

Lietuvoje gaminamø polistireninio putplasëio plokðëiø ðilumos laidumas

**Vladislovas Kerðulis,
Ivan Gnip,
Sigitas Vëjelis**

*VGTU Termoizoliacijos institutas,
Statybinio medþiagø panaudojimo
laboratorija, Linkmenø g. 28,
LT-08217 Vilnius*

Pateikiami ávairiø Lietuvos gamintojø gaminamø polistireninio putplasëio (EPS) plokðëiø ðilumos laidumo matavimo vidutinëje 10°C temperatûroje koeficientai. Tyrinëtø gaminio tankio ir jø ðilumos laidumo koeficiento λ_{10} vidutinës, prognozuojamosios ir deklaruojamosios verëiø koreliacija iðreikðta apskaiëiuotomis regresijos lygtimis. Gautieji rezultatai palyginti su LST EN 13163 pateiktais atitinkamais Europos gamintojø duomenimis. Parodyta, kad Lietuvos gamintojø EPS gaminiai atitinka LST EN 13163 reikalavimus. Aptarti ir paaiðkinti nedideli Lietuvos ir Europos EPS gaminio ðilumos laidumo skirtumai.

Raktaþodþiai: polistireninis putplastis (EPS), ðilumos laidumas, tankis, regresinë lygtis

1. ÁVADAS

Lietuvos statybose plaëiai naudojamos polistireninio putplasëio plokðëtës. Jas Lietuvos firmos gamina iðputinimo uþdaramo tûryje būdu ið atveptiniø þaliavø – daþniausiai ið „StyroChem“ (Suomija) ir BASF (Vokietija) firmø 0,9–2,5 mm þaliaviniø granuliø. Ðiø gaminio termoizoliacinës savybës priklauso tiek nuo þaliavos tipo, tiek nuo iðputinimo technologiniø reþimø ir gali labai skirtis.

Ankstesni polistireninio putplasëio plokðëiø ðiluminio ir stipruminio savybiø tyrimø tuo metu galiojusiais GOST metodais rezultatai ir jø palyginimai su anuomet rengto Europos standarto projekto reikalavimais pateikti darbe [1]. Taëiau per keletà pastarøjø metø pasikeitë reikalavimai tiek ðilumos laidumo matavimams, tiek gaminiams. Darnusis standartas [2] nustatë, kad ðilumos laidumo matavimai turi būti atliekami tik pagal standartø [3, 4] reikalavimus. Be to, ir standarte [2] pateiktos polistireninio putplasëio ðiluminio charakteristikø priklausomybiø nuo tankio regresijos gerokai skiriasi nuo pateiktøjø anksëiau minëtame jo projekte.

Ðio darbo tikslas – atlikti tiesioginius daugumos stambiausio Lietuvos gamintojø ávairiø tipø ir tankiø polistireninio putplasëio plokðëiø ðilumos laidumo matavimus vidutinëje 10°C temperatûroje ir apibendrintus rezultatus palyginti su Vakarø Europos ðaliø gamintojø atitinkamais rezultatais.

2. BANDYMØ METODIKA IR EKSPERIMENTINIØ REZULTATØ MATEMATINIS-STATISTINIS APDOROJIMAS

Polistireninio putplasëio plokðëiø ir jø bandinio tankiai buvo nustatyti pagal [5]. Èia, kaip priimta statybø praktikoje, tankiu vadinamas tariamasis polistireninio putplasëio tankis, lygus polimerinio karkaso ir jo porose esanëios dujinës fazës masiø sumos ir uþimamo bendro tûrio santykiui.

305 × 305 × (30–105) mm bandinio ðilumos laidumo koeficientai vidutinëje 10°C temperatûroje buvo nustatyti pagal [3]. Visi matavimai atlikti vieno bandinio simetrinës konfiguracijos horizontalaus tipo ðilumos srauto matuoklio [6] árenginiu FOX 304 (Laser Comp, JAV) su aktyvia bandinio kraðtø apsauga esant ðilumos srauto krypëiai ið apaëios á virðø ir bandinio pavirðiø temperatûrø skirtumui 20°C. Árenginys buvo kalibruojamas pagal sertifikuotus etaloninius bandinius ið stiklo vatos plokðëtës IRMM-440 (IRMM, ES) ir ið polistireninio putplasëio EPS (NIST, JAV). Bandiniai buvo kondicionuojami iðlaikant iki pastovios masës $23 \pm 2^\circ\text{C}$ temperatûros ir $50 \pm 5\%$ santykinio oro drëgnio aplinkoje.

Kadangi dėl tiriamos medþiagos struktûros specifikos [8] stebima þenkli eksperimèntiniø duomenø sklaida, taikyti statistinio rezultatø apdorojimo ir jø regresinës analizës metodai. Buvo pasirinktas tas pats bandinio tankio ir jø ðilumos laidumo regresinës priklausomybës modelis, kaip ir [2]. Ðiø empiriniø lyg-

ëiø pastovieji koeficientai buvo nustatyti maþiausiø kvadratø metodu [7, 9].

Prognozuojamoms didþiausioms ðilumos laidumo koeficiento vertëms ávertinti pasirinktas vidutinis kvadratinis nuokrypis S_{tar} , kuris yra absoliutus vidutinis eksperimentiniø duomenø nuokrypiø nuo apskaiëiuotø kreivës matas, pastovus visose jos atkarpose:

$$S_{tar} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_{10,i} - \bar{\lambda}_{10,i})^2}{n - m}}; \quad (1)$$

ëia

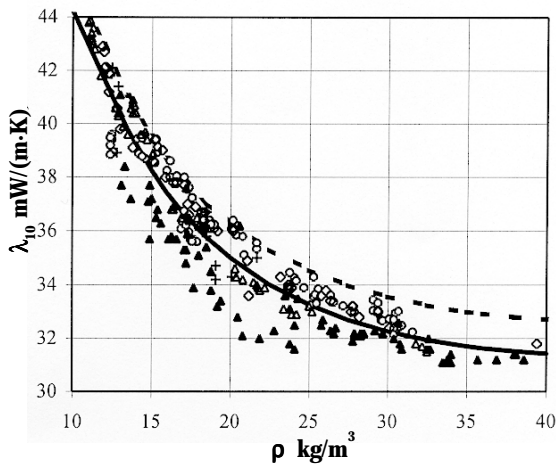
$\lambda_{10,i}$ – faktinë (iðmatuotoji) ðilumos laidumo koeficiento vertë;

$\bar{\lambda}_{10,i}$ – atitinkama ðilumos laidumo koeficiento vertë pagal regresinë lygtá;

n – eksperimento duomenø skaiëius;

m – lygties parametrø skaiëius (pagal panaudotà lygties modelà [2] $m = 3$).

3. TYRIMØ REZULTATAI



1 pav. Polistireninio putplasëio plokðëiø ðilumos laidumo koeficiento priklausomybë nuo tankio.

○, ◇, △, ▲, + – eksperimentiniai duomenys apie ávairiø gamintojø plokðetes. Iðtisinë linija – atitinkamos $\bar{\lambda}_{10}$ vertës pagal (2) regresijos lygtá punktyrinë linija – deklaruojamø λ_{10D} vertës pagal (3) regresijos lygtá

Penkiø pagrindiniø Lietuvos polistireninio putplasëio gamintojø ávairaus tankio produkcijos, pagamintos ið anksëiau minëtø firmø þaliavø, ðilumos laidumo matavimo koeficientai parodyti 1 pav. Atlikus ðiø duomenø matematinæ-statistinæ analizæ gauta regresijos lygtis

$$\bar{\lambda}_{10} = 21,69 + 0,1023 \cdot \rho + \frac{225,4}{\rho}, \quad (2)$$

kurios $S_{tar} = 0,91 \text{ mW} / (\text{m} \cdot \text{K})$.

