



RĪGAS TEHNISKĀ  
UNIVERSITĀTE

Inga Zotova

# UZLABOTAS VEIKTSPĒJAS LIGNOCELULOZES IZOLĀCIJAS PLĀTNES UN TO IZGATAVOŠANAS TEHNOLOĢIJA

Promocijas darba kopsavilkums



**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte

Dizaina tehnoloģiju institūts

**Inga Zotova**

Doktora studiju programmas “Šķiedru materiālu zinātne” doktorante

**UZLABOTAS VEIKTSPĒJAS  
LIGNOCELULOZES IZOLĀCIJAS PLĀTNES  
UN TO IZGATAVOŠANAS TEHNOLOĢIJA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
asociētais profesors *Dr. sc. ing.*  
EDGARS KIRILOVS

Zotova I. Uzlabotas veiktspējas lignocelulozes izolācijas plātnes un to izgatavošanas tehnoloģija. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2023. – 41 lpp.

Iespiests saskaņā ar 2023. gada 11. septembra lēmumu, protokols Nr. 0403-9.2.2/9

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda daļēju atbalstu projektā “Rīgas Tehniskās universitātes akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās” Nr. 8.2.2.0/18/A/017.

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



**EIROPAS SAVIENĪBA**

Eiropas Savienības  
strukturāfondi un  
Kohēzijas fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Promocijas darbs iesākts ERAF pēcdoktorantūras pētniecības atbalsta projektā “Viedo izolācijas materiālu struktūru un tehnoloģiju izstrāde iekštelpu mikroklimata nodrošināšanai” 1.1.1.2/VIAA/1/16/152, darbā iekļauti daļēji šī pētījuma rezultāti.

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



**EIROPAS SAVIENĪBA**

Eiropas Reģionālās  
attīstības fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Vāka attēla autore – Inga Zotova

<https://doi.org/10.7250/9789934229947>

ISBN 978-9934-22-994-7 (pdf)

# PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 28. novembrī plkst. 15.00 Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē, Ķīpsalas ielā 6, 206. auditorijā.

## OFICIĀLIE RECENZENTI

Asociētais profesors *Dr. sc. ing.* Uldis Spulle,  
Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, Latvija

Vadošais pētnieks *Dr. sc. ing.* Ramūnas Tupčiauskas,  
Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Latvija

Profesors *Dr. phys.* Juris Blūms,  
Rīgas Tehniskā universitāte

## APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Inga Zotova .....

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 60 attēlu, 25 tabulas, kopā 101 lappuse. Literatūras sarakstā ir 177 nosaukumi.

# SATURS

<b>IEVADS</b> .....	<b>5</b>
<b>1. LITERATŪRAS APSKATS</b> .....	<b>9</b>
1.1. Siltumietilpības paaugstināšana ar fāzmaiņu materiālu .....	9
<b>2. EKSPERIMENTU MATERIĀLI UN METODES</b> .....	<b>10</b>
2.1. Paraugu izgatavošanas izejmateriāli un izejvielas .....	10
2.2. Plātņu paraugu izgatavošana .....	10
2.3. Plātņu paraugu izgatavošanas tehnoloģijas piedāvājums .....	12
2.4. Izejmateriālu īpašību pārbaudes .....	13
2.5. Izolācijas plātņu ekspluatācijas īpašību pārbaudes .....	13
2.6. Mehānisko īpašību noteikšana .....	14
<b>3. EKSPERIMENTU REZULTĀTI UN TO ANALĪZE</b> .....	<b>15</b>
3.1. Izejmateriālu raksturojums .....	15
3.1.1. Izejmateriālu komponentu mitrums .....	15
3.1.2. Izejmateriālu granulometriskā analīze .....	15
3.2. Plātņu materiālu īpašības .....	16
3.2.1. Plātņu materiāla mitruma noteikšana un salīdzināšana .....	16
3.2.2. Blīvuma vienmērība plātnēs .....	17
3.2.3. Materiāla ūdens uzsūktspējas un uzbriešanas novērtēšana .....	18
3.2.4. Skenējošā elektronu mikroskopija .....	20
3.3. Izolācijas plātnes ekspluatācijas īpašības .....	20
3.3.1. Termiskās īpašības .....	21
3.3.2. Fizikāli ķīmiskās īpašības .....	24
3.3.3. Akustiskās īpašības .....	27
3.3.4. Mehāniskās īpašības .....	29
3.4. Īpašību salīdzinājums ar citiem izolācijas materiāliem .....	30
3.5. Īss materiāla raksturojums un paredzamais lietojums .....	33
Nodaļas kopsavilkums .....	34
<b>SECINĀJUMI</b> .....	<b>38</b>
<b>LITERATŪRAS SARAKSTS</b> .....	<b>40</b>

