



Sisaldab värvilisi
lehekülgi

**HOONE PIIRDETARINDI SOOJUSLÄBIVUSE
ARVUTUSJUHEND**

Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire

**Guidance for calculation of thermal transmittance of
building envelope**

**Part 1: Opaque building envelope in contact with
outdoor-air**

EVS 908-1:2016

EESTI STANDARDI EESSÕNA

See Eesti standard on

- standardi EVS 908-1:2010 uustöötlus,
- jõustunud sellekohase teate avaldamisega EVS Teataja 2016. aasta juulikuu numbris.

Standardi koostamise ettepaneku on esitanud tehniline komitee EVS/TK 14 „Ehitiste soojuslik toimivus“, standardi koostamist on korraldanud Eesti Standardikeskus ja Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liit ning rahastanud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Standardi on koostanud Targo Kalamees, kavandi ekspertiisi on teinud ja standardi on heaks kiitnud EVS/TK 14.

Töö käigus on standardikavandi üle vaadanud ja seda kommenteerinud erinevad erialaspetsialistid: Enno Rebane, Esko Unga, Jüri Vähi, Raul Merivee.

See standard on ette nähtud ehitusmaterjalide ja -toodete soojuseri juhtivuse ja piirdetarindite soojuslähivuse arvutamiseks, toetudes standarditele EVS-EN ISO 10456, EVS-EN ISO 6946 ja EVS-EN 1745. Standardi esimene osa käsitleb välisõhuga kontaktis olevat läbipaistmatut piiret, s.t standardi selle osa käsitusallas ei kuulu soojuslevi pinnasesse ega akna soojuslähivus.

Dokument sisaldab värve, mis on vajalikud selle sisu õigesti mõistmisel. Seepärast tuleks dokumenti printida värviprinteriga.

Standardi mõni osa või mõni standardis kirjeldatud lahendus võib olla patendiõiguse subjekt. EVS ei vastuta sellis(t)e patendiõigus(t)e väljaselgitamise eest.

Tagasisidet standardi sisu kohta on võimalik edastada, kasutades EVS-i veebilehel asuvat tagasiside vormi või saates e-kirja meiliaadressile standardiosakond@evs.ee.

ICS 91.120.10

Standardite reprodutseerimise ja levitamise õigus kuulub Eesti Standardikeskusele

Andmete paljundamine, taastekitamine, kopeerimine, salvestamine elektroonsesse süsteemi või edastamine ükskõik millises vormis või millisel teel ilma Eesti Standardikeskuse kirjaliku loata on keelatud.

Kui Teil on küsimusi standardite autorikaitse kohta, palun võtke ühendust Eesti Standardikeskusega:

Aru 10, 10317 Tallinn, Eesti; koduleht www.evs.ee; telefon: 605 5050; e-post: info@evs.ee

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1 KÄSITLUSALA.....	5
2 NORMIVIITED.....	5
3 TERMINID, MÄÄRATLUSED, sümbolid ja lühendid.....	6
3.1 Terminid.....	6
3.2 Sümbolid ja ühikud.....	8
3.3 Lühendid, alaindeksid.....	9
4 ÜLDIST.....	9
4.1 Materjali soojuseri juhtivus.....	9
4.1.1 Deklareeritud soojuseri juhtivus λ_D	10
4.1.1.1 Arvutuspõhimõtted.....	10
4.1.1.2 Arvutusnäide 1: soojustusmaterjali deklareeritu soojuseri juhtivuse leidmine.....	11
4.1.1.3 Arvutusnäide 2: müüritoote deklareeritud soojuseri juhtivuse leidmine.....	12
4.1.2 Arvutuslik soojuseri juhtivus λ_U	13
4.1.2.1 Arvutusliku soojuseri juhtivuse määramispõhimõtted teisendustegurite abil.....	17
4.1.2.2 Arvutusnäide 3: soojuseri juhtivuse arvutussuuruse leidmine: hügrokoopne soojustus seinas.....	23
4.1.2.3 Arvutusnäide 4: arvutusnäites 2 toodud müürimaterjali ($\lambda_D = 0,101 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) soojuseri juhtivuse arvutussuuruse leidmine.....	24
4.1.2.4 Arvutusnäide 5: hoone ümber pinnases olev rõhtsa paisutatud polüstüreensoojustuse EPS arvutusliku soojuseri juhtivuse leidmine.....	25
4.1.3 Arvutusliku soojuseri juhtivuse tabelväärtused.....	25
4.1.4 Soojuseri juhtivuse ja soojustakistuse väärtuste esitamine ehitusprojekti.....	26
4.2 Tarindi soojuslähivus.....	27
4.2.1 Soojuslikult homogeensetest kihtidest piirdetarindi kogusoojustakistus.....	27
4.2.1.1 Soojuslikult homogeense materjalikihi soojustakistus.....	28
4.2.1.2 Piirdetarindi sise- ja välispinna soojustakistus.....	28
4.2.1.3 Õhkvahe soojustakistus.....	28
4.2.1.4 Kütmata ruumide soojustakistus.....	30
4.2.2 Soojuslikult mittehomoogeensete kihtidega tarindi kogusoojustakistus.....	30
4.2.3 Piirdetarindi korrigeeritud soojuslähivus.....	32
4.2.3.1 Õhupiludest tingitud parandus.....	33
4.2.3.2 Mehaanilistest kinnititest tingitud parandus.....	36
4.2.3.3 Soojustusesisese mikrokonvektsioonist tingitud parandus.....	37
4.2.3.4 Pööratud katusest tingitud parandus.....	39
4.2.3.5 Arvutusnäide 6: soojuslikult homogeensetest kihtidest välisseina soojuslähivus.....	40
4.2.3.6 Arvutusnäide 7: soojuslikult mittehomoogeensetest kihtidest välisseina soojuslähivus.....	42
4.2.4 Muutuva paksusega materjalikihtidega tarindi soojuslähivuse arvutus.....	46
Kirjandus.....	49

SISSEJUHATUS

Materjalide arvutusliku soojuseri juhtivuse puhul võetakse arvesse selle sõltuvus keskkonnatingimustest või arvutatakse see standardi EVS-EN ISO 10456 järgi. Välispiirete soojusläbivused, homogeensete ja mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistused arvutatakse standardi EVS-EN ISO 6946 järgi. Standardi koostamise on tinginud soojustusmaterjalide ja müüritoote standardites toodud soojuseri juhtivuse ja soojusläbivuse arvutusmeetodite ühtlustamise vajadus. See standard on koostatud arvutusjuhendi vormis ja on ette nähtud ehitismaterjalide ja -toote arvutusliku soojuseri juhtivuse ja piirdetarindite soojusläbivuse arvutamiseks.

Euroopa standardites on püütud materjalide ja tarindite toimivust võimalikult täpselt arvesse võtta. See on toonud kaasa mitu parandustegurit ja teinud arvutuse pikemaks, keerulisemaks ja mõnikord ka raskesti mõistetavaks. Võimalikud vead ei torka kohe silma. Täpne arvutusmeetod annab teoreetiliselt õige ja täpse tulemuse. Tähtis on, et arvutustäpsus oleks ehitusplatsil realiseeritav, seetõttu on materjalide sihtotstarbelise kasutuse kõrval oluline nende väga hoolikas paigaldus: soojustus peab täitma kogu temale määratud ruumi, olema maksimaalselt homogeenne jne. Vigast projekteerimist, ehitamist ja järelevalvet standardid arvesse ei võta.

1 KÄSITLUSALA

Selles Eesti standardis antakse juhised materjalide soojuseri juhtivuste ja välisõhuga kontaktis olevate läbipaistmatute piirdetarindite soojuslähivuse arvutuseks. Selle standardi käsituslusalasse ei kuulu ukсед, aknad ja muud avatäited või tarindid, mille kaudu toimub soojusülekanne pinnasesse, ning tarindid, mis on projekteeritud õhku läbilaskvaks.

Materjalide soojuseri juhtivuse deklareeritud ja arvutusväärtuste määramise meetodid kehtivad arvutuslikel keskkonnatemperatuuridel vahemikus -30 °C kuni $+60\text{ °C}$. Soojuseri juhtivuse temperatuuri- ja niiskusepõhised teisendustegurid kehtivad keskmistel temperatuuridel vahemikus 0 °C kuni 30 °C .

Piirdetarindite soojuslähivuse arvutusmeetod põhineb materjalide ja toodete soojuseri juhtivuse või soojustakistuse arvutusväärtusel. Meetodit saab rakendada selliste tarindite ja tarindiosade puhul, mis koosnevad soojuslikult homogeensetest kihtidest (mille seas võivad olla õhkvahed) või soojuslikult mittehomoogeensetest kihtidest (välja arvatud juhtumid, kus soojustuskihis on oluline külmasild).

2 NORMIVIITED

Alljärgnevalt nimetatud dokumendid on vajalikud selle standardi rakendamiseks. Dateeritud viidete korral kehtib üksnes viidatud väljaanne. Dateerimata viidete korral kehtib viidatud dokumendi uusim väljaanne koos võimalike muudatustega.

EVS-EN 1745. Müüritis ja müüritooted. Soojusväärtuste määramise meetodid

EVS-EN 12087. Thermal insulating products for building applications — Determination of long term water absorption by immersion

EVS-EN 12088. Thermal insulating products for building applications — Determination of long term water absorption by diffusion

EVS-EN 12091. Thermal insulating products for building applications — Determination of freeze-thaw resistance

EVS-EN 13163. Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Tööstuslikult valmistatud paisutatud polüstüreenist tooted (EPS). Spetsifikatsioon

EVS-EN 13165. Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Tööstuslikult valmistatud jäigast vahtpolüüretaanvahust (PU) tooted. Spetsifikatsioon

EVS-EN 13166. Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Tööstuslikult valmistatud fenoolvahust (PF) tooted. Spetsifikatsioon

EVS-EN 14315-1. Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Pihustatud jäigad vahtpolüüretaan- (PUR) ja vahtpolüisotsüanuraattooted (PIR). Osa 1: Pihustatud jäikade vahttoodete paigalduseelne spetsifikatsioon

EVS-EN 14315-2. Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Pihustatud jäigad vahtpolüüretaan- (PUR) ja vahtpolüisotsüanuraattooted (PIR). Osa 2: Paigaldatud vahttoodete spetsifikatsioon

EVS-EN ISO 6946. Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetod

EVS-EN ISO 10456. Ehitusmaterjalid ja -tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid

EVS-EN ISO 13370. Hoonete soojuslik toimivus. Soojusülekanne pinnasesse. Arvutusmeetodid

EVS-EN ISO 13789. Thermal performance of buildings — Transmission and ventilation heat transfer coefficients — Calculation method

ISO 12491. Statistical methods for quality control of building materials and components

ISO 16269-6. Statistical interpretation of data — Part 6: Determination of statistical tolerance intervals

3 TERMINID, MÄÄRATLUSED, SÜMBOLID JA LÜHENDID

Standardi rakendamisel kasutatakse alljärgnevalt esitatud termineid ja määratlusi.

3.1 Terminid

3.1.1

soojus; soojushulk Q, J ($W \cdot s, 0,2388 \text{ cal}$) (*heat; quantity of heat*)

iseloomustab soojusvahetuse teel levivat energiahulka. Soojushulk nimetatakse kokkuleppeliselt positiivseks siis, kui energia suundub süsteemi sisse

3.1.2

soojusvool $\Phi, W = J/s$ (*heat flow rate*)

soojushulk, mis kandub ajaühikus läbi vaadeldava pinna

3.1.3

soojusvoo (ka soojusvoolu tihedus) $q, W/m^2$ (*heat flux*)

soojusvool vaadeldava pinna pindalaühiku kohta

3.1.4

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

materjali omadus, mis väljendab soojusvoolu vattides, mis läbib 1 meetri paksuse ja 1 m² pinnaga materjalikihi, kui temperatuuride vahe vastastikuste pindade vahel on 1 K. Mitteehtuslikus kasutuses on tarvitusel ka sõnastus „soojusläbivustegur“

3.1.5

soojuserijuhtivus $\lambda_{10}, W/(m \cdot K)$ (*thermal conductivity at an average temperature of 10 °C*)

ehitusmaterjali või -toote soojuserijuhtivuse mõõteväärtus materjalil, mille keskmine temperatuur on +10 °C

3.1.6

soojuserijuhtivus $\lambda_{90/90}, W/(m \cdot K)$ (*thermal conductivity $\lambda_{90/90}$*)

soojuserijuhtivuse piirsuurus, mis esindab vähemalt 90 % ehitusmaterjali või -toote toodangust ja on leitud usaldusnivool 90 %

3.1.7

deklareeritud soojuserijuhtivus $\lambda_D, W/(m \cdot K)$ (*declared value of the thermal conductivity*)

ehitusmaterjali või -toote soojuserijuhtivus soojuse ja niiskuse referentsitingimustel, mille deklareerib tootja soojuserijuhtivuse mõõtetulemuste järgi, on antud kindlaksmääratud kvantiili ja usaldusnivoo kohta ning vastab normaalingimustes põhjendatud oodatavale kasutuseale. Mõõdetakse standardi EVS-EN ISO 10456 või asjaomase tootestandardi järgi. Tootja vastutab deklareeritud soojuserijuhtivuse määramise eest. Tootja peab tõendama ja tagama oma toote vastavust deklareeritud väärtustele. Ehitusmaterjalide soojuserijuhtivuse omadusena tuleb alati esitada deklareeritud soojuserijuhtivus $\lambda_D, W/(m \cdot K)$

3.1.8

arvutuslik soojuseri juhtivus λ_d , **W/(m • K)** (ka λ_{design} : EVS-EN 1745; *design value of the thermal conductivity*)

ehitusmaterjali või -toote soojuseri juhtivus teatud kindlates välis- ja sisetingimustes, mida võib pidada tarindisse kuuluva materjali või toote toimivusele tüüpiliseks; ehitusmaterjalil või -tootel võib olla rohkem kui üks soojuseri juhtivuse arvutussuurus sõltuvalt eri kasutus- ja keskkonningimustest

3.1.9

soojustakistus R , **m² • K/W** (*thermal resistance*)

kindla paksusega toote või elemendi omadus takistada soojuse voogu (üldiselt soojuslähivuse teel) läbi toote või elemendi (pinnalt pinnale) statsionaarsetes tingimustes ja on arvutatav valemistest $R = \frac{T_1 - T_2}{q}$,

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

3.1.10

deklareeritud soojustakistus R_D , **m² • K/W** (*declared value of the thermal resistance*)

toote soojustakistus, mille deklareerib tootja soojuseri juhtivuse mõõtetulemuste järgi. Tootja vastutab deklareeritud soojustakistuse määramise eest. Tootja peab tõendama oma toote vastavust deklareeritud väärtusele. Ehitusmaterjalide ja -toodete soojustakistusena tuleb alati esitada deklareeritud soojustakistus λ_D , **W/(m • K)**

3.1.11

arvutuslik soojustakistus R , **m² • K/W** (*design value of the thermal resistance*)

toote soojustakistus arvutuslikel sise- ja välisingimustel, mis vastavad tegelikele tingimustele, milles antud toode kui ehitise koostisosa peab hakkama toimima; tootel võib olla rohkem kui üks soojustakistuse arvutussuurus olenevalt eri kasutus- ja keskkonningimustest

3.1.12

piirdetarindi kogusoojustakistus R_{tot} , **m² • K/W** (*total thermal resistance*)

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

3.1.13

soojuslähivus U , **W/(m² • K)** (*thermal transmittance*)

tarindi omadus, mis väljendab soojusvoolu (üldisemas mõttes: juhtivus + konvektsioon + kiirgus) vattides läbi 1 m² pinnaga tarindi, kui temperatuuride vahe eri keskkondade vahel on 1 K; arvutatav valemistest

$$U = \frac{\Phi}{(T_1 - T_2) \cdot A}; U = \frac{1}{R_{tot}}$$

Mitteehituslikus kasutuses on tarvitusel ka termin „soojuslähikandegur“ ja ajalooliselt on kasutuses olnud termin „soojusjuhtivus“ (ingl *thermal conductance*)

3.1.14

piirdetarind (*building fabric, building envelope*)

ehitise põhiosa või piire, nagu sein, põrand, vahelagi, uks, aken, katus, mis eraldab ruumi teisest ruumist, välisõhust või pinnasest. Inglisekeelset mõistet *building envelope* kasutatakse konkreetsemalt välispiirdetarindite kohta

3.1.15

soojustus (ka soojustusmaterjal, soojusisolatsioonimaterjal) (*thermal insulation*)

materjalikiht soojuslevi oluliseks takistamiseks

3.1.16

soojuslikult homogeenne kiht (*thermally homogeneous layer*)

konstantse paksusega kiht, mille soojuslikud omadused on ühetaolised või mida võib käsitleda ühetaolistena

3.1.17

tarindi liitekohta või kahemõõtmelise külmasilla joonsoojuslähivus Ψ , W/(m • K) (*linear thermal transmittance; linear thermal conductance*)

tarindite liitekohta või joonkülmasilla kaudu toimuv soojusvool vattides temperatuuride erinevusel üks kraad tarindi liitekohta või joonkülmasilla pikkuse kohta. Soojusvool läbi tarindi liitekohta või joonkülmasilla on statsionaarsetes tingimustes arvatav valemiga $\Phi = \Psi \cdot l_f \cdot (T_1 - T_2)$, W, kus l_f on tarindi liitekohta pikkus, m. Leiab kasutust joonsoojuslähivuse arvutust nii sisemõõtude kui ka välimõõtude alusel. Eesti hoonete energiatõhususe arvutusmeetodi kohaselt kasutatakse sisemõõtude alusel arvatud joonsoojuslähivust

3.1.18

tarindist läbiviigu ja punkt- või kolmemõõtmelise külmasilla punktsoojuslähivus χ , W/K (*point thermal transmittance; point thermal conductance*)

tarindist läbiviigu või punktkülmasilla kaudu toimuv soojusvool vattides temperatuuride erinevusel üks kraad tarindist läbiviigu või punkt külmasilla kohta. Soojusvool läbi tarindist läbiviigu või punkt külmasilla on statsionaarsetes tingimustes arvatav valemiga $\Phi = \chi \cdot n \cdot (T_1 - T_2)$, W

3.1.19

kuiv olek (*dry state*)

olek pärast kuivatamist (asjakohastele standarditele vastavatel tingimustel)

3.2 Sümbolid ja ühikud

Sümbol	Sisu	Ühik
A	pindala	m ²
F_m	niiskuse mõju arvestav tegur	
F_T	temperatuuri mõju arvestav tegur	
P	üldkogumi kvantiil	%
R	arvutuslik soojustakistus	m ² • K/W
R_g	õhkvahe soojustakistus	m ² • K/W
R_{se}	piirdetarindi välispinna soojustakistus	m ² • K/W
R_{si}	piirdetarindi sisepinna soojustakistus	m ² • K/W
R_{tot}	piirdetarindi kogusoojustakistus (soojusülekanal keskkonnast keskkonda)	m ² • K/W
$R_{tot,upper}$	piirdetarindi kogusoojustakistuse ülempiir	m ² • K/W
$R_{tot,lower}$	piirdetarindi kogusoojustakistuse alampiir	m ² • K/W
R_u	kütmata ruumi soojustakistus	m ² • K/W
U	piirdetarindi soojuslähivus	W/(m ² • K)
d	kähi paksus	m
f_u	massipõhine niiskusteisendustegur	kg/kg
f_w	mahupõhine niiskusteisendustegur	m ³ /m ³
u	massipõhine niiskussisaldus	kg/kg
λ	materjali soojuseriivjuhtivus	W/(m • K)
Ψ	tarindi liitekohta või kahemõõtmelise külmasilla joonsoojuslähivus	W/(m • K)
ρ	materjali tihedus	kg/m ³
ψ	mahupõhine niiskussisaldus	m ³ /m ³
χ	tarindist läbiviigu või kolmemõõtmelise külmasilla punktsoojuslähivus	W/K

3.3 Lühendid, alaindeksid

Lühend, alaindeks	Sisu	Ingliskeelne vaste
i	sise-	<i>interior</i>
e	välis-	<i>exterior</i>
s	pind	<i>surface</i>
si	sisepind	<i>interior surface</i>
se	välispind	<i>exterior surface</i>
od	juhtivus	<i>conduction</i>
cv	konvektsioon	<i>convection</i>
r	radiatsioon; kiirgus	<i>radiation</i>
c	kontakt	<i>contact</i>
g	gaas, ruum	<i>gas, space</i>
a	õhk, ümbrus; keskkond	<i>ambient air</i>
tot	kogu	<i>total</i>
upper	ülemine	<i>upper</i>
lower	alumine	<i>lower</i>
mean	keskmine	<i>mean</i>
EPS	paisutatud polüstüreen (vahtpolüstüreen)	
XPS	ekstrudeeritud vahtpolüstüreen (pressitud polüstüreen)	
PIR	polüüretaan	
PIR	polüisotsüanuraat	

4 ÜLDIST

4.1 Materjali soojuserijuhtivus

Materjali soojuserijuhtivus λ , W/(m • K) on materjali omadus, mis väljendab soojusvoolu vattides, mis läbib 1 meetri paksuse ja 1 m² pinnaga materjalikihi, kui temperatuuride vahe vastastikuste pindade (kihi välispindade) vahel on 1 K. Seda saab arvutada valemiga $\dot{q} = -\lambda \cdot \Delta T$. Märk „-“ näitab, et soojusvool on kõrgemalt temperatuurilt madalama suunas. Eri allikatest võib soojuserijuhtivusele leida mitu vastet:

λ_{lab}	laborikatse tulemuste keskmine suurus;
λ_{10}	soojuserijuhtivuse mõõteväärtus materjalil, mille keskmine temperatuur on +10 °C. Üldjuhul on materjali enne katsetamist hoitud temperatuuri juures +23 °C ja materjali niiskussisaldus vastab olekule keskkonnas, kus ümbritseva õhu suhteline niiskus on RH 50 %;
$\lambda_{10, dry}$	soojuserijuhtivuse mõõteväärtus absoluutselt kuival materjalil, mille keskmine temperatuur on +10 °C; soojuserijuhtivuse baasväärtus, mida kasutatakse müüritise ja müüritoodete arvutuslike soojusväärtuste määramisel standardi EVS-EN 1745 järgi. $\lambda_{10, dry}$ väärtust ei tohi kasutada tarindi soojustakistuse ja soojuslähivuse arvutamisel, kuna tavatingimuste suurem niiskussisaldus mõjutab müüritise soojuserijuhtivust võrreldes kuiva oleku omaga;
λ_D	deklareeritud soojuserijuhtivus on tootja deklareeritud materjali soojuserijuhtivus, mille tagamist ta suudab kindlustada; tootja peab tõendama oma toote vastavust deklareeritud väärtustele; müüritise standardis EVS-EN 1745 nimetatakse soojuserijuhtivuse baasväärtuseks. Ehitusmaterjalide soojuserijuhtivuse omadusena tuleb alati esitada deklareeritud soojuserijuhtivus λ_D , W/(m • K);

λ_D	arvutuslik soojuserijuhtivus, mille arvutamise aluseks on λ_D ja mida muudetakse eksploatatsioonitingimustest tingitud parandust (temperatuuri mõju, niiskuse mõju, materjali „vananemise“ mõju) arvestades; hea tava kohaselt esitab tootja materjali soojuserijuhtivuse sõltuvuse eksploatatsioonitingimustest; materjalide soojuslähivuse suurus on esitatud ka standardis EVS-EN 12524:2006 [2];
λ_{design}	arvutuslik soojuserijuhtivus müüritise standardis EVS-EN 1745. Hea tava kohaselt esitab tootja materjali või müüritise soojuserijuhtivuse sõltuvuse eksploatatsioonitingimustest;
λ_{equ} või $\lambda_{design,mor}$	müüritise ekvivalentne soojuserijuhtivus standardis EVS-EN 1745, mis saadakse, jagades antud müürikivi (õõnes- ja komposiitkivide korral) või müüritise paksuse soojustakistusega;
λ_n	varem piirdetarindi projekteerimisel (RakMK – C4 [13]) kasutatud materjali soojuserijuhtivus;
λ	soojuserijuhtivuse üldine suurus, mille kohta puudub kasutuse seisukohalt täpsem selgitus. Seda kasutatakse eri ehitusmaterjalide soojuslähivuse võrdlemiseks või materjali omaduste selgitamiseks mittespetsialistidele; pole otseselt kasutatav konkreetsete piirdetarindite soojuslähivuse arvutusel.

Oluline on tähele panna, et eri materjalide puhul võidakse kasutada deklareeritud soojuserijuhtivuse väärtuse puhul eri tähistusi. Näiteks kui soojuserijuhtivuse arvutusväärtuste aluseks olevaid väärtusi tähistatakse soojustusmaterjalide puhul λ_D siis müürikivide puhul nõuavad harmoneeritud tootestandardid esitatavate väärtuste tähistamist $\lambda_{10, dry}$. Selle standardi tähenduses on mõlemad väärtused tõlgendatavad deklareeritud väärtustena, s.t nende väärtuste alusel leitakse arvutuslikud väärtused ja deklareeritud väärtus esitatakse λ_D . Müürikivide puhul võib tootja esitatava deklareeritud soojuserijuhtivuse λ_D leida kas katsetega (vt arvutusnäide 2) või kasutada tabelväärtusi (tuleb kasutada väärtust, mis esindab vähemalt 90 % ehitusmaterjali või -toote toodangust ning on leitud usaldusnivool 90 %: $P = 90 \%$). Müürikivide soojuserijuhtivuse baasväärtus esitatakse keskvaärtusena koos kesk- ja piirväärtuse lahknevusega: näiteks poorbetoonist müüriplokk tihedusega $\leq 300 \text{ kg/m}^3$: $\lambda_D \leq 0,085 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ või $\lambda_D = 0,072 + 0,013 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ (vt standard EVS-EN 1745).

Energiaarvutustes kasutatava müürikivi soojuserijuhtivuse arvutussuuruse leidmisel ei ole keelatud kasutada soojuserijuhtivuse keskmist väärtust ($P = 50 \%$). Sellisel juhul lisatakse arvutussuuruse leidmisel keskmisele väärtusele hajuvusest tingitud lisa. See tagab, et soojuslike omaduste suure hajuvusega korral esindab soojuslähivuse väärtus vähemalt 90 % toodangust. Kui toodang on kvaliteetne, s.t ei omadused ei varieeru ja keskmised ($P = 50 \%$) ja $P = 90 \%$ kvantiili väärtused on samad või väga sarnased.

4.1.1 Deklareeritud soojuserijuhtivus λ_D

4.1.1.1 Arvutuspõhimõtted

Tootja peab esitama materjali kohta vähemalt deklareeritud soojuserijuhtivuse λ_D või deklareeritud soojustakistuse R_D . Tootja vastutab soojuserijuhtivuse ja soojustakistuse deklareeritud väärtuste λ_D ja R_D määramise ja tagamise eest. Deklareeritud soojuserijuhtivus on ümardatud $\lambda_{90/90}$ suurus, vt valem (4.1):

$$\lambda_{90/90} = \bar{\lambda}_{10} + k \cdot S_{\lambda}, \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \quad (4.1)$$

kus:

$\bar{\lambda}_{10}$ soojuserijuhtivuse mõõtetulemuste aritmeetiline keskmine;

k mõõtetulemuste arvust, usaldusnivoost ja kvantiilist sõltuv suurus (ISO 12491);

$$S_{\lambda} \quad \text{mõõdetulemuste standardhälve, } S_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda}_{10})^2}{n-1}} \quad (4.2)$$

$\lambda_{90/90}$ ümardamise täpsus sõltub materjali soojuseri juhtivusest:

$\lambda_{90/90} \leq 0,08$	ümardatakse ülespoole kuni lähima väärtuseni 0,001 ja esitatakse λ_D tasemetena, mille samm on 0,001 W/(m • K);
$0,08 < \lambda_{90/90} \leq 0,2$	ümardatakse ülespoole kuni lähima väärtuseni 0,005 ja esitatakse λ_D tasemetena, mille samm on 0,005 W/(m • K);
$0,2 < \lambda_{90/90} \leq 2,0$	ümardatakse ülespoole kuni lähima väärtuseni 0,01 ja esitatakse λ_D tasemetena, mille samm on 0,01 W/(m • K);
$2 < \lambda_{90/90}$	ümardatakse ülespoole kuni lähima väärtuseni 0,1 ja esitatakse λ_D tasemetena, mille samm on 0,1 W/(m • K).

Kui materjali omadus esitatakse soojustakistusena: $R_{90/90} = \frac{d}{\lambda_{90/90}}$, m² • K/W, tuleb tulemus ümardada allapoole lähima väärtuseni 0,01 (mineraalvilladel ja paisutatud polüstüreenil (EPS) lähima väärtuseni 0,05) või esitada kolme olulise numbriga.

$\lambda_{10,0\%}$ on müüritise standardis EVS-EN 1745 nimetatud λ -baasväärtuseks, mis esitatakse λ -keskväärtusena koos kesk- ja piirväärtuse (ülemine piirväärtus, mis vastavad valmistatud toodete tiheduse piirkonna 90% kvantiilidele usaldusnivool 90 %) lahknevusega.

4.1.1.2 Arvutusnäide 1: soojusmaterjali deklareeritu soojuseri juhtivuse leidmine

Tootja on mõõtnud oma soojusmaterjali soojuseri juhtivuse 15 proovikehal. Mõõtmistel oli materjali keskmine temperatuur +10 °C. Enne mõõtmist hoiti proovikehasid temperatuuril +23 °C ja ümbritseva õhu suhtelise niiskuse RH 50 % juures. Mõõtmistulemused on esitatud alljärgnevas tabelis.

Proovi nr, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Mõõdetud soojuseri juhtivus λ_i , W/(m • K)	0,0371	0,0390	0,0392	0,0378	0,0370	0,0392	0,0387	0,0387	0,0395	0,0382	0,0397	0,0386	0,0408	0,0401	0,0385

Soojuseri juhtivuse mõõdetulemuste aritmeetiline keskmine arvutatakse valemiga

$$\bar{\lambda}_{10} = \frac{\sum \lambda_i}{15} = 0,0384 \text{ W/(m • K)}$$

Mõõdetulemuste standardhälve (vt valem (4.2)) arvutatakse valemiga

$$S_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (\lambda_i - 0,0410)^2}{15 - 1}} = 0,00085 \text{ W/(m • K)}$$

15 mõõdetulemuse korral 90 % usaldusnivool ja 90% kvantiilil $k = 1,87$ (ISO 16269-6) ja valemi 4.1 abil saab arvutada $\lambda_{90/90}$ väärtuse järgmist valemit kasutades:

$$\lambda_{90/90} = 0,0384 + 1,87 \cdot 0,00085 = 0,03999 \text{ W/(m • K)}$$

λ_D arvutamiseks ümardatakse $\lambda_{90/90}$ ülespoole kuni lähima väärtuseni 0,001, seega mõõdetud deklareeritud soojuseri juhtivus $\lambda_D = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

4.1.1.3 Arvutusnäide 2: müüritoote deklareeritud soojuseri juhtivuse leidmine

Müüritoote soojusväärtuste arvutuse standardi EVS-EN 1745 järgi võib deklareeritud soojuseri juhtivuse (λ -baasväärtuse) leida ka materjali soojuseri juhtivuse ja tiheduse mõõtetulemusi ning soojuseri juhtivuse ja tiheduse vahelise seose tabelväärtusi kasutades. Deklareeritud soojuseri juhtivuse määramiseks kasutatakse kolme, eri partiidest võetud katsekehade, tiheduse ja soojuseri juhtivuse mõõtmistulemust. Neid mõõtmistulemusi kasutatakse määratletud toodangu soojuseri juhtivuse/tiheduse sõltuvusgraafiku ning tabeliandmetel põhineva soojuseri juhtivuse/tiheduse sõltuvusgraafiku lahknevuse määramiseks.

Tootja on mõõtnud oma müürimaterjali soojuseri juhtivuse 4 proovikehal, vt tabel 4.1.

Tabel 4.1 — Soojuseri juhtivuse ja materjali tiheduse andmed

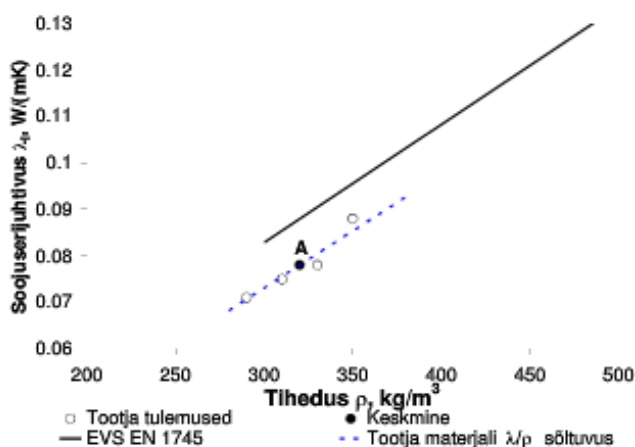
Proovi nr, i	Soojuseri juhtivus $\lambda_{10, dry}$, W/(m • K)	Tihedus ρ , kg/m ³
Tootja mõõdetud tulemused		
1	0,071	290
2	0,075	310
3	0,078	330
4	0,088	350
Standardi EVS-EN 1745 järgsed tabelväärtused autoklaavitud poorbetonist müüriploki kohta teatud tihedusega materjali soojuseri juhtivuse esinemispiirkonna 90% kvantiil		
	0,085	300
	0,11	400
	0,13	500

Soojuseri juhtivuse mõõtetulemuste aritmeetiline keskmine arvutatakse valemiga

$$\bar{\lambda}_{10, dry} = \frac{\sum \lambda_i}{4} = 0,078 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Kõigi nelja proovi keskmine aritmeetiline tihedus arvutatakse valemiga $\bar{\rho}_{dry} = \frac{\sum \rho_i}{4} = 320 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Läbi keskmist soojuseri juhtivust ja keskmist tihedust esindava punkti A (vt joonis 4.1) joonestatakse soojuseri juhtivuse/tiheduse sõltuvusgraafik (vt punktiirjoon joonis 4.1) paralleelselt standardi EVS-EN 1745 kohase üldise soojuseri juhtivuse/tiheduse sõltuvusgraafikuga (vt jämejoon joonis 4.1).



Joonis 4.1 — Müürimaterjali deklareeritud soojuseri juhtivuse leidmine

Standardi EVS-EN ISO 10456 kohaselt tuletatakse ülemine ja alumine piirväärtus, mis vastavad valmistatud toodete tiheduse piirkonna 90% ja 10% kvantiilidele usaldusnivool 90 %. Deklareeritud soojuseri juhtivus (baasväärtus) esitatakse soojuseri juhtivuse keskväärtusena koos kesk- ja piirväärtuse lahknevusega.

Mõõtetulemuste standardhälve arvutatakse valemiga $S_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\lambda_i - 0,078)^2}{4-1}} = 0,0073 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

4 mõõtetulemuse korral 90 % usaldusnivool ja 90% kvantiilil $k = 3,19$ (ISO 16269-6), mida saab leida järgmisi valemeid kasutades:

$$\Delta\lambda_{90/90} = k \cdot S_{\lambda} = 3,19 \cdot 0,0073 = 0,0232 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$\lambda_{90/90} = \bar{\lambda}_{10,90} \pm \Delta\lambda_{90/90} = 0,078 \pm 0,0232$$

λ_D arvutamiseks ümardatakse $\lambda_{90/90}$ ülespoole kuni lähima väärtuseni 0,001, seega deklareeritud soojuseri juhtivus $\lambda_D = 0,101 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Seda leitud suurust kasutatakse arvutusliku soojuslähivuse leidmiseks (vt jaotis 4.1.2.3, arvutusnäide 4). Sõltuvalt plokkidevahelise vuugi paksusest ja vuugimõrdi soojuseri juhtivusest võib tekkida vajadus ka arvestada vuukide mõju.

Materjali omaduste püsivus ja tehtud mõõtmiste arv ehk toodangu kvaliteet mõjutab ka deklareeritud soojuseri juhtivuse suurust. Näiteks eeltoodud materjali puhul on kümne mõõtmistulemuse alusel arvutatud deklareeritud soojuseri juhtivus $\lambda_D = 0,090 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Müüritise puhul võib tootja esitada deklareeritud soojuseri juhtivuse ka ise, kasutades standardi EVS-EN 1745 tabelväärtusi. Tuleb kasutada väärtust, mis esindab vähemalt 90 % ehitusmaterjali või -toote toodangust ning on leitud usaldusnivool 90 %: $P = 90 \%$.

4.1.2 Arvutuslik soojuseri juhtivus λ_D

Materjali soojuseri juhtivus on materjalis toimuva soojusjuhtivuse (poorisein ja pooris olev gaas), konvektsiooni ja soojuskiirguse summa ning sõltub:

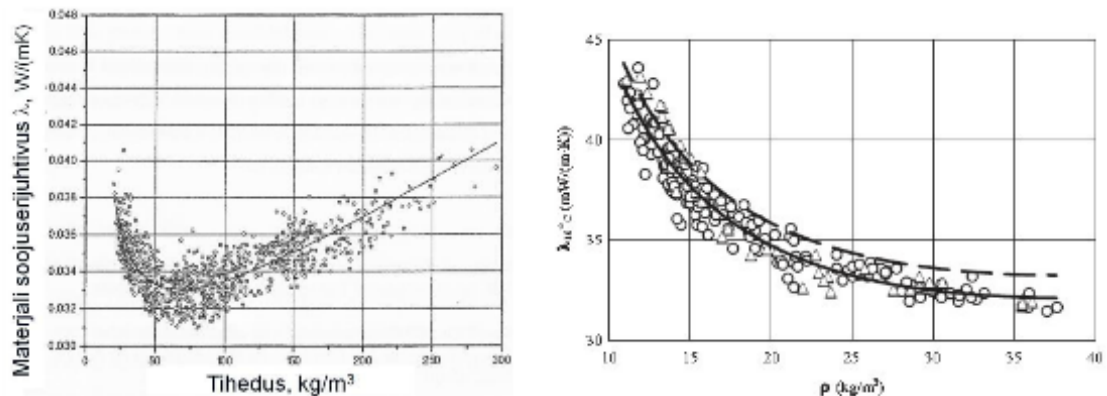
— materjali tihedusest (vt joonis 4.2);

- pooristruktuurist, poori suurusest, poorirõhust (alarõhust), (vt joonis 4.3);
- omaduste ajalisest muutusest (näiteks geomeetria muutus, inertsgaaside difusioon ehitusmaterjalist või -tootest) (vt joonis 4.4);
- niiskusest (vt joonis 4.5);
- temperatuurist (vt joonis 4.6).

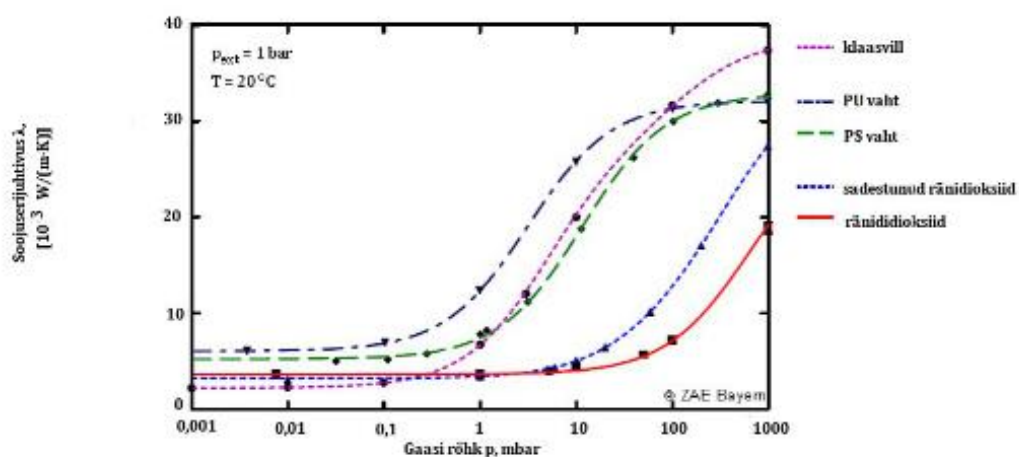
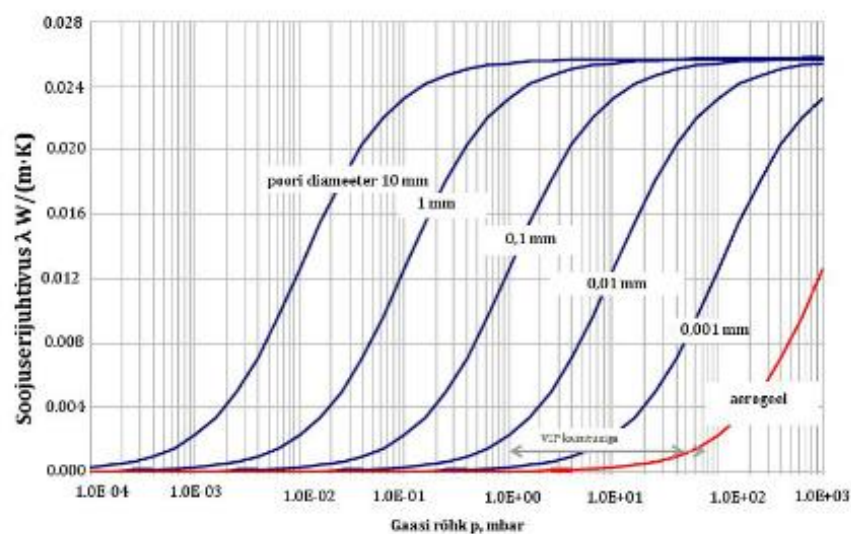
Nendest soojuseriitvuse mõjutajatest (materjali tihedus, pooristruktuurist, poori suurus, poorirõhk, omaduste ajaline muutus) kolm esimest sõltuvad suurel määral materjali tootmisest ja on tootja tootmisohjega tagatavad. Kaks viimast, st keskkonnatingimused (temperatuur ja niiskus), milles materjal on, sõltuvad palju konkreetsest projektlahendusest ja on võimalik projekteerimise käigus arvesse võtta.

Iga materjalitootja ülesanne on tunda oma toodet ja selle omaduste sõltuvust keskkonnatingimustest, eelkõige niiskusest ja temperatuurist. Materjaliomaduste sõltuvuse keskkonnatingimustest saab teada mõõtmiste ja katsetuste abil. Materjalitootja ülesanne on anda projekteerijale mõõtmisandmetel põhinevat teavet soojuseriitvuse keskkonnasõltuvusest. Seda teavet saab anda otse soojuseriitvuse ja keskkonnatingimuste sõltuvuse esitamise (vt näiteks joonis 4.5 ja joonis 4.6). Otseste mõõteandmete puudumisel saab esitada temperatuuri- ja niiskusepõhised teisendustegureid, mis on saadud teada konkreetse materjali katsetuste alusel. Ka nende andmete puudumisel on võimalik lähtuda standardites esitatud, eelkõige suunda andvatest parameetritest. Tuleb siiski selgelt teadvustada, et see on kõige ebatäpsem meetod.

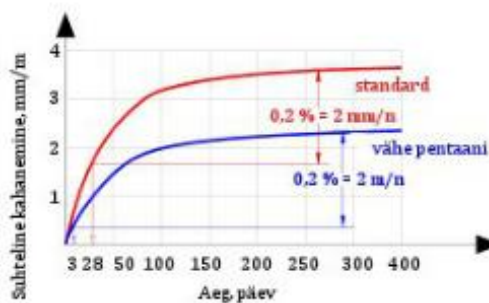
Alljärgnevalt on toodud mõned näited nendest sõltuvustest.



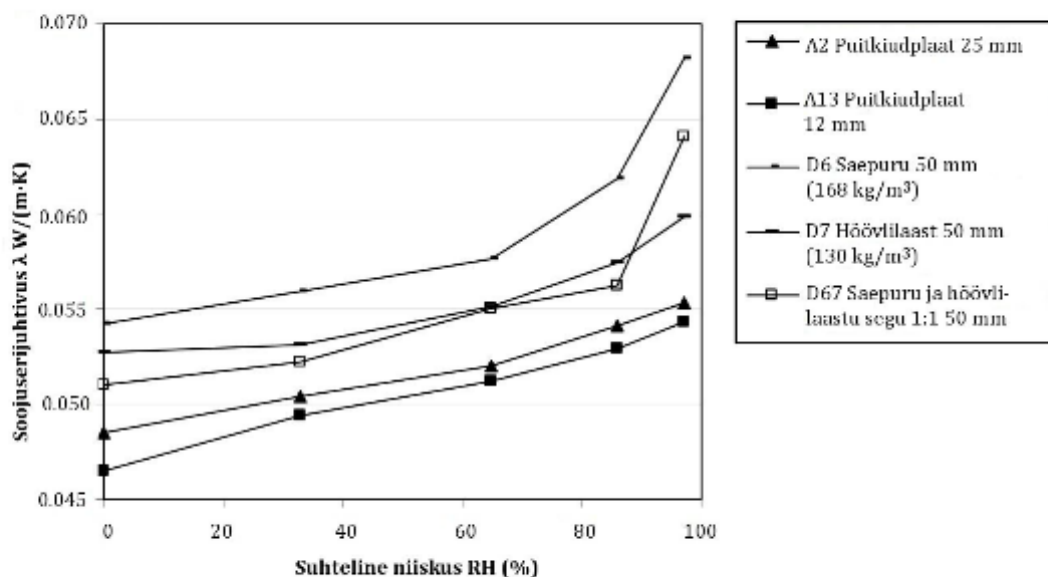
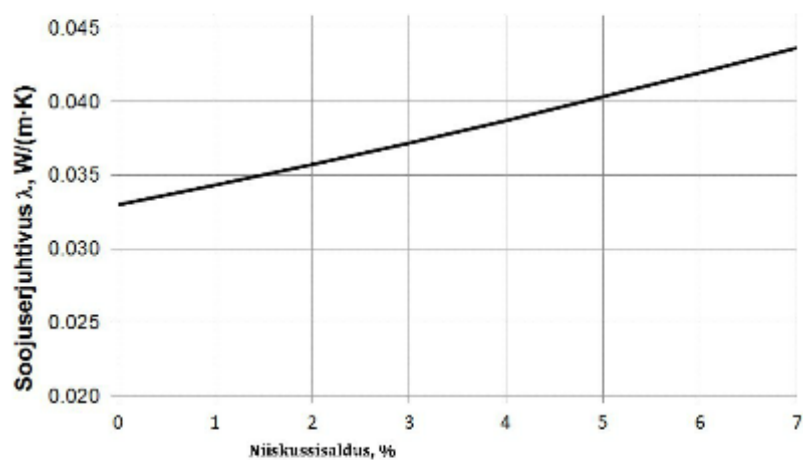
Joonis 4.2 — Näide: mineraalvilla (vasakul [9]) ja paisutatud polüstireeni (EPS, paremal [7]) soojuseriitvuse sõltuvus materjali tihedusest



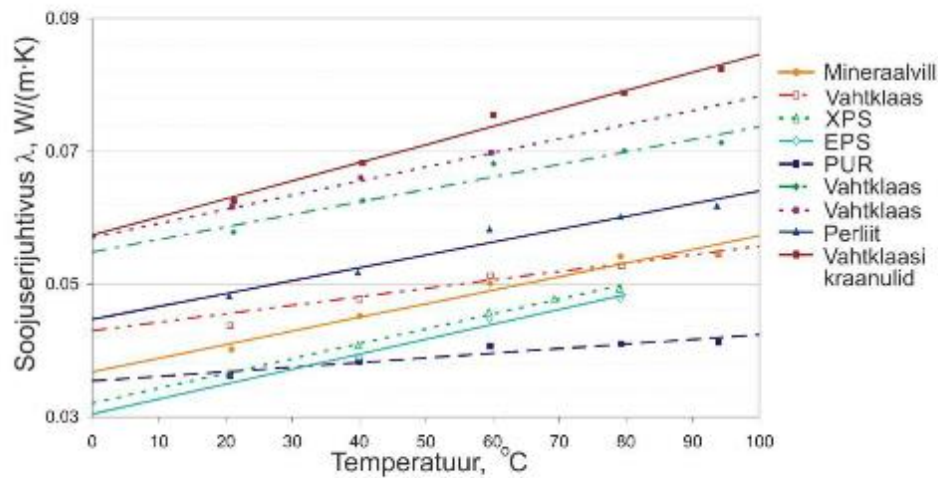
Joonis 4.3 — Näide gaasi soojuseri juhtivuse sõltuvusest poorse materjali poori suurusest ja gaasi rõhust (vasakul) ning vaakumisulatsioonipaneeli materjalist (paremal) [9]



Joonis 4.4 — Näide paisutatud polüstireeni (EPS) geometria muutusest aja jooksul, mis mõjutab ka soojuseri juhtivust [10]



Joonis 4.5 — Näide paisutatud polüstireeni (EPS) soojuseriitvuse sõltuvusest niiskussisaldusest (vasakul, vt standard EVS-EN ISO 10456) ja puidupõhiste soojustusmaterjalide soojuseriitvuse sõltuvusest suhtelisest niiskusest (paremal, [16])



Joonis 4.6 — Näide materjalide soojuseri juhtivuse temperatuurisõltuvusest [11]

4.1.2.1 Arvutusliku soojuseri juhtivuse määramispõhimõtted teisendustegurite abil

Piirdetarindi soojuslähivuse arvutustes tuleb kasutada arvutuslikke soojuseri juhtivuse (λ_U) või soojustakistuse (R_U) suurus. Arvutuslikud suurused λ_U ja R_U arvestavad soojustuse paigalduskeskkonna mõjusid. Arvutuslikud suurused tuleb esitada eelkõige tootja katsetele tuginedes. Tootja andmete puudumisel saab selle arvutada tootja või projekteerija standardi EVS-EN ISO 10456 järgi, vt valemid (4.3), (4.4), või standardi EVS-EN 1745 järgi.

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a, \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \quad (4.3)$$

$$R = \frac{R_D}{F_T \cdot F_m \cdot F_a}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (4.4)$$

kus:

F_T temperatuuri mõju arvestav tegur, vt valem (4.5);

F_m niiskuse mõju arvestav tegur, vt valem (4.6);

F_a aja mõju arvestav tegur.

$$F_T = e^{f_r \cdot (T_2 - T_1)} \quad (4.5)$$

kus:

f_r temperatuuripõhine teisendustegur, 1/K;

T_1 materjali keskmine temperatuur soojuseri juhtivuse mõõtmise ajal (tavaliselt +10 °C), K;

T_2 materjali keskmine temperatuur tarindis (kui soojuseri juhtivuse mõju on kõige olulisem, tavaliselt kütteperioodi keskmine), K.

Temperatuuripõhise teisendusteguri f_r suurus võib peale materjali sõltuda ka materjali deklareeritud soojuseri juhtivusest, materjali paksusest ja materjali pinna omadustest.

Tavaliste siseruumide ja väliskeskonna vahelises tarindis oleva soojustusmaterjali keskmist temperatuuri võib pidada üldjuhul vastavaks $+10\text{ °C}$ kraadile ($t_i 20\text{ °C}$, $t_e 0\text{ °C}$). Hoonet ümbritseva külma keskoostuse korral, vundamendi või sokli soojustuse korral võib soojustuse keskmine temperatuur olla madalam ja soojustusmaterjali keskmist temperatuuri võib pidada vastavaks -5 °C . Samuti võib olla materjali temperatuur madalam, kui tegemist on tarindis oleva õhukese kihiga, näiteks tuuletõkkeplaadiga. Niiskuse mõju arvestavat tegurit saab leida järgmist valemit kasutades:

$$F_m = e^{f_u \cdot (u_2 - u_1)} \text{ või } F_m = e^{f_\psi \cdot (\psi_2 - \psi_1)} \quad (4.6)$$

kus:

- f_u niiskuse massipõhine teisendustegur, kui materjali niiskussisalduse mõõtühikuks on kg/kg;
- u_1 materjali keskmine massipõhine niiskussisaldus soojuseri juhtivuse mõõtmise ajal, kg/kg müürimaterjali puhul on $u_1 = 0$;
- u_2 materjali keskmine massipõhine niiskussisaldus tarindis vaadeldaval perioodil, kg/kg müürimaterjali puhul on $u_2 = u_{design}$;
- f_ψ niiskuse mahupõhine teisendustegur, kui materjali niiskussisalduse mõõtühikuks on m^3/m^3 ;
- ψ_1 materjali keskmine mahupõhine niiskussisaldus soojuseri juhtivuse mõõtmise ajal, m^3/m^3 ;
- ψ_2 materjali keskmine mahupõhine niiskussisaldus tarindis vaadeldaval perioodil, m^3/m^3 .

Niiskuse mõju materjali soojuslähivusele sõltub materjali hügrokoopisusest ehk materjali võimest siduda enesega vett või veeauru ja tarindi võimalusest saada kontakti niiske keskkonnaga. Hügrokoopisuse järgi võib soojustusmaterjalid jagada:

- mittehügrokoopised või vähehügrokoopised materjalid, mille niiskussisaldus hügrokoopises alas ($RH < 98\%$) on alla kahe protsendi kuivmassist: mineraalvill, paisutatud polüstüreen EPS, vahtpolüuretaan PUR, vahtklaas, keramsiit, polüestervill;
- hügrokoopised materjalid, mille niiskussisaldus hügrokoopises alas ($RH < 98\%$) on üle kahe protsendi kuivmassist: tsellulivill, puit- ja taimekiust soojustusmaterjalid, saepuru, termoliit, hõõvlilaast

Tarindi niiskumise võimaluse järgi võib tarindid ja ehitusmaterjalid jagada:

- kuivana püsivad tarindid ja ehitusmaterjalid ehk tarindid, millesse ei kogune liigniiskust. Sellised tarindid on maapealsed tarindid ja ehitusmaterjalid, mis on projekteeritud toimima kuivana, ning maaga kontaktis olevad tarindid, mille soojustus on kaitstud pinna- ja pinnasevee eest (näiteks pinnasele toetatud põranda soojustus, mille alla on tehtud pinnaseniiskuse 20 cm kuni 30 cm paksune kruusast või killustikust dreniv ja kapillaartõusu takistav kiht);
- niiskes keskkonnas olevad tarindid ja ehitusmaterjalid, mille niiskussisaldus ületab projekteeritud kasutustingimustes hügrokoopse tasakaaluniiskuse piiri. Sellised tarindid võivad olla näiteks pööratud katused või pinnases olev soojustus, mis võib olla kontaktis pinna- või pinnaseveega (siiski mitte ajutiselt või püsivalt põhjaveega kontaktis olev soojustus).

Niiskuse mõju mittehügrokoopsete või vähehügrokoopsete materjalide soojuseri juhtivusele on väike ja kuivas keskkonnas üldjuhul see ei mõjuta soojuseri juhtivuse arvutussuurest ($\lambda_D \approx \lambda_U$). Hügrokoopsete soojustusmaterjalide puhul ja niiskes keskkonnas (sh pinnases) olevate tarindite ja ehitusmaterjalide puhul tuleb niiskuse mõju soojuseri juhtivuse arvutussuurele kindlasti arvesse võtta.

Teisendustegur F_0 arvestab soojustehniliste omaduste muutust aja jooksul. Materjali omaduste muutus aja jooksul sõltub materjali tüübist, kattest, struktuurist, keemilisest koostisest, paksusest, keskkonnatingimustest jne. Seetõttu ei saa väga lihtsate reeglite abil materjali vananemise mõju hinnata. Konkreetse materjali vananemist on võimalik hinnata katsetele tuginevate mudelite abil. Materjali vananemine võib mõjutada soojustuse soojuseri juhtivust (näiteks teatud vahtplastsoojustustel, kui materjalis olev vääriskaas difundeerub aja jooksul materjalist välja). Aja jooksul võib toimuda ka soojustuse paksuse vähenemine, mis tuleb samuti arvesse võtta. Kuna aja jooksul materjaliomaduste muutus sõltub eelkõige konkreetsest tootest, peaks see mõju olema arvestatud deklareeritud soojuseri juhtivuse määramisel. Sellisel puhul tuleb teha soojuseri juhtivuse mõõtmised tavapärase turustuse ajal ja 5 kuni 10 aastat pärast seda. Nii saab osutada, kui palju materjaliomadused aja jooksul püsivad või muutuvad. On võimalik teha ka kiirendatud vananemise katseid: pärast 175 päeva hoidmist +70 °C juures [vt standardid EVS-EN 13165, EVS-EN 14315-1, EVS-EN 14315-2] või 14 päeva hoidmist +110 °C juures [vt standard EVS-EN 13166].

Peale eeltoodud temperatuuri, niiskuse ja aja mõju mõjutab materjali soojuslähivust ka õhu liikumine tema sees ehk materjalisisene konvektsioon. Olulist rolli võib see mängida külmas kliimas avatud struktuuriga soojustusmaterjalidel, seega Eestis kergete mineraalvillade korral. Soojustusesisene konvektsioon sõltub materjali õhueri juhtivusest, soojustuse paksusest ja temperatuuride erinevusest kahel pool materjali. Standard EVS-EN ISO 10456 annab piirsuurused, millal loomulikust konvektsioonist tuleneva soojuseri juhtivuse korrigeerimise arvestamine pole vajalik. Kuna praegusel ajal puudub soojuseri juhtivuse arvutussuuruse määramisel soojustusesisese konvektsiooni arvessevõtmiseks üldiselt tunnustatud meetod, on selles standardis soojustuse õhujuhitvuse mõju võetud arvesse piirdetarindi soojuslähivuse määramisel.

Deklareeritud soojuseri juhtivus λ_D sobib arvutusväärtuseks λ_{ek} kui soojuseri juhtivuse mõõtettingimused vastavad keskkonnatingimustele hoone tarindis:

- materjali keskmine temperatuur on +10 °C;
- materjali niiskussisaldus tarindis ei erine katsete niiskuselikust olukorrast;
- soojustuse soojuseri juhtivus ei muutu aja jooksul pöördumatult või see on arvesse võetud juba deklareeritud soojuseri juhtivuse määramisel.

Soojuseri juhtivuse arvutussuurus λ_U ümardatakse analoogselt jaotises 4.1.1 toodud reeglitega:

- soojuseri juhtivus, lähima kõrgema väärtuseni, W/(m • K);
- soojustakistus, lähima madalama väärtuseni, m² • K/W.

Temperatuuri ja niiskuse teisendustegureid, vt tabelid 4.2 ja 4.3, võib kasutada juhul, kui konkreetse toote kohta andmed puuduvad. Alati tuleb eelistada tootja esitatavaid konkreetse materjali kohta olevaid andmeid.

Tabel 4.2 — Eestis enam levinud soojustusmaterjalide teisendustegurite üldised väärtused (soojuserijuhtivuse väärtused on materjalide identifitseerimiseks, sõltuvalt konkreetsest materjalist ja materjali kasutusviisist võivad väärtused muutuda) (vt standard EVS-EN ISO 10456) [2]

Materjal	Toote iseloomustus	Soojus-erijuhtivus* λ , W/(m · K)	Temperatuuripõhine teisendustegur f_r , 1/K	Niiskuspõhine teisendustegur			
				u , kg/kg	f_a , kg/kg	Ψ , m ³ /m ³	f_v , m ³ /m ³
Mineraalvill	Rull-, plaat- ja puistevill	0,035	0,0046				
		0,040	0,0056				
		0,045	0,0062				
		0,050	0,0069				
	Plaadid	0,032	0,0038			< 0,15	4
		0,034	0,0043				
		0,036	0,0048				
	Jäigad plaadid	0,038	0,0053				
		0,030	0,0035				
		0,033	0,0035				
Paisutatud polüstüreen, EPS	Paksus < 20 mm	0,035	0,0035				
		0,040	0,0041				
		0,043	0,0044				
		0,032	0,0030				
	Paksus 20 mm kuni 40 mm	0,035	0,0034				
		0,040	0,0036				
		0,032	0,0030			< 0,10	4
	Paksus 40 mm kuni 100 mm	0,035	0,0033				
		0,040	0,0036				
		0,045	0,0038				
		0,050	0,0041				
	Paksus > 100 mm	0,032	0,0030				
		0,035	0,0032				
		0,040	0,0034				
0,053		0,0037					
Ekstrudeeritud vahtpolüstüreen, XPS	Viimistluskihita	0,025	0,0046				
		0,030	0,0045				
		0,040	0,0045				
	Viimistluskihiga, viimistluseta peenpoorsed tooted	0,025	0,0040				
		0,030	0,0036			< 0,10	2,5
		0,035	0,0035				
	Veekindla kattekihiga	0,025	0,0030				
		0,030	0,0028				
		0,035	0,0027				
		0,040	0,0026				
Vahtpolüüretaan, PUR	Viimistluseta tooted	0,025	0,0055				
		0,030	0,0050			< 0,15	6
	Veekindla viimistlusega peenpoorsed tooted	0,022	0,0055				
		0,025	0,0055				

Tabel 4.2 (järg)

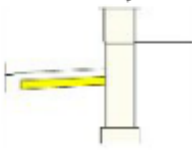
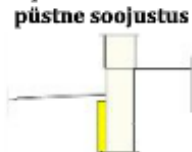
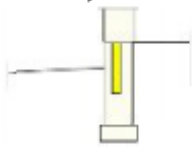
Materjal	Toote iseloomustus	Soojus- erijuhtivus* $\lambda, W/(m \cdot K)$	Temperatuuripõhine teisendustegur $f_r, 1/K$	Niiskuspõhine teisendustegur			
				$u,$ kg/kg	$f_u,$ kg/kg	$\Psi,$ m^3/m^3	$f_\Psi,$ m^3/m^3
Vahtklaas		0,035	0,0043	0	0		
		0,040	0,0037				
		0,045	0,0033				
		0,050	0,0030				
		0,055	0,0027				
Polüesterkiust soojustus		0,040	0,0055			< 0,15	4
		0,045	0,0065				
Puitkiudplaat	$u_{23^\circ C, RH50\%} = 0,1$ kg/kg $u_{23^\circ C, RH80\%} = 0,16$ kg/kg	0,07	0,0040			< 0,05	1,4
		0,08	0,0041				
		0,09	0,0046				
Puitvill	$\rho < 40$ kg/m ³ $\rho \geq 40$ kg/m ³	kõik	0,0040			< 0,10	1,8
		kõik	0,0035				
Tselluvill	$\rho < 40$ kg/m ³ $\rho \geq 40$ kg/m ³	kõik	0,0040	< 0,20	0,5		
		kõik	0,0035				
Keramsiit, puistena	$u_{23^\circ C, RH50\%} = 0,001$ kg/kg	0,07 kuni 0,15	0,004	< 0,02	4		
Kaltsiumsilikaat		kõik	0,003			< 0,25	10
Puit						< 0,10	2,2

* Soojuserijuhtivuse suurus on informatiivne, kasutatav ainult materjali identifitseerimisparameetrina.

Tabel 4.3 — Eestis enam levinud müürimaterjalide teisendustegurite üldised väärtused (sõltuvalt konkreetsest materjalist ja materjali kasutusviisist võivad väärtused muutuda) (vt standard EVS-EN ISO 10456)

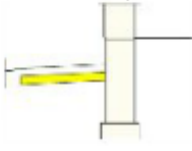
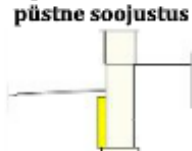
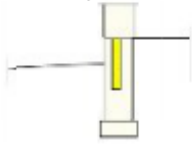
Materjal	Tihedus $\rho,$ kg/m ³	Soojus- erijuhtivus* $\lambda, W/(m \cdot K)$	Temperatuuripõhine teisendustegur $f_r, 1/K$	Niiskussisaldus (23 °C, 50 % RH)		Niiskussisaldus (23 °C, 80 % RH)		Niiskuspõhine teisendustegur			
				$u,$ kg/kg	$\Psi,$ m^3/m^3	$u,$ kg/kg	$\Psi,$ m^3/m^3	$u,$ kg/kg	$f_u,$ kg/kg	$\Psi,$ m^3/m^3	$f_\Psi,$ m^3/m^3
Põletatud savi (savitellis, keraamilised müürikivid)	1000 kuni 2400	kõik	0,001		0,007		0,012			< 0,25	10
Silikaattellis	900 kuni 2200	kõik	0,003		0,012		0,024			< 0,25	10
Betoon, täitematerjaliks ainult keramsiit	400 kuni 700	kõik	0,001	0,02		0,03		< 0,25		2,6	
Betoon, täite- materjaliks pea- miselt keramsiit	800 kuni 1700	kõik	0,001	0,02		0,03		< 0,25		4	
Normaalbetoon, betoontehtiskivi	1600 kuni 2400	kõik	0,001		0,025		0,04			< 0,25	4
Autoklaavne poorbetoon	300 kuni 1000	0,10 0,15 0,4	0,003 0,002 0,001		0,026		0,045		< 0,25	4	
Müürimört, krohvisegu	250 kuni 2000	kõik	0,001							< 0,25	4

Tabel 4.4 — Pinnasega kontaktis oleva soojustuse ja soklisoojustuse niiskussisalduse arvutussuurused (vt standard EVS-EN 13163)

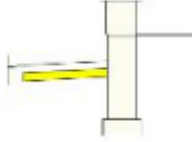
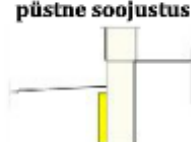
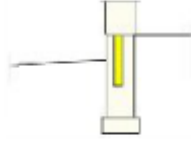
Materjal	Veemavus (uputus 28 päeva EN 12087) mahuprotsent	Niiskussisalduse arvutussuurus ψ , m ³ /m ³		
		Hoone ümber, pinnases olev rõhtne soojustus	Sokli ja keldriseina välispinnas, pinnases olev püstne soojustus	Sokli sees või sokli sisepinnas olev soojustus
				
Paisutatud polüstüreen, EPS	≤ 1 %	0,010	0,007	0
	≤ 2 %	0,020	0,015	0,002
	≤ 3 %	0,030	0,020	0,005
	≤ 5 %	0,040	0,025	0,010
	ei ole määratud	0,050	0,030	0,020
Ekstrudeeritud vahtpolüstüreen, XPS	≤ 0,7 %	0,007	0,005	0
	≤ 1,5 %	0,015	0,010	0
	≤ 3 %	0,030	0,020	0,010
	ei ole määratud	0,050	0,030	0,020
Vahtpolüuretaan, PUR	≤ 0,8 %	0,008	0,005	0
	≤ 1,0 %	0,010	0,007	0
	≤ 1,5 %	0,015	0,010	0
	ei ole määratud	0,050	0,030	0,020

Kui pinnases oleva soojustuse temperatuur langeb alla 0 °C, jääb soojustuses olev vesi või liigniiskus ja soojustuse soojuseri juhtivus suureneb märgatavalt. Seetõttu valem (4.6) ei sobi kasutamiseks jäätunud soojustuse korral.

Tabel 4.5 — Pinnasega kontaktis oleva soojustuse ja soklisoojustuse niiskussisaldusest tulenev lisa soojuseri juhtivusele (vt standard EVS-EN 13163)

Materjal	Veemavus (uputus 28 päeva EN 12087) mahuprotsent	Soojuseri juhtivuse lisa $\Delta\lambda_m$, W(m • K)		
		Hoone ümber, pinnases olev rõhtne soojustus	Sokli ja keldriseina välispinnas, pinnases olev püstne soojustus	Sokli sees või sokli sisepinnas olev soojustus
				
Paisutatud polüstüreen, EPS	≤ 1 %	0,004	0,003	0
	≤ 2 %	0,008	0,006	0,001
	≤ 3 %	0,013	0,008	0,002
	≤ 5 %	0,020	0,011	0,004
	ei ole määratud	0,030	0,013	0,008
Ekstrudeeritud vahtpolüstüreen, XPS	≤ 0,7 %	0,0007	0,0005	0
	≤ 1,5 %	0,0015	0,001	0
	≤ 3 %	0,003	0,002	0,001
	ei ole määratud	0,005	0,003	0,002

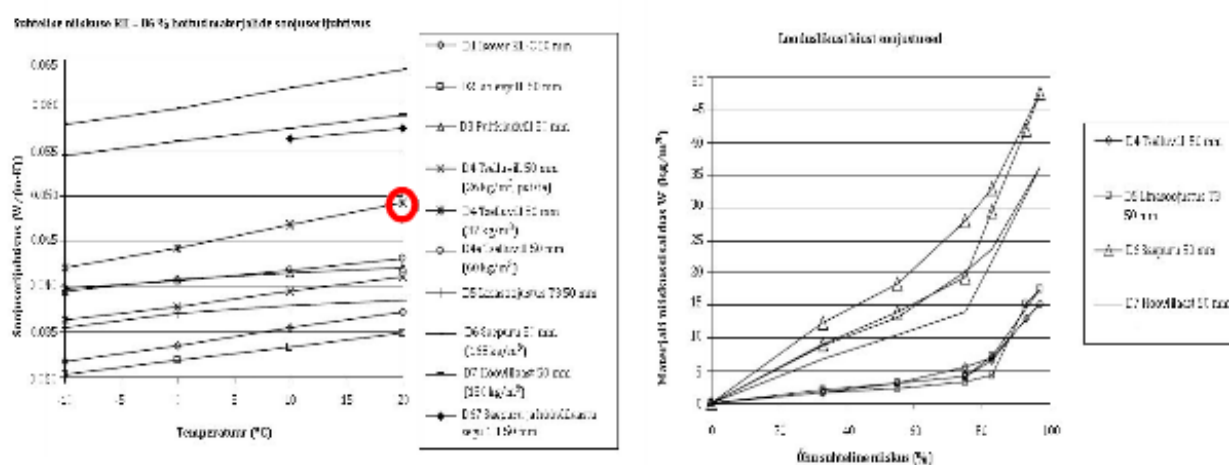
Tabel 4.5 (järg)

Materjal	Veeimavus (uputus 28 päeva EN 12087) mahuprotsent	Soojuseri juhtivuse lisa $\Delta\lambda_m$, W(m • K)		
		Hoone ümber, pinnases olev rõhtne soojustus	Sokli ja keldriseina välispinnas, pinnases olev püstne soojustus	Sokli sees või sokli sisepinnas olev soojustus
				
	≤ 0,8 %	0,0015	0,001	0
Vahtpolüuretaan,	≤ 1,0 %	0,002	0,0015	0
PUR	≤ 1,5 %	0,003	0,002	0,001
	ei ole määratud	0,010	0,006	0,008

Üleminekul NSVL-i projekteerimismidelt Eesti oma projekteerimismidemale 1990. aastate algul oli suurim soojusmaterjalide impordimaa Soome. Seetõttu juurdusid tugevalt ka sealsed ehitismäärused ja projekteerimismid. Soome ehitismääruse järgi kasutati tollel ajal materjali arvutuslikuks soojuseri juhtivuseks λ_n . Soojuseri juhtivuse mõõteväärtusele λ_{10} liideti juurde soojustuse pinnakatte mõju, valmis soojustuse vähese ebaideaalse paigalduse mõju, soojustuse õhujuhitavuse mõju, niiskuse mõju, soojustuse vananemise mõju ja temperatuuri mõju arvestavad lisad. Arvutuslik soojuseri juhtivus λ_n ümardati 10 % sammuga määratud lähimasse kõrgemasse klassi. Standardi EVS-EN ISO 10456 kehtima hakkamisega on ka Soome üle minemas EN ISO standardi järgsele meetodile. Tulenevalt meetodite erinevusest võib sama materjali λ_U ja λ_n väärtused erineda sõltuvalt tingimustest kuni 5 % kuni 30 % (λ_d annab väiksema väärtuse). Kuna teatud erinevuse põhjuste mõjud (paigaldustingimused, õhujuhitavus) võetakse arvesse piirde soojuslähivuse arvutuses, ei ole õige soojuslähivuse arvutuses kasutada koos λ_U ja λ_n väärtusi.

4.1.2.2 Arvutusnäide 3: soojuseri juhtivuse arvutussuuruse leidmine: hügrokoopne soojustus seinas

Tselluvillast soojustuse deklareeritud (+10 °C, RH 50 %) soojuseri juhtivus on $\lambda_d = 0,044$ W/(m • K). Leiame soojuseri juhtivuse arvutussuuruse +20 °C ja suhtelise niiskuse RH 86 % juures, arvestades, et soojuseri juhtivus ajas ei muutu ($F_a = 0$). Tuginedes katseandmetele [16] on tselluvilla soojuseri juhtivus +20 °C ja suhtelise niiskuse RH 86 % juures 0,049 W/(m • K) (vt joonis 4.7 vasakul tähistatud punase täpiga).



Joonis 4.7 — Soojusmaterjalide sõltuvus temperatuurist suhtelise niiskuse RH 86 % juures (vasakul) ja niiskussisalduse sõltuvus suhtelisest niiskusest (paremal) [16]

Kui materjali täpseid mõõtmisandmeid ei ole, on soojuseri juhtivuse arvutussuurust võimalik hinnata standardi parandustegurite abil.

Temperatuuri mõju saab arvutada järgmise valemi järgi: $F_T = e^{f_T \cdot (T_2 - T_1)} = e^{0,0040 \cdot (293,15 - 293,15)} = 1,04$.

Niiskuse mõju saab arvutada järgmise valemi järgi: $F_m = e^{f_m \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)} = e^{0,5 \cdot (0,19 - 0,084)} = 1,05$ (37 kg/m³ tselluvilla niiskussisaldus vt joonis 4.7 paremal).

Soojuseri juhtivuse arvutussuuruse saab arvutada valemi (4.3) abil:

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a = 0,044 \times 1,04 \times 1,05 = 0,048 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Nagu näha, annab standardi EVS-EN 1745 meetod väikese vea tagavara kahjuks. Seega tuleb alati eelistada täpseid materjalimõõtmisi, mitte suurusjärku hindavaid standardi parameetreid.

4.1.2.3 Arvutusnäide 4: arvutusnäites 2 toodud müürimaterjali ($\lambda_D = 0,101 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$) soojuseri juhtivuse arvutussuuruse leidmine

Müüritoodete soojusväärtuste arvutuse standardi EVS-EN 1745 järgi arvutatakse soojuseri juhtivuse baassuurus absoluutselt kuiva materjali mõõtetulemuste alusel. Reaalses tarindis pole müüritis kunagi absoluutselt kuiv. Seetõttu tuleb niiskuse mõju arvesse võtta. Autoklaavse poorbetooni niiskuse massipõhine teisendustegur on $f_u = 4 \text{ kg/kg}$. Näiteks polümeerkrohviga viimistletud 375 mm plokkidest välisseina tasakaaluniiskuseks võib katsetulemuste [12] alusel võtta 6 % kuni 10 %. Soojuseri juhtivuse arvutusväärtuse saab arvutada valemit (4.6) ja (4.3) abil, kasutades tasakaaluniiskust 8 % ja keskmist temperatuuri +10 °C (sama temperatuur kui laborikatsetelgi) ning arvestades, et omadused aja jooksul ei muutu:

Niiskuse mõju saab arvutada järgmisi valemeid kasutades:

$$F_m = e^{f_m \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)} = e^{4 \cdot (0,08 - 0)} = 1,38$$

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a = 0,101 \times 1,0 \times 1,38 \times 1,0 = 0,139 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

See soojuseri juhtivuse arvutussuurus $\lambda_U = 0,139 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ on aluseks piirdetarindi soojustlähivuse arvutustes. Standardi EVS-EN 1745 järgi esitab toote soojustlikud arvutusväärtused ($P = 90$) tavaliselt tootja või tarnija.

4.1.2.4 Arvutusnäide 5: hoone ümber pinnases olev rõhtsa paisutatud polüstireensoojustuse EPS arvutusliku soojuseri juhtivuse leidmine

Kui lint- või plaatvundament ehitatakse pinnase külmumissügavusest kõrgemale, tuleb külmakerkelise pinnase korral hoone ümbrus soojustada, et vundamentalune pinnas ei külmuks. Külmakerke soojustus peab olema vastupidav pinnases valitsevatele tingimustele: kõrge niiskus, vaba vesi, temperatuurikõikumised, pinnase ja maapinna surve jne. Hoonet ümbritseva külmakerkesoojustuse korral, vundamenti või sokli soojustuse korral võib soojustuse keskmiseks temperatuuriks võtta $-5 \text{ }^\circ\text{C}$. Materjali niiskussisaldus sõltub materjali veeimavusest pikaajalisel vette uputamisel (vt standard EVS-EN 12087), pikaajalisel difusioonil (vt standard EVS-EN 12088) ja veeimavusest külmumisulamisetsükliel (vt standard EVS-EN 12091). Pikaajalisel vette sukeldamisel on veeimavus EPS sõltuvalt toodetest $< 1 \%$ kuni $< 5 \%$ ja XPS sõltuvalt toodetest $< 0,2 \%$ kuni $1,5 \%$.

Pinnases oleva EPS arvutusliku soojuseri juhtivuse temperatuuri mõju saab arvutada järgmist valemit kasutades:

$$F_T = e^{f_r(T_2 - T_1)} = e^{0,0033(268,15 - 283,15)} = 0,95$$

Kuna külmakerkesoojustuse arvutuslik temperatuur on $-5 \text{ }^\circ\text{C}$, võetakse niiskuse mõju arvesse tabelis 4.5 [14] toodud lisaga: $\Delta\lambda_m = 0,008 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Soojuseri juhtivuse arvutussuuruse saab leida järgmist valemit kasutades:

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T + \Delta\lambda_m = 0,036 \cdot 0,95 + 0,008 = 0,042 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Pinnases oleva sileda viimistluskihiga kaetud XPS-i arvutuslik soojuseri juhtivuse temperatuuri mõju arvutatakse järgmise valemi abil:

$$F_T = e^{f_r(T_2 - T_1)} = e^{0,0035(268 - 283)} = 0,95$$

Kuna külmakerkesoojustuse arvutuslik temperatuur on $-5 \text{ }^\circ\text{C}$, võetakse niiskuse mõju arvesse tabelis 4.5 [14] toodud lisaga: $\Delta\lambda_m = 0,007 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Soojuseri juhtivuse arvutussuuruse saab leida järgmist valemit kasutades:

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T + \Delta\lambda_m = 0,037 \cdot 0,95 + 0,0007 = 0,036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

4.1.3 Arvutusliku soojuseri juhtivuse tabelväärtused

Järgmisena on esitatud mõnede enam levinud tehismüürikivide (vt tabel 4.6) ja looduslike müürikivide (vt tabel 4.7) tabelväärtused.

Tabel 4.6 — Tehismüürikivid (vt standard 1745)

Materjali tihedus (netokuivtihedus), [kg/m ³]	Soojuseriiktivus $\lambda_{10, dry, mat}$ W/(m • K) (P = 90 %)					Mört
	Keraamilised tellised ja kivid	Silikaat- müürikivid	Betoon- müürikivid	Keramsiitbetoonist müürikivid	Autoklaavitud poorbetoonist müürikivid	
200						0,081
300					0,085	0,094
400				0,12	0,11	0,11
500				0,15	0,13	0,13
600				0,18	0,16	0,15
700				0,21	0,18	0,17
800				0,25	0,21	0,20
900		0,29		0,28	0,24	0,23
1000	0,27	0,30		0,32	0,26	0,27
1100	0,30	0,32		0,36		
1200	0,33	0,36		0,41		0,36
1300	0,36	0,41		0,46		
1400	0,40	0,46		0,51		0,49
1500	0,43	0,53		0,56		
1600	0,47	0,61	0,88	0,63		0,66
1700	0,51	0,70	0,93	0,70		
1800	0,55	0,81	1,01			0,89
1900	0,60	0,92	1,09			
2000	0,64	1,05	1,19			1,21
2100	0,69	1,20	1,30			
2200	0,74	1,37	1,42			
2300	0,79	1,56	1,56			
2400	0,84	1,76	1,72			

Tabel 4.7 — Looduslikud müürikivid (vt standard EVS-EN 1745)

Materjali tihedus ρ , kg/m ³	Moonde- ja tard- kivimid	Soojuseriiktivus $\lambda_{10, dry, mat}$ W/(m • K)		
		Vulkaanilised kivimid	Paekivi	Liivakivi
< 1600			0,85 (väga pehme)	
1600 kuni 1800			1,1 (pehme kivi)	
2000 kuni 2200			1,7 (kõva kivi)	
2200 kuni 2600			2,3 (väga kõva)	2,3 (silikaatliivakivi)
2000 kuni 2700				1,9 (kaltsineeritud liivakivi)
2700 kuni 3000		1,6 (basalt)		
2000 kuni 2800	2,2 (savikilt)			
2600 kuni 2800	3,5 (marmor)			2,6 (kvartsiivakivi)
2300 kuni 2900	3,5 (graniidid)			

4.1.4 Soojuseriiktivuse ja soojustakistuse väärtuste esitamine ehitusprojekti

Hoone ehitusprojekti esitatakse projektlaheanduses kasutatud materjalide soojuslikud väärtused tabeli 4.8 kujul.

Tabel 4.8 — Ehitusprojekti kasutatud materjalide soojuseri juhtivuse ja soojustakistuse väärtused [8]

Materjal, tarind*	Deklareeritud soojuseri juhtivus $\lambda_D, W/(m \cdot K)$	Deklareeritud soojustakistus $R_D, m^2 \cdot K/W$	Arvutuslik soojuseri juhtivus $\lambda_U, W/(m \cdot K)$	Arvutuslik soojustakistus $R_U, m^2 \cdot K/W$

* Ridu võib lisada vajaduse järgi.

Samuti esitatakse ehitusprojekti tarindite soojuslike omaduste arvutamise teised lähteandmed ja eeldused (soojustuse paigaldus, sademed (pööratud katuse arvutusel oluline info), kasutatud pinnatakistused, mittehomoogeense tarindi soojustuste katkestuste samm jne) tabelite kujul.

4.2 Tarindi soojuslähivus

Hoonete välispiirded peavad olema pikaajaliselt õhkupidavad ja piisavalt soojustatud. Otstarbeka soojustuse määramisel lähtutakse hoone energiatõhususe nõuetest, ruumide soojuslikust mugavusest ning hallituse ja kondensaadi vältimisest külmasildadel, sisepindadel ja tarindites. Piirete soojuslähivus arvutatakse standardi EVS-EN ISO 6946 järgi.

Piirete soojuslähivuse arvutusmeetodi põhimõtted on järgmised:

- arvutatakse piirdetarindi iga soojuslikult homogeense kihi soojustakistus;
- määratakse üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel piirdetarindi kogu soojustakistus;
- arvutatakse piirde soojuslähivus, mida korrigeeritakse, arvestades mehaaniliste kinnitite mõju, sademete mõju pööratud katustele, soojustuse õhueri juhtivuse mõju.

Piirde soojuslähivus, $U, W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga (4.7) ümardatuna kahe kohani pärast koma:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}, W/(m^2 \cdot K) \quad (4.7)$$

kus:

R_{tot} piirde kogusoojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$.

4.2.1 Soojuslikult homogeensetest kihtidest piirdetarindi kogusoojustakistus

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus $R_T, (m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse valemiga (4.8):

$$R_{tot} = R_{st} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, (m^2 \cdot K)/W \quad (4.8)$$

kus:

R_{st} piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt tabel 4.9;

R_1, R_2 iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$;

R_{se} piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt tabel 4.9.

4.2.1.1 Soojuslikult homogeense materjalikihi soojustakistus

Soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus, R , ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), arvutatakse valemiga (4.9):

$$R = \frac{d}{\lambda_U}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (4.9)$$

kus:

- d materjalikihi paksus, m (paksus d võib erineda nimipaksusest, näiteks kui kokkusurutav materjal on kokkusurutud seisus, on d väiksem kui nimipaksus või vajaduse korral võib d väärtuse võtta, arvestades materjali paksuse tolerantsiga, näiteks kui see on negatiivne).

4.2.1.2 Piirdetarindi sise- ja välispinna soojustakistus

Piirdetarindi pindade soojustakistus sõltub (õhu ja ümbritsevate pindade) temperatuurist, pinna omadustest, geomeetriast, suunatusest, õhu liikumise kiirusest. Piirde soojusläbivuse arvutamisel kasutatakse pindade soojustakistuse arvutussuursusi, vt tabel 4.9. Horisontaalse soojusvoo suund võib kuni $\pm 30^\circ \text{C}$ erineda horisontaalist.

Tabel 4.9 — Piirde pindade soojustakistused piirdetarindi soojusläbivuse arvutamisel

	Üles (lagi)	Soojusvoolu suund	
		Horisontaalne (sein)*	Alla (põrand)
R_{si} , ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	0,10	0,13	0,17
R_{se} , ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	0,04	0,04	0,04

* Juhul, kui soojusläbivuse suurus on nõutud, olenemata soojusvoo suunast, on soovitatav kasutada horisontaalsele soojusvoole vastavaid väärtusi.

* Ehitise sisetarindite, nagu vaheseinad, vahelaed, või sisekeskkonna ja kütmata ruumi vahelise tarindi kogusoojustakistuse arvutamisel võetakse piirde mõlema pinna soojustakistusteks R_{si} .

4.2.1.3 Õhkvahe soojustakistus

Selles jaotises toodud õhkvahe soojustakistuse väärtused sobivad õhkvahe puhul:

- mis asub kahe tasaparalleelse pinna vahel, on soojusvoolu suunaga risti ja nende pindade emissioonitegur ei ole väiksem kui 0,8;
- mille laius (mõõt soojusvoolu suunas) on alla 30 cm ja ka vähemalt 10 korda väiksem ükskõik kummast ülejäänud õhkvahe mõõtmest;
- millel ei ole õhkvahetust sisekeskkonnaga.

Ventileerimata õhkvahe soojustakistuse arvutuslikud väärtused on toodud tabelis 4.10. Ventileerimata õhkvahe soojustakistused on antud sõltuvalt soojusvoolu suunast ja õhkvahe pindade emissioonitegurist. Horisontaalse soojusvoolu suund võib kuni $\pm 30^\circ \text{C}$ erineda horisontaalist.

Tabel 4.10 — Ventileerimata õhkvahe soojustakistused R_a , $m^2 \cdot K/W$ sõltuvalt soojusvoolu suunast

Õhkvahe paksus, mm	Ventileerimata õhkvahe soojustakistused R_a , $m^2 \cdot K/W$						
	Õhkvahe pindade emissioonitegur $\varepsilon \geq 0,8$			Õhkvahe pindade emissioonitegur $0,2 > \varepsilon < 0,8$			Õhkvahe pindade emissioonitegur $\varepsilon < 0,1$
	Horisontaalne	Üles	Alla	Horisontaalne	Üles	Alla	Horisontaalne
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11	0,17	0,17	0,17	0,17
7	0,13	0,13	0,13	0,23	0,20	0,23	0,24
10	0,15	0,15	0,15	0,29	0,23	0,29	0,32
15	0,16	0,17	0,17	0,33	0,24	0,36	0,45
25	0,16	0,18	0,19	0,37	0,25	0,43	0,62
50	0,16	0,18	0,21	0,34	0,27	0,61	0,62
100	0,16	0,18	0,22	0,34	0,27	0,61	0,58
300	0,16	0,18	0,23				

Kui tarindis olev õhkvahe on ühenduses väliskeskkonnaga väikeste avade kaudu, võib seda käsitleda nagu ventileerimata õhkvahet, kui need tuulutusavad paiknevad nii, et ei võimalda õhkvahe õhkvahetust (näiteks pole eri kõrgustel) ning nende üldpind on väike:

- 500 mm² vertikaalse õhkvahe meetri kohta,
- 500 mm² horisontaalse õhkvahe välispinna m² kohta.

Kergelt ventileeritud õhkvahe on selline õhkvahe, millest toimub limiteeritud õhkvahe väliskeskkonnaga. Õhkvahe väliskeskkonnaga sõltub õhkvahe geometriast, tuulutusavade geometriast, üldpindalast ja paiknemisest ning temperatuuride erinevusest ja tuule mõjust. Hinnanguliselt võib õhkvahet pidada kergelt ventileerituks, kui tuulutusavade pindala on:

- 500 mm², aga ≤ 1500 mm² vertikaalse õhkvahe pikkusmeetri kohta;
- 500 mm², aga ≤ 1500 mm² horisontaalse õhkvahe välispinna m² kohta.

Kergelt ventileeritud õhkvahe arvutuslik soojustakistus väheneb suurusjärgus kaks korda tabelis 4.10 toodud väärtustest. Kui siiski soojustakistus õhkvahe ja väliskeskkonna vahel ületab 0,15 m² • K/W, tuleb arvutuslikuks soojustakistuseks võtta 0,15 m² • K/W. Valem (4.10) võimaldab ka ligikaudu hinnata kergelt ventileeritud õhkvahe soojustakistust:

$$R_{tot} = \frac{1500 - A_v}{1000} R_{tot;vve} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{tot;ve} \quad (m^2 \cdot K)/W, \quad (4.10)$$

kus:

- A_v tuulutusvahe avade pindala, m²;
- $R_{tot;vve}$ ventileerimata õhkvahe soojustakistus (vt tabel 4.10), m² • K/W;
- $R_{tot;ve}$ hästi ventileeritud õhkvahe soojustakistus (vt kavand ISO/DIS 6946:2015, lisa C või R_a tabelist 4.9), m² • K/W.

Hoone fassaadipinna võivad moodustada eri valmistooted: puitvooder, looduslik või tehiskivi, tellisvooder, profiilplekk, mille peamised eesmärgid on anda hoonele esteetiline välimus ja kaitsta välisseinatarindeid väliste kliimamõjude eest. Enamasti on nende fassaadikatete veeaurujuhtivus ja vihmakindlus väga väike, mistõttu on reaalne oht veeauru kondenseerumisele ja vee sattumisele fassaadikatte taha. Seetõttu tuleb fassaadikatte eraldada seina seespoolsetest kihtidest tuulutusvahega, mis jäetakse avatuks räästa ja sokli juures ning akende ala- ja ülaosas. Fassaaditagust õhkvahet võib pidada hästi ventileerituks. Hästi ventileeritud õhkvahet sisaldava piirdetarindi kogusoojustakistuse arvutamisel jäetakse välja õhkvahet ning kõikide muude õhkvahet ja väliskeskonna vahel olevate kihtide soojustakistused. Kuna õhkvahet siiski suurendab natuke piirdetarindi soojustakistust, võib seda arvestada välispinna soojustakistuse võrdsustamisega sisepinna takistusega. Tähelepanu tuleb pöörata sellele, et niiskusturvalisuse tagamise arvutustes ei tohi välispinna soojustakistust suurendada.

4.2.1.4 Kütmata ruumide soojustakistus

Kui kütmata ruumi välispiirded on soojustamata, võib lihtsustatult võtta kütmata ruumi arvesse kui lisasoojustakistuse. Täpsema tulemuse soovi korral võib kasutada standardit EVS-EN ISO 13789, mis annab täpsema arvutusmeetodi soojusülekanne kohta ehitistest väliskeskonda läbi kütmata ruumide. Meetod esimese korruse põrandaaluste ruumide kaudu toimivate soojuskadude kohta on esitatud standardis EVS-EN ISO 13370.

Pööningu mõju võib soojuslähivuse arvutustes arvesse võtta, käsitledes pööningut kui soojuslikult homogeenset kihti, mille soojustakistused võib võtta tabelist 4.11. Tabelis toodud väärtused sisaldavad ventileeritud ruumi ja (kald)katuse soojustakistusi. Need ei sisalda piirde välispinna soojustakistust $R_{e,c}$.

Tabel 4.11 — Pööningu soojustakistus

Katuse iseloomustus	$R_{g, m^2 \cdot K/W}$
Ilma aluskatteta kivikatus	0,06
Lehtmaterjalist (plekk, bituumenplaadid jne) katus või aluskattega kivikatus	0,2
Kahekordse aluskihiga katus või väikese pinnaemissiooniga materjalist aluskattega katus	0,3

Väikeste kütmata ruumide, nagu garaažide, laoruumide või kasvuhoonete mõju võib arvesse võtta, käsitledes kütmata ruumi koos selle välispiirdetarinditega kui homogeenset lisakihti, mille soojustakistus R_u leitakse valemi (4.11) järgi:

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} \cdot U_{e,k}) + 0,33 \cdot n \cdot V}, m^2 \cdot K/W \text{ (tingimus: } R_u \leq 0,5 m^2 \cdot K/W) \quad (4.11)$$

kus:

- A_i on kõikide sisekeskkonna ja kütmata ruumi vahel asuvate piirdetarindite üldpindala, m^2 ;
- $A_{e,k}$ on kõikide kütmata ruumi ja väliskeskonna vahel asuvate piirdetarindite pindala, m^2 ;
- $U_{e,k}$ on kõikide kütmata ruumi ja väliskeskonna vahel asuvate piirdetarindite soojuslähivus, $W/(m^2 \cdot K)$ (teadmata väärtuste korral kasutada $U_{e,k} = 2 W/(m^2 \cdot K)$);
- V on kütmata ruumi sisekubatuur, m^3 ;
- n on kütmata ruumi õhkvahetuskordsus, h^{-1} (teadmata väärtuste korral kasutada $n = 3h^{-1}$).

4.2.2 Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega tarindi kogusoojustakistus

Tavaliselt ei koosne ükski piire täiesti homogeensetest kihtidest. Eri kihtide vahel on alati sidemed, näiteks puitsõrestik-seina soojustuse kihis on kandepostid.

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus, R_{tot} ($m^2 \cdot K/W$), arvutatakse valemiga (4.12) ja ümardatakse kahe kohani pärast koma:

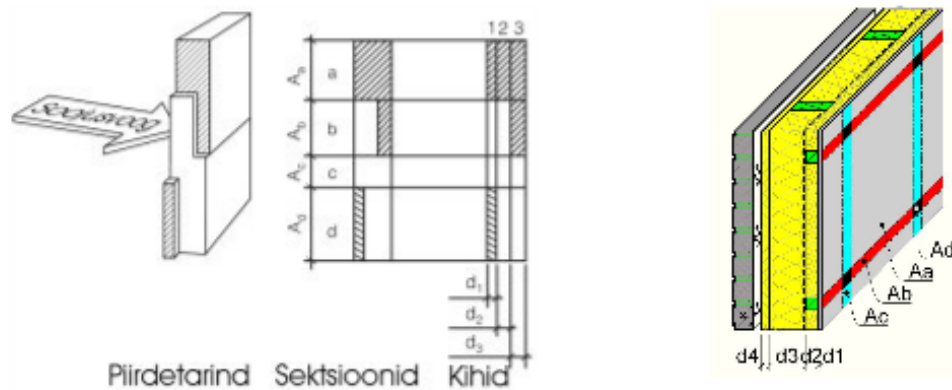
$$R_{tot} = \frac{R_{tot,upper} + R_{tot,lower}}{2}, (m^2 \cdot K)/W \quad (4.12)$$

kus:

$R_{tot,upper}$ mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), ($m^2 \cdot K$)/W;

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

Kogusoojustakistuse ülemise piirväärtuse ja alumise piirväärtuse arvutamiseks tuleb piirdetarind tükeldada soojuslikult homogeenseteks sektsioonideks ja kihtideks, vt joonis 4.8.



Joonis 4.8 — Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi skeem (vasakul) ja näide sektsioonide ja kihtide jaotusest puitsörestikseinal (paremal)

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus R'_{γ} , ($m^2 \cdot K$)/W, arvutatakse piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojuslähivuste kaalutud keskmise summana, eeldades ühemõõtmelist soojuslevi valemi (4.13) järgi:

$$R_{tot,upper} = \frac{\sum A}{\frac{A_a}{R_{tot;a}} + \frac{A_b}{R_{tot;b}} + \dots + \frac{A_n}{R_{tot;n}}}, (m^2 \cdot K)/W \quad (4.13)$$

kus:

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

$R_{tot;a}, \dots, R_{tot;n}$ piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, mis arvutatakse valemiga (4.8).

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus $R''_{tot,lower}$ ($m^2 \cdot K$)/W, arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana valemiga (4.14) järgi:

$$R_{tot,lower} = R_{st} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{so}, (m^2 \cdot K)/W \quad (4.14)$$

kus:

R_{st} piirde sisepinna soojustakistus, ($m^2 \cdot K$)/W;

R_1, R_2, R_n iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga (4.9) järgi (soojuslikult homogeenne kiht) või valemiga (4.15) järgi (soojuslikult mittehomogeenne kiht), ($m^2 \cdot K$)/W;

R_{se} piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$.

$$R_x = \frac{\Sigma A_x}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, (m^2 \cdot K)/W \quad (4.15)$$

kus:

A_{xa}, \dots, A_{xn} mittehomoogeense kihi üksikute osade osapindalad (osakaalud), m^2 (-);

R_{xa}, \dots, R_{xn} mittehomoogeense kihi üksikute osade soojustakistused, mis arvutatakse valemi (4.9) järgi.

Alternatiivse meetodina võib kasutada ka ekvivalentset soojuseri juhtivust, mis arvutatakse analoogselt valemiga (4.15), asendades soojustakistuse väärtused soojuseri juhtivuse väärtustega.

Maksimaalne suhteline arvutusviga e , %, arvutatakse valemiga (4.16):

$$e = \frac{R_{tot:upper} - R_{tot:lower}}{2 \cdot R_{tot}} \cdot 100\%, \% \quad (4.16)$$

kus:

$R_{tot:upper}$ mittehomoogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), $(m^2 \cdot K)/W$;

$R_{tot:lower}$ mittehomoogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte), $(m^2 \cdot K)/W$.

Selles peatükis on esitatud mittehomoogeensete materjalikihtidega piirde soojustakistuse lihtsustatud arvutusmeetod. See meetod ei sobi järgmistel juhtudel:

- kui soojustakistuse ülemine ja alumine piirväärtus erinevad üle 1,5 korra;
- külmasildadest põhjustatud pinnatemperatuuride arvutamiseks;
- kui mittehomoogeense tarindi materjalide soojuseri juhtivused erinevad üle viie korra;
- kui arvutusviga e (vt valem (4.16)) on suurem kui 20 %.

Sellistel juhtudel tuleb soojustakistuse arvutamiseks kasutada temperatuurivälja arvutusmeetodit või külmasillad tuleb eraldi arvesse võtta (vt standard EVS-EN ISO 10211-1:2000).

4.2.3 Piirdetarindi korrigeeritud soojuslähivus

Et võtta arvesse soojustuses olevaid tühimikke (paigalduse vead), soojustuskihti lähivaid kinniteid, pööratud katusel sademete mõju ja õhu liikumist soojustuses, tuleb soojuslähivust korrigeerida. Korrigeeritud soojuslähivus, U_c , saadakse arvutatud soojuslähivusele, U , paranduse ΔU lisamisega, vt valem (4.17).

$$U_c = U + \Delta U, W/(m^2 \cdot K) \quad (4.17)$$

Parandus, ΔU , $W/m^2 \cdot K$, saadakse valemist (4.18):

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r + \Delta U_o, W/(m^2 \cdot K) \quad (4.18)$$

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, $W/(m^2 \cdot K)$.

4.2.3.1 Õhupiludest tingitud parandus

Õhupilud võivad olla põhjustatud soojustusplaatide mõõtude erinevusest, soojustuse lõikamisel tekkivast mõõdu veast, teiste ehitusosade paigaldustolerantsist või mittetasapindsusest. Probleeme võib tekkida, kui soojustus on liiga pehme või liiga jäik. Korrektselt paigaldatud soojustuse ebaideaalsuse võib jagada kaheks:

- soojusvoo suunas olevad õhkvahed soojustuse vahel ning soojustuse ja teiste ehitusosade vahel;
- soojusvoo suunaga risti olevad õhkvahed soojustuse vahel ning soojustuse ja teiste ehitusosade vahel.

Õhupilud suurendavad tarindi soojuslähivust suureneva konvektiivse või kiirgusliku soojuslevi tõttu, mille mõju sõltub õhupilu suurusest, asukohast, suunast.

Õhupiludest tingitud parandust ΔU_g mõjutavad kolm paigaldustaset, mis sõltuvad õhupilude ulatusest ja nende paiknemisest, vt valem (4.19) ja tabel 4.12:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_l}{R_{tot}} \right)^2, W/(m^2 \cdot K) \quad (4.19)$$

kus:

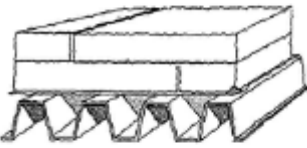
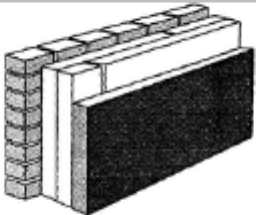
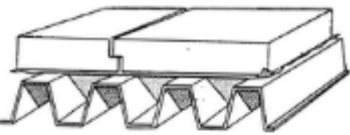
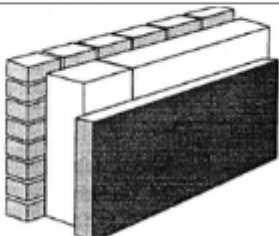
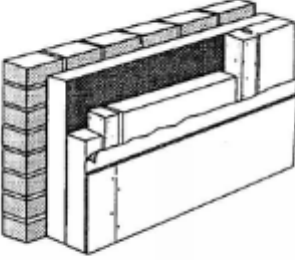
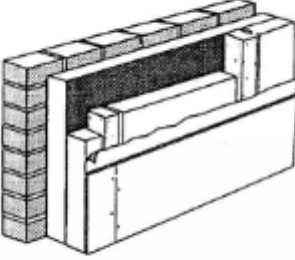
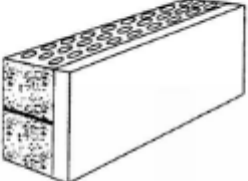
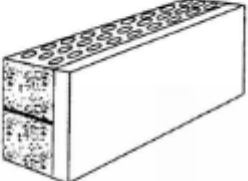
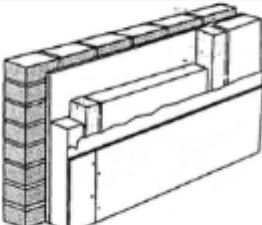
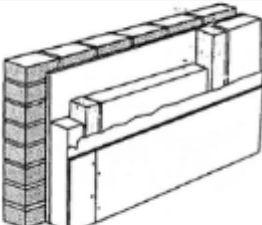
- $\Delta U''$ tegur, vt tabel 4.12, $W/(m^2 \cdot K)$;
 R_l pilusid sisaldava materjalikihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga (4.9) (soojuslikult homogeenne kiht) või valemiga (4.15) (soojuslikult mittehomogeenne kiht);
 R_{tot} piirdetarindi kogusoojustakistus, mis arvutatakse valemiga (4.8) (homogeensete kihtidega piirdetarind) või valemiga (4.12) (mittehomogeensete kihtidega piirdetarind).

Õhupilude puhul on tegemist soojustuse paigaldusel tekkiva ebaideaalsusega. Standard ei arvesta soojustuse paigalduse lubamatute vigadega, vt joonis 4.9.


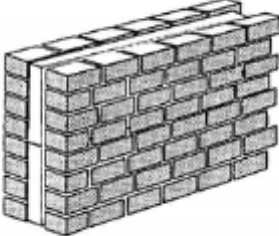


Joonis 4.9 — Lubamatud soojustuse paigalduse vead, kui soojustus ei täida kogu talle ettenähtud ruumi

Tabel 4.12 — Õhupiludest tingitud parandus

Soojustuse paigaldus-tase	$\Delta U''$, W/(m ² • K)	Kirjeldus	
0	0.00	Täiesti ideaalselt paigaldatud soojustus: soojustus on paigaldatud nii, et õhuringlus soojustuse soojemal küljel on võimatu (näiteks eri soojustuskihtide liitekohad ei lange kokku ja liitekohad on poolsulund- või tappliites). Soojustus täidab kogu talle ettenähtud ruumi.	
		Pidev mitmekihiline soojustus liitekohtadega, mis ei lange kokku. 	
		Pidev ühekihiline soojustus, poolsulund-, tapp- või tihendatud liitekohtadega. 	
		Kahekihiline soojustus, kusjuures üks neist on sarikate, sõrestiku, talade või muude sarnaste tarindite komponentide vahel, teine aga pidev kiht, mis on kaetud esimese kihiga. 	
		Ühekihiline soojustus tarindis, mille soojustakistus ilma soojustuskihita on > 50 % kogusoojustakistusest ($R_t \leq 0,5 \cdot R_v$) 	
1	0.01	Hästi paigaldatud soojustus, kus esinevad mõned soojustuskihti läbivad õhupraod, aga õhuringlust soojustuse soojemal poolel ei esine (näiteks soojustus sõrestikupostide või sarikate vahel). Soojustus on täielikult sarikate, sõrestiku, talade või muude sarnaste tarindite komponentide vahel. 	

Tabel 4.12 (järg)

Soojustuse paigaldus-tase	$\Delta U''$, W/(m ² • K)	Kirjeldus
		Pidev ühekihiline soojustus, pötkliitukohtadega kogu pikkuse ja laiuse ulatuses. 
2	0.04	Hästi paigaldatud soojustus, kus aga esinevad mõned soojustuskihti läbivad õhupraod ja on võimalik õhuringlus soojustuse soojemal poolel. Tarind, kus on võimalik õhu ringlus soojustuse soojemal küljel, tingituna puudulikust kinnitusest või ülemise ja alumise piirdepinna puudulikust tihendamisest. Tühjade püstvuukidega laotud väikeplokkmüüritis 

4.2.3.2 Mehaanilistest kinnititest tingitud parandus

Kui isolatsioonikihti läbib mehaaniline kinnitus, saadakse soojusläbivuse parandus valemist (4.20):

$$\Delta U_f = n_f \cdot \chi, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (4.20)$$

kus:

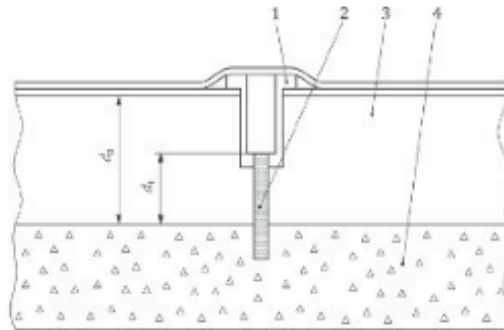
- n_f kinnitite arv ruutmeetri kohta, m⁻²;
- χ kinniti punktsoojusläbivus, W/K (arvutatakse standardi [6] järgi).

Ligikaudu saab mehaaniliste kinnitite mõju arvestada ka valemiga (4.21):

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_f} \cdot \left(\frac{R_f}{R_{tot}} \right)^2, \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (4.21)$$

kus:

- α 0,8 kui kinnitus läbib tervet soojustust; $\alpha = 0,8 \times \frac{d_1}{d_0}$, kui on tegemist süvistatud kinnitiga (vt joonis 4.10).
- n_f kinnitite arv ruutmeetri kohta, m⁻²;
- λ_f kinnitite soojuseri juhtivus, W/(m • K);
- A_f kinniti ristlõikepindala, m²;
- d_0 soojustuse paksus, mida kinnitus läbib, m;
- d_1 soojustust läbiva kinniti pikkus, m (kui kinnitus paigaldatakse nurga all, võib d_1 olla pikem kui soojustuse paksus);
- R_f soojustuse soojustakistus, m² • K/W;
- R_{tot} tarindi kogusoojustakistus, m² • K/W.



Joonis 4.10 — Süvistatud kinniti skeem

Korrigeerimine ei ole vajalik, kui müüriankrud läbivad õhkvahet, müüriankrud ühendavad müüritist puitsõrestikuga või kui kinniti või selle osa soojuseri juhtivus on väiksem kui $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Seda meetodit ei saa kasutada, kui kinniti mõlemad otsad on kontaktis lehtmetailiga. Sellisel puhul tuleb külmasildade mõju arvessevõtmiseks kasutada temperatuurivälja arvutusmeetodit.

4.2.3.3 Soojustusesisese mikrokonvektsioonist tingitud parandus

Võimaliku soojustusesisese mikrokonvektsiooni mõju piirde soojuslähivusele arvestab parandustegur ΔU_a , vt valem (4.22).

$$\Delta U_a = \Delta U_a'' \left(\frac{R_l}{R_{tot}} \right)^2, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (4.22)$$

kus:

- $\Delta U_a''$ tegur, mis mõjub seintele või järsemale kui 45° kaldega katuslaele, vt tabel 4.13, ning katuslaele ja põrandale (postvundamendi puhul või kui põrandaaluse ruumi tuulutussavade pindala on suurem kui 8 % põranda pindalast), vt tabel 4.14;
- R_l õhku juhtivat materjali sisaldava kihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga (4.9) (soojuslikult homogeenne kiht) või valemiga (4.15) (soojuslikult mittehogeenne kiht);
- R_{tot} piirdetarindi kogusoojustakistus, mis arvutatakse valemiga (4.8) (homogeensete kihtidega piirdetarind) või valemiga 4.12 (mittehogeensete kihtidega piirdetarind).

Soojustuse kaitsetasemed on järgmised:

- a soojustus on soojustusest soojemal poolel paikneva õhutõkke ja soojustusest külmemal poolel paikneva tuuletõkke vahel, millega on välditud konvektsioonist tingitud soojuskaod (õhutõkke õhjuhtivus on $< 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ja tuuletõkke õhjuhtivus on $< 10 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$). Soojustuse välispinnas olevaid õhukanaleid (näiteks katuslae puhul) on $< 15 \%$ soojustuse pindalast;
- b soojustuse soojemal poolel on nõuetekohane õhutõke, külmem pool on katmata.

Tabel 4.13 — Soojustusesisese mikrokonveksioonist tingitud parandus, $\Delta U_a''$ vertikaalsele ja vertikaalist kuni 45° kaldu olevale soojustusele

Soojustuse kaitsetase	Soojustuse õhujuhtivus $L, \text{m}^3 / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	Soojustuse õhuvoolu eritakistus $R_{av}, (\text{kPa} \cdot \text{s}) / \text{m}^2$	Parandustegur $\Delta U_a'', \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		
			Soojustuse paigaldustase		
			0	1	2
a	$\leq 30 \times 10^{-6}$	33	0	0	0
	50×10^{-6}	20	0	0	0,005
	100×10^{-6}	10	0	0,005	0,010
	200×10^{-6}	5	0,005	0,010	0,015
	400×10^{-6}	2,5	0,010	0,015	0,020
	800×10^{-6}	1,25	0,015	0,025	0,050
b	$\leq 30 \times 10^{-6}$	33	0	0	0
	50×10^{-6}	20	0,005	0,005	0,010
	100×10^{-6}	10	0,005	0,010	0,015
	200×10^{-6}	5	0,015	0,020	0,030
	400×10^{-6}	2,5	0,030	0,045	0,060
	800×10^{-6}	1,25	0,060	0,090	0,120

Tabel 4.14 — Soojustusesisese mikrokonveksioonist tingitud parandus, $\Delta U_a''$ horisontaalsele soojustusele

Soojustuse kaitsetase	Soojustuse õhujuhtivus $L, \text{m}^3 / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	Soojustuse õhuvoolu eritakistus $R_{av}, (\text{kPa} \cdot \text{s}) / \text{m}^2$	Parandustegur $\Delta U_a'', \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}),$
			soojustuse paigaldustasemed 0, 1 ja 2
a	$\leq 100 \times 10^{-6}$	10	0
	200×10^{-6}	5	0,005
	400×10^{-6}	2,5	0,005
	800×10^{-6}	1,25	0,010
b	$\leq 50 \times 10^{-6}$	20	0
	100×10^{-6}	10	0,005
	200×10^{-6}	5	0,010
	400×10^{-6}	2,5	0,010
	800×10^{-6}	1,25	0,020

Eespool esitatud meetod sobib soojustusmaterjalidele, mille nimiväärtus on vahemikus $\lambda_d = 0,025 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ kuni $0,06 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ja õhujuhtivus $L < 1000 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$.

Väga väikese tihendusega kiudsetel soojustustel võib õhujuhtivus olla kiudude suunas (üldiselt soojustuse pikkus) olla suurem, kui kiududega risti suunas (üldiselt soojustuse paksus). Vertikaalsete tarindite korral võib suure õhujuhtivuse korral ($L > 200 \text{ m}^3 / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$) suureneeda seetõttu soojustusesisese mikrokonveksioonist tingitud lisasoojuskadu. Valides sellise tooteparandusteguri tabelist 4.13, kasutatakse õhujuhtivuse suurusena 1,4 korda suuremat arvu: $L = 1,4 \cdot L_x$, kus L_x on soojustuse õhujuhtivus soojustuse kiududega risti suunas (üldiselt soojustuse paksuse suunas).

Kui ei ole teada konkreetse soojustuse omadusi, võib soojustuse õhujuhtivust hinnata tabeli 4.15 alusel.

Tabel 4.15 — Valiku soojusmaterjalide õhujuhitvuse suunavaid väärtusi

Soojustus	Tihedus ρ , kg/m ³	Soojustuse õhujuhitvus L , m ³ / (m • s • Pa)	Soojustuse õhuvoolu eritakistus R_o , (kPa • s) / m ²
	≤ 10	250 × 10 ⁻⁶	4
	12	200 × 10 ⁻⁶	5
	15	140 × 10 ⁻⁶	7
Klaasvilla plaat, kiu paksus 5 µm kuni 6 µm	20	100 × 10 ⁻⁶	10
	30	60 × 10 ⁻⁶	17
	40	40 × 10 ⁻⁶	25
	60	22 × 10 ⁻⁶	45
	40	100 × 10 ⁻⁶	10
Klaasvilla plaat, kiu paksus 5 µm kuni 6 µm	60	60 × 10 ⁻⁶	17
	90	40 × 10 ⁻⁶	25
	120	25 × 10 ⁻⁶	40
	25	170 × 10 ⁻⁶	6
	30	125 × 10 ⁻⁶	8
Kivivilla plaat, kiu paksus ≈ 5 µm	35	100 × 10 ⁻⁶	10
	50	55 × 10 ⁻⁶	18
	70	36 × 10 ⁻⁶	28
	100	20 × 10 ⁻⁶	50
Polüesterkiud-soojustus	20	300 × 10 ⁻⁶	3,3
Linavill	35	125 × 10 ⁻⁶	
Klaasvillast puistevill	23	700 × 10 ⁻⁶	1,4
	28	500 × 10 ⁻⁶	2
Kivivillast puistevill	35	400 × 10 ⁻⁶	2,5
	40	250 × 10 ⁻⁶	4
	30	120 × 10 ⁻⁶	8
Tselluvillast puistevill	35	100 × 10 ⁻⁶	10
	45	50 × 10 ⁻⁶	20

4.2.3.4 Pööratud katusest tingitud parandus

Pööratud katusel paikneb veetõke soojustuse all. Kuigi enamik sadevett juhitakse katusele ära soojustuse ülapinnast, valgub osa sadevett ka läbi soojustuse. Läbi soojustuse voolav sadevesi suurendab läbi pööratud katuse toimuvat soojuskadu, mis võetakse arvesse valemi (4.23) abil:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \left(\frac{R_i}{R_{tot}} \right)^2, W/(m^2 \cdot K) \quad (4.23)$$

kus:

- ΔU_r parandus katuse soojuslähivusele, mis arvestab lisasoojuskadu, mis on tingitud sadevee imbumisest läbi soojustuse liitekohtade ja ulatumisest hüdroisolatsioonini, W/(m² • K);
- p keskmine sademete hulk kütteperioodi ühe ööpäeva jooksul (mm/ööpäev), üldine tüüpväärtus 3 mm/ööpäev);
- f dreneažitegur, saadakse veetõkke peal paikneva kattedihi fraktsiooni ja sademete hulga p järgi;
- x soojuskao kasv, mis on põhjustatud sadevee voolamisest veetõkke peal; (W • ööpäev)/(m² • K • mm);
- R_i veetõkke peal asuva XPS-soojustuskihi soojustakistus, m² • K/W;

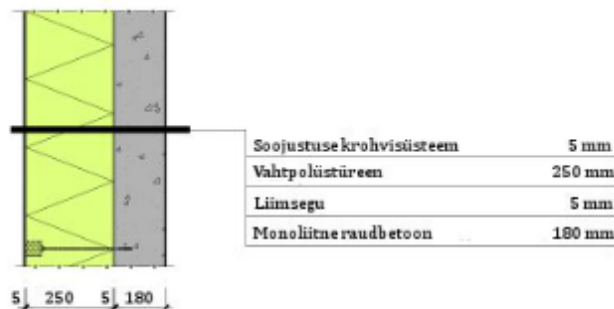
R_{tot} katuslae kogusoojustakistus, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Eeltoodud parandus on kasutatav ainult ekstrudeeritud vahtpolüstüreenist soojustuse XPS korral. Soojustuse suurema niiskussisalduse mõju soojuslähivuse suurenemisele tuleb arvutada valemite (4.5) ja (4.6) järgi ning tabelis 4.5 toodud väärtuste järgi. Soojustuse niiskusliku keskkonna võib pidada võrdseks hoone ümber pinnases oleva rõhtsa soojustuse niiskusliku keskkonnaga. Täpsemalt on materjalide kasutamine pööratud katustes reglementeeritud ETAG 031 juhendiga [1].

Juhul, kui veetõkke peale on paigaldatud sirgeservaline ühekihiline soojustus, millel on avatud kate, näiteks kruus, siis $f \cdot x = 0,04 \text{ (W} \cdot \text{ööpäev)/}(\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{mm})$. Selline tarindus annab ka suurima ΔU . Väiksemad $f \cdot x$ väärtused saavutatakse katusetarindiga, mis väldib sadevee drenaaži läbi soojustuskihi (näiteks erinevad tihedad soojustusmaterjali komponentide liiteviisid, nagu poolsulund või sulund, või eri tüüpi katuseehitus). Väiksemat $f \cdot x$ väärtust kui 0,04 võib kasutada vaid juhtudel, kui raporteeritud uurimistulemused seda tõendavad.

4.2.3.5 Arvutusnäide 6: soojuslikult homogeensetest kihtidest välisseina soojuslähivus

180 mm paksune monoliitne raudbetoonsein on soojustatud 250 mm paksuse paisutatud polüstüreeniga EPS, mis on krohvitud, vt joonis 4.11. Soojustuse müüritisele kinnitamisel tuleb järgida, et soojustuse ning müüritise vahele ei jääks õhkvahesid. Õhkvahede vältimiseks tuleb eelistada täispinnalist soojustuse liimimist müüritisele. Kui sein ei ole valatud kvaliteetselt ja sirgelt, võib suurema aluspinna ebatasasuse korral kasutada kinnitusmeetodit, kus liimivall kantakse plaadi tagakülje tervele äärelle ning soojustuse keskele. Soojustust ei või kinnitada ilma äärelimita ainult plaadi keskele paigaldatud segupätsidega. Soojustuse tüübelduse vajadus sõltub paigaldustehnoloogiast ja hoone kõrgusest.



Joonis 4.11 — Soojuslikult homogeenne lisasoojustatud müüritis

Arvutuses kasutatud materjalid ja nende paksused vt tabel 4.16.

Tabel 4.16 — Soojustatud keramsiitplokkidest seina materjalikihtide paksused ja materjaliomadused

Materjal	Toote paksus	Soojuserijuhtivus $\lambda_D, \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Soojustakistus $R_{1i}, \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Sisepind			0,13
Monoliitne raudbetoon	180 mm	2,1	
Liimisegu	5 mm	1,2	
Paisutatud polüstüreen, EPS	250 mm	0,039	
Väliskrohv	5 mm	0,8	
Välispind			0,04

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus R_T , ($m^2 \cdot K$)/W, arvutatakse valemiga (4.8).

$$R_T = 0,13 + \frac{0,180}{2,1} + \frac{0,005}{1,2} + \frac{0,250}{0,039} + \frac{0,005}{0,8} + 0,04 = 6,68 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Piirde soojusläbivus U arvutatakse valemiga (4.7) ja ümardatakse kahe kohani pärast koma:

$$U = \frac{1}{6,68} = 0,15 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Piirde soojusläbivust on korrigeeritud järgmistel eeldustel:

- soojustus on hästi paigaldatud, aga esinevad mõned soojustuskihti läbivad õhupraod (soojustusplaadid on mõnevõrra erinevate mõõtudega);
- ühekihilise soojustuse soojustakistus on üle poole tarindi kogusoojustakistusest;
- soojustus on kinnitatud betoonseina läbimõõduga 6 mm terastüüblitega 8 tk/m².

250 mm paksuse soojustuse kihi õhupilude parandustegur (vt valem (4.19)):

$$\Delta U_{g \text{ 250mm soojustus}} = 0,01 \cdot \left(\frac{6,41}{6,68} \right)^2 = 0,01 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Kinnitustüüblite parandustegur (vt valem (4.21)):

$$\Delta U_f = \left(0,8 \cdot \frac{0,20}{0,25} \right) \cdot \frac{50 \cdot \pi \cdot 0,003^2 \cdot 8}{0,20} \cdot \left(\frac{\left(\frac{0,20}{0,039} \right)}{6,68} \right)^2 = 0,02 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Korrigeeritud piirdetarindi soojusläbivus (vt valem (4.18)): $U_c = 0,15 + 0,01 + 0,02 = 0,18 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$.

Nagu näha, suurendasid soojustuse vahelised praod ja ideaalselt paigaldatud soojustusega tarindi soojusläbivust ~ 20 %. Selle soojuskao vältimiseks on väga oluline, et ehitusprojekti on detailselt kirjeldatud ehitatava tarindi lõppkvaliteedi nõuded ja ehitustöid tehakse äärmise hoolikusega. Soojustuse kinnitite ja soojustusplaatide vaheliste vuukide mõju piirde soojuskadudele (välispinnatemperatuuridele) võib soodsate ilmastikutingimuste korral näha ka silmaga (vt joonis 4.12). Alati on see näha infrapuna termokaamera vaadates. Seetõttu on väga oluline, et ehitusprojekti on detailselt kirjeldatud ehitatava tarindi lõppkvaliteedi nõuded ja ehitustöid tehakse äärmise hoolikusega.

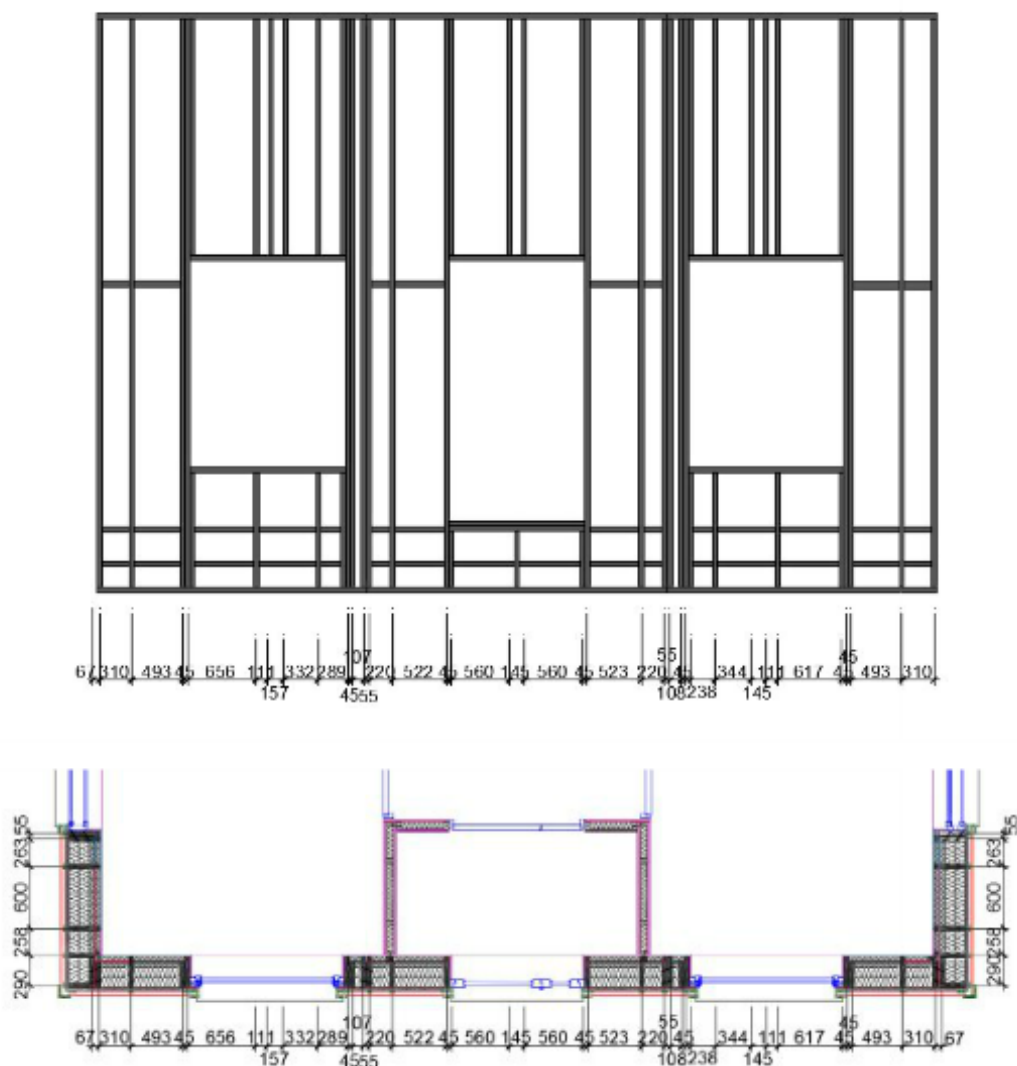


Joonis 4.12 — Soojustuse kinnitite ja soojustusplaatide vaheliste vuukide mõju piirde soojuskadudele

4.2.3.6 Arvutusnäide 7: soojuslikult mittehomogeensetest kihtidest välisseina soojuslähivus

Välissein koosneb 50 mm × 250 mm seinakandepostidest (arvutusliku sammuga 600 mm), mille vahel on mineraalvill. Tuuletõkkeplaadiks on 50 mm paksune mineraalvillast tuuletõkkeplaat ja siseviimistlusplaadiks on kipsplaat. Sõrestikupostide sisepinnal on 22 mm puitlaastplaat hoone jäikuse tagamiseks ja õhupidavuse saavutamiseks. Puitlaastplaadi sisepinnal on PE-aurutõke. Sisemine kipsplaat on kinnitatud 50 mm × 50 mm puitroovidele (sammuga 600 mm), mille vahel on mineraalvill, vt joonis 4.14. Selline lahendus tagab, et installatsioonikaablid/torud ei löhu õhu- ja aurutõket ning aurutõkke jätkud jäävad kahe kindla materjalikihi vahele.

600 mm sõrestikpostide samm on tavapärane mõõt. Siiski realiseerub see kogu hoone ulatuses harva, kuna lisaposte paigaldatakse akende juurde, suurimate koormuste kohtadesse jne (vt joonis 4.13).



Joonis 4.13 — Arvutusliku postide sammu 600 mm korral on tegelik puitpostide samm väiksem (ülal: vaade puitsõrestikseinale, all: hoone plaan)

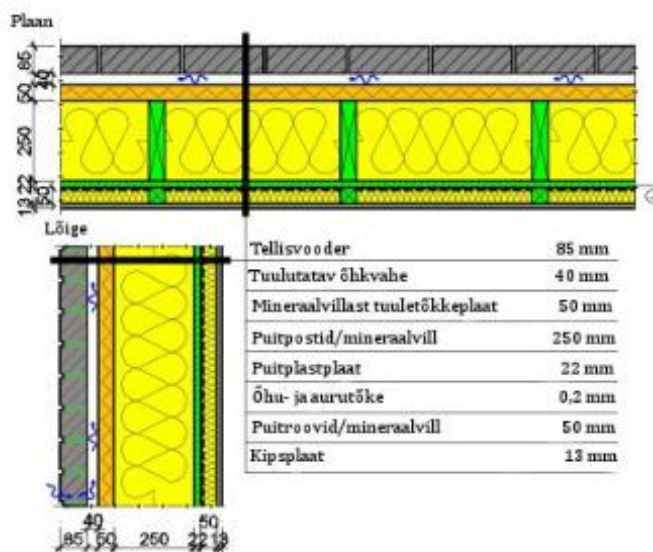
Joonisel 4.13 toodud näites peaks 8 m pikkusel seinal olema 600 mm postisammu korral 13 posti. Tegelikult on aga poste 36: 2,7 korda rohkem. Seetõttu on puitsõrestikpostide mõju hoonepiirete soojuslähivusele märkimisväärselt suurem. Lisaposte lisandub rohkem moodulpaneelidest ehitamise korral (kuna paneelide otstesse lisanduvad lisapostid, mida kohapeal ehitamise korral ei paigaldada), liigendatud seina korral (kuna nurkadesse on vaja lisaposte), paljude akendega seina korral (kuna akende ümber lisanduvad postid), koondatud koormuste korral (kuna tuleb paigaldada lisaposte) jne. Tööjooniste staadiumis on võimalik postide täpne arv arvesse võtta. Kuna sisekliima- ja energiatõhususarvutused tehakse ehitusloa taotlemiseks eelprojektis, tuleb postide tihedam samm võtta arvesse juba eelprojekti staadiumis. Kui postide arv pole täpselt teada, võib juhinduda järgmistest soovistest:

- vähe liigendatud hoone korral arvestatakse soojustust katkestavaid poste/sarikaid/talasisid 1,5 korda rohkem (600 mm asemel 400 mm);
- rohkem liigendatud, paljude akendega ja seinale tulevale koondatud koormustega hoone korral arvestatakse soojustust katkestavaid poste/sarikaid/talasisid 2 korda rohkem (600 mm asemel 300 mm).

Seinal on tellistest välisvooder. Välivoodri ja tuuletõkkeplaadi taga on hästi ventileeritud õhkvahe. Hästi ventileeritud õhkvahet sisaldava seina kogusoojustakistuse arvutamisel jäetakse välja õhkvahe ning kõikide muude õhkvahe ja väliskeskkonna vahel olevate kihtide soojustakistused. Arvutuses kasutatud materjalid ja nende paksused vt tabel 4.17.

Tabel 4.17 — Puitsõrestikseina materjalikihtide paksused ja materjaliomadused

Materjal	Toote paksus	Soojuserijuhtivus $\lambda, W/(m \cdot K)$	Soojustakistus $R_a, m^2 \cdot K/W$
Sisepind			0,13
Kipsplaat	13 mm	0,21	
Puitlaastplaat	22 mm	0,17	
Soojustuse mineraalvill		0,037	
Puit		0,12	
Tuuletõkke mineraalvill	30 mm	0,035	
Välispind			0,04



Joonis 4.14 — Soojuslikult mittehomoogenne puitsõrestiksein

Aurutõkkekiht võib tema väikese paksuse tõttu arvestamata jätta. Arvutustes eeldatakse kogu hoone ulatuses sõrestikpostide keskmiseks sammuks 400 mm.

Esmalt arvutatakse kogusoojustakistuse ülemise piirväärtuse jaoks vajalikud homogeensete sektsioonide soojustakistused järgmiste valemite järgi.

Soojustuse sektsiooni soojustakistus arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.9)):

$$R_{\text{soojustusseksioon}} = 0,13 + \frac{0,013}{0,21} + \frac{0,05}{0,037} + \frac{0,022}{0,017} + \frac{0,25}{0,037} + \frac{0,05}{0,035} + 0,04 = 9,90 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Sõrestikupostide sektsiooni soojustakistus arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.9)):

$$R_{\text{sõrestikuseksioon}} = 0,13 + \frac{0,013}{0,21} + \frac{0,05}{0,12} + \frac{0,022}{0,017} + \frac{0,25}{0,12} + \frac{0,05}{0,035} + 0,04 = 4,29 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Nagu näha, on sõrestiku sektsioon üle kahe korra väiksema soojustakistusega ja see tuleb kindlasti arvesse võtta tarindi soojuslähivuse arvutustes.

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.13)):

$$R_{\text{tot;upper}} = \frac{350 + 50}{\frac{350}{9,90} + \frac{50}{4,29}} = 8,51 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistused arvutatakse järgmiste valemite järgi:

50 mm paksuse soojustuse kihi soojustakistus arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.15)):

$$R_{\text{50 mm soojustus/sõrestik}} = \frac{350 + 50}{\left(\frac{0,050}{0,037}\right) + \left(\frac{0,050}{0,12}\right)} = 1,055 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

250 mm paksuse soojustuse kihi soojustakistus arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.15)):

$$R_{\text{250 mm soojustus/sõrestik}} = \frac{350 + 50}{\left(\frac{0,250}{0,037}\right) + \left(\frac{0,250}{0,12}\right)} = 5,277 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.14)):

$$R_{\text{tot;lower}} = 0,13 + \frac{0,013}{0,21} + 1,055 + \frac{0,022}{0,017} + 5,277 + \frac{0,05}{0,035} + 0,04 = 8,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.12)):

$$R_{\text{tot}} = \frac{8,51 + 8,12}{2} = 8,32 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Suhteline arvutusviga arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.16)):

$$e = \frac{R_{\text{tot;upper}} - R_{\text{tot;lower}}}{2 \cdot R_{\text{tot}}} \cdot 100\% = \frac{8,51 - 8,12}{2 \cdot 8,32} \cdot 100 = 2\%$$

Piirde soojuslähivus U arvutatakse valemiga (4.7) ja ümardatakse kahe kohani peale koma:

$$U = \frac{1}{8,32} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Piirde soojusläbivust on korrigeeritud järgmistel eeldustel:

- soojustus on hästi paigaldatud, aga esinevad mõned soojustuskihti läbivad õhupraod; õhu ringlust soojustuse soojemal poolel ei esine;
- soojustus on sisemise õhutõkke ja välimise tuuletõkke vahel, millega on välditud konvektsioonist tingitud lisasoojuskaod;
- ei ole soojustust läbivaid metallkinniteid.

50 mm paksuse soojustuse/sõrestiku kihi õhupilude parandustegur arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.19)):

$$\Delta U_{g \text{ 50mm soojustus/ sõrestik}} = 0,01 \cdot \left(\frac{1,055}{8,32} \right)^2 = 0,00016 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

250 mm paksuse soojustuse/sõrestiku kihi õhupilude parandustegur arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.19)):

$$\Delta U_{g \text{ 250mm soojustus/ karkass}} = 0,01 \cdot \left(\frac{5,277}{8,32} \right)^2 = 0,0040 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

50 mm paksuse soojustuse sisese mikrokonvektsioonis parandustegur arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.22)):

$$\Delta U_{a \text{ 50mm soojustus/ karkass}} = 0,005 \cdot \left(\frac{1,055}{8,32} \right)^2 = 0,00008 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

250 mm paksuse soojustuse kihi sisese konvektsiooni parandustegur arvutatakse järgmise valemi järgi (vt valem (4.22)):

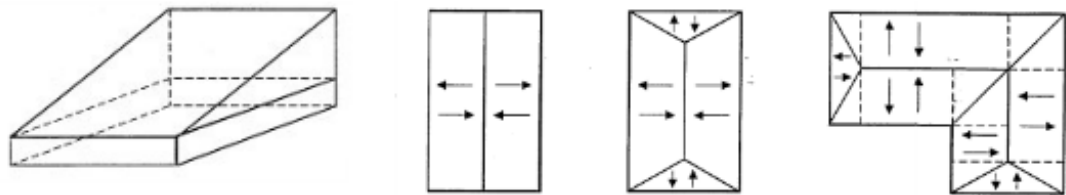
$$\Delta U_{a \text{ 250mm soojustus}} = 0,005 \cdot \left(\frac{5,277}{8,32} \right)^2 = 0,0020 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Korrigeeritud piirdetarindi soojusläbivus (vt valem (4.17)), mida kasutatakse hoone soojuskadude arvutuses, leitakse järgmise valemi abil:

$$U_e = 0,12 + 0,000016 + 0,0040 + 0,00008 + 0,0020 = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

4.2.4 Muutuva paksusega materjalikihtidega tarindi soojusläbivuse arvutus

Kui piirdetarindis on muutuva paksusega kiht (vt joonis 4.15 vasakul, näiteks antakse katuse kalle soojustusega), erineb kogusoojustakistus kogu tarindi ulatuses. Muutuva paksusega materjalikihiga tarindi soojusläbivus arvutatakse iga erineva kalde ja/või kujuga osa kohta eraldi üle kogu kõnealuse tarindiosa pinna.



→ näitab kalde suunda

--- näitab võimalikku jagamist valemite (4.24) kuni (4.26) kasutamiseks

Joonis 4.15 — Muutuva paksusega tarindi skeem (vasakul); näited, kuidas jagada katust üksikuteks osadeks (paremal)

Kui materjalikihi paksuse muutus on < 5 %, võib kasutada tarindi arvutusskeemi järgi tabelis 4.18 toodud valemite. Suurema kalde puhul tuleb kasutada temperatuurivälja arvutusmeetodit.

Tabel 4.18 — Muutuva paksusega materjalikihtidega tarindi soojuslähivuse arvutusvalemid

Arvutusskeem	Valem
<p>Nelinurkne ala</p>	$U = \frac{1}{R_1} \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) \quad (4.24)$
<p>Kolmnurkne ala, paksenemine tippu</p>	$U = \frac{2}{R_1} \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - 1 \right] \quad (4.25)$
<p>Kolmnurkne ala, ahenemine tippu</p>	$U = \frac{2}{R_1} \left[1 - \frac{R_0}{R_1} \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) \right] \quad (4.26)$

kus:

- λ_1 muutuva paksusega kihi, mille ühe otsa paksus on null, arvutuslik soojuserijuhtivus, $W/(m \cdot K)$;
- R_0 konstantse paksusega osa arvutuslik soojustakistus, kaasa arvatud komponendi mõlema pinna soojustakistused, $m^2 \cdot K/W$;
- R_1 muutuva paksusega kihi maksimaalne soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$;
- d_1 muutuva paksusega kihi maksimaalne paksus, m;
- \ln tähistab naturaalloaritmi.

Arvutus tuleb teha alljärgnevalt:

- muutuva paksusega kihti sisaldava komponendi muutumatu paksuse kogusoojustakistus R_0 arvutatakse valemiga (4.8) (homogeensete kihtidega piirdetarind) või valemiga (4.12) (mittehomogeensete kihtidega piirdetarind);
- vajaduse korral jagatakse muutuva paksusega kihiga ala üksikuteks osadeks (vt tabel 4.18);
- arvutatakse iga muutuva paksusega kihi maksimaalne soojustakistus $R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}$;
- arvutatakse iga üksiku muutuva paksusega osa soojusläbivus (U_i), valides igale konkreetsele osale vastava valemi tabelist 4.18;
- arvutatakse kogusoojusläbivus läbi pindala A : $U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i}$;
- vajaduse korral arvutatakse muutuva paksusega kihiga tarindi kogusoojustakistus: $R_{tot} = 1 / U$.

Kirjandus

- [1] ETAG 031 Inverted Roof Kits Part 1: General; Part 2: Rendered Insulation Products for Inverted Roofs
- [2] EVS-EN 12524:2006. Ehitusmaterjalid ja -tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Projekteerimisel kasutatavad tabelväärtused
- [3] EVS-EN 13162:2012+A1:2015. Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Tööstuslikult valmistatud mineraalvillatooted (MW). Spetsifikatsioon
- [4] EVS-EN ISO 7345:2006. Soojusisolatsioon. Füüsikalised suurused ja määratlused
- [5] EVS-EN ISO 9251:2006. Soojusisolatsioon. Soojaülekanne tingimused ja materjalide omadused. Sõnastik
- [6] EVS-EN ISO 10211-1:2000. Külmasillad hoones. Soojavood ja pinnatemperatuurid. Osa 1: Üldised arvutusmeetodid
- [7] Gnip, I., Vejelis, S., Vaitkus, S. (2012). Thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) at 10 °C and its conversion to temperatures within interval from 0 to 50 °C. *Energy and Buildings* 52:107–111
- [8] ISO/DIS 6946:2015. Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method
- [9] Jonsson, B. (1996). The relationship between thermal conductivity and density for mineral wool and expanded polystyrene. *Proceedings of 4th Symp. Building Physics in the Nordic Countries. Building Physics 1996. Espoo, Finland, September 9 to 10, lk 675–682*
- [10] KEM-products n.v. 2004. Geëxpandeerd polystyreen. Technische documentatie V CE
- [11] Ochs, F., Müller-Steinhagen, H. (2005). Temperature and Moisture Dependence of the Thermal Conductivity of Insulation Materials. *NATO Advanced Study Institute on Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption (TESSEC), Izmir, Cesme*
- [12] Paap, L. (2008). AEROC ECOTERM plokkidest põhja- ja lõunakaarde orienteeritud katseseinte soojus- ja niiskustehniliste omaduste määramine. *Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool*
- [13] RakMK-C4 (1979). Lämmöneristys. Ohjeet. Sisäasiainministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. 1978
- [14] RIL 225-2004. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. Ohje standardien SFS-EN ISO 10456 ja SFS-EN ISO 6946 soveltamiseen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL
- [15] Simmler, H. ja Brunner, S. (2005). Vacuum insulation panels for building application: Basic properties, aging mechanisms and service life. *Energy and Buildings*, 37(11 SPEC. ISS.), 1122–1131
- [16] Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A., Käkelä, P. (2005). Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. *Tampereen Teknillinen Yliopisto. Tutkimusraportti 129*

Taotluslikult tühjaks jäetud

standard@evs.ee
www.evs.ee

EESTI STANDARDIKESKUS **EVS**
ESTONIAN CENTRE FOR STANDARDISATION
