

KOMPOZICINIŲ TERMOIZOLIACINIŲ MEDŽIAGŲ IŠ VIETINIŲ
ATSINAUJINANČIŲ IŠTEKLIŲ ŠILUMOS LAIDUMO TYRIMAI

Giedrius Balčiūnas, Sigitas Vėjelis, Saulius Vaitkus

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas tml@vgtu.lt

Santrauka. Termoizoliacinės medžiagos iš vietinių atsinaujinančių išteklių vis plačiau naudojamos dėl dviejų priežasčių – jos yra ekologiškos ir jų gamybai reikalingi maži energijos kiekiai. Iš atsinaujinančių išteklių labiausiai paplitę įvairių kultūrinių augalų šiaudai: miežių, rugių, kviečių, kvietrugių ir kt. Šių medžiagų šilumos laidumas labiausiai priklauso nuo jų orientacijos gaminyje ir pačių stiebelių struktūros.

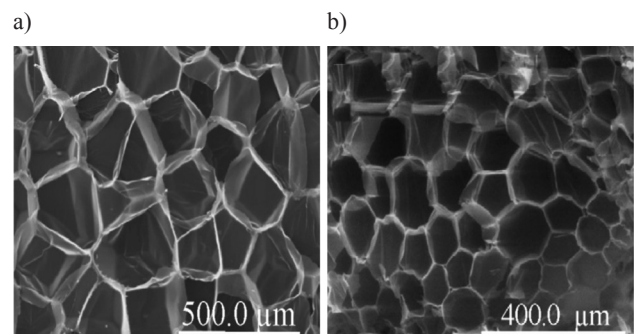
Bandiniams komponuoti buvo naudojama švendrų, nendrių, smilgų ir kvietrugių šiaudų stiebai, iš kurių pagal masės santykį 1:1 buvo komponuojami kompozitai. Atlikta kompozitų, sudarytų iš skirtingų žolinių augalų stiebelių, šilumos laidumo tyrimai. Tirti tokių sudėčių bandinių šilumos laidumai: švendrai + nendrės, švendrai + smilgos, švendrai + šiaudai, nendrės + šiaudai, nendrės + smilgos. Naudojant kompozitus visais atvejais sumažintas šilumos laidumas lyginant su šilumos laidumu, kai naudotos pavienės medžiagos: didžiausias šilumos laidumo sumažėjimas, lyginant su pavienių augalų stiebų šilumos laidumu, gautas švendrų ir šiaudų kompozite.

Reikšminiai žodžiai: vietiniai atsinaujinantys ištekliai, kompozitinės termoizoliacinės medžiagos, šilumos laidumas, makrostruktūra.

Įvadas

Pastaruoju metu vis daugiau dėmesio skiriama aplinkos apsaugai. 1995 metais vasario 23 dieną Lietuvos Respublikos Seimas ratifikavo Jungtinių Tautų Bendrosios klimato kaitos konvenciją (Rio de Žaneiras 1992), o 2002 metų lapkričio 19 dieną Lietuva patvirtino šios konvencijos Kioto protokolą (Kiotas 1997), kuriame įsipareigojo iki 2012 m. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją 8 % lyginant su 1990 m. rodikliais (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija 2006). Mažinant energijos suvartojimą galima sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą į aplinką. Statistikos departamento duomenimis, Lietuvoje namų ūkių turimuose būstuose buvo sunaudota apie 31 % galutinės energijos, iš kurių 81 % naudota būstui šildyti (Markevičius 2010). Dėl šios priežasties svarbu didinti pastatų energetinį efektyvumą. Vienas iš pastatų energetinio efektyvumo didinimo būdų yra šiltinimas termoizoliacinėmis medžiagomis. Šiuo metu populiariausios termoizoliacinės medžiagos (mineralinei vatai, polistireniniam putplasčiui) pagaminti reikalingi dideli kiekiai energijos. Pavyzdžiui, mineralinei vatai gaminti sunaudojama 1077 MJ/m³ energijos (Kymalainen, Sjöberg 2008). Gaminant termoizoliacinę medžiagą iš vietinių atsinaujinančių išteklių – šiaudų, įvairių stiebelių augalų, sunaudojama daug mažiau energijos, pavyzdžiui, presuotiems šiaudams gaminti sunaudojama vos 14 MJ/m³ energijos

(Gurskis, Juodis 2008). Tokių medžiagų šilumos laidumo koeficientas gali siekti 0,040 W/(m·K) (Beck *et al.* 2004). Gaminant termoizoliacines medžiagas iš ekologiškų vietinių išteklių – augalų reikia mažiau energijos, nes jau pati gamta sukūrė akytą augalo stiebo struktūrą. Portugalijos mokslininkų (Pinto *et al.* 2011) nagrinėtas kukurūzų kaip potencialios, ekologiškos termoizoliacinės medžiagos panaudojimas. Vieno iš kukurūzo sluoksnių struktūra puikiai rodo, kad gamta gali sukurti termoizoliacinei medžiagai tinkamą struktūrą. Kukurūzo vieno iš sluoksnių struktūra yra labai panaši į ekstruzinio polistireninio putplasčio struktūrą (1 pav.).



