m³/h soojendamiseks kogu kütteperioodi vältel, arvestades keskmiseks temperatuurivaheks 20°C, kulub 220 × 24 × 20 × 0,36 × 3 = 114000 Wh = 114 kWh energiat. Kõige külmematel päevadel on energiakulu 48 × 0,36 × 3 × 24 = 1240 Wh/m² = 1,24 kWh/m².

Hoone soojakaod koosnevad läbi piirdekonstruktsioonide minevast ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks vajalikust soojushulgast. Vaatleme näiteks väikese, 8 × 10 m suuruse ühekorruselise elamu soojakadusid. Välisseinte pindala on

2(8 + 10) × 2,5 = 90 m²; olgu aknaid 15 m² ja seinä 75 m². Lae pindala on 80 m². Elutubade põrandapindalaks arvestame 60 m². Kui teha sein ja lagi minimaalse soojapidavusega (sein 1,0 m² · °C/W, lagi 1,5 m² · °C/W, aknad 0,34 m² · °C/W), siis saame hoone soojakadudeks läbi piirdekonstruktsioonide aasta vältel (kütteperiood t = 220 × 24 tundi, keskmine temperatuurivahe Δt = 20°C)

$$Q_1 = \sum \frac{F}{R} \cdot t \cdot \Delta t = \left(\frac{75}{1,0} + \frac{15}{0,34} + \frac{80}{1,5} \right) \times 220 \times 24 \times 20 = (75 + 53 + 44) \times 105\,600 = 18,2 \times 10^6 \text{ Wh} = 18\,200 \text{ kWh}$$

ja soojakuluks ventilatsiooniõhu soojendamiseks

$$Q_2 = (60 + 3 \times 60) \times 220 \times 24 \times 20 \times 0,36 = 9,1 \times 10^6 \text{ Wh} = 9100 \text{ kWh}.$$

Soojakulu kokku on $Q = Q_1 + Q_2 = 27\,300 \text{ kWh}$ aastas.

Selle soojahulga andmine tavalise elektrienergiaga (4 kop./kWh) läheks maksma üle 1000 rubla. Kütused annavad energiat: õli ligikaudu 11 000 kWh tonni kohta, kivisüsi 8000 kWh/t., küttepuid 2000 kWh/m³. Arvestades küttesüsteemi kasuteguriks 50%, kulub niisuguse elamu kütmiseks 5 tonni õli või 6 tonni kivisüüt või 26 m³ küttepuid aastas.

Kui teha seinad ja lagi soojapidavamad, näiteks lisades seinale 6 cm ja laele 10 cm paksuse mineraalvatikihi, siis väheneb soojakulu läbi piirdekonstruktsioonide oluliselt. Sel juhul on seinä soojapidavus 1,85 m² · °C/W ja lae soojapidavus 2,92 m² · °C/W ning

$$Q_1 = \left(\frac{75}{1,85} + \frac{15}{0,34} + \frac{80}{2,92} \right) \times 105\,600 = (40 + 53 + 27) \times 105\,600 = 12,6 \times 10^6 \text{ Wh} = 12\,600 \text{ kWh aastas},$$

$Q = 12\,600 + 9100 = 21\,700 \text{ kWh}$ aastas, s.t. soojakaod ja ühes sellega kütusekulud vähenevad viiendiku võrra. Mineraalvatti kulus selleks 75 × 0,06 + 80 × 0,10 = 12,5 m³, seega 170 rubla eest. On ilmne, et

hoonele tasub teha soojapidavad piirdekonstruktsioonid — kütusesääst tasub lisakulutused juba paari aastaga. Ühtlasi on ilmne, et akende suurusega ei maksa liialdada — meie näites läheb läbi akende veerand kõigist soojakadudest.

Soojustuse ülemäärane paksus on samuti mõtetu. Kui meie näites lisada seintele veel 6 cm ja laele veel 10 cm mineraalvatti, siis saame $Q_1 = 10\,500 \text{ kWh}$ aastas ja $Q = 19\,600 \text{ kWh/a.}$, s.o. sääst moodustab vaid 12% soojatarbest. Mida suurema soojapidavusega on sein, seda väiksemat efekti annab soojustuse lisamine, sest siis hakkavad domineerima juba soojakaod läbi akende ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks. Just seepärast on ratsionaalne piirduda seinte soojapidavusega kuni ligikaudu 3 m² · °C/W.

TUULEPIDAVUS

Päris õhutihedaid materjale on vähe — vaid metallid, klaas ja plastikaatkile. Kõik ülejäänud materjalid, isegi raudbetoon ja tõrvapapp lasevad mingil määral õhku läbi. Materjalikihtide õhuläbilaskvus iseloomustab nende tuulepidavust R_0 (ühikuks m² · h · Pa/kg), mille väärtusi on toodud tabelis 2.

Õhu sunnib läbi seinä liikuma tuulerõhk ning õhutõmme välis- ja siseõhu erikaalude erinevuse tõttu (toaõhk on soojem ja kergem). Õhutõmbe mõjul tungib läbi seinä õhuhulk

$g = \Delta p / R_0 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{h)},$
kus õhurõhkude erinevus Δp sõltub hoone kõrgusest ja tuule kiirusest. Ühekorruselise maja puhul, arvestades keskmist talvist tuulekiirust ENSV rannikul 7,7 m/s, on rõhkude erinevus $\Delta p = 1,2 \text{ mm Hg} = 160 \text{ Pa}$ (seega alla 0,2% õhurõhust). Selle mõjul laseb näiteks 10 m² suurune ühelt poolt krohvitud 25 cm paksune tellis-sein läbi

$$G = \Delta p \cdot F / \Sigma R_0 = 160 \times 10 / 10 = 160 \text{ kg} \approx 8 \text{ m}^3 \text{ õhku tunnis}$$

Tihenditega varustatud akna tuulepidavuseks 1,19 m² · h · Pa/kg. See tähendab, et 1 m² suurune aken laseb 105 m³ õhku.

Näeme, et akende kaudu rõõhuhulk on kaugelt suurem kui õhuhulk, ja ühtlasi kaugelt ventilatsiooniks vajalik (1 m² aknast piisab 35-m² põranda õhustamiseks). Järelikult peaksid aknad teha võimalikult tihedaks korralike tihenditega, piidatagu ja liigse külma õhu sissetungimiseks aknapilud talveks kindlaks.

Samas ei tohi aga alahinnata tuulepidavuse olulisust. Enamasti kasutatav (mineraalvatt, termoliit) on praktiliselt tuulepidav. Kui nendest väljaspool ei ole teinud tõkestavaid kihte, puhub tuul läbi ja soojustusest on vähe.

Kehtib nõue, et kinnises väljapoole jäävate materjalikihtide soojapidavus peab olema vähemalt 53 m² · h · Pa/kg. Sama nõue kehtib ka tuuliläbilaskva soojapidavuse kohta. See tähendab, et soojustuse peab olema tuult tõkestava materjaliga ehituspapp või krohvikiht. Lühemad tellisseinad ei piisa — need lasevad tuul läbi ja maja jääb külmaks arvutuslik soojapidavus on

Tabeli 2 andmed arvestades tellismüüri. Kui sein laduda ehitatakse kõiki rõht- ja püstvuke korraldada saab sein märksa tuulepidavamaks, antud 18 või 2 m² · h · Pa/kg pealt tsementmördiga kinnitades silumine (vuukimine) suurendab tuulepidavust ligikaudu 20 m² võrra.