1 pav. punktyrine linija taip pat pateikta λ_{10} kvantilio $p = 90\%$ virðutinë riba, kai vienpusis pasiklovimo lygmuo $(1 - \alpha) = 90\%$. Ðiø maksimaliø ðilumos laidumo koeficiento verëiø ir vidutiniø verëiø, kai eksperimentiniø rezultatø kiekis $n = 257$ ir $k = 1,41$ [2], skirtumas sudaro

$$k S_{tar} = 1,41 \cdot 0,91 = 1,283 \text{ mW} / (\text{m} \cdot \text{K}).$$

Todël maksimaliø galimø λ_{10} verëiø, apskaiëiuotø taip pat, kaip skaiëiuojamos deklaruojamø vertës [2], priklausomybæ nuo tankio (1 pav., punktyrinë linija) galima iðreikðti regresine lygtimi

$$\lambda_{10D} = 22,97 + 0,1023 \cdot \rho + \frac{225,4}{\rho}. \quad (3)$$

Vidutiniø $\bar{\lambda}_{10}$ verëiø, apskaiëiuotø pagal (2) lygtá, palyginimas su [1] pateiktais atitinkamais λ_{10} duomenimis, kurie buvo perskaiëiuoti pagal [10] ið iki 2000 m. pagal GOST 7076-87 nustatytø λ_{25} verëiø, rodo, kad dabartiniø polistireninio putplasëio gaminø vidutinis ðilumos laidumo koeficientas tankio diapazone nuo 10 iki 30 kg/m^3 yra apie 4% maþesnis. Tikëtina, kad ða skirtumà sàlygoja tai, jog beveik visi gamintojai dabar naudoja kokybiðkesnes, palyginti su anksëiau importuotomis ið Rusijos ir Ukrainos, þaliavines granules. Be to, galima ir ðiø $\bar{\lambda}_{10}$ skirtumø ávertinimo paklaida dël ankstesniø matavimø vidutinëje 25°C temperatûroje ir empiriniø gautø verëiø perskaiëiavimø á vidutinà 10°C temperatûrà.

Kadangi ðilumos laidumo koeficiento verëiø regresinë priklausomybës nuo tankio [2] pateiktos 50 mm storio bandiniams ir ëia taip pat pateiktos storio átakos parametro L vertës, ðio darbo 1 pav. parodyti eksperimentiniai duomenys buvo atitinkamai perskaiëiuoti. Tada

$$\bar{\lambda}_{10} = 25,71 + 0,02563 \cdot \rho + \frac{171,6}{\rho}, \quad (4)$$

su $S_{tar} = 0,91 \text{ mW} / (\text{m} \cdot \text{K})$, o

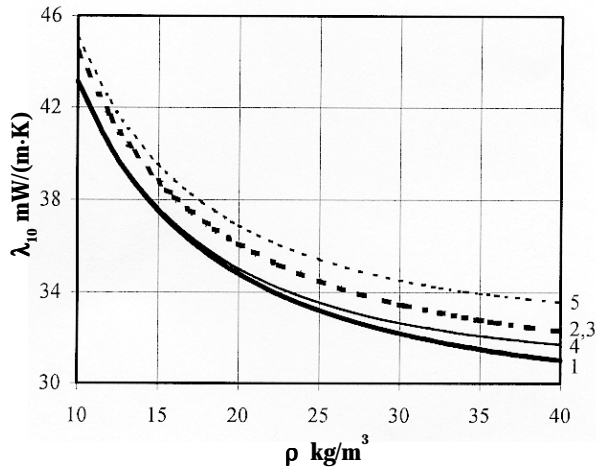
$$\lambda_{10D} = 26,99 + 0,02563 \cdot \rho + \frac{171,6}{\rho}. \quad (5)$$

Prognozuojamàjà $\lambda_{10,progn.}$ vertæ, kai vienpusis pasiklovimo lygmuo 90% (pagal analogijà su [2]), galima iðreikðti lygtimi:

$$\lambda_{10,progn.} = 26,87 + 0,02563 \cdot \rho + \frac{171,6}{\rho} \quad (6)$$

(kai $n = 257$, $t_{0,9;n} = 1,28$ [11] ir $t_{0,9;n} \cdot S_{tar} = 1,28 \cdot 0,91 = 1,16 \text{ mW} / (\text{m} \cdot \text{K})$).

Ðiø trijø regresijø empirinësiø linijos, taip pat atitinkamos linijos $\bar{\lambda}_{10}$ ir $\lambda_{10,progn.}$ ið [2] parodytos 2 pav.



2 pav. Polistireninio putplasėio plokščio šilumos laidumo koeficiento λ_{10} regresinės priklausomybės nuo tankio, perskaičiuotos 50 mm storio bandiniams: 1 – vidutinės vertės; 2 – prognozuojamosios vertės; 3 – deklaruojamosios vertės; 4 ir 5 – atitinkamos vidutinės ir prognozuojamosios vertės pagal LST EN 13163

Lietuvoje gaminamø polistireninio putplasėio plokščio šilumos laidumo vidutinės vertės, palyginti su atitinkamomis vertėmis, pateiktomis darbe [2], yra apie 1% mažesnės tankio intervale 10–25 kg/m³, o tankio intervale 25–40 kg/m³ šis skirtumas siekia apie 2%. Prognozuojamøjø $\lambda_{10, \text{progn.}}$ verėio skirtumas tankio diapazone nuo 10 iki 40 kg/m³ didėja nuo 1,7 iki 4,2%. Šiuos palyginti nedidelius skirtumus galima paaiškinti tuo, kad Lietuvos gamintojai naudoja identišką įaliavas ir technologijas, o pateikti [2] duomenys apima daugelio Europos valstybiø gamintojø duomenis ($n = 3873$), kur tiek įaliavas, tiek technologijos gali būti labai skirtingos ir sąlygoti įenklià eksperimentiniø duomenø bazės sklaidà.

Todėl, vertinant Lietuvos gamintojø polistireninio putplasėio plokščio šilumos laidumà, tikslinga naudotis ne [2], bet šiame darbe pateiktomis aproksimuotomis (4) ir (6) regresijos lygtimis.

Pagal (5) lygtà galima àvertinti ir deklaruojamàsias Lietuvoje gaminamø polistireninio putplasėio plokščio šilumos laidumo koeficientø vertes. Bandinio storio àtakos parametrà L galima nustatyti pagal [2]. Deklaruojamøjø verėio diapazone nuo 0,035 iki 0,046 W / (m · K) L galima apskaičiuoti ir pagal [2] duomenis sudarytà lygtà

$$L = 1,066 - 4,43 \cdot \lambda_{10D} + 0,00178 \cdot d; \quad (7)$$

ėia d – bandinio storis mm.

Šios lygties $S_{\text{tar}} = 0,00507$, o L vertės nustatymo absoliuti paklaida $\pm 0,009$. Gautoji L vertė turi būti apvalinama iki dviejø įenkliø po kabelio ir priimama lygia 1,00, kai gaunama didesnė. Pasi-naudojus šia lygtimi atkrinta L lentelinio verėio [2] ekstrapoliacijos pagal d ir λ_D būtinybė.

4. IŠVADOS

1. Eksperimentiškai nustatyti Lietuvoje gaminamø polistireninio putplasėio plokščio šilumos laidumo koeficientai.

2. Apskaičiuotos šiø gaminiø šilumos laidumo koeficientø vidutinio, prognozuojamøjø ir deklaruojamøjø verėio priklausomybės nuo tankio regresijos lygtys.

3. Parodyta, kad Lietuvoje gaminamos polistireninio putplasėio plokščes atitinka LST EN 13163 reikalavimus. Jø šilumos laidumo koeficientø vidutinės ir prognozuojamosios vertės tankio diapazone nuo 10 iki 40 kg/m³ yra atitinkamai (1–2)% ir (1,7–4,2)% mažesnės uþ pateiktas [2]. Aptartos galimos šiø skirtumø priežastys.