1 pav. Ekstruzinio polistireninio putplasčio struktūra (a); kukurūzo burbulės vieno iš sluoksnių mikrostruktūra (b) (Pinto *et al.* 2011)

Fig. 1. The structure of extruded polystyrene a); the microstructure of one of corn cob layers b) (Pinto *et al.* 2011)

Lietuvoje vis labiau populiarėja statyba ir medžiagų tyrimai iš vietinių atsinaujinančių išteklių. Nuo 2020 m. visi statomi pastatai turės atitikti aukštus energijos taupymo standartus, o didžiąją dalį energijos gauti iš alternatyvių energijos šaltinių (Europos Parlamentas 2009). Mūsų krašte kol kas populiariausia termoizoliacija iš vietinių atsinaujinančių šaltinių yra šiaudai. Iš šiaudų skydų statomi gyvenamieji namai, ryšuliais užpildomos erdmės karkase statant karkasinius mažaukščius pastatus. Lietuvoje ir Europoje kaip šilumą izoliuojanti medžiaga naudojami nendrių ryšuliai, medienos plaušo plokštės (www.hasit.de). Lietuvoje yra tirtos vietinių išteklių panaudojimo termoizoliacinėms medžiagoms galimybės. Daugiausia dėmesio skiriama ieškant galimybių, kaip šiaudus naudoti kaip termoizoliacinę medžiagą. Buvo nustatyta, kad šiaudų šilumos laidumo koeficientas kinta nuo 0,041 iki 0,091 W/(m·K) atitinkamai kintant tankiui nuo 50 iki 140 kg/m³, o vakuumuotų šiaudų šilumos laidumo koeficientas gautas 0,0071 W/(m·K) ir 0,0087 W/(m·K) esant tankiams atitinkamai 95 kg/m³ ir 120 kg/m³ (Vėjelienė *et al.* 2010).

Užsienio mokslininkų (Ashour *et al.* 2010) tirtas kvietinių ir miežinių šiaudų užpildo poveikis tinko šilumos laidumui. Nustatyta, kad, didinant kviečių šiaudų pluošto kiekį nuo 0 iki 75 %, šilumos laidumas lyginant su tinku be šiaudų pluošto, mažėja – 43,9, 43,4 ir 39,8 %, esant temperatūrų skirtumams tarp prietaiso plokščių atitinkamai 10, 25 ir 40 °C.

Iš Lietuvos turimų vietinių išteklių šilumos izoliacijai gali būti naudojami įvairūs žoliniai augalai ir žemės ūkio atliekos.

Šiame straipsnyje aptariami bandiniai formuoti iš šių augalų:

- švendrų;
- nendrių;
- smilgų;
- šiaudų.

Švendrai (Typha) – stambūs žoliniai augalai, kurių krakmolo turtingi švendrų šakniastiebiai vartojami maistui, lapai naudojami pynimui, popieriui gaminti, pluoštas – grubiams audiniams (Natkevičaitė-Ivanauskienė *et al.* 1963). Šių augalų lapai yra 12–20 mm pločio, iš abiejų pusių plokšti, melsvai žali. Švendrai auga užpelkėjusiuose vandens telkiniuose, jūrose, durpynų duobėse, pelkėtuose ežerų ir upių pakraščiuose (Lekavičius 1989).

Smilga (Agrostis) – daugiametis 20–60 cm aukščio melsvai žalias augalas, lapai lacentišškai linijiški, dažniausiai 2–4 mm pločio. Augalas yra dažnas visoje šalies teritorijoje. Smilgos auga sausose pievose, saulėtose kalvose, smėlyje (Natkevičaitė-Ivanauskienė *et al.* 1963).

