

EPS-SOOJUSTUS

EPS ja SOOJUSERIJUHTIVUS

EPS 2-2020

Versioon: 2020, detsember

Eesti EPS-tootjad
Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liit

Tallinn 2020



Juhend „EPS-soojustus. EPS ja soojuserijuhtivus“ käsitleb EPS-i soojuserijuhtivuse määramist ning tarindite soojusläbivuse arvutamist.

Eesti EPS-tootjad ja Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liit tänavad professor Targo Kalameest ja lektor Tanel Tuisku Tallinna Tehnikaülikoolist abi eest juhendi koostamisel.

PAISUTATUD POLÜSTÜREENI SOOJUSERIJUHTIVUS JA TARINDI SOOJUSLÄBIVUS

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. $\vec{q} = -\lambda \cdot \Delta T$. Märk "-" näitab, et soojusvool toimub kõrgemalt temperatuurilt madalama suunas. Tulenevalt olukorrast mõjutab alaindeks oluliselt soojuserijuhtivuse tähendust:

- λ_{lab} laborikatse tulemus;
- λ_{10} soojuserijuhtivuse mõõteväärtus materjalil, mille keskmine temperatuur on +10 °C. Üldjuhul on materjali enne katsetamist hoitud temperatuuril +23 °C ja materjali niiskussisaldus vastab olekule keskkonnas, kus ümbritseva õhu suhteline niiskus RH=50%;
- λ_D deklareeritav soojuserijuhtivus on tootja deklareeritav materjali soojuserijuhtivus, mille tagamise ta suudab kindlustada; tootja peab tõendama oma toote vastavust deklareeritavale väärtustele;
- λ_U arvutuslik soojuserijuhtivus, mille arvutamise alus on λ_D ja mida suurendatakse eksploatatsiooniniiskusest tingitud paranduse (temperatuuri mõju, niiskuse mõju, materjali "vananemise" mõju) võrra; materjalide soojuserijuhtivuse suurusi on esitatud ka standardis EVS-EN ISO 10456;
- λ soojuserijuhtivuse suurus, mille kohta puudub kasutuse seisukohalt täpsem selgitus. Seda kasutatakse erinevate ehitusmaterjalide soojuserijuhtivuse võrdlemiseks või materjali omaduste selgitamiseks mittespetsialistidele; pole otseselt kasutatav konkreetsete piirdetarindite soojuspidavuse projekteerimisel.

1.1 Deklareeritav soojuserijuhtivus λ_D

Arvutuspõhimõtted

Tootja peab esitama vähemalt materjali deklareeritava soojuserijuhtivuse λ_D või deklareeritava soojustakistuse R_D . Tootja vastutab soojuserijuhtivuse ja soojustakistuse deklareeritavate väärtuste λ_D ja R_D määramise ja tagamise eest. Deklareeritav soojuserijuhtivus on ümardatud $\lambda_{90/90}$ suurus, vt valemit 1.

$$\lambda_{90/90} = \bar{\lambda}_{10} + k \cdot S_{\lambda}, \text{ W/(m·K)} \quad (1)$$

kus:

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

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

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

λ_D saadakse $\lambda_{90/90}$ ümardamisel ülespoole täpsusega 0,001 ja esitatakse λ_D tasemetena, mille samm on 0,001 W/(m·K).

Kui materjali omadus esitatakse soojustakistusena: $R_{90/90} = \frac{d}{\lambda_{90/90}}$, m²·K/W, tuleb tulemus ümardada allapoole täpsusega 0,05 või esitada kolme olulise numbriga.

Arvutusnäide 1: deklareeritud soojuserijuhtivuse leidmine

Tootja on mõõtnud oma soojustusmaterjali soojuserijuhtivuse 12 proovikehal. Mõõtmistel oli materjali keskmine temperatuur +10 °C. Enne mõõtmist hoiti proovikehasid temperatuuril +23 °C ja ümbritseva õhu suhtelise niiskuse tasemel RH=50%. Mõõtmistulemused on esitatud tabelis 1.

Tabel 1 Materjali soojuserijuhtivuse mõõtetulemused

Proovi nr, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mõõdetud soojuserijuhtivus λ_i , W/(m·K)	0.0431	0.0390	0.0392	0.0408	0.0410	0.0382	0.0399	0.0397	0.0405	0.0402	0.0400	0.0406

Soojuserijuhtivuse mõõtetulemuste aritmeetiline keskmine $\bar{\lambda}_{10} = \frac{\sum \lambda_i}{12} = 0,0402$; W/(m·K);

mõõtetulemuste standardhälve: $S_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (\lambda_i - 0,0402)^2}{12-1}} = 0,00122$; W/(m·K).