AKEN ON KUUS KORDA VÄHEM SOOJAPIDAV KUI SEIN

bel 2. Materjalikihtide sooja-, tuule- ja aurupidavus

| Materjalid | Kihi paksus cm | Soojapidavus R $m^2 \cdot ^\circ C/W$ | Tuulepidavus R_s $m^2 \cdot h \cdot Pa/kg$ | Aurupidavus R_a $m^2 \cdot h \cdot Pa/mg$ |
|---------------------------------|-------------------|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| akivisein | 50 | 0,40 | ... | ... |
| oonsein | 40 | 0,20 | ... | ... |
| kaattelistest sein | 25 | 0,28 | 18 | 2,3 |
| | 12 | 0,14 | 2 | 1,1 |
| astest tellistest sein | 25 | 0,30 | 18 | 2,3 |
| | 12 | 0,15 | 2 | 1,1 |
| nes-silikaattelistest sein | 25 | 0,30 | 18 | 1,8 |
| | 12 | 0,15 | 2 | 0,9 |
| ntega punastest tellistest | 25 | 0,38 | 18 | 1,8 |
| | 12 | 0,19 | 2 | 0,9 |
| na vuukimisel lisada | — | — | 20 | — |
| altsiitsuurplokkidest sein | 30 | 0,64 | 42 | 2,7 |
| askukeroon-suurplokkidest sein | 30 | 0,81 | ... | 1,9 |
| askukeroon-väikeplokkidest sein | 30 | 0,81 | 10 | 1,9 |
| | 20 | 0,54 | 7 | 1,2 |
| tsein | 20 | 1,11 | ... | ... |
| | 10 | 0,55 | ... | ... |
| dis | 2,5 | 0,14 | 0,1 | — |
| undlaudis | 2,5 | 0,14 | 1,5 | — |
| s lauakihti, vahel papp | 5 | 0,28 | 98 | — |
| laastplaadid | 2 | 0,09 | ... | 0,17 |
| mentlaastplaadid | 2 | 0,05 | ... | 0,87 |
| rad puitkiudplaadid | 1 | — | 33 | 0,11 |
| med puitkiudplaadid | 1,25 | ... | — | 0,05 |
| mentkrohv | 1,5 | 0,01 | 373 | 0,17 |
| ikrohv | 1,5 | 0,01 | 142 | 0,12 |
| ii-kipskrohv puidul | 2 | 0,02 | 17 | 0,12 |

| | | | | |
|-----------------------------------|------|------|---------|------|
| TEP-plaadid | 10 | 0,61 | 2,5 | ... |
| | 5 | 0,31 | 2,5 | ... |
| Gaaskukeroon-soojustusplaadid | 20 | 0,77 | ... | ... |
| | 10 | 0,39 | ... | ... |
| Mineraalvatt | 10 | 1,42 | — | 0,25 |
| | 5 | 0,71 | — | 0,12 |
| Termoliit | 20 | 1,44 | — | — |
| | 15 | 1,07 | — | — |
| | 10 | 0,72 | — | — |
| Vahtpolüstürool | 10 | 2,00 | ... | 2,0 |
| Fenoolvahtplast | 10 | 1,56 | ... | 0,4 |
| Räbu | 10 | 0,22 | — | 0,4 |
| Õhuvahe | 5 | 0,19 | — | — |
| | 1 | 0,15 | — | — |
| Vineer | 0,3 | — | 2940 | 0,23 |
| Kipsplaadid (kuivkrohv) | 1 | — | 20 | 0,12 |
| Asbesttsementplaadid | 0,6 | — | 196 | 0,30 |
| Ehituspapp | 0,13 | — | 64 | 0,02 |
| Pärgamiin | 0,4 | — | ... | 0,33 |
| Ruberoid | 1,5 | — | Õhutihe | 1,10 |
| Tõrvapapp | 1,9 | — | 490 | 0,40 |
| Polüetüleenkile | 0,16 | — | Õhutihe | 7,30 |
| Tapeet | — | — | 20 | — |
| Bituumenvõõp ühes kihis | 0,2 | — | ... | 0,30 |
| Sama, kahes kihis | 0,4 | — | ... | 0,48 |
| Õlivärvkate (kaks kihti) | — | — | ... | 0,64 |
| Seina sise- ja välispind (kokku) | — | 0,16 | — | — |
| Ühekordne aken | — | 0,17 | 1,19 | ... |
| Kahekordne paarisaken | — | 0,34 | 1,19 | ... |
| Kahekordne aken (ühe tihendiga) | — | 0,38 | 1,33 | ... |
| Kolmekordne aken (kahe tihendiga) | — | 0,52 | 2,02 | ... |