



18-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,

vykusios 2015 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 18th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 6 May 2015, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 18-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 6 мая 2015 г., Вильнюс, Литва

SUNKVEŽIMIO IZOTERMINIO KĖBULO IZOTERMINĖS PERTVAROS EFEKTYVUMO PALYGINAMASIS TYRIMAS

Aurimas Baltrūnas¹, Vilius Bartulis²

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas,
Transporto technologinių įrenginių katedra*

El. paštas: ¹aurimas.baltrunas@stud.vgtu.lt; ²vilius.bartulis@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje pristatomas sunkvežimio izotermio kėbulo vidinės pertvaros jungties su kėbulu terminis bandymas. Pateikta izotermio sunkvežimio kėbulo vidinės pertvaros ir jos jungčių su kėbulu šiluminės varžos nustatymo metodika. Išnagrinėtos ir trumpai apibendrintos senos ir naujos UAB *Schmitz Cargobull Baltic* izoterminių kėbulų vidinių pertvarų terminio atskyrimo technologijos. Pateikti tyrimo rezultatai, rodantys, kuriose vietose senos konstrukcijos pertvaros turi šalčio tiltelius, ir rezultatai palyginti su naujos konstrukcijos terminiu atskyrimu.

Reikšminiai žodžiai: izotermis kėbulas, pertvara, terminis atskyrimas, šalčio tiltas, terminis bandymas.

Įvadas

Sunkvežimiams izoterminius kėbulus gaminančios įmonės tarpusavyje konkuruoja, siekdamos užsitikrinti kuo didesnę dalį sunkvežimių kėbulų rinkos tiek Europos Sąjungos šalyse, tiek už jos ribų, todėl gamintojai stengiasi klientams pasiūlyti kuo kokybiškesnį ir universalesnį produktą. Izoterminių kėbulų universalumas stambiųjų vidurio ir Vakarų Europos prekybos tinklams yra svarbus, nes izotermniais kėbulais vežama skirtinga produkcija, kuriai reikalinga, kad kėbulo pertvara ne tik atskirtų kėbulo tūrius, tačiau ir patikimai išlaikytų temperatūrų skirtumą ribose tarp $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, o tai galima pasiekti tik su izotermėmis kėbulo vidinėmis pertvaromis.

Šiuo metu UAB *Schmitz Cargobull Baltic* gamina muose izotermniuose kėbuluose su vidinėmis izotermėmis kėbulo pertvaromis pagrindinė problema yra ta, kad izotermniuose kėbuluose vežant prekes vienoje kameroje, kurioje temperatūra siekia $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$, ir sekančioje, kur temperatūra yra apie $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, prekės, sudėtos ant europadėklų, priešąla prie grindų – tai reiškia, kad kėbulų su izotermėmis pertvaromis terminio atskyrimo technologija nėra efektyvi. Norint išsiaiškinti esamos technologijos netobulumus, galima pasitelkti šiuolaikinę infraraudonųjų spindulių termografiją.

Dėl skirtingomis temperatūromis įšildytų konstrukcijos elementų skirtingų šiluminių varžų, jų paviršiuose temperatūra pasiskirsto netolygiai, todėl, pasitelkus ter-

minio matymo kamerą, galima nustatyti temperatūros pasiskirstymą konstrukcijos elementuose ir gauti šiluminio srauto vaizdą. Šiluminio pasiskirstymo vaizdą galima panaudoti konstrukcijos termoizoliacinėms savybėms įvertinti, aptikti šalčio tiltelius (vietas, per kurias migruoja šiluma arba šaltis) ir tobulinti technines konstrukcijos charakteristikas.

Šio darbo tikslas yra ištirti naujos konstrukcijos terminio atskyrimo technologiją, kurią būtų galima panaudoti, užtikrinant sunkvežimio izotermio kėbulo multifunktionalumą.

Atlikus terminį konstrukcijos tyrimą, galima aptikti šalčio tiltelius, nustatyti kritines konstrukcijos netobulumo zonas, kuriose atsirandantys šilumos arba šalčio nuostoliai tiesiogiai įtakoja konstrukcijos patikimumą ir kokybę, taip pat apskaičiuoti faktinę konstrukcijos šiluminę varžą ir rezultatus palyginti su projektinėmis pertvarų charakteristikomis (*Burlingis, Ramanauskas*). Izotermio sunkvežimio kėbulo vidinės pertvaros konstrukcijos terminio tyrimo metu galima palyginti naujos konstrukcijos terminį izoterminės pertvaros atskyrimo efektyvumą su senos kartos kėbulo izotermine pertvara. Tuomet, radus šilumos nuostolių kritines zonas, atnaujinti konstrukciją taip, kad projektuojamos kėbulo vidinės pertvaros atitiktų gamintojui vartotojo keliamą reikalavimą prekes izotermniuose kėbuluose transportuoti kelių temperatūrinių zonų kameroje, taip prekes išlaikant atšaldytas ir tuo pačiu šviežias.

Terminiam tyrimui atlikti naudotas prietaisas (termovizorius). Prietaiso panaudojimo galimybės

Atsižvelgiant į platų infraraudonųjų spindulių matavimo spektrą termografinė patikra gali būti plačiai naudojama šiluminės energetikos, elektros energetikoje, naftos chemijos pramonėje, statyboje, metalurgijoje, medicinos pramonėje ir pan.

Termovizoriumi bandymui atlikti pasirinktas amerikiečių gamybos terminio matymo prietaisas su filmavimo galimybe (1 pav.), kurį moksliniams tyrimams naudoja ir VGTU Transporto technologijų inžinerių katedra.



1 pav. Termovizorius FLIR T420

Pagrindinis skirtumas tarp pirometrų (infraraudonųjų spindulių termometrų) ir termovizorių yra tas, kad televizijos dažnio diapazone termovizoriaus dėka galima fiksuoti temperatūrų skirtumą 0,045 °C tikslumu.

Terminiam tyrimui pasirinkto terminio matymo prietaiso *FLIR T420* techninės charakteristikos:

- formatas 320×240 eilučių esant 60 Hz kadro dažniui;
- jautrumas – 0,045°C esant 30 °C aplinkos temperatūrai;
- matavimo temperatūros diapazonas nuo –20 °C iki 650°C;
- atminties talpa: 2 GB.

Atlikus termografinį tyrimą galima pamatyti visus konstrukcijos šiluminės izoliacijos trūkumus ir įvertinti šilumą / šaltį izoliuojančių medžiagų ar konstrukcijų terminį efektyvumą (Ramanauskas). Termoviziniai matavimai plačiai taikomi garo ir karšto vandens tiekimo sistemose nustatant pažeisto vamzdyno ir jo izoliacijos pažeidimo vietas, elektros tiekimo sistemų įrenginiuose – nustatant padidėjusios temperatūros taškus skydinėse, elektros energijos tiekimo linijų, galios ir matavimo transformatorių, komutacijos aparatų, saugiklių, mechaninių įrengimų pavarų, velenų temperatūros padidėjimo vietas, statybose – matuojant šilumos varžas ar norint nustatyti konstrukcijos šaltio teltelius.

Infraraudonųjų spindulių matavimams įtaką darančių veiksnių įvertinimas

Infraraudonųjų spindulių matavimų esmę sudaro tai, jog visi kūnai, kurių temperatūra yra aukštesnė už abso-

liutų nulį, išspinduliuoja elektromagnetinę energiją, tarp jų – ir įvairaus ilgio infraraudonųjų spindulių bangas. Juodo kūno išspinduliuojamos energijos temperatūrinę priklausomybę nustato Planko dėsnis:

$$W_{\lambda b} = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot (e^{hc/K\lambda v} - 1)}, \quad (1)$$

čia $\pi = 3,14$; h – Planko konstanta; c – šviesos greitis; K – Bolcmano konstanta; λ – numatytas bangos ilgis; v – juodo kūno absoliuti temperatūra.

Realaus kūno išspinduliuojama energija W_E priklauso nuo kūno absoliučios temperatūros, medžiagos ir jos paviršiaus lygumo, ir yra lygi:

$$W_E = f(v, \epsilon), \quad (2)$$

čia ϵ – spinduliavimo koeficientas.

Taigi termografinis tyrimo būdas yra pagrįstas infraraudonųjų bangų ilgio ir realaus kūno spinduliavimo gebos įvertinimu.

Termovizoriumi infraraudonuosius spindulius galima matuoti per atstumą nuo objekto, o tai leidžia ištirti įvairaus temperatūrų diapazono, dydžio ir sudėtingumo objektus. Jis turi displėjų, rodantį matuojamo paviršiaus bendrą temperatūrų spalvinį vaizdą, programinė įranga gali nustatyti atskirų zonų bei taško absoliučias temperatūras. Tai labai svarbu įvertinant didelių paviršių šilumos nuostolius.

Atliekant temperatūros matavimus terminio matymo kamera, reikia atsižvelgti į tai, jog realūs kūnai turi savybę energiją spinduliuoti (spinduliavimo koeficientas), absorbuoti (absorbcijos koeficientas), atspindėti (atspindžio koeficientas) ir praleisti (pralaidumo koeficientas). Taigi, atliekant termografinį tyrimą, bendra kūno spinduliuojama energija gali būti aprašyta pagal formulę:

$$W_{\Sigma} = W_E + W_R + W_T, \quad (3)$$

čia W_E , W_R , W_T – atitinkamai išspinduliuojamos, atspindėtos ir pro kūną praleidžiamos energijos dedamosios (būdinga skaidriems kūnams, pvz., stiklui ir pan.).

Dėl tiriamų kūnų medžiagos neskaidrumo nebūdinga W_T dedamoji, todėl formulė supaprastėja;

$$W_{\Sigma} = W_R + W_E. \quad (4)$$

Didžiausios paklaidos gali atsirasti dėl kūno spinduliavimo gebos ir atspindžio koeficientų parinkimo. Kūno spinduliavimo koeficientas ϵ gali būti nuo 0 iki 1. Kuo ϵ mažesnis, tuo didesnę įtaką turės kūno atspindėta energija. Temperatūrų matavimui geriausia, kad kūno paviršius būtų matinis ir juodas, nes juodas kūnas gali visiškai absorbuoti energiją. Termovizoriuje keičiant ϵ galima sulgynti tiriamojo kūno temperatūrą su „juodo kūno“, kurio $\epsilon = 1$ (2 pav.). Tik tuomet gaunamas tikrasis matuojamo kūno ϵ (Deksnyš *et al.* 2001).

Atliekamo bandymo metu, panaudojant pirometrą, spinduliavimo koeficientas ϵ termovizoriuje buvo parinktas $\epsilon = 0,95$.



2 pav. Termovizoriaus kalibravimas – naudojant pirometrą sulyginamas spinduliavimo koeficientas ϵ

Tyrimo metodika. Kiekybinis metodas

Kiekybinis metodas taikomas konstrukcijos šiluminiam auditui atlikti. Jis skirtas kūnų šiluminės izoliacijos varžai ir prarandamam šilumos kiekiui įvertinti.

Šiluminė varža – pagrindinė kiekybinė konstrukcijos šilumos laidumo įvertinimo charakteristika. Praktikoje yra svarbu izoterminei konstrukcijai su veikiančia šildymo / šaldymo sistema nustatyti pasipriešinimą šilumos nuotėkiui, kad būtų galima sulygtinti faktinės šiluminės varžos atitikimą projektinei ir tai įvertinti. Šiluminę varžą galima apskaičiuoti pagal formulę (Deksnyš *et al.* 2001):

$$R = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{1}{\alpha_l} + \frac{v_{ov} - \frac{\alpha_l}{\alpha_v} \cdot (v_{sl} - v_{ol}) - v_{sl}}{\alpha_l \cdot (v_{sl} - v_{ol})}, \quad (5)$$

čia α_v ir α_l – atitinkamai sienos vidinio ir išorinio paviršių šilumos atidavimo koeficientai, v_{ov} ir v_{ol} – atitinkamai patalpos vidaus ir išorės oro temperatūros, v_{sl} – sienos lauko paviršiaus temperatūra.

Praktiniuose skaičiavimuose atskirų zonų termoizoliacijos varžos palyginimui yra patogesnė formulė, kurioje įvertinama sienų vidaus paviršiaus temperatūra, nes matavimo sąlygos patalpos viduje yra pastovesnės ir termoizoliacijos gebos svyravimai ryškesni (Vektaris 1994):

$$R = [(v_{ov} - v_{ol}) / (v_{ov} - v_{sv}) - 1] : \alpha_v, \quad (6)$$

čia v_{sl} – sienos vidaus paviršiaus temperatūra.

Šilumos atidavimo koeficientai tiksliai apskaičiuojami matuojami eksperimentiniu būdu pagal vidutinius šilumos srautus ir temperatūras. Remiantis atliktais tyrimais, praktiniams skaičiavimams gali būti naudojami statistiniai atitvarų sienų vidaus ir išorės šilumos atidavimo koeficientai $\alpha_v = 7,2$; $\alpha_l = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Turint izoterminės sienelės šiluminę varžą ir paviršių temperatūras, apskaičiuojami faktiniai šilumos nuostoliai per tiriamosios sienelės menamąją dalį (Deksnyš *et al.* 2001):

$$Q_{at} = \frac{1}{R_{at}} \cdot A_{at} \cdot (v_{sv} - v_{sl}), \quad (7)$$

čia A_{at} – tiriamosios pertvarinės sienelės menamas plotas, m^2 .

Kai turima bendra pertvarinės sienelės apžiūros temperatūrinis vaizdas, apskaičiuojami visi faktiniai šilumos nuostoliai per sienelę (Deksnyš *et al.* 2001):

$$Q_p = Q_{at} + Q_{viet.}, \quad (8)$$

čia $Q_{viet.}$ – šilumos nuostoliai dėl vietinių šilumos nutekėjimų, W.

Sunkvežimio izoterminės pertvaros terminio atskyrimo efektyvumo tyrimas

Tyrimui atlikti naudoti metrologiškai patikrinti prietaisai (3, 4 pav.):

- Termovizorius *FLIR T420*;
- Pirometras *FLUKE 62 MINI* (3 pav.);
- Ruletė (3 pav.);
- Laikmatis;
- Oro temperatūros skaitmeninis matuoklis *Testo 925* (4 pav.);
- Infraraudonųjų spindulių lempa – galingumas 1200 W.



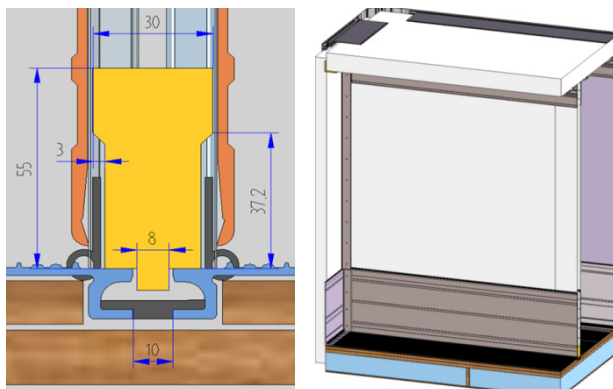
3 pav. Skaitmeninis pirometras *FLUKE 62 MINI* ir ruletė



4 pav. Oro temperatūros matuoklis *Testo 925*

Sunkvežimio naujos technologijos terminio atskyrimo technologija:

Naujos kartos išilginės pertvaros su terminiu atskyrimu technologija pasižymi tuo, kad izoterminė sienelė įstatoma į aliuminio dangą dengtas grindis, kuriose aliuminio dangą yra įpjauta išilgai kėbulo, pertvarinės sienelės apačia į kėbulo grindis su specialiu aliuminio profiliu fiksuojama panaudojant įlietinę PVC-U plastiko medžiagos detalę ir sandarinama EPDM (kietumas SH – 60) gumos profiliu, kaip pavaizduota 5 pav.