12 mõõtetulemuse korral 90% usaldusnivool ja 90% kvantiilil $k=1,87$ saab valemi 4.1 abil arvutada $\lambda_{90/90}$ väärtuse:

$$\lambda_{90/90} = 0,0402 + 1,87 \cdot 0,00122 = 0,0424, \text{ W/(m·K)}$$

λ_D arvutamiseks ümardatakse $\lambda_{90/90}$ ülespoole täpsusega 0,001, seega deklareeritud soojuserijuhtivus on $\lambda_D = 0,042$ W/(m·K).

On näha, et deklareeritud soojuserijuhtivus sõltub toodangu kvaliteedist ja selle ühtlusest ning katsetatud toodete arvust (omaduse usaldusväärsus).

1.2 Arvutuslik soojuserijuhtivus λ_U

Arvutuspõhimõtted

Piirdetarindi soojusläbivuse arvutustes tuleb kasutada λ_U või R_U suurus. Arvutuslik soojuserijuhtivus λ_U arvestab soojustuse paigalduskeskkonna mõjusid ja selle võib esitada tootja või selle peab arvutama projekteerija standardi EVS-EN ISO 10456 kohaselt, vt valemeid 3 ja 4.

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a, \text{ W/(m·K)} \quad (2)$$

$$R = \frac{R_D}{F_T \cdot F_m \cdot F_a}, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (3)$$

kus:

F_T temperatuuri mõju arvestav tegur, vt valemit (4);

F_m niiskuse mõju arvestav tegur, vt valemit 6(4);

F_a aja mõju arvestav tegur.

$$F_T = e^{f_T \cdot (T_2 - T_1)} \quad (4)$$

kus:

f_T temperatuuripõhine teisendustegur, 1/K;

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

T_2 materjali keskmine temperatuur tarindis, K.

Temperatuuripõhise teisendusteguri f_T suurus võib peale materjali sõltuda ka materjali deklareeritavast soojuserijuhtivusest, materjali paksusest ja materjali pinna omadustest.

Tavaliste siseruumide ja väliskeskkonna vahelises tarindis oleva soojustusmaterjali keskmist temperatuuri võib pidada üldjuhul vastavaks +10 °C kraadile (t_i 20 °C, t_e 0 °C). Hoonet ümbritseva külmakerkesoojustuse puhul, vundamendi või sokli soojustuse puhul võib soojustuse keskmine

temperatuur olla madalam ja soojustusmaterjali keskmist temperatuuri võib pidada vastavaks $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Samuti võib olla materjali temperatuur madalam, kui tegemist on tarindis oleva õhukese kihiga, näiteks tuuletõkkeplaadiga.

$$F_m = e^{f_u \cdot (u_2 - u_1)} \text{ või } F_m = e^{f_{\Psi} \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)} \quad (5)$$

kus:

f_u	niiskuse massipõhine teisendustegur, kui materjali niiskussisalduse mõõtühik on kg/kg;
u_1	materjali keskmine massipõhine niiskussisaldus soojuserijuhtivuse mõõtmise ajal, kg/kg;
u_2	materjali keskmine massipõhine niiskussisaldus tarindis;
f_{Ψ}	niiskuse mahupõhine teisendustegur, kui materjali niiskussisalduse mõõtühik on m^3/m^3 ;
Ψ_1	materjali keskmine mahupõhine niiskussisaldus soojuserijuhtivuse mõõtmise ajal, m^3/m^3 ;
Ψ_2	materjali keskmine mahupõhine niiskussisaldus tarindis, m^3/m^3 .

Vastavalt tarindi võimalustele niiskuda 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 pöranda soojustus, mille alla on paigaldatud 20–30 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 pinnaseveega kontaktis olev soojustus).

Niiskuse mõju kuivas keskkonnas olevate paisutatud polüstüreenide soojuserijuhtivusele on väike ja üldjuhul ei mõjuta see soojuserijuhtivuse arvutussuurst ($\lambda_{ij} \approx \lambda_D$). Niiskes keskkonnas (sh pinnases) olevate tarindite ja materjalide puhul tuleb niiskuse mõju soojuserijuhtivuse arvutussuursele kindlasti arvesse võtta.

