



TALLINNA TEHNIKAKÕRGGKOOI
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PIIRDETARINDITE SOOJUSLÄBIVUS VÄLISSEINAD: mittehomogeenne

Leena Paap

MÕISTED "Piirete soojuslähivus"

3.1.9

soojustakistus R , $m^2 \cdot K/W$ (thermal resistance)

kindla paksusega toote või elemendi omadus takistada soojuse voogu (üldiselt soojusjuhtivuse teel) läbi toote

või elemendi (pinnalt pinnale) statsionaarsetes tingimustes ja on arvutatav valemist: $R = \frac{T_1 - T_2}{q}$, $R = \frac{d}{\lambda}$

3.1.12

piirdetarindi kogusoojustakistus R_T , $m^2 \cdot K/W$ (total thermal resistance)

piirdetarindi üksikute kihtide arvutuslike soojustakistuste ning sise- ja välispindade soojustakistuste summa

3.1.13

soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$ (thermal conductance)

iseloomustab soojuse voogu (kitsamalt soojusjuhtivuse teel) läbi piirdetarindi statsionaarsetes tingimustes ja on

arvutatav valemist $U = \frac{1}{R_T}$

3.1.4

soojuserijuhtivus λ , $W/(m \cdot K)$ (thermal conductivity)

materjali omadus, mis väljendab soojusvoolu vattides, mis läbib 1 meetri paksuse ja 1 m^2 pinnaga materjalikihi, kui temperatuuride vahe vastastikuste pindade vahel on 1 K. Mitte-ehituslikus kasutuses on tarvitusel ka sõnastus „soojusjuhtivustegur“

Sümbol	Sisu	Ühik
A	pindala	m^2
R	arvutuslik soojustakistus	$m^2 \cdot K/W$
R_g	õhkvahe soojustakistus	$m^2 \cdot K/W$
R_{se}	piirdetarindi välispinna soojustakistus	$m^2 \cdot K/W$
R_{si}	piirdetarindi sisepinna soojustakistus	$m^2 \cdot K/W$
R_T	piirdetarindi kogusoojustakistus (soojusülekanne keskkonnast keskkonda)	$m^2 \cdot K/W$
R'_T	piirdetarindi kogusoojustakistuse ülempiir	$m^2 \cdot K/W$
R''_T	piirdetarindi kogusoojustakistuse alampiir	$m^2 \cdot K/W$
R_u	kütmata ruumi soojustakistus	$m^2 \cdot K/W$
U	piirdetarindi soojusjuhtivus	$W/(m^2 \cdot K)$
d	kihi paksus	m
λ	materjali soojuseri juhtivus	$W/(m \cdot K)$

3.3 Lühendid, alaindeksid

Lühend, alaindeks	Sisu	Ingliskeelne vaste
i	sise-	interior
e	välis-	exterior
s	pind	surface
si	sisepind	interior surface
se	välispind	exterior surface
cd	juhtivus	conduction
cv	konvektsioon	convection
r	radiatsioon; kiirgus	radiation
c	kontakt	contact
g	gaas (õhk) ruum	gas (air) space
a	ümbrus; keskkond	ambient
mean	keskmine	mean

Arvutuspõhimõtted

EVS-EN ISO 6949:2004

EVS 908-1:2010

Piirete soojusjuhtivuse arvutusmeetodi põhimõtted on järgmised:

1. Määratakse piirde kihtide paksused
2. Leitakse erinevatele materjalidele soojaerijuhtivused.
3. Arvutatakse piirdetarindi iga soojuslikult homogeense kihi soojustakistus (R ; $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
4. Määratakse üksikute kihtide ja pindade summeerimisel piirdetarindi kogu soojatakistus.
5. Arvutatakse piirde soojusjuhtivus, mida korrigeeritakse.

4.2.3.3 Soojustuse õhjuhtivusest tingitud parandus

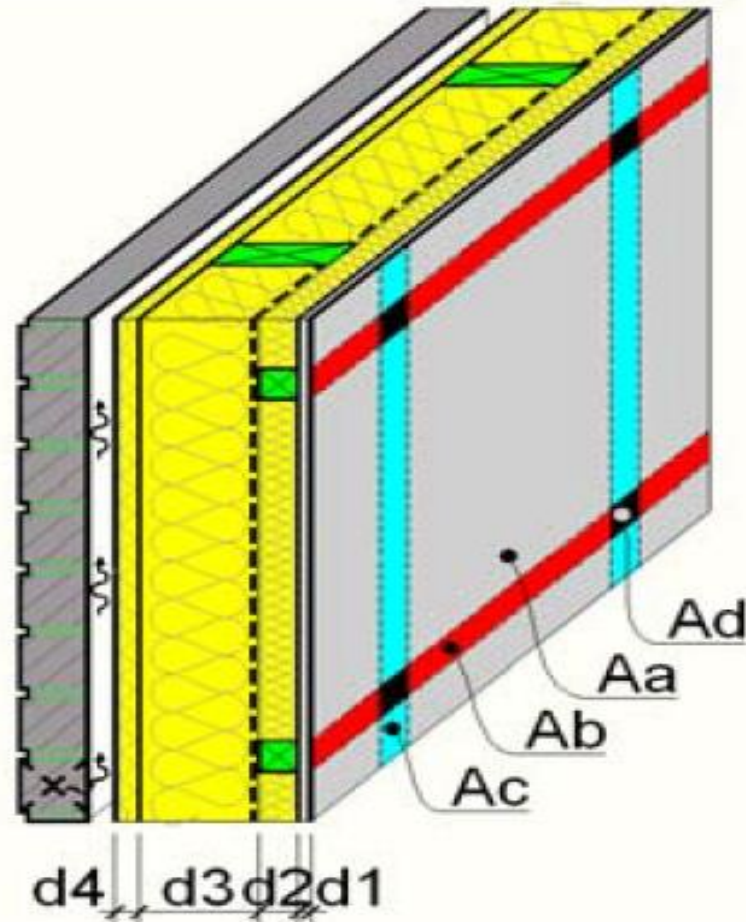
Võimaliku soojustusesisese mikrokonvektsiooni mõju piirde soojusjuhtivusele arvestab parandustegur ΔU_a , valem 4.20.

$$\Delta U_a = \Delta U_a'' \cdot \left(\frac{R_l}{R_T} \right)^2, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad 4.20$$

kus:

- $\Delta U_a''$ tegur, mis mõjub seintele või järsemale kui 45° kaldega katuslaele, vt. tabel 4.11, ning katuslaele ja põrandale (postvundamendi puhul või kui põrandaaluse ruumi tuulutussavade pindala on suurem kui 8% põranda pindalast), vt. tabel 4.12;
- R_l õhkujuhtivat materjali sisaldava kihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga 4.9 (soojuslikult homogeenne kiht) või valemiga 4.14 (soojuslikult mittehomogeenne kiht);
- R_T piirdetarindi kogusoojustakistus, mis arvutatakse valemiga 4.8 (homogeensete kihtidega piirdetarind) või valemiga tabelis 4.11 (mittehomogeensete kihtidega piirdetarind).

Mittehomogeenne sein



$$U = \frac{1}{R_T}, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

U- välispiirde soojusjuhtivus $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

R_T - kogu seina soojustakistus $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

d-seina paksus (m)

$$R = \frac{d}{\lambda_d}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W},$$

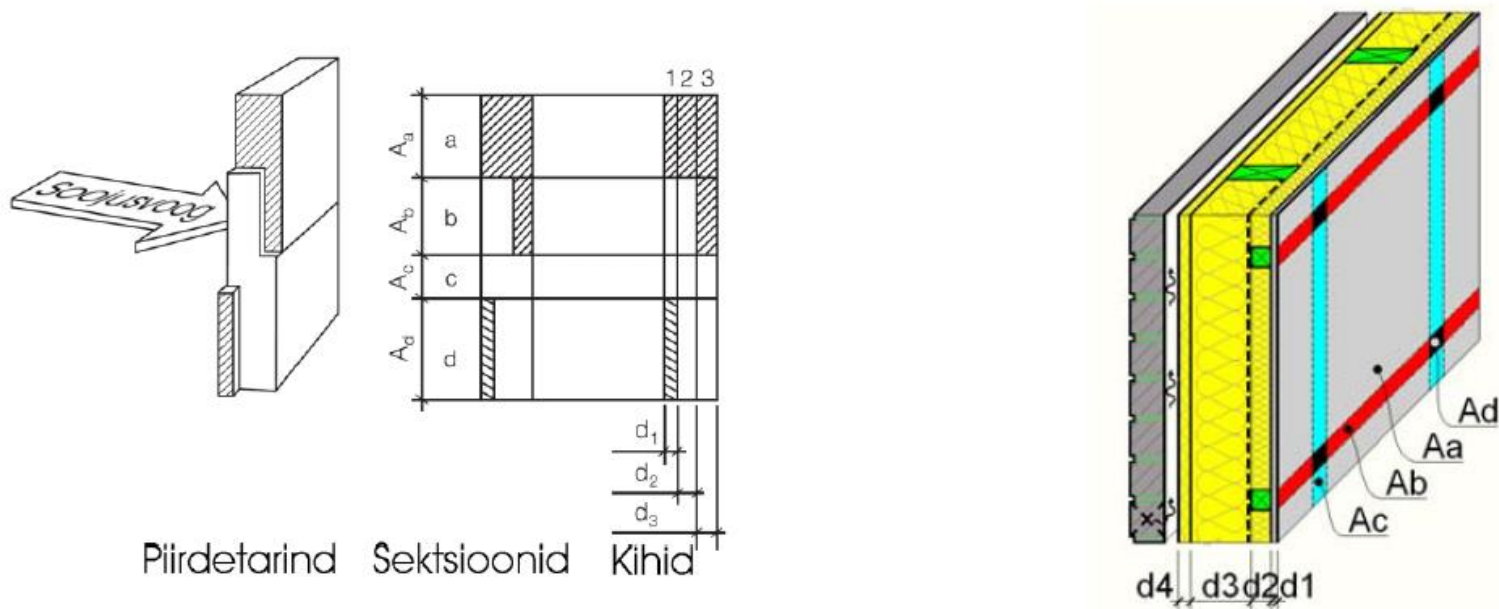
λ_d -materjali arvutuslik soojuserijuhtivus (W/mK)

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

R_T' mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid seksioone), $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;

R_T'' mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte), $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$.

Kogusoojustakistuse ülemise ja alumise piiriväärtuse arvutamiseks tuleb piirdetarind tükeldada soojuslikult homogeenseteks sektsioonideks ja kihtideks, vt. joonis 4.2.



Joonis 4.2 – Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi skeem (vasakul) ja näide sektsioonide ja kihtide jaotusest puitsörestikseinal (paremal)

$$R_T' = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}, \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

kus:

A_a, \dots, A_n piirde üksikute sektsioonide osapindalad (osakaalud);

R_{Ta}, \dots, R_{Tn} piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, mis arvutatakse vastavalt valemile 4.8.

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad 4.13$$

kus:

R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, (m²·K)/W;

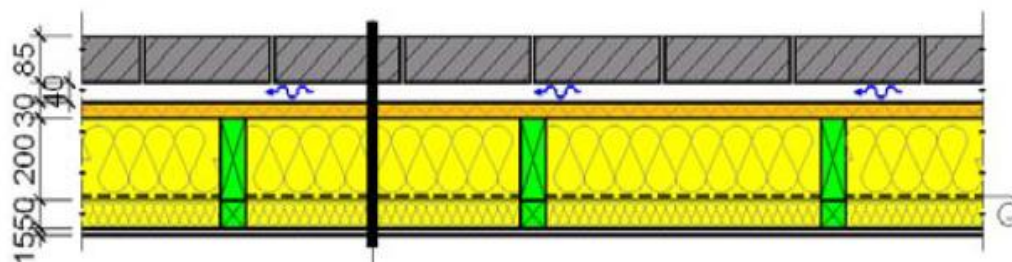
R_1, R_x, R_n iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse vastavalt valemile 4.9 (soojuslikult homogeenne kiht) või vastavalt valemile 4.14 (soojuslikult mittehogeenne kiht), (m²·K)/W;

R_{se} piirde välispinna soojustakistus, (m²·K)/W.

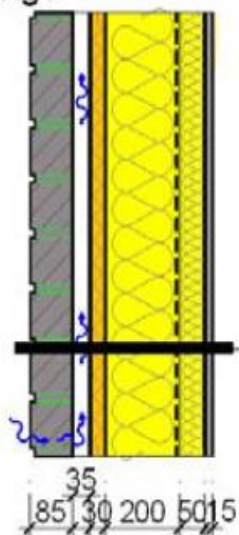
$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad 4.14$$

Materjal	Toote paksus	Soojuserijuhtivus λ_d , W/(m·K)	Soojustakistus R_d , m ² ·K/W
Sisepind			0,13
Siseviimistluse vineer	15 mm	0,17	
Soojustuse mineraalvill		0,04	
Puit		0,12	
Tuuletõkke mineraalvill	30 mm	0,04	
Välispind			0,04

Plaan



Lõige



Tellisvooder	85mm
Tuulutatav õhkvahe	40mm
Min. villast tuuletõkkeplaat	30mm
Puitpostid/min.vill	200mm
Õhu- ja aurutõke	0,2mm
Puitroovid/min.vill	50mm
Vineer	15mm

Soojustuse sektsiooni soojustakistus (valem 4.8):

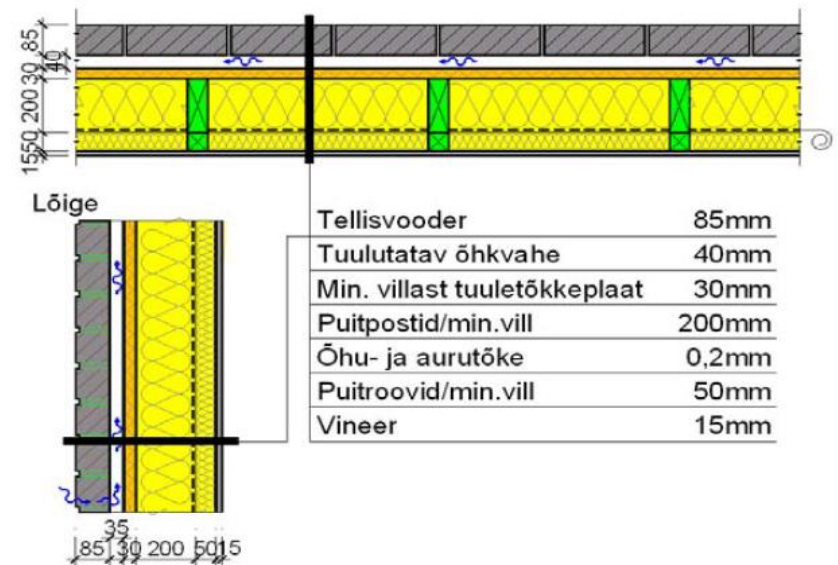
$$R_{\text{soojustuse sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,015}{0,17} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,20}{0,04} + \frac{0,03}{0,04} + 0,04 = 7,26 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Sõrestikupostide sektsiooni soojustakistus (valem 4.8):

$$R_{\text{sõrestiku sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,015}{0,17} + \frac{0,05}{0,12} + \frac{0,20}{0,12} + \frac{0,03}{0,04} + 0,04 = 3,34 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (valem 4.12):

$$R'_T = \frac{550 + 50}{\frac{550}{7,26} + \frac{50}{3,34}} = 7,26 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$



Mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistused:

50 mm paksuse soojustuse kihi soojustakistus (valem 4.14):

$$R_{50\text{ mm soojustus / sõrestik}} = \frac{550 + 50}{\left(\frac{0,050}{0,04}\right) + \left(\frac{0,050}{0,12}\right)} = 1,07 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

200 mm paksuse soojustuse kihi soojustakistus (valem 1.7):

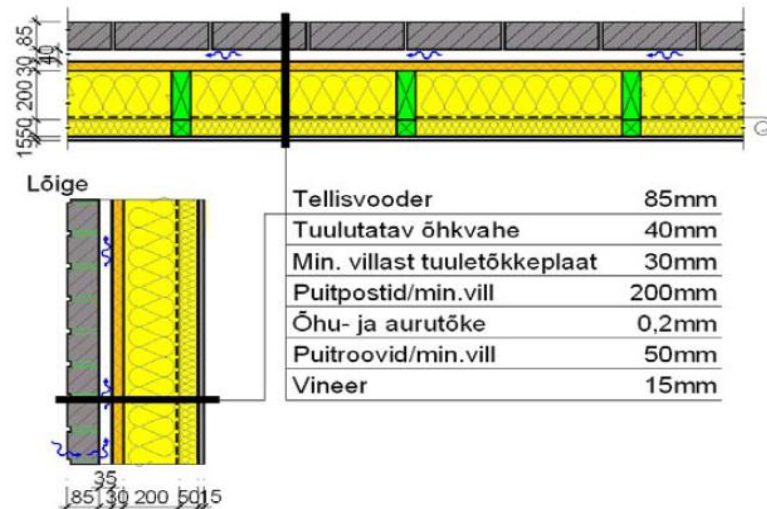
$$R_{200\text{ mm soojustus / sõrestik}} = \frac{550 + 50}{\left(\frac{0,200}{0,04}\right) + \left(\frac{0,200}{0,12}\right)} = 4,29 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (valem 4.13):

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,015}{0,17} + 1,07 + 4,29 + \frac{0,03}{0,040} + 0,04 = 6,38 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus (valem 4.11):

$$R_T = \frac{7,26 + 6,38}{2} = 6,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$



Suhteline arvutusviga (valem 4.15):

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \cdot 100\% = \frac{7,26 - 6,38}{2 \cdot 6,50} \cdot 100 = 2\%$$

Piirde soojusjuhtivus U , arvutatakse valemiga 4.7 ja ümardatakse kahe kohani peale koma:

$$U = \frac{1}{6,50} = 0,15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Piirdetarindi korrigeeritud soojusjuhtivus

Et võtta arvesse soojustuses olevaid tühimikke (paigalduse vead), soojustuskihti läbivaid kinniteid, pööratud katusel sademete mõju ja õhu liikumist soojustuses

TULEB SOOJUSJUHTIVUST KORRIGEERIDA!!!

$$U_c = U + \Delta U, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

U_c - korrigeeritus soojusjuhtivus $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

U - arvutuslik soojusjuhtivus $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

ΔU - soojusjuhtivuse lisa $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r + \Delta U_a + \Delta U_{\psi X}, W/(m^2 \cdot K)$$

kus:

ΔU_g õhupiludest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;

ΔU_f mehaanilistest kinnititest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;

ΔU_r pööratud katusest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;

ΔU_a soojustuse õhujuhtivusest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;

$\Delta U_{\psi X}$ külmasildadest põhjustatud parandus.

4.2.3.1 Õhupiludest tingitud parandus

Õhupiludest tingitud parandust ΔU_g , mõjutavad kolm paigaldustaset, mis sõltuvad õhupilude ulatusest ja nende paiknemisest, valem 4.18 ja tabel 4.7:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left(\frac{R_l}{R_T} \right)^2, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad 4.18$$

kus:

$\Delta U''$ tegur, vt. tabel 4.7, $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$;

R_l pilusid sisaldava materjalikihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga 4.9 (soojuslikult homogeenne kiht) või valemiga 4.14 (soojuslikult mittehomogeenne kiht);

R_T piirdetarindi kogusoojustakistus, mis arvutatakse valemiga 4.8 (homogeensete kihtidega piirdetarind) või valemiga tabelis 4.11 (mittehomogeensete kihtidega piirdetarind).

4.2.3.2 Mehaanilistest kinnititest tingitud parandus

Kui isolatsioonikihti läbib mehaaniline kinnitus, saadakse soojusjuhtivuse parandus valemist 4.19:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \lambda_f \cdot n_f \cdot A_f, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

kus:

α tegur, mis saadakse tabelist 4.8, 1/m;

λ_f kinniti soojuserijuhtivus, W/(m·K);

n_f kinnitite arv ruutmeetri kohta;

A_f kinniti ristlõike pindala, m².

Tabel 4.10 – Teguri α väärtused

Kinnitus tüüp	α , 1/m
Müüriankur	6
Katuse kinnitus	5



TALLINNA TEHNIKAKÕRGGKOOI
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PIIRDETARINDITE SOOJUSLÄBIVUS PÕRAND

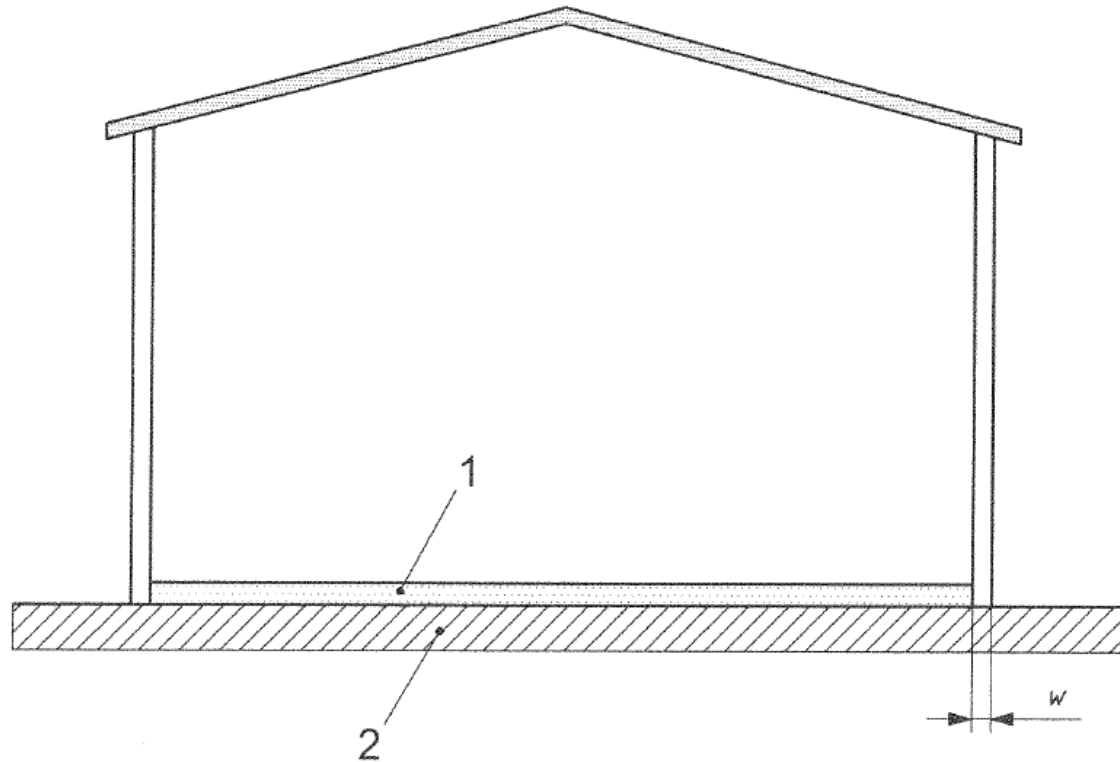
Leena Paap

EVS-EN 13370:2008

“Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid”

Põranda soojusjuhtivus

Põrand pinnasel (Slab on ground floor)



Key

- 1 floor slab
- 2 ground

$$B' = \frac{A}{0.5P}$$

A-kogu põranda pind (m²)

P- kogu hoone perimeeter (m)

B` - põrandat iseloomustav tegur

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$$

dt- põranda ekvivalente paksus

W- välisseina kogu paksus (m)

λ- pinnase soojuseriivitus (W/mK)

Rf- põranda kogu soojustakistus (m²K/W)

Table 1 — Thermal properties of the ground

Category	Description	Thermal conductivity	Heat capacity per volume
		λ W/(m·K)	ρc J/(m ³ ·K)
1	clay or silt	1,5	3,0 x 10 ⁶
2	sand or gravel	2,0	2,0 x 10 ⁶
3	homogeneous rock	3,5	2,0 x 10 ⁶

If $d_t < B'$ (uninsulated and moderately insulated floors),

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right)$$

If $d_t \geq B'$ (well-insulated floors),

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \times B' + d_t}$$

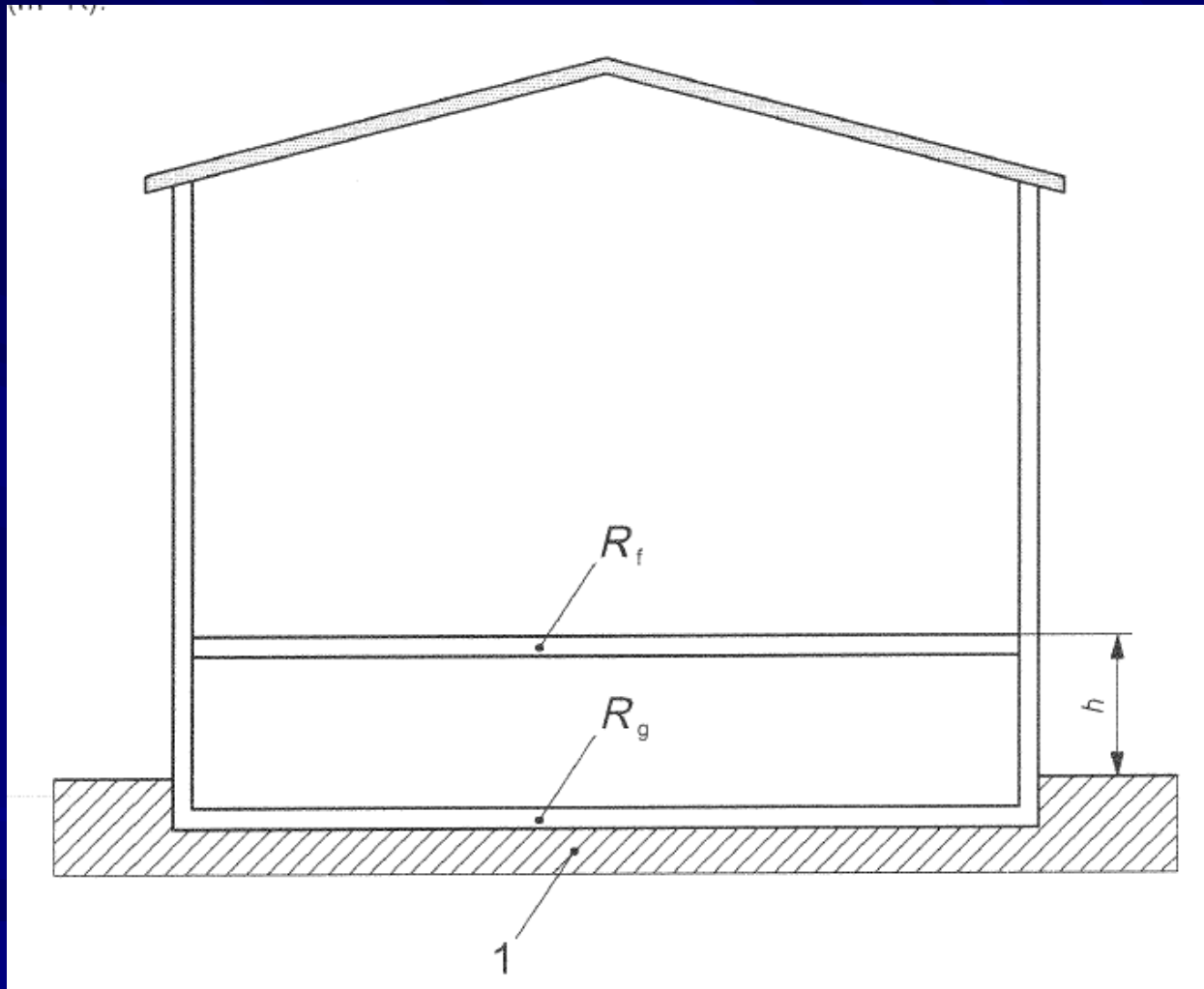
NOTE 1 For well-insulated floors, it can be written alternatively as

$$U_g = \frac{1}{(R_f + R_{si} + R_{se} + w/\lambda) + R_g}$$

where R_g is the effective thermal resistance of the ground given by

$$R_g = \frac{0,457 \times B'}{\lambda}$$

Alt tuulutatav põrand (Suspended floor)



1.
$$B' = \frac{A}{0.5P}$$

2.

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_g} + 1\right)$$

3.

$$U_x = 2 \times \frac{hU_w}{B'} + 1450 \times \frac{\varepsilon v f_w}{B'}$$

4.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$$

U_f - alt tuulutatava põranda soojatakistus ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

U_g - pinnasel oleva põranda soojatakistus ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

U_x – pinnasega kokkupuutuva seina soojatakistus ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

h - alt tuulutatava põranda pealispinna kõrgus maapinnast (m)

U_w - maapealsete seinte soojustakistus ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

ε -põranda aluste tuulutussavade pindala (m^2/m)

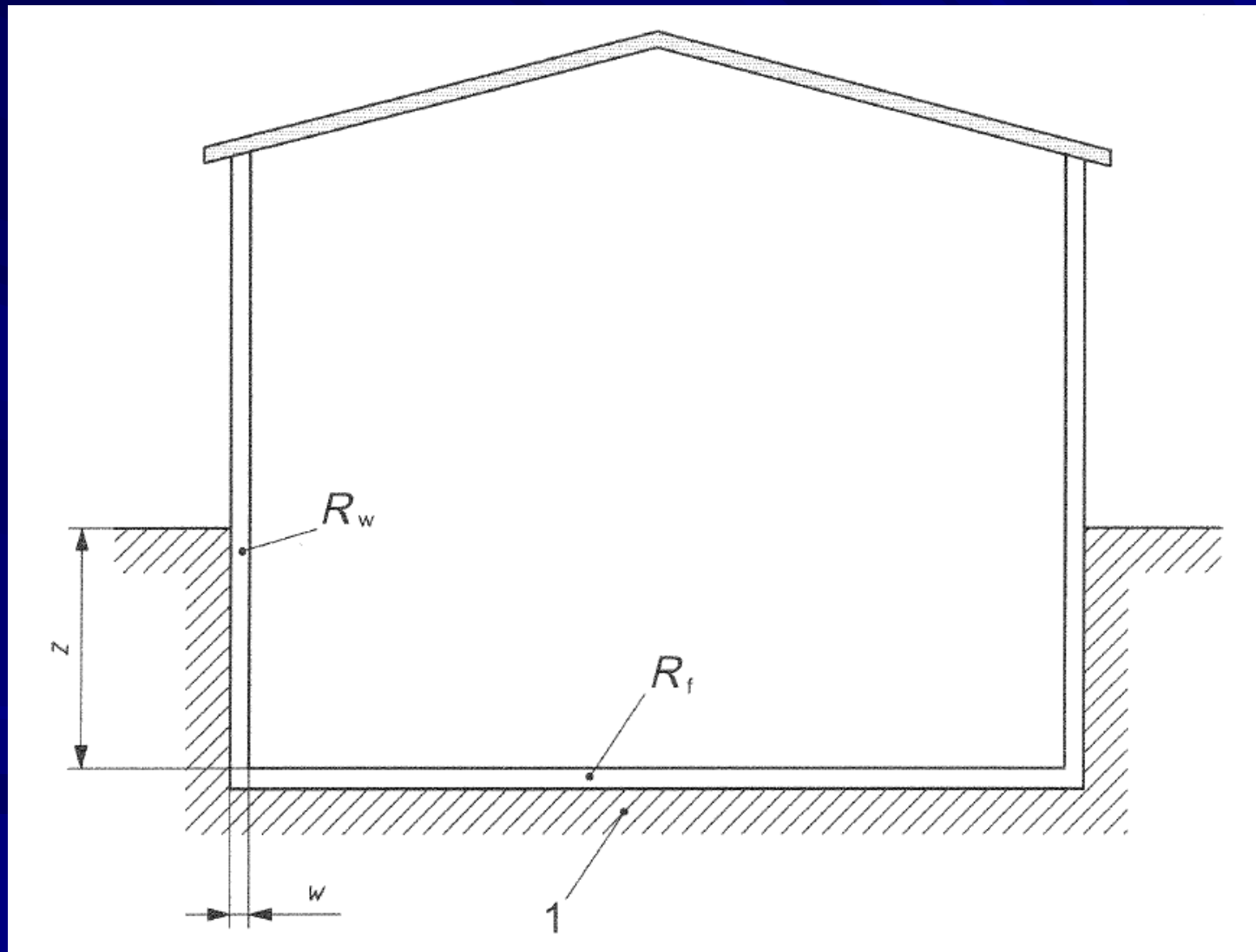
f_w -tuulevarjetegur

v - keskmine tuulekiirus 10m kõrgusel maapinnast (m/s)

Table 2 — Values of the wind shielding factor

Location	Example	Wind shielding factor
		f_w
Sheltered	City centre	0,02
Average	Suburban	0,05
Exposed	Rural	0,10

Köetava keldri põrand (heated basement)



Keldri põrand

$$B' = \frac{A}{0.5P}$$

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se})$$

If $(d_t + 0,5z) < B'$ (uninsulated and moderately insulated basement floors),

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1\right)$$

If $(d_t + 0,5z) \geq B'$ (well-insulated basement floors),

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5z}$$

U_{bf}- keldri põranda soojusjuhtivus (W/m²K)

Keldri seinad

U_{bw} depends on total equivalent thickness for the basement walls, d_w , given by Equation (13):

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (13)$$

where R_w is the thermal resistance of the walls of the basement, including all layers, and the other symbols are defined in 3.2.

Obtain U_{bw} from Equation (14):

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (14)$$

The formula for U_{bw} involves both d_w and d_t . It is valid for $d_w \geq d_t$, which is usually the case. If, however, $d_w < d_t$ then d_t should be replaced by d_w in Equation (14).

$$U' = \frac{(AU_{bf}) + (zPU_{bw})}{A + (zP)}$$

Z-keldri põranda sügavus maapinnast allapoole (m)

U_{bw} - keldriseina soojusjuhtivus (W/m^2K)

Kütmata keldri põrand

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (hPU_w) + (0,33 \times nV)}$$

Kus:

U_f -sisekeskkonna ja külma keldri vahelise põranda soojusjuhtivus (W/m^2K)

U_w - maapealse keldriseina soojusjuhtivus (W/m^2K)

V - keldri ruumala (m^3)

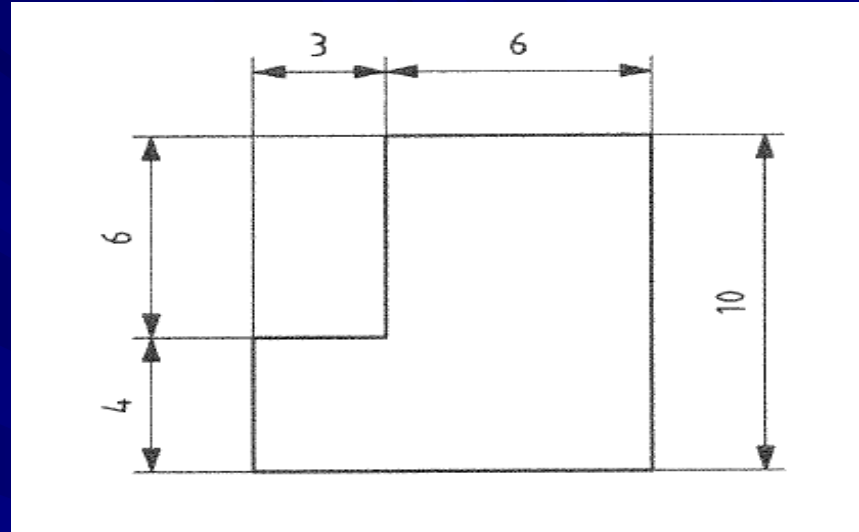
n -keldri õhuvahetuskordus tunnis ($1/h$)

Näide-põrand pinnasel

W- 0.3m

Pinnas-liiv või kruus

Rf-0.625 m²K/W



$$d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,625 + 0,04) = 1,97 \text{ m}$$

$$U = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 3,789 + 1,97} \ln \left(\frac{3,142 \times 3,789}{1,97} + 1 \right) = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$



TALLINNA TEHNIKAKÕRGGKOOI
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PIIRDETARINDITE SOOJUSLÄBIVUS AKEN

Leena Paap

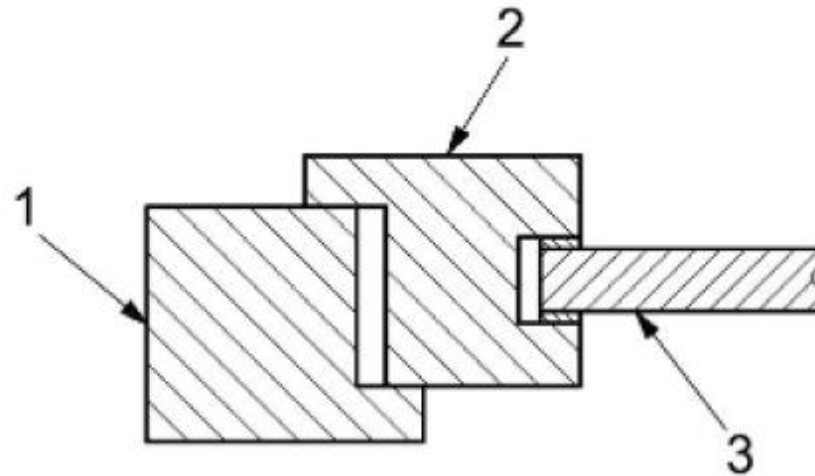
EVS-EN 10077-1:2008

**“Akende, uste, luukide soojustehniline
toimivus. Soojusjuhtivuse arvutus.
Osa 1: Üldosa**

5 SOOJUSJUHTIVUSE ARVUTAMINE

5.1 Aknad

5.1.1 Üheraamilised aknad



- 1 Kinnisraam (leng)
- 2 Liikuv raam
- 3 Klaasing (ühe- või mitmekordne)

Joonis 4 – Üheraamiline aken

Üheraamilise akna soojusjuhtivus U_w tuleb arvutada valemiga:

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_r U_r + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_r},$$

kus

U_g klaasingu soojusjuhtivus;

U_r raami soojusjuhtivus;

Ψ_g pikkusepõhine soojusjuhtivus, mis tuleneb klaasingu, vahelistu ja raami soojuslikust koosmõjust.