5 pav. Kėbulo izoterminės pertvaros su terminiu atskyrimu pjūvis

Grindų aliuminio profilio išpjovai užsandarinti panaudoti dviejų komponentų Koeropor 489 klijai – tai pakankamai kietas silikonas, puikiai apsaugantis medžiagas nuo drėgmės (6 pav.)



6 pav. Kėbulo izoterminės grindyse dėl terminio atskyrimo padarytas pjūvis sandarinamas Koemerling Koerapur 489 dviejų komponentų silikoniniais klijais

Terminio atskyrimo tyrimo eiga (7 pav.)

1) Sukalibruojama įranga, parenkamas 5 m atstumas iki objektų, pamatuojama pradinė bandinių temperatūra;

2) Pirmas bandinys testuojamas su senos konstrukcijos išilgine izoterminė pertvara, antrojo bandymo metu testuojama naujos konstrukcijos pertvara su terminiu atskyrimu;

3) Įjungiamas šilumos šaltinis uždaramė bandinyje, kuris temperatūrą bandinyje pakelia nuo 19,3°C iki 59°C. Termovizoriumi stebima, kur konstrukcija yra nesandari. Matavimų trukmė – 10 min. (to pakanka termovizoriumi

pamatyti kritines zonas). Šiame laikotarpyje kas 2,5 min. padaromos termogramos;

4) Bandymas pakartojamas tris kartus;

5) Atliekami skaičiavimai, padaromos išvados.



7 pav. Kėbulo izoterminės pertvaros su terminiu atskyrimu terminio tyrimo eiga – atliekamas antrasis bandymas

Tyrimo metu gautos termogramos

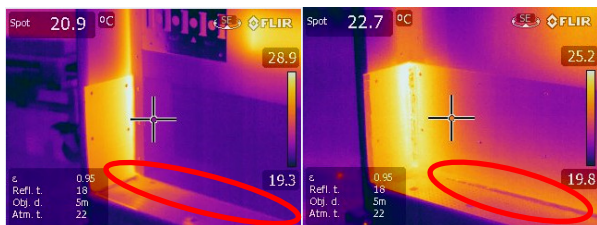


8 pav. Senos konstrukcijos izoterminės pertvaros be terminio atskyrimo termograma – sienelės sujungime su grindimis ryškiai matomas šalčio tiltas (pertvaros sujungimai su priekio siena ir stogu, krovinio tvirtinimo juosta nevertinama)



9 pav. Naujos konstrukcijos izoterminės pertvaros su terminiu atskyrimu termograma – sienelės sujungime su grindimis šalčio tilto nebėra (pertvaros sujungimai su priekio siena ir stogu, krovinio tvirtinimo juosta nevertinama)

Atlikus infraraudonųjų spindulių tyrimą, 10 pav. kairėje esančioje termogramoje matyti, jog senos konstrukcijos izoterminio kėbulo pertvaros sujungime su grindimis šiluma pereina, kas nurodo šiluminės varžos sumažėjimą ir didelius šiluminius nuostolius – kitaip tariant atsiradusį šalčio tiltelį.

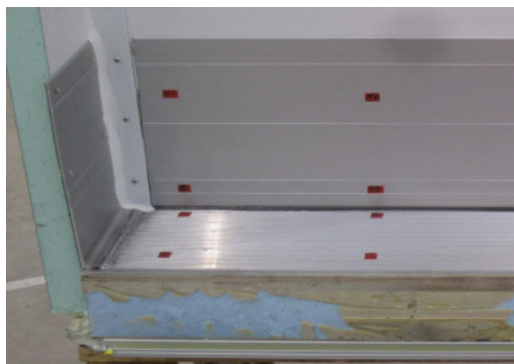


10 pav. Pertvaros sujungimas su grindimis (kairėje pusėje pertvaros sujungimas su grindimis be terminio atskyrimo, dešinėje pusėje sujungimas su terminiu atskyrimu)

Panagrinėjus termogramas atidžiau pastebimi šilumos perėjimai pertvaros sujungimuose su priekine siena (šalčio tiltelis ties aliuminių apsauginių juostų sujungimais) ir su stogu (šalčio tiltelis tarp aliuminio jungimo profilių). Šiose vietose reikalingi tolimesni konstrukciniai pakeitimai.