## IEVADS

Eiropas Savienība un visa pasaule šobrīd saskaras ar klimata pārmaiņām, ko izraisa siltumnīcefekta gāzu emisijas [1]. Pašreizējā scenārijā līdz 2050. gadam globālais enerģijas pieprasījums ēkās vismaz dubultosies, lielāko enerģijas daļu patērējot apsildei un dzesēšanai, salīdzinot ar šodienas līmeni [2]. Klimata pārmaiņu starpvaldību padome (*IPCC*) prognozē, ka līdz 2050. gadam vidējā zemes temperatūra paaugstināsies par 6 °C. Ņemot to vērā, ir jāatrod efektīvāki veidi, kā samazināt enerģijas patēriņu ēku sektorā un vienlaikus samazināt siltumnīcefekta gāzu emisiju apjomu [3]. Nosacījumus var izpildīt, izmantojot progresīvus materiālus. Dabas resursi nav neizsmeļami, tāpēc jāatrod jauni dabas materiālu salikumi, apvienojot primāros un atkārtoti lietojamus resursus un nodrošinot gan to veiktspēju, gan estētiku. Pieaugot globālajai vienprātībai, ka planētu var ietekmēt neatgriezeniskas klimata pārmaiņas, ekoloģijas un ilgtspējas prasības ir kļuvušas par normu jaunu produktu izstrādē. Aktuāla tēma ir plātņu izolācijas materiālu ražošana, pievēršot uzmanību vietējo ražošanas blakusproduktu un ātri atjaunīgo dabas resursu efektīvai izmantošanai. Lai produkts atbilstu ilgtspējas kritērijiem, pētniekiem ir jāattīsta savstarpēja sinerģija starp produkta īpašībām un tā ietekmi uz ekonomiku, sabiedrību un vidi [4].

Saskaņā ar Apvienoto Nāciju Organizācijas izstrādāto rīcības plānu “*Agenda 21*” attiecībā uz ilgtspējīgu attīstību par viedei draudzīgām tehnoloģijām tiek uzskatītas tās, kas aizsargā un samazina nelabvēlīgu ietekmi uz vidi visā materiāla dzīves ciklā, sākot no izejvielu ieguves un beidzot ar produkta/materiāla turpmāku izmantošanu vai pārstrādi [5–6]. Virknē pētījumos veikta dažādu dabas resursu izmantojamības analīze plātņu materiālos [7–9]. Viens no ļoti svarīgiem mērķiem ir sasniegt labus īpatnējās siltuma jaudas raksturlielumus, izmantojot inovatīvas tehnoloģijas augstas lietderības nodrošināšanai, piemēram, iekļaujot sastāvā mikroiekapsulētus fāzmaiņas materiālus (*PCM*) [10–13]. Apvienojot kaņepju spaļu un koksnes garenfrēzēšanas skaidas siltumizolācijas materiālos ar *PCM*, var palielināt ēkas siltuma inerci, praktiski nepalielinot ēkas masu. Pamatojoties uz latentā siltuma izmantošanas lielo potenciālu, tas kļūst par iespējamu jauno tehnoloģiju izstrādes risinājumu, iekštelņu mikroklimata auto regulācijai. Fāzmaiņas materiāli ir atzīti par efektīviem ēkas siltummasas palielināšanai un enerģijas pārvaldības uzlabošanai, tādējādi palielinot energoefektivitāti [14–18]. *PCM* var iestrādāt gan vieglajos [19], gan celtniecības materiālos [20–26].

*PCM* mūsdienās ir plaši pazīstami kā potenciālas piedevas ēku izolācijas materiāliem, kas nodrošina termiskās masas efektu, palīdzot taupīt enerģiju, un uztