

BIOKOMPOZITO ELEMENTŲ SAVYBIŲ VERTINIMAS

Darius Albrektas, Gintaras Keturakis

Kauno kolegija

Anotacija. Pastaruoju metu pasaulyje aktyviai sprendžiami ekologiškumo, tvarumo, antrinio medžiagų panaudojimo klausimai. Statybų, pramonės sektoriuose siekiama naudoti daugiau bioskaidžių, „draugiškų aplinkai“ medžiagų, medžiagų, kurių gamybai nereikia naudoti didelio energijos kiekio.

Neseniai buvo sukurta nauja bioskaidi medžiaga – grybiena. Tai medžiaga, pagaminta iš medienos smulkinių ir kitų organinių medžiagų, kurioje sintetinių klijų funkciją atlieka grybai – smulkiniai tarpusavyje „suklijuojami“ grybų hifais. Tai visiškai organinė, bioskaidi, „aplinkai draugiška“ medžiaga. Jos gamybai nereikalingos papildomos cheminės medžiagos, didelės energijos sąnaudos. Iš jos pagaminti atskiri elementai ir gaminiai puikiai tinka pagalbinių pakavimo medžiagų, pakuočių, interjero puošybos elementų gamybai. Tokie interjero elementai taip pat neblogai slopina garsą, kitus mechaninius virpesius, tikėtina, kad pasižymi neblogo šilumine varža. Tačiau ši medžiaga dėl savo mechaninių savybių praktiškai netinkama konstrukcinių elementų gamybai.

Kauno kolegijoje sukurtas originalus bioskaidus kompozitas, sudarytas iš grybienos ir masyviosios medienos. Atlikus preliminarinius jo fizikinių ir mechaninių savybių tyrimus, galima teigti, kad elementai iš šio kompozito jau galėtų būti naudojami ir kaip statinių, interjero, baldų konstrukciniai elementai. Tam reikia optimizuoti kompozito sudėtis, įvertinti elgseną įvairių eksploatacijos sąlygų metu.

Žinoma, kad tokių medžiagų savybės labai priklauso nuo jų drėgčio. Taigi, svarbu žinoti jų sorbcines savybes. Tyrimų metu iš grybienos pagaminti kelių tipų bandiniai. Nustatyta, kad bandiniai, pagaminti naudojant skirtingus substratus ir grybieną, pasižymi skirtingomis sorbcinėmis savybėmis. Drėkinant ore atskirų bandinių masė padidėjo 3,5–4,5 %, mirkant vandenyje – 50–250 %. Siekiant konstatuoti aiškesnius dėsningumus, reikalingi detalesni tyrimai.

Taip pat pagaminti kelių tipų kompozitai, kuriuose skirtingą tūrio dalį sudaro mediena (12–35 %) ir grybiena (atitinkamai 88–65 %) bei vertintos jų mechaninės (tampriai plastiškosios) savybės. Tyrimams panaudotas nedestrukciniu skersinių rezonansinių virpesių metodu Kauno kolegijoje pagamintas originalus stendas. Gauta, kad vidutinis bandinių tampros modulis kito 120–550 MPa, o slopinimo koeficientas – 0,023–0,016 ribose. Nustatyta, kad elemento tampros moduliui ir slopinimo koeficientui įtakos turi ne tik medienos dalis kompozite, bet ir elementą „armuojančio“ medienos tašelio padėtis.

Reikšminiai žodžiai: grybiena, biokompozitas, sorbcinės savybės, tampros modulis, slopinimo koeficientas

Įvadas

Pastaruoju metu, ypač Europoje ir kitose Vakarų šalyse, sprendžiami ekologiškumo, tvarumo, antrinio medžiagų ir gaminių panaudojimo klausimai. Europos Komisija yra priėmusi pasiūlymų rinkinį, kurio tikslas iki 2030 m. grynąjį išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti bent 55 %, lyginant su 1990 m. lygiu (European Commission, 2019). Šie siūlymai apima energetikos, transporto, mokesčių politiką.

Vienos populiariausių medžiagų statybose yra įvairūs skiediniai, betonai. Jų pagrindinė sudedamoji dalis yra cementas. Cementas gaminamas iš klinčių, molio ir smėlio mišinio. Šis mišinys susmulkinamas, sumaišomas ir kaitinamas 1 450 °C temperatūroje (Yang ir kt., 2025). Kita populiari medžiaga – akmens vata – gaminama iš išlydytų mineralų (pvz., dolomito, kalkakmenio). Šiuo atveju lydymosi temperatūra gali pasiekti 1 600 °C (Yap ir kt., 2022). Akivaizdu, kad temperatūros pakėlimas ir išlaikymas susijęs su dideliais energijos kiekiais, didele CO₂ emisija. Be to, didelės energijos sąnaudos lemia didelę savikainą. Dėl šių priežasčių siūloma plačiau naudoti konstrukcijas, elementus iš medienos ir kitų organinių medžiagų.