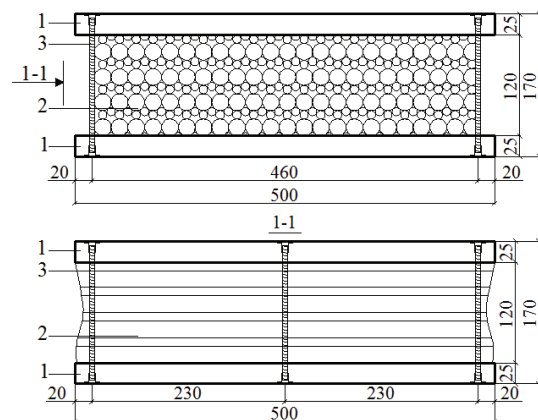
Nendrė (Phragmites) – daugiametis 1–4 m aukščio augalas. Augalo stiebas storas, plikas, lapai žali, siauresni nei 1 cm. Nendrės auga krantuose, pelkėse, kartais smėlynuose (Lekavičius 1989). Stiebai statūs, nešurkštūs, stori, lapuoti. Lapai platūs, siekia 2,5 cm, augalas paplitęs visoje šalies teritorijoje, dažnai sudaro sąžalynus. Stiebai tinka stogams dengti, pynimui, popieriui gaminti (Natkevičaitė-Ivanauskienė *et al.* 1963). Iš nendrių stiebų, išdžiovintų kambario temperatūroje ir susmulkintų plaktukiniame malūne iki 10 mm vidutinio stiebų ilgio, naudojant portlandcementinio ir statybinio gipso rišiklius ir polimerinius priedus gaminami kompozitiniai gaminiai (Gailius, Vėjelis 2010).

Šiaudai – sausi išskultų javų cilindrinės formos stiebai. Šiaudai paplitę visuose pasaulio kraštuose, kur tik auginamos grūdinės kultūros. Lietuvoje kasmet iš užauginamų javų gaunama 3,5–4,0 mln. t šiaudų (Kazragis, Gailius 2006).

Žaliavos ir bandymų metodika

Bandymams buvo naudoti 50 cm ilgio išdžiūvę smilgų, kvietrugių šiaudų, nendrių ir švendrų stiebai. Prieš bandymą augalų stiebai buvo išlaikomi ne mažiau kaip 72 val. kondicionuojamoje patalpoje, kur palaikomas 50±5 % santykinis oro drėgnis ir 23±2 °C temperatūra.

Iš kondicionuojamoje patalpoje išlaikytų augalų stiebų buvo paruošti bandiniai šilumos laidumo koeficientui nustatyti (2 pav.). Į paruoštą formą buvo dedami augalų stiebeliai lygiagrečiai vienas kito atžvilgiu ir statmenai šilumos srautui. Augalų stiebai buvo komponuojami tarp dviejų 25 mm storio medienos drožlių plokščių, susuktų 6 mm storio varžtais. Medienos drožlių plokščių šilumos laidumo koeficientas buvo išmatuotas prieš bandymą. Paruošti bandiniai buvo apspaudžiami 2000 Pa apkrova.



2 pav. Bandinių paruošimas šilumos laidumui matuoti: 1 – medžio drožlių plokštės; 2 – bandinys; 3 – metaliniai varžtai

Fig. 2. The preparation of specimens for testing thermal conductivity: 1 – chipboard; 2 – specimen; 3 – metal screws

Iš dviejų skirtingų augalų rūšių buvo formuojamos kompozitinės termoizoliacinės medžiagos. Bandiniai buvo tokių sudėčių:

- švendrai + nendrės;
- švendrai + smilgos;
- švendrai + šiaudai;
- nendrės + smilgos;
- nendrės + šiaudai.

Formuojant kompozitines medžiagas augalų masės santykis buvo parinktas 1:1.

Šilumos laidumo koeficiento matavimai atlikti pagal LST EN 12667 standarto metodiką, naudojant šilumos laidumo matavimo prietaisą λ – „Meter EP 500“ (Vokietija). Matavimo prietaiso ribos – nuo 0,004 iki 0,250 W/(m·K), matavimų paklaida mažesnė nei 1,5 % (dažniausiai mažesnė nei 0,5 %).

Šilumos laidumo matavimo prietaisas sujungtas su kompiuteriu. Visi matavimų parametrai – matavimų temperatūra, matavimų tikslumas, bandinių apspaudimas arba storis – valdomi kompiuteriu.

Prietaisas matuoja šilumos srautą, pratekantį per bandinį. Tarp prietaiso plokščių sudaromas 10 °C temperatūrų skirtumas ir 10 °C vidutinė temperatūra, toliau matuojamas šilumos srauto tankis. Vienoje prietaiso plokštėje palaikoma 5 °C temperatūra, o kitoje – 15 °C temperatūra.

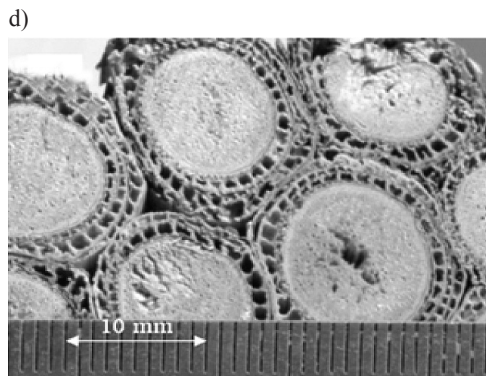
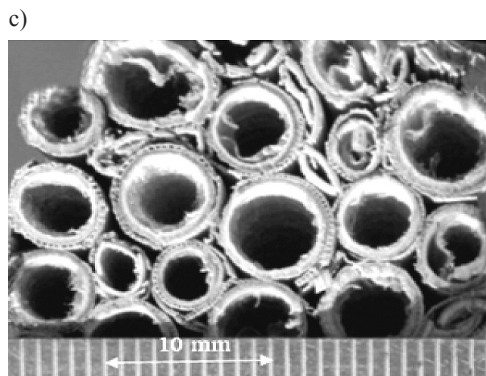
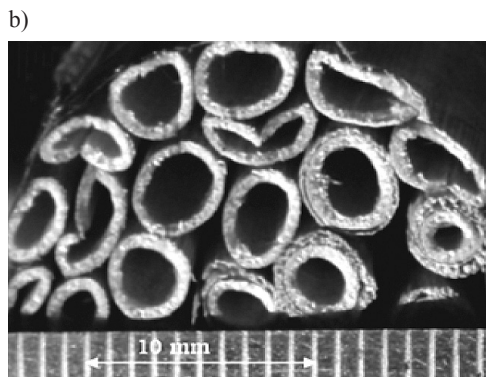
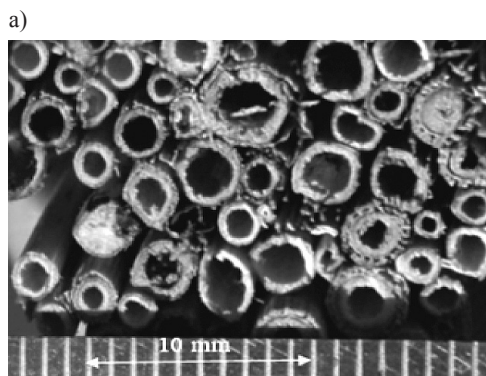
Bandymų rezultatai

Kaip vietiniai atsinaujinantys ištekliai šilumos izoliacijai gali būti naudojami daugelis žolinių augalų. Žolinių augalų stiebeliai pasižymi smulkia akyta struktūra, taip pat mažu šilumos laidumu. Šiame darbe nagrinėjamos vietinių atsinaujinančių išteklių termoizoliacinės savybės, susijusios su jų struktūra ir sudėtimi. 3 pav. parodyta kvietrugių šiaudų, nendrių, švendrų ir smilgų makro struktūra. Šių augalų struktūra labai skirtinga. Visų pirma skiriasi augalų stiebelių skersmuo. Pats mažiausias stiebelio skersmuo yra smilgų. Išorinis jų skersmuo sudaro 1–4 mm, o vidinis – 1–2 mm (3 pav., a).

Šiaudų stiebeliai yra stambesni už smilgų – 3–5 mm išorinis skersmuo ir 2–3 mm – vidinis (3 pav., b). Šiaudų struktūra vienalytiškesnė nei smilgų – mažiau kinta ne tik pačių stiebelių skersmuo, bet ir stiebelių sienučių storis.

Iš pasirinktų augalų didesnis stiebelio skersmuo yra nendrių – 1,0–1,5 cm (3 pav., c). Nendrės yra tuščiavidurės, o jų vidinis skersmuo sudaro 0,6–0,9 cm.

Švendrų skersmuo labai didelis ir siekia 2,5–3 cm (3 pav., d). Švendrų vidus užpildytas smulkia akyta medžiaga.



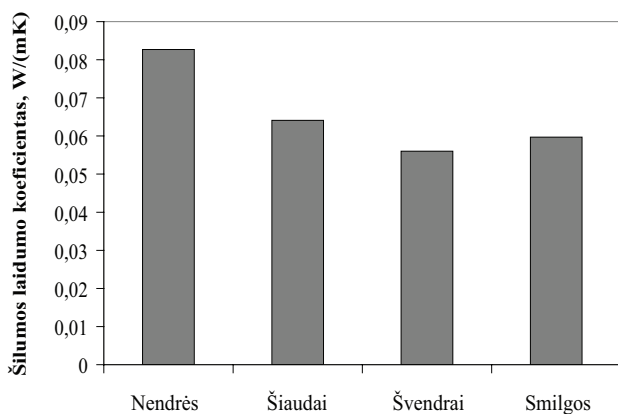
3 pav. Šilumos laidumui tirti paruoštų bandinių makrostruktūra: a) smilgos; b) šiaudai; c) nendrės; d) švendrai

Fig. 3. The macrostructure of specimens prepared for testing thermal conductivity: a) bent; b) straw; c) reeds; d) bulrush

Šiluminės fizikos požiūriu, mažiausiu šilumos laidumu pasižymi termoizoliacinės medžiagos, kurių akutės labai mažos. Šiuo atveju mažiausias stiebelio skersmuo yra smilgų, o švendrų kotelis sudarytas iš labai smulkių akučių. Iš minėtų medžiagų, paruoštų bandymams, šilumos laidumo nustatymo rezultatai pateikti 4 pav. Iš šių medžiagų mažiausiu šilumos laidumu pasižymi švendrai – 0,0560 W/(m·K), šiek tiek didesniu šilumos laidumu – smilgos – 0,0597 W/(m·K) ir miežių šiaudai – 0,0641 W/(m·K). Didžiausiu šilumos laidumu pasižymi nendrės – 0,0827 W/(m·K). Vertinant 4 pav. gautus rezultatus pagal 3 pav. pateiktą medžiagų struktūrą, matyti, kad mažiausiu šilumos laidumu pasižymi švendrai, kurių stiebelio skersmuo didžiausias, tačiau tarpai tarp sudėtų ir apspausėtų stiebelių maži, nes išorinis švendro stiebelio sluoksnis lengvai deformuojasi ir užpildo tuščias ertmes. Tokiu būdu medžiagoje sumažinamas šiluminis laidumas dėl molekulių judėjimo dujose.

Sudarant bandinius iš smilgų, tarp jų stiebelių esantys smulkūs tarpai iš visų pusių apspaudžiami ir suformuojamos smulkios beveik uždarnos, šilumos srautui statmenos ertmės. Kadangi pačios smilgos nėra idealiai lygios, tai tarp daugumos smilgų stiebelių esančios ertmės susisiekia ir šiluma perduodama, vykstant intensyviai šilumos laidumui dujomis.

Šiaudų šilumos laidumo koeficientas yra didesnis nei švendrų ir smilgų, nes intensyvesnis šilumos laidumas dujomis vyksta tiek vidinėje šiaudo stiebelio dalyje, tiek išorinėje dalyje – tarp susidariusių stiebelių ertmių. Kita vertus, šiaudo stiebelis yra gana minkštas (orasausės būsenos), todėl, šiaudų stiebelius spaudžiant, šiaudas lengvai deformuojasi, sumažėja vidinis skersmuo ir tarpai tarp atskirų šiaudų stiebelių. Šiuo atveju šiaudo skersmuo artėja prie kvadrato formos.

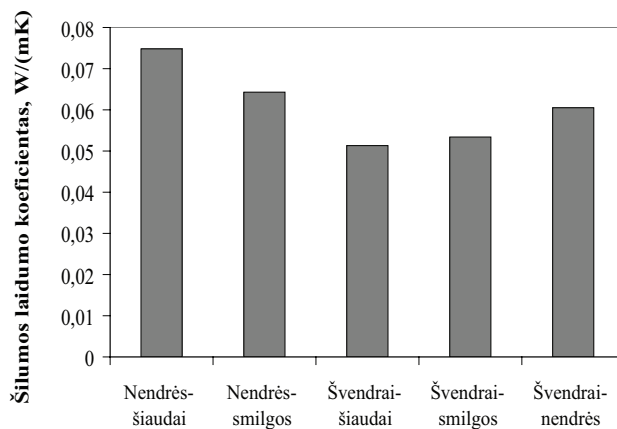


4 pav. Tyrinėtų medžiagų šilumos laidumas (nendrės – 76,5 kg/m³; šiaudai – 65,2 kg/m³; švendrai – 61,5 kg/m³; smilgos – 110 kg/m³)

Fig. 4. The thermal conductivity of tested materials (reeds – 76,5 kg/m³; straw – 65,2 kg/m³; bulrush – 61,5 kg/m³; bent – 110 kg/m³)

Vidinis nendrių stiebelio skersmuo yra didelis ir tuščiaviduris. Tarp atskirų nendrių kotelių susidare tarpai taip pat dideli, nes nendrės kotelio sienelės storos, kietos ir sunkiai susispaudžia. Dėl šios priežasties intensyviai vyksta šiluminis laidumas dujomis tiek nendrės viduje, tiek išorėje.