Teisendustegur F_a arvestab soojustehniliste omaduste muutust aja jooksul. Materjali omaduste muutus aja jooksul sõltub materjali tüübist, katkest, struktuurist, keemilisest koostisest, paksusest, keskkonnatingimustest jne. Seetõttu ei saa väga lihtsate reeglite abil materjali vananemise mõju hinnata. Konkreetse materjali vananemist on võimalik hinnata katsetel tuginevate mudelite abil. EPS-toodete soojuserijuhtivus ajas ei muutu. Kui aja jooksul võib soojustuse paksus väheneda, tuleb selle mõju arvesse võtta.

Lisaks eeltoodud temperatuuri-, niiskuse- ja aja mõjule mõjutab materjali soojuserijuhtivust ka õhu liikumine tema sees ehk materjalisisene konvektsioon. Soojustusesisene konvektsioon sõltub materjali õhuerijuhtivusest, soojustuse paksusest ja temperatuuride erinevusest kahel pool materjali.

Deklareeritud soojuserijuhtivus λ_D sobib arvutusväärtuseks, kui soojuserijuhtivuse mõõdetingimused vastavad keskkonnatingimustele hoone tarindis:

- materjali keskmine temperatuur on $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- materjali niiskussisaldus tarindis ei erine katsete niiskustikust olukorrast;
- soojustuse soojuserijuhtivus ei muutu aja jooksul pöördumatult või see on arvesse võetud juba deklareeritud soojuserijuhtivuse määramisel.

Soojuserijuhtivuse arvutussuurus λ_{ij} ümardatakse analoogselt jaotises 1.1 toodud reeglitega:

- soojuserijuhtivus, lähima kõrgema väärtuseni, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;
- soojustakistus, lähima madalama väärtuseni, $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.

Temperatuuri ja niiskuse teisendusteguriteks kasutatakse konkreetse tootja toodangu omadustele vastavaid tabeleid. Andmete puudumisel on projekteerijal raske hinnata materjali tegelikke omadusi. Suurusjärgu hinnangu andmiseks võib kasutada tabeli 3.3 andmeid.

Arvutusnäide 2: soojuseri juhtivuse arvutussuuruse leidmine: mittehügrokoopne soojustus seinas

EPS-i deklareeritud soojuseri juhtivus on $\lambda_D = 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Kui talvisel kütteperioodil on seinas soojustuse keskmine temperatuur $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ ja niiskussisaldus $0,7 \text{ kg/m}^3$ ning soojuseri juhtivus ei muutu ajas ($F_a = 1$), saab soojuseri juhtivuse arvutada valemi (4) abil:

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a = 0,040 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$\text{Temperatuuri mõju: } F_T = e^{f_r \cdot (T_2 - T_1)} = e^{0,034 \cdot (283,15 - 283,15)} = 1,0$$

$$\text{Niiskuse mõju: } F_m = e^{f_\Psi \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)} = e^{4 \cdot (0,0007 - 0,00053)} = 1,0$$

Arvutusnäide 3: hoone ümber pinnases olev rõhtsa paisutatud polüstüreensoojustuse arvutusliku soojuseri juhtivuse leidmine

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

Pinnases oleva EPS-i arvutusliku soojuseri juhtivuse temperatuuri mõju:

$$F_T = e^{f_r \cdot (T_2 - T_1)} = e^{0,0035 \cdot (268,15 - 283,15)} = 0,95$$

Kuna külmakerkesoojustuse arvutuslik temperatuur on $-5 \text{ }^\circ\text{C}$, võetakse niiskuse mõju arvesse tabelväärtusena (vt juhendit EPS 1) esitatud lisaga: $\Delta\lambda_m = 0,0007 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

$$\text{Niiskuse mõju: } F_m = e^{f_\Psi \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)} = e^{4 \cdot (0,007 - 0,007)} = 1,0$$

Soojuseri juhtivuse arvutussuurus:

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T + \Delta\lambda_m = 0,036 \cdot 0,95 + 0,0007 = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

2 Tarindi soojuslähivus

Hoonete välispiirded peavad olema pikaajaliselt õhku pidavad ja piisavalt soojustatud. Otstarbeka soojustuse määramisel lähtutakse hoone energiatõhususe nõuetest, ruumide soojuslikust mugavusest ja hallituse ning kondensaadi vältimisest külmasildadel, sisepindadel ja tarindites. Välisõhuga kontaktis olevate piirdetarindite soojuslähivus arvutatakse standardi EVS-EN ISO 6946 ja/või standardi EVS 908-1 järgi, pinnasega kontaktis olevate piirdetarindite soojuslähivus standardi EVS-EN ISO 13370 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 ja külmasildade mõju.