Mediena nuo senų laikų plačiai naudojama kaip statybinė medžiaga. Be masyviosios medienos statybinėse konstrukcijose plačiai naudojamos ir klijuotos medienos medžiagos – iš tašelių klijuojamos sijos, CLT, skydai; iš lakštinės medienos – fanera, LVL; iš medienos smulkinių – įvairios plokštės (OSB, MDP ir kt.). Klijuojant medieną (Albrektas, Ivanauskas, 2021; Gilbert ir kt., 2017; Hildebrandt ir kt., 2017) galima pagaminti ne tik įvairių matmenų elementus, bet ir pakeisti kai kurias jų savybes – sumažinti mechaninių savybių sklaidą, aplinkos poveikį matmenų ir formos stabilumui, pašalinti neigiamai įtakančius mechanines savybes defektus ar medienos anatominis elementus, praplėsti panaudojimo sritis. Taip pat mediena ir medienos medžiagos įvairiai modifikuojamos, siekiant padidinti jų atsparumą aplinkos poveikiui (drėgmei, liepsnai, biologiniams kenkėjams), ilgaamžiškumą. Artimiausiu metu, siekiant mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekius, medienos statybinėse konstrukcijose bus dar daugiau.

Pramonėje, buityje yra naudojama daugybė sintetinių pluoštų, plastikų. Jų gamyba, eksploatacinės savybės, tvarumo kriterijai reglamentuojami įvairiais standartais ir reglamentais, pavyzdžiui, ISO 18601:2013, ISO 18604:2013, EN ISO 2076:2021 ir daugybe kitų. Pastaruoju metu siekiama naudoti vis daugiau organinės kilmės, ekologiškų, bioskaidžių medžiagų. Žinoma, kiekvienu atveju medžiaga ir iš jos pagamintas gaminys

turi atitikti keliamus reikalavimus – pasižymėti reikiamomis fizikinėmis, mechaninėmis, eksploatacinėmis ir kt. savybėmis. Pavyzdžiui, pektino ir celiuliozės nanopluošto (CNF) kompozitai, sustiprinti natrio boratu (NaB), pasižymi puikiomis, atmosferos sąlygomis eksploatuojamai pakuotei reikiamomis savybėmis. Dėl jų galima sėkmingai saugoti vaisius, užtikrinamas drėgmės reguliavimas. Šie kompozitai yra biologiškai skaidūs, mechanškai tvirti (tempiamasis stipris ir kietumas atitinkamai siekia 150 MPa ir 8,5 MJ/m²) ir prilygsta kitiems bioplastiko kompozitams. Be to, jie turi didelį potencialą būti naudojami tvariose pakuotėse (Idahagbon ir kt., 2025). Kitame darbe nustatyta, kad pluoštu sutvirtinti polimeriniai kompozitai pasižymi geresnėmis mechaninėmis savybėmis nei tradicinės medžiagos, o sintetinius pluoštus pakeitus natūraliais, sumažinamos gamybos sąnaudos (Shifa ir kt., 2024). Tyrimas parodė, kad apdoroti, ypač epoksidinėmis dervomis, kviečių šiaudų pluoštai suteikia didesnę tempiamąją ir lenkimo stiprį nei neapdoroti. Šiuo atveju kviečių šiaudų pluošto tempiamasis stipris yra 54,4 MPa (apie du kartus didesnis, nei neapdoroto), o lenkiamasis stipris 88,76 MPa ir 49,60 MPa (apdoroto ir neapdoroto atitinkamai).

Statybų, gamybos pramonėje siekiama didinti ekologiškų, bioskaidžių medžiagų naudojimą, mažinti energijos sąnaudas gamyboje, išmetamo į aplinką CO₂ kiekį. Tam kuriamos naujos medžiagos, kurios pasižymėtų reikiamomis savybėmis, plečiamos žinomų medžiagų panaudojimo sritys jas modifikuojant.

Darbo tikslas – įvertinti galimybę naują bioskaidžią medžiagą panaudoti konstrukcijose. Tam iškelti tokie **uždaviniai**:

1. apžvelgti esamas šios medžiagos panaudojimo sritis;
2. įvertinti jos sorbcines savybes ore ir vandenyje;
3. pagaminti originalius medienos-grybienio biokompozito bandinius ir įvertinti jų tampriai plastiškąsias savybes.

Tyrimų metodai ir sąlygos

Grybiena (*Mycelium-based materials*) – tai inovatyvi, tvari, ekologiška ir visiškai bioskaidi medžiaga. Tai savotiška medienos smulkinių plokštė, tik vietoje sintetinių klijų medienos dalelės tarpusavyje „suklijuotos“ grybų hifais (Houette ir kt., 2022; Yang ir kt., 2021). Kai kurių gamintojų teigimu, vietoje medienos smulkinių (pjuvenų) galima naudoti ir smulkintus šiaudus ar kavos tirščius.

Šiuo metu tokius iš grybienio pagamintus elementus dizaineriai siūlo naudoti kaip interjero elementus, dar atliekančius ir tam tikras funkcijas.

Grybienio kompozitai tampa vis populiarese ekologiška alternatyva statybų pramonėje, ypač termoakustinei izoliacijai (Weinland ir kt., 2024). Šiame tyrime atliktas grybienio kompozitų akustinių izoliacinių plokščių viso gyvavimo ciklo vertinimas, siekiant nustatyti jų poveikį aplinkai. Analizė atlikta pagal EN 15804 standartą, naudojant *Environmental Footprint* metodiką.

Rezultatai parodė, kad didžiausias poveikis aplinkai kyla gamybos etape, ypač dėl energijos sąnaudų inkubacijos ir džiovavimo metu. Didžiausias šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų šaltinis yra elektros energijos naudojimas šiuose procesuose. Taip pat nustatyta, kad apie 10 % biogeninės anglies išsiskiria jau gamybos metu, o likusi dalis – utilizacijos etape, daugiausia – deginimo proceso metu. Monte Karlo analizė išryškino didelį rezultatų jautrumą energijos suvartojimo neapibrėžtumams.

Apibendrinant, optimizavus gamybos energijos sąnaudas, šios izoliacinės plokštės gali būti tvarus ir aplinkai draugiškas sprendimas.

Kitame tyrime nagrinėjami kompozitai iš grybienio, skirti akustiniams elementams, kur natūrali grybiena naudojama organinių atliekų sujungimui į garsą sugeriančias plokštes (Sun ir kt., 2025). Kompozitai buvo auginami 3D spausdintose formose, kad būtų sukurti tikslūs perforuoti raštai pagal Helmholtz rezonanso principus. Šis požiūris leido pagerinti garso sugėrimą plačiame dažnių diapazone, ypač žemose ir vidutinio dažnio srityse. Naudojant žemės ūkio ir pramonės atliekas kaip žaliavą, jos ne tik perdirbamos, bet ir naujame gaminyje išlaikoma šių atliekų visiškai biologinė (organinė) sudėtis. Tyrimas pabrėžia medžiagų sudėties ir dizaino lankstumą, siūlydamas kelią tolimesniam tobulinimui, siekiant optimizuoti akustines gaminio savybes. Tyrimo eksperimentinis procesas apėmė šiuos etapus: po dešimties dienų inkubacijos formose substratai, tokie kaip šiaudai ir naudoti kavos tirščiai, buvo efektyviai sujungti grybienio hifų tinklu. Minėti substratai suteikia struktūrai mechanines savybes (stiprį). Be to, sudaro didelį paviršiaus plotą ir galimybę ten augti grybienai. Tokių elementų gamybos principas leidžia sukurti įvairių formų perforuotas plokštes, gebančias izoliuoti garsą. Tyrimo rezultatai rodo, kad perforuoti kompozitai su grybiena pasiekia geresnį garsų sugėrimo koeficientą, ypač aukštų dažnių srityje. Be to, buvo ištirtos 3D spausdintų formų galimybės, leidžiančios tiksliau kontroliuoti formą ir pasiekti geresnius akustinius rezultatus. Nors šis metodas rodo didelį potencialą, tam, kad jis būtų plačiai naudojamas pramoniniais mastais, reikės išspręsti tam tikras problemas, tokias kaip medžiagų jautrumas drėgmei ir kokybės kontrolės užtikrinimas. Tačiau tai

suteikia galimybę sukurti efektyvias akustines medžiagas iš natūralių ir perdirbamų žaliavų, taip prisidedant prie tvarumo tikslų įgyvendinimo.

Grybienos bandiniai buvo pagaminti ir Kauno kolegijoje. Bendrai šios medžiagos gamybai nereikia specialios įrangos, papildomų medžiagų (taip pat ir „nedraugiškų aplinkai“), didelių energijos sąnaudų. Elementų iš grybienos gamybos (gal reikėtų sakyti „auginimo“) technologija labai paprasta:

1. pagal norimų pasigaminti matmenų elementą pasirenkama forma;
2. į šią formą supilamas substratas (medienos smulkiniai ar kita organinė medžiaga, kuria maitinsis grybas);
3. į šiuos smulkinius įmaišoma grybienos (analogiškas substratas, jau užkrėstas grybu);
4. substratas sudrėkinamas, forma padedama kambario temperatūroje; jei substrato temperatūra ir drėgnis bus tinkami, grybas pradės maitintis, augti ir formuoti hifų sistemą, kuri „suklijuos“ tarpusavyje smulkinčius;
5. po atitinkamo laiko sustabdomas grybo vystymasis – forma su jame esančiu gaminamu elementu kelias valandas pakaitinama 80 °C temperatūroje; šiuo metu išdžiūsta substratas, o grybas tampa nebegyvybingas – jis toliau nebesivysto, sustoja jo gyvybinės funkcijos (taip pat nelieka pavojaus, kad gali kažką užkrėsti, pvz., šalia esantį gaminį, pagamintą iš medienos ar kitų organinių medžiagų).

Tyrimams naudojama kelių tipų grybiena. Dalis bandinių įsigyta juos gaminančioje įmonėje, dalis bandinių pagaminta laboratorijoje.

Viena iš pagrindinių medžiagos fizikinių savybių yra jos tankis. Tankį dažniausiai lemia medžiagos struktūra, kuri, savo ruožtu, lemia ir kitas fizikines ir mechanines savybes.

Pradiniuose tyrimuose įvertinome mūsų ir grybienos gamintojų pagamintos grybienos tankį. Jis buvo skirtingas, tačiau vertės atitiko žinomas, kitų tyrėjų nustatytas vertes (Houette ir kt., 2022; Yang ir kt., 2021). Galima teigti, kad grybiena yra kapiliarinė sistema, kurios tankį, panašiai kaip medienos ar betono, lemia „kietosios dalies“ (atitinkamai, betono – užpildai, cementas, medienos – hemiceliuliozės, celiuliozės, lignino molekulės) ir kapiliarų, t. y. oro, santykis. Kapiliarų tūrį gali lemti daugelis faktorių – „kietosios dalies“ dalelių dydis, sutankinimo laipsnis ir būdas, prigimtinė struktūra (pvz., natūralios medienos).

Kapiliarinė sistema lemia kitą labai svarbų medžiagos fizikinį reiškinį – sorbcinius, desorbcinius procesus. O nuo jų priklauso gaminio iš šios medžiagos eksploatacinės savybės, galimybė eksploatuoti tam tikromis sąlygomis. Be to, skirtingos medžiagos, turinčios tokią kapiliarinę sistemą, elgiasi skirtingai. Pavyzdžiui, gaminiai iš betono. Jeigu į šią kapiliarinę sistemą įterpsime vandens, betono gaminio matmenys, forma nepakis. Tačiau žinome, kad vandeniui pavirtus ledu, padidėja jo tūris. Sukietėjęs betonas nėra plastiška medžiaga, taigi, šaldant tokį gaminį, kapiliarinėje sistemoje esantis vanduo gali jį suardyti. Vienas iš būdų, kaip to išvengti, į betoną gamybos metu dedami specialūs priedai – „oro įtraukėjai“. Jie padidina kapiliarų tūrį ir šąlantis vanduo turi kur plėstis.

Medienos kapiliarai skirstomi į mikrokapiliarus ir makrokapiliarus. Jei vanduo, esantis makrokapiliaruose, praktiškai nekeičia medienos savybių (žymiausias pokytis – tankio padidėjimas, nes kapiliare esantis oras pakeičiamas vandeniu), tai vandens molekulės, patekusios į mikrokapiliarus, lemia daugybę fizikinių (tankis, elektros, šilumos laidis) ir mechaninių (atsparumas lenkimui, gniuždymui, kietumas) savybių. Taigi, eksploatuojamo gaminio, pagaminto iš medžiagų, turinčių kapiliarines sistemas, elgsena labai priklauso nuo aplinkos sąlygų.

Tyrimams buvo pagaminti bandiniai iš skirtingų grybienos rūšių ir įvertintos jų sorbcinės savybės vandenyje ir ore.

Visos medžiagos, tiek sutinkamos gamtoje, tiek gaminamos, yra tampriai plastiškos, t. y. pasižymi tiek tampriosiomis, tiek klampiosiomis savybėmis. Tampriosios savybės „atsakingos“ už iš medžiagos pagaminto elemento atsparumą mechaniniam aplinkos poveikiui – atsparumą lenkimui, tempimui, gniuždymui ir kt. Klampiosios savybės lemia tokio elemento virpesių slopimą ir slopinimą – gebėjimą „sugerti“ triukšmą ir kitus mechaninius virpesius.

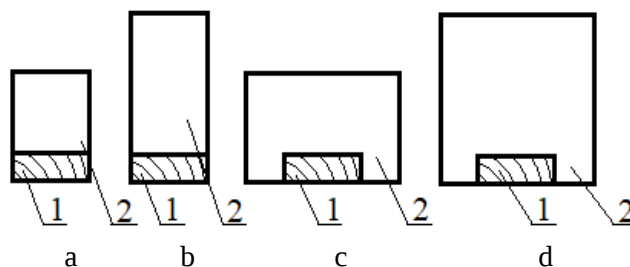
Tampriai plastiškųjų savybių įvertinimui Kauno kolegijoje yra sukurta originali įranga. Jos veikimas paremtas nedestrukciniu skersinių rezonansinių virpesių metodu. Nustačius tiriamojo kūno rezonansinius dažnius, amplitudines-dažnines charakteristikas, virpesių modas, įvertinus tvirtinimo stende būdą, geometrinius kūno parametrus, remiantis teorinio izotropinio strypo virpesių teorija, apskaičiuojamos medžiagos tampriosios charakteristikos – dinaminis tampros modulis (MOE) ir klampiosios charakteristikos – slopinimo koeficientas. Šis metodas, lyginant su kitais, skirtais nustatyti medžiagos mechanines savybes, pasižymi dviem pranašumais. Pirma, tyrimams nereikia gaminti specialių matmenų bandinių. Bandiniai gali būti bet kokių stačiakampės plokštelės ar strypo formos matmenų, analogiškų kaip naudojama konstrukcijose, interjero elementų ar baldų gamyboje. Antra, bandymo metu bandiniai nėra sulaužomi ar kaip nors kitaip mechaniškai pažeidžiami. Dėl šios priežasties tas pats bandinys gali būti tiriamas neribotą kartų skaičių. Tai ypač svarbu medžiagoms, pasižyminčioms didele savybių sklaida. Pavyzdžiui, tiriama drėgmės įtaka medinės konstrukcijos mechaninėms savybėms. Yra žinoma, kad net iš to paties rąsto išpjovus du vizaliai identiškus bandinius be matomų ydų ar

defektų, tokių kaip šakos, įskilimai, sakatačiai, pluošto įvijumas ir kita, jų mechaninės savybės gali skirtis keliolika ar daugiau procentų. Taigi, paėmus kelis skirtingo drėgnio tašelius ir naudojant „tritaškio“ ar „keturtaškio“ lenkimo metodikas, jie suluš esant skirtingoms apkrovoms. Tačiau neaišku, kiek kiekvieno tašelio atveju atlaikytos apkrovos dydį lėmė drėgmė. Nedestrukcinio bandymo atveju tas pats tašelis gali būti tiriamas daug kartų, tiesiog pakeitus jo drėgnį.

Tiek mūsų, tiek kitų tyrėjų duomenimis, grybienos tampros modulis yra apie 100 MPa (Houette ir kt., 2022; Yang ir kt., 2021). Palyginus, sveikos natūralios medienos, priklausomai nuo rūšies, augimo sąlygų ir kitų faktorių, tampros modulis išilgai pluošto yra keli–keliolika tūkstančių MPa, skersai pluošto – apie 20 kartų mažiau (USDA, 2010). Medienos medžiagų (faneros, smulkinių plokščių) tampros modulis dėl struktūros ypatumų paprastai kinta 2 000–9 000 MPa ribose. Taigi, kaip konstrukcinė, apkrovas laikanti medžiaga grybienu medienos medžiagoms žymiai nusileidžia ir greičiausiai nėra tinkama tokių konstrukcijų gamybai.

Priešingas vaizdas susidaro nagrinėjant šių medžiagų klampiąsias savybes. Mūsų nustatytas grybienos slopinimo koeficientas yra gerokai didesnis už medienos ir medienos medžiagų. Panašūs rezultatai gauti ir vertinant akustines plokštes, skirtas vidaus apdailai, pagamintas iš tekstilės atliekų (Jucienė ir kt., 2022). Taigi, grybienu yra tinkama medžiaga mechaninių virpesių, garso „sugėrimui“, slopinimui.

Laboratorijoje pagaminti kelių tipų bandiniai, kuriuose yra įvairus natūralios medienos ir grybienos tūrio santykis. Kiekvieno tipo bandinių buvo pagaminta po 4–5 vnt. (atitinkamai bandinių grupės „M1“, „M2“, „M3“ ir „M4“). Bandinių skerspjūvių schemas pateiktos 1 pav.



1 pav. Bioskaidaus kompozito medienos-grybienos bandinių skerspjūvių schemas: 1 – tašelis; 2 – grybienu; a, b, c ir d atitinkamai „M1“, „M2“, „M3“ ir „M4“ tipo bandiniai

Taikant minėtą skersinių rezonansinių virpesių metodą, įvertintas šių bandinių dinaminis tampros modulis ir slopinimo koeficientas.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Sorbcinių savybių tyrimui vandenyje paruošta po kelis bandinius iš grybienos plokščių, pagamintų grybienos pardavėjo (grupė S1), bei iš skirtingų gamintojų substratų, pagamintų mūsų laboratorijoje (atitinkamai grupės S2 ir S3). Prieš tyrimą visi bandiniai 2 savaites laikyti kambario sąlygomis. Vėliau jie pasverti ir mirkyti tol, kol jų masė jau nebekito (sveriant kas 0,5–1 valandą). Tyrimų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

Matome, kad skirtingų grupių bandiniai prieš mirkymą pasižymėjo skirtingu tankiu ir įgėrė skirtingą kiekį vandens. Be to, nėra priklausomybės tarp grybienos tankio ir įgerto vandens kiekio. Bendrai, analizuojant atskirų bandinių masės padidėjimą dėl įgerto vandens kiekio, gautas pokytis buvo nuo 55–60 % iki beveik 2,5 karto. Tikėtina, kad tai lėmė susidariusios pačios kapiliarinės sistemos ypatumai (kapiliarinė sistema substrato drožlėje, ertmės tarp drožlių, grybo hifų sudaryta sistema aplink drožles ir drožlių viduje ir kt.), medienos savybės, grybo rūšis ir kiti faktoriai. Siekiant tiksliau paaiškinti gautus rezultatus, reikalingi tolimesni detalesni grybienos sorbcinių savybių tyrimai.

1 lentelė. Grybienos sorbcinių tyrimų vandenyje rezultatai

Eil. Nr.	Grupė	Pradinis tankis, kg/m ³	Pradinė masė, g	Galutinė masė, g	Masės pokytis dėl drėgnio, %
1	S1	125,8	25,4	45,3	78,3
2	S2	154,6	34,7	90,6	161,1
3	S3	107,3	22,2	70,5	217,5

Vėliau tų pačių tipų grybienu (įsigyta iš grybienos pardavėjo – grupė S1 bei pasigaminta laboratorijoje iš skirtingų substratų – atitinkamai grupės S2 ir S3) 24 valandas drėkinta drėgname ore (oro temperatūra buvo 20 °C ir santykinis drėgnis 90 %) ir fiksuotas jos masės pokytis. Kiekvienos grupės bandinių vidutinės vertės pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Grybienos sorbcinių tyrimų ore rezultatai

Eil. Nr.	Grupė	Pradinis tankis, kg/m ³	Pradinė masė, g	Galutinė masė, g	Masės pokytis dėl drėgnio, %
1	S1	131,2	211,5	220,3	4,2
2	S2	173,4	540,7	560,9	3,7
3	S3	111,6	473,2	494,6	4,4

Matome, kad šiuo atveju skirtingų grupių bandiniai taip pat pasižymėjo skirtingu tankiu ir įgėrė skirtingą kiekį drėgmės. Tačiau šiuo atveju matomas dėsniumas – bandinių, kurių tankis didžiausias, masė padidėjo santykinai mažiausiai. Šis masės pokytis per 24 val siekė 3,5–4,5 % (atskirų bandinių atveju šis išsibarstymas kito platesniame diapazone). Iš kitos pusės, bendrai įgerto vandens kiekis (gramais) jokio akivaizdaus dėsniumo nerodo. Preliminariai ši masės padidėjimą galima paaiškinti taip. Žinant tai, kad medienos drožlių tankis yra gerokai didesnis už bandinių tankį, akivaizdu, kad didelę dalį grybienos tūrio sudaro oro ertmės. Kuo didesnis šių oro ertmių tūris, tuo didesnis ir aplink jas esančio medienos paviršiaus plotas. Iš kitos pusės, šis medienos paviršiaus plotas didesnis tada, kai drožlės yra mažesnės. Bet kuriuo atveju, vandens molekulė, esanti drėgname ore ir patekusi ant medienos drožlės, skverbiasi į jos kapiliarinę sistemą ir didėja bandinio masė. Akivaizdu, kad, norint gauti patikimesnius rezultatus ir nustatyti dėsningumus bei priklausomybes, reikia atlikti daugiau detalesnių tyrimų.

Vėliau, taikant minėtą originalią metodiką ir įrangą, įvertinta medienos ir grybienos tūrinio santykio biokompozite įtaka bandinio tampriosioms ir klampiosioms savybėms. Skirtingų sudėčių bandinių vidutinės (grupių) mechaninių savybių vertės pateiktos 3 lentelėje.

3 lentelė. Kompozite esančios medienos tūrio dalies įtaka bandinio mechaninėms savybėms

Eil. Nr.	Grupė	Medienos tūrio dalis bandinyje, %	Vidutinis tampros modulis, MPa	Vidutinis slopinimo koeficientas, r. u.
1	M1	35	550	0,016
2	M2	20	190	0,020
3	M3	20	290	0,017
4	M4	12	120	0,023

Akivaizdu, kad santykinai mažėjant medienos kiekiui bandinyje, mažėja viso bandinio tampros modulis ir didėja slopinimo koeficientas, t. y. bandinio savybės „artėja“ prie grybienos savybių. Be to, viso bandinio mechaninėms savybėms įtakos turėjo ir tašelio „vieta“ bandinyje. Matome, kad nors grupių „M2“ ir „M3“ bandiniuose mediena sudarė apytiksliai vienodą dalį (apie 20 %), tačiau jų tampros modulis skyrėsi apie 30, o slopinimo koeficientas – apie 15 %. Bendrai, medienos daliai bandinyje mažėjant nuo 35 iki 12 %, bandinio tampros modulis sumažėja net apie 4,5 karto, o slopinimo koeficientas išauga apie 1,5 karto. Taigi, atlikus preliminarinius tyrimus, galima teigti, kad, keičiant kompozito sudėtį, tašelio padėtį, galima koreguoti konstrukcinio elemento tampriai plastiškąsias savybes.

Atkreiptinas dėmesys, kad čia yra vidutinės elemento mechaninės savybės. Taigi, galima teigti, kad, pavyzdžiui, tašelio atsparumui statiniam lenkimui grybo kiekis įtakos neturėtų turėti.

Išvados

1. Atlikus preliminarinius tyrimus, nustatyta, kad biokompozitai iš masyviosios medienos ir grybienos gali būti naudojami kaip konstrukciniai elementai.
2. Nustatyta, kad tiek ore, tiek vandenyje skirtingų sudėčių biokompozitai pasižymi skirtingomis sorbcinėmis savybėmis. Atskirų elementų sugertos iš aplinkos drėgmės kiekis bandinio masės atžvilgiu skyrėsi nuo kelių–keliolikos procentų (ore) iki kelių kartų (vandenyje).
3. Gauta, kad tampriai plastiškosios kompozito savybės priklauso ne tik nuo medienos ir grybienos tūrinio santykio elemente, bet ir jų išsidėstymo. Vidutinis bandinių tampros modulis kito 120–550 MPa, o slopinimo koeficientas – 0,023–0,016 ribose.
4. Siekiant geriau įvertinti biokompozito panaudojimo galimybes bei jo elgseną ir savybių kitimą kintamomis aplinkos sąlygomis, reikia atlikti daugiau išsamesnių tyrimų.

Literatūra

1. European Commission. (2019). The European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
2. Yang, M., Yan, Z., & Li, Z. (2025). Revealing the tricalcium silicate formation behaviors in modified EAF slag at high temperatures for the production of electric recycled cement. *Cement and Concrete Research*, 189, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107756>
3. Yap, Z. S., Khalid, N., H., A., Haron, Z., Khu, W. H., Yeak, S. H., & Amran, M. (2022). Rock wool-reinforced concrete: Physico-mechanical properties and predictive modelling. *Journal of Building Engineering*, 59(1), 105128. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105128>
4. Albrektas, D., & Ivanauskas, E. (2021). An Assessment of Environmental Impact on Glued Wood Building Elements. *Drvna Industrija* 72 (1), 39–47. <https://doi.org/10.5552/drvind.2021.2001>
5. Gilbert, B. P., Bailleres, H., Zhang, H., & McGavin, R. L. (2017). Strength modelling of Laminated Veneer Lumber (LVL) beams. *Construction and Building Materials*, 149, 763–777. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.153>
6. Hildebrandt, J., Hagemann, N., & Thrän, D. (2017). The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low-carbon building sector in Europe. *Sustainable Cities and Society*, 34, 405–418. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.013>
7. ISO. (2013). Packaging and the environment - General requirements for the use of ISO standards in the field of packaging and the environment (ISO 18601:2013). <https://www.iso.org/standard/55869.html>
8. ISO. (2013). Packaging and the environment – Material recycling (ISO 18604:2013). <https://www.iso.org/standard/55872.html>
9. ISO. (2021). Textiles – Man-made fibres – Generic names (EN ISO 2076:2021). <https://www.iso.org/standard/79685.html>
10. Idahagbon, N. B., Nicholas, R. J., & Wei, A. (2025). Pectin–cellulose nanofiber composites: Biodegradable materials for modified atmosphere packaging. *Food Hydrocolloids*, 162, 110976. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110976>
11. Shifa, S. S., Kanok, M. M. H., & Haque, M. S. (2024). Effect of alkali treatment on mechanical and water absorption properties of biodegradable wheat-straw/glass fiber reinforced epoxy hybrid composites: A sustainable alternative for conventional materials. *Heliyon*, 10, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35910>
12. Houette, T., Maurer, Ch., Niewiarowski, R., & Gruber, P. (2022). Growth and Mechanical Characterization of Mycelium-Based Composites towards Future Bioremediation and Food Production in the Material Manufacturing Cycle. *Biomimetics*, 7, 103. <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030103>
13. Yang, L., Park, D., & Qin, Z. (2021). Material Function of Mycelium-Based Bio-Composite: A Review. *Frontiers in Materials*, 8, 737377. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.737377>
14. USDA. (2010). Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. General Technical Report FPL-GTR-190. Centennial Edition. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf
15. Juciene, M., Dobilaitė, V., Albrektas, D., & Bliūdžius, R. (2022). Investigation and evaluation of the performance of interior finishing panels made from denim textile waste. *Textile Research Journal*, 92, 23–24. <https://doi.org/10.1177/00405175221109636>
16. Weinland, F., Lingner, T., Schmitt, H., Gradl, D., Reintjes, N., & Schüler, M. (2024). Life cycle assessment of mycelium-based composite acoustic insulation panels. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 9, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100106>
17. Sun, W., Straassle Zúniga, S. H., Philippe, V., Rinaldi, L., & Abitbol, T. (2025). Mycelium-Bound composites from agro-industrial waste for broadband acoustic absorption. *Materials & Design*, 250, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.113591>

EVALUATION OF THE PROPERTIES OF BIOCOMPOSITE ELEMENTS

Summary

Recently, the issues of ecological sustainability, resource reuse, and the use of biodegradable materials have been actively addressed worldwide. In the construction and industrial sectors, there is an effort to use more biodegradable, "environmentally friendly" materials—materials whose production does not require a large amount of energy.

A new biodegradable material, mycelium, has recently been developed. This material is made from wood chips and other organic substances, where fungi perform the function of synthetic adhesives - the particles are "bonded" together by fungal hyphae. It is a completely organic, biodegradable, "eco-friendly" material. Its production does not require additional chemicals or high energy consumption. Elements and products made from it are well-suited for the production of auxiliary packaging materials, packaging, and interior decoration elements. Such interior elements also help to absorb sound and other mechanical vibrations, and are likely to have good thermal resistance. However, due to its mechanical properties, this material is practically unsuitable for the production of structural elements.

An original biodegradable composite consisting of mycelium and solid wood has been developed at Kauno kolegija Higher Education Institution. Preliminary studies of its physical and mechanical properties suggest that elements made from this composite could already be used as structural elements in buildings, interiors, and furniture. However, this requires optimization of the composite's composition and an assessment of its behavior under different operating conditions.

It is known that the properties of such materials depend heavily on their moisture content. Therefore, it is important to understand their sorption properties. During the research, several types of samples were prepared from mycelium. It was found that samples made using different substrates and mycelium exhibited different sorption properties. When moistened in air, the mass of the individual samples increased by 3.5–4.5%, and when soaked in water, by 50–250%. More detailed research is needed to establish clearer patterns.

Several types of composites were also prepared, using different volume fractions of wood (12–35%) and mycelium (65–88%), and their mechanical (elastic-plastic) properties were evaluated. An original test stand, developed at Kaunas College and based on the method of transverse resonant vibrations, was used for the research. The results showed that the average modulus of elasticity of the samples ranged from 120 to 550 MPa, and the coefficient of damping ranged from 0.023 to 0.016. It was determined that both the modulus of elasticity and coefficient of damping of the element are influenced not only by the amount of wood in the composite but also by the position of the reinforcing wood slats within the element.

Keywords: mycelium, biocomposite, sorption properties, modulus of elasticity, coefficient of damping

Informacija apie autorius

dr. Darius Albrektas. Kauno kolegija, Inžinerinių studijų centras, asistentas. Tyrimų sritys: medžiagų mechaninių savybių modeliavimas ir tyrimas, hidroterminis medžiagų apdorojimas.

El. pašto adresas: darius.albrektas@kaunokolegija.lt

dr. Gintaras Keturakis. Kauno kolegija, Inžinerinių studijų centras, docentas. Tyrimų sritys: įrankių patvarumo tyrimai, paviršių kokybės tyrimai.

El. pašto adresas: gintaras.keturakis@kaunokolegija.lt