Kuriant statybines medžiagas, dažnai didelį poveikį turi žaliavų granuliuotinė sudėtis. Kai medžiagoje yra skirtingos granuliuotinės sudėties žaliavų, gaunama vienalytė medžiagos struktūra, gerėja medžiagų fizikinės mechaninės savybės. Kadangi termoizoliacinėms medžiagoms gaminti iš vietinių atsinaujinančių išteklių naudojamų augalų stiebelių skersmuo yra labai skirtingas, tai pabandyta naudoti šių augalų stiebelių kompozitus. Skirtingo skersmens stiebelių naudojimo tikslas – sumažinti šilumos perdavimą šiluminio laidumo dujomis būdu per didelius tarpus tarp stiebelių. Gauti kompozitų šilumos laidumo tyrimai pateikti 5 pav.



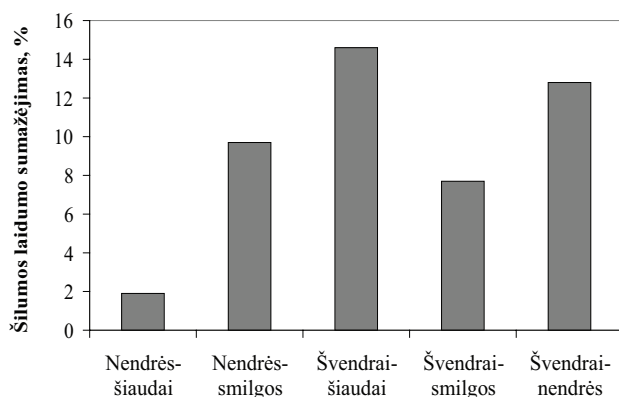
5 pav. Skirtingų kompozitinių medžiagų šilumos laidumas

Fig. 5. The thermal conductivity of different composite materials

Didžiausiu šilumos laidumu pasižymi nendrių ir šiaudų kompozitas. Lyginant su gautais atskirų medžiagų šilumos laidumo rezultatais (6 pav.), beveik nepastebima jokio šilumos laidumo pokyčio. Beveik nepasikeitusį šilumos laidumą galima paaiškinti remiantis kompozitų makrostruktūra (7 pav., a). Kadangi šiaudų skersmuo ne daug mažesnis už nendrių stiebelių, tai tarpai tarp nendrių nedaug sumažėjo.

Mažesniu šilumos laidumo koeficientu pasižymi nendrių-smilgų kompozitas (5 pav.). Lyginant su pradiniais medžiagų šilumos laidumo koeficientais kompozitinės medžiagos šilumos laidumo koeficientas sumažėjo beveik 10 %. Kadangi smilgų stiebelių skersmuo labai mažas, tai jos puikiai užpildo tarpus tarp nendrių (7 pav., b).

Mažiausiu šilumos laidumo koeficientu pasižymi švendrų-šiaudų kompozitas. Šiame kompozite labiausiai sumažėjo šilumos laidumas – beveik 15 %. Gerai paskirs-



6 pav. Skirtingų kompozitinių medžiagų šilumos laidumo mažėjimas

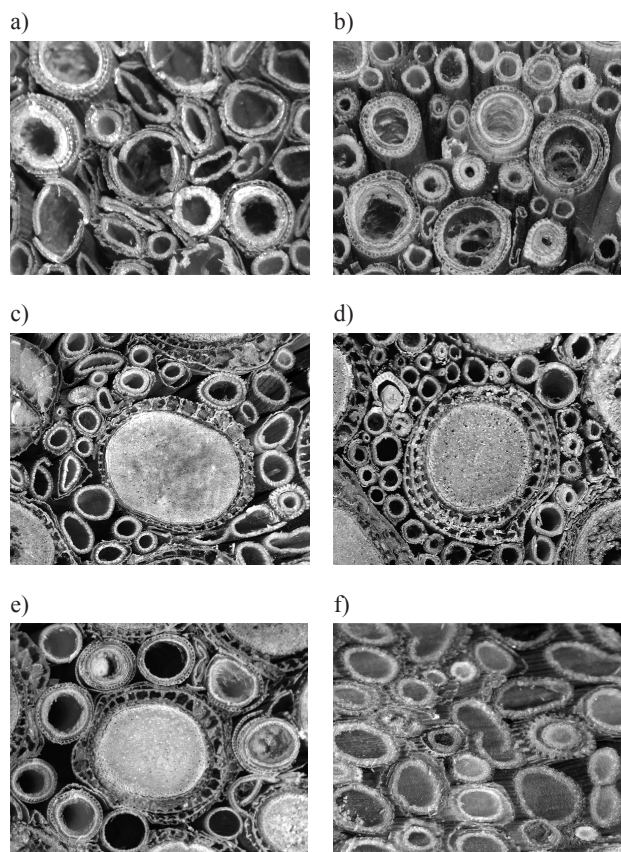
Fig. 6. A decrease in the thermal conductivity of different composite materials.