Terminio atskyrimo tyrimo rezultatai

Apskaičiavus temperatūras pasirinktuose taškuose (11 pav.), palygintos abi konstrukcijos.

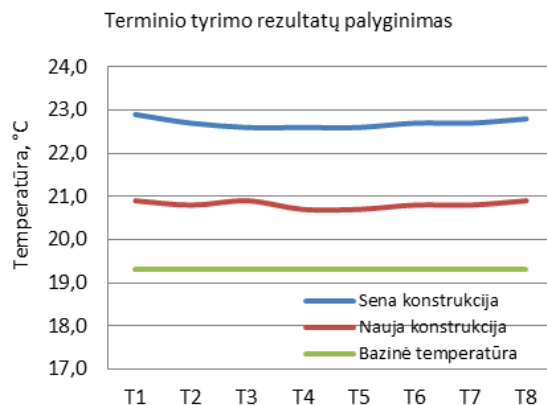


11 pav. Pasirinkti matavimo taškai (naujos konstrukcijos bandinys su terminiu atskyrimu)

Pertvaros sujungime su grindimis be terminio atskyrimo ir naujos konstrukcijos pertvaros sujungime su grindimis panaudojant terminį atskyrimą gauti duomenys pateikti 12 pav.

Literatūra

- Burlingis A.; Samajauskienė B.; Ramanauskas J. 2003. An Influence of outdoor temperature on thermal performance of windows with a low-emissivity glazings, *Journal of civil Engineering and Management* 9(2): 115–121. ISSN 1392-3730.
- Deksnyš R., et al. 2001, Šiluminės energijos nuostolių įvertinimas ir defektų nustatymas infraraudonųjų spindulių termografija. *Energetika 2*: ISSN 0235–7208. Prieiga per internetą: <<http://www.1maleidykla.lt/publ/0235-7208/2001/2/En-35.pdf>>.
- Ramanauskas J.; Bliūdžius R.; Stankevičius V. 2005. *Langų šiluminės savybės* [Thermal properties of windows]. Kaunas: Technologija. 136 p. ISBN 9955-09-983-6.
- Vektaris B. 1994. *Pastatų šiluminis apšiltinimas, pastatų šiluminė renovacija*. Kaunas: Raidė, 96 p.



12 pav. Terminio tyrimo matavimo taškų grafinis palyginimas

Grafike matoma, jog senos konstrukcijos pertvaros sujungimas su grindimis be terminio atskyrimo sąlygoja šalčio tiltelio atsiradimą, per kurį šiluma pereina, o tuo tarpu naujos konstrukcijos pertvaros konstrukcija su terminiu atskyrimu šalčio tiltelio nebeturi, šilumos pokytis lyginant su bazine (pradine) išorės oro temperatūra yra minimalus.

Išvados

1) Šio termografinio tyrimo metu dviejų konstrukcijų sunkvežiminių izoterminių kėbulų izoterminėms vidinėms pertvaroms nustatyti šalčio tilteliai ir šiluminės izoliacijos sumažėjimo zonos:

– Senos konstrukcijos pertvara pasižymi šalčio tilteliu tarp pertvaros sujungimo su grindimis, priekio siena bei stogu;

– Naujos konstrukcijos pertvaros sienelės sujungime su grindimis dėka terminio atskyrimo šalčio tiltelis panaikintas, tačiau pastebimas šilumos perėjimas tarp sujungimų su priekio siena ir stogu.

2) Izoterminių kėbulų pertvarų terminio tyrimo metu tirtuose sujungimuose su grindimis matavimo taškų temperatūra nuo bazinės temperatūros skiriasi 1,4–3,6 °C.

3) Abiejų konstrukcijų atveju technologiniai patobulinimai reikalingi pertvarų sujungimuose su priekio siena bei stogu.

Padėkos

Už pagalbą konsultuojant ir atliekant terminį bandymą dėkoju VGTU prof. habil. dr. Marojonui Bogdevičiui. Taip pat VGTU TTĮ katedrai, už galimybę tyrimą atlikti katedros termovizoriumi.