4. Parodyta, kad dabar gaminamø 10–30 kg/m³ tankio polistireninio putplasėio plokščio šilumos laidumas apie 4% mažesnis negu iki 2000 m. gamintø plokščio. Parodytos galimos šiø skirtumø priežastys.

Gauta 2004 11 12

Literatūra

1. Keržulis V., Gnip I., Vėjelis S. The physical-mechanical properties of expanded polystyrene boards used in Lithuanian constructions // Abstracts of the 7th Internat. Conf. "Modern Building Materials, Structures and Techniques". Vilnius, May 16–18, 2001. P. 113–114].
2. LST EN 13163:2003 lt. Statybiniai termoizoliaciniai gaminiai. Gamykliniai polistireninio putplasėio (EPS) gaminiai. Techniniai reikalavimai. 40 p.
3. LST EN 12667–2002 en. Statybinio medžiagø ir gaminiø šiluminės charakteristikos. Šiluminės varžos nustatymas apsaugotos karėtosios plokščes ir šilumos srauto matuoklio metodais. Didelės ir vidutinės šiluminės varžos gaminiai. 54 p.
4. LST EN 12939:2002 en. Statybinio medžiagø ir gaminiø šiluminės charakteristikos. Šiluminės varžos nustatymas apsaugotos karėtosios plokščes ir šilumos srauto matuoklio metodais. Stori didelės ir vidutinės šiluminės varžos gaminiai. 32 p.
5. LST EN 1602+AC:1998 lt. Statybinės termoizoliacinės medžiagos. Tankio nustatymas. 5 p.
6. ISO 8301:1991 (E). Thermal insulation. Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Heat flow meter apparatus. 40 p.
7. Айвазян С. А. Статистическое исследование зависимостей. Применение методов корреляционного и регрессионного анализов и обработка результатов эксперимента. Москва: Металлургия, 1968. 228 с.
8. Дементьев А. Г., Тараканов О. Г. Структура и свойства пенопластов. Москва: Химия, 1983. 172 с.
9. Sakalauskas V. Statistika su Statistica. Vilnius: Margi raštai, 1998. 228 p.
10. Gnip I., Keržulis V. Temperatūros àtakos termoizoliaciniø medžiagø ir gaminiø šilumos lai-

dumui ávertinimas // Energetika. 1998. Nr. 4. P. 54–58.

11. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. Москва: Наука, 1983. 416 с.

Vladislovas Kerðulis, Ivan Gnip, Sigitas Vëjelis

THERMAL CONDUCTIVITY OF EXPANDED POLYSTYRENE BOARDS MADE IN LITHUANIA

Summary

The thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) boards made by different Lithuanian producers was measured at an average temperature of 10°C. The correlation between the density of investigated products and the mean, predicted and declared values of λ_{10} has been expressed by corresponding regressive equations. The presented results are compared with those given in LST EN 13163, which are the average values for European producers from different countries. It has been confirmed that Lithuanian EPS products correspond to the requirements of LST EN 13163. The small differences in the thermal conductivity of Lithuanian and European EPS products are discussed and explained.

Key words: expanded polystyrene (EPS), thermal conductivity, density, regressive equation

Владисловас Кершулис, Иван Гнип, Сигитас Веялис **ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПРОИЗВОДИМЫХ В ЛИТВЕ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЛИТ**

Резюме

Приводятся экспериментальные данные измерения теплопроводности при средней температуре 10°C пенополистирольных плит, изготовленных литовскими производителями. Корреляции между плотностью исследованных изделий и соответствующими средними, прогнозируемыми и декларируемыми значениями теплопроводности λ_{10} выражаются регрессионными уравнениями. Полученные результаты сравнены с соответствующими данными европейских производителей, представленными в LST EN 13163. Показано, что производимые в Литве пенополистирольные плиты по теплопроводности соответствуют требованиям LST EN 13163. Обсуждены и объяснены незначительные расхождения между теплопроводностью литовских и европейских изделий.

Ключевые слова: пенополистирол, теплопроводность, плотность, уравнение регрессии