čius šių augalų stiebelius, šiaudai plonu sluoksniu vienodai pasiskirsto aplink švendro stiebelį. Kaip jau buvo pastebėta anksčiau, švendrų stiebelių išorinės sienelės ir šiaudų sienelės yra gana minkštos, todėl lengvai deformuojasi ir užpildo erdmes tarp stiebelių (7 pav., c).

Švendrų smilgų kompozito šilumos laidumas labai artimas švendrų-šiaudų kompozito šilumos laidumui, tačiau šio kompozito šilumos laidumas sumažėjo beveik dvigubai mažiau. Kadangi švendrų ir smilgų, kaip atskirų augalų stiebelių, šilumos laidumo koeficientai yra mažiausi, tai galima teigti, kad suformavus atskirų medžiagų bandinius, šilumos perduodama šilumos laidumo dujomis būdu buvo nedaug. Kaip matyti 7 pav., d, smilgų skersmuo labai skirtingas. Kompozituose didesnio skersmens smilgos gerai išlaiko formą, o tai reiškia, kad didesnio skersmens stiebeliuose šilumos laidumas dėl molekulių judėjimo dujose yra didesnis.

Švendrų-nendrių kompozitas sudarytas iš mažiausiu ir didžiausiu šilumos laidumu pasižyminčių stiebelių. Be to, tai didžiausio skersmens stiebeliai. Šilumos laidumo sumažėjimas labai didelis – beveik 13 %. Analizuojant kompozito struktūrą (7 pav., e), matyti didelis atskirų nendrių stiebelių skersmuo. Tačiau tarpai tarp nendrių ir švendrų stiebelių gerai užsipildo dėl minkštų švendrų sienelių.

Smilgų-šiaudų bandinių šilumos laidumo tyrimams paruošti nepavyko. Net nedidelėmis porcijomis formuojant šiaudų ir smilgų bandinį gaunama chaotiška struktūra. Tai lemia šiaudų ir smilgų nepakankamas tvirtumas, dėl kurio bandomas suspausti ar sutankinti bandinys praranda formą. Nors kompozito struktūra (7 pav., f) pasižymi mažomis erdmėmis tarp stiebelių, o tai reiškia, kad šilumos perduodama šilumos laidumo dujomis būdu tarp stiebelių bus mažai, tačiau dėl silpnų abiejų augalų stiebelių bandinių ruošimo buvo atsakyta.



7 pav. Iš skirtingų augalų stiebelių suformuotų kompozitų makrostruktūra: a) nendrės-šiaudai ($62,8 \text{ kg/m}^3$); b) nendrės-smilgos ($97,0 \text{ kg/m}^3$); c) švendrai-šiaudai ($66,9 \text{ kg/m}^3$); d) švendrai-smilgos ($75,9 \text{ kg/m}^3$); e) švendrai-nendrės ($64,7 \text{ kg/m}^3$); f) šiaudai-smilgos (paruošti nepavyko)

Fig. 7. The macro structure of the composites made of different plant stems: a) reed-straw ($62,8 \text{ kg/m}^3$); b) reed-bent ($97,0 \text{ kg/m}^3$); c) bulrush-straw ($66,9 \text{ kg/m}^3$); d) bulrush-bent ($75,9 \text{ kg/m}^3$); e) bulrush-reeds ($64,7 \text{ kg/m}^3$); f) straw-bent (–)

Išvados

1. Naudojant skirtingų augalų stiebelius gaunama vienosnė kompozito struktūra ir sumažinami tarpai tarp stiebelių, dėl to sumažėja šilumos perdavimas šiluminio laidumo būdu dujomis.
2. Iš tirtų pavienių medžiagų mažiausiu šilumos laidumu pasižymi švendrai – $0,0560 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, šiek tiek didesniu šilumos laidumu – smilgos – $0,0597 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ir miežių šiaudai – $0,0641 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Didžiausiu šilumos laidumu pasižymi nendrės – $0,0827 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.
3. Lyginant pavienių ir sukomponuotų medžiagų šilumos laidumo koeficientus mažiausiu šilumos laidumo koeficientu pasižymi švendrų-šiaudų kompozitas (šilumos laidumas sumažėjo 15 %). Toks rezultatas gaunamas todėl, kad švendrų stiebelių išorinės sienelės ir šiaudų sienelės gana minkštos ir lengvai deformuojasi užpildydamos tarpus tarp stiebelių.

4. Formuojant kompozitus didelę įtaką turi stiebelių tvirtumas. Jei kompozitui gaminti naudojamų medžiagų stiebeliai yra nepakankamo tvirtumo, tai gaminys sunaikiai formuojamas ir negalima suformuoti numatyto gaminio struktūros.

Literatūra

- Ashour, T.; Wieland, H.; Georg, H.; Bockisch, F. J.; Wu, W. 2010. The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings, *Materials and Design* 31(10): 4676–4685. doi:10.1016/j.matdes.2010.05.026
- Beck, A.; Heinemann, U.; Reidinger, M.; Fricke, J. 2004. Thermal transport in straw insulation, *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 27(3): 227–234.
- Europos Parlamentas. *Ekologiškesnio Europos Parlamento link* [interaktyvus]. 2009, [žiūrėta 2011 m. kovo 12 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.europarl.europa.eu>>.
- Gailius, A.; Vėjelis, S. 2010. *Termoizoliacinės medžiagos ir jų gaminiai*. Vilnius: Technika. 172 p.
- Gurskis, V.; Juodis, J. 2008. *Šiaudų ir kitų atsinaujinančių medžiagų naudojimas pastatų apšiltinimui* [interaktyvus], [žiūrėta 2011 m. kovo 11 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.siaudunamai.lt/downloads/Siaudu%20naudojimas%20pastatu%20apsiltinimui.pdf>>.
- Hasit [online], [cited 14 April 2011]. Available from Internet: <http://www.hasit.de/fileadmin/user_uploads/upload/100215_HASIT_WDVS_Garantie_Flyer_RZ.pdf>.
- Kazragis, A.; Gailius, A. 2006. *Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai su gamtiniais organiniais užpildais*. Vilnius: Technika. 64 p. ISBN 9955-28-060-3.
- Kymalainen, H. R.; Sjöberg, A. J. 2008. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations, *Building and Environment* 43: 1261–1269. doi:10.1016/j.buildenv.2007.03.006
- Lekavičius, A. 1989. *Vadovas augalams pažinti*. Vilnius: Mokslas. 436 p.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. 2006. *Jungtinių tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos Kioto protokolo reikalavimų įgyvendinimo pažangos įvertinimo apžvalga* [interaktyvus], [žiūrėta 2011 m. kovo 11 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.am.lt/VI/files/0.271179001139402744.doc>>.
- LST EN 12667:2002 *Šiluminės statybinių medžiagų ir gaminių savybės. Šiluminės varžos nustatymas apsaugotos karštosios plokštės ir šilumos srauto matuoklio metodais. Didelės ir vidutinės šiluminės varžos gaminiai*. Vilnius. 12 p.
- Markevičius, J. 2010. *Energijos sunaudojimas namų ūkiuose 2009 m. Pranešimas spaudai* [interaktyvus], [žiūrėta 2011 m. kovo 12 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.stat.gov.lt/lt/news/view/?id=9995>>.
- Natkevičaitė-Ivanauskienė, M., et al. 1963. *Lietuvos TSR flora*. II tomas. 701 p.
- Pinto, J.; Paiva, A.; Varumd, H.; Costa, A.; Cruza, D.; Pereira, S.; Fernandese, L.; Tavaresf, P.; Agarwal, J. 2011. Corn's cob as a potential ecological thermal insulation material, *Energy and Buildings* 43: 1985–1990. doi:10.1016/j.enbuild.2011.04.004

Vėjelienė, J.; Gailius, A.; Vėjelis, S. 2010. Šiaudų naudojimo galimybių termoizoliacinių medžiagų gamybai tyrimai, *Statybinės konstrukcijos ir technologijos* [Engineering Structures and Technologies] 2(2): 66–70.

STUDIES ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON LOCAL RENEWABLE RESOURCES

G. Balčiūnas, S. Vėjelis, S. Vaitkus

Abstract

Thermal insulation materials produced from local renewable resources are increasingly used for two reasons – they are environmentally friendly and their manufacture requires less amount of energy. The most renewable resources include a wide variety of crop straw – barley, rye, wheat, triticale, etc. the thermal conductivity of which depends on their orientation to the product and structure of the same straw.

For specimen composition, the straw stems of bulrush, reeds, bent and triticales were used, producing composites with the mass ratio of 1:1.

The paper analyses the results of thermal conductivity tests on different stem composites of herbaceous plants. Thermal conductivity was investigated considering composition specimens such as bulrush-reeds, bulrush-bent, bulrush-straw, reed-straw, reed-bent. The use of composites in all cases reduced thermal conductivity compared with the thermal conductivity of materials used alone. The greatest reduction in thermal conductivity compared with the thermal conductivity of the single straws of herbaceous plants has been observed in bulrush-straw composites.

Keywords: local renewable resources, composite thermal insulation.