Piirde soojusläbivus U , $W/(m^2 \cdot K)$, arvutatakse valemiga 7 ümardatuna kahe kohani peale koma:

$$U = \frac{1}{R_T}, W/(m^2 \cdot K) \quad (6)$$

kus:

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

2.1 Soojuslikult homogeenestest kihtidest piirdetarindi kogusoojustakistus

Soojuslikult homogeenestest kihtidest tarindi kogusoojustakistus R_T , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse valemiga 8.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, (m^2 \cdot K)/W \quad (7)$$

kus:

R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt tabelit 2.2;

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

R_{se} piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt tabelit 2.2.

Soojuslikult homogeenese materjalikihi soojustakistus

Soojuslikult homogeenese materjalikihi arvutuslik soojustakistus R , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse valemiga 9:

$$R = \frac{d}{\lambda_d}, (m^2 \cdot K)/W, \quad (8)$$

kus:

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

Piirdetarindi sise- ja välispinna soojustakistus

Piirdetarindi pindade soojustakistus sõltub temperatuurist (õhu ja ümbritsevate pindade), pinna omadustest, geomeetriast, õhu liikumise kiirusest. Piirde soojusläbivuse arvutamisel kasutatakse pindade soojustakistuse arvutussuursusi, vt tabelit 2. Horisontaalse soojusvoo suund võib kuni $\pm 30^\circ$ erineda horisontaalist.

Tabel 2 Piirde pindade soojustakistused piirdetarindi soojusläbivuse arvutamisel.

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

2.2 Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega tarindi kogusoojustakistus

Tavaliselt ei koosne ükski piire täiesti homogeenestest kihtidest. Erinevate kihtide vahel on alati sidemed, puitsõrestik-seina soojustuskihis kandepostid, tellismüüritise vahel sidekiviread jne. Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus R_T , $m^2 \cdot K/W$, arvutatakse valemiga 10:

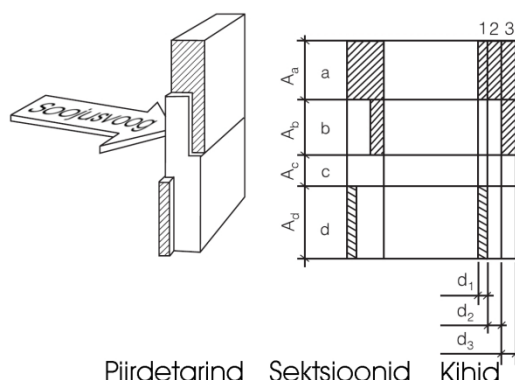
$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}, (m^2 \cdot K)/W \quad (9)$$

kus:

R'_T mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), $(m^2 \cdot K)/W$;

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

Kogusoojustakistuse ülemise ja alumise piirväärtuse arvutamiseks tuleb piirdetarind tükeldada soojustlikult homogeenseteks sektsioonideks ja kihtideks, vt joonist 1.



Joonis 1 Soojustlikult mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi skeem (vasakul) ja näide sektsioonide ja kihtide jaotusest puitsõrestikseinal (paremal)

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus R'_T , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojustakistuste summa abil valemi 11 kohaselt:

$$R'_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}, (m^2 \cdot K)/W \quad (10)$$

kus:

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

$R_{Ta}, \dots, R_{Tn}$ piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, mis arvutatakse valemi (7) kohaselt.

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus R''_T , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana valemi 12 kohaselt:

$$R''_T = R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{Se}, (m^2 \cdot K)/W \quad (11)$$

kus:

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

R_1, R_2, R_n iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse valemi 9 kohaselt (soojustlikult homogeenne kiht) või valemi 13 kohaselt (soojustlikult mittehomogeenne kiht), $(m^2 \cdot K)/W$;

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

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \quad (12)$$

kus:

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

$R_{xa}, \dots, R_{xn}$ mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused, mis arvutatakse valemi 9 kohaselt.

Maksimaalne suhteline arvutusviga e , %, arvutatakse valemiga 14:

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \cdot 100\%, \% \quad (13)$$

kus:

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

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

Eeltoodud mittehomogeensete materjalikihtidega piirde soojustakistuse arvutusmeetod on lihtsustatud meetod. See meetod ei sobi:

- külmasildadest põhjustatud pinnatemperatuuride arvutamiseks;
- kui mittehomogeense tarindi materjalide soojuserijuhtivused erinevad üle viie korra;
- kui arvutusviga e on suurem kui 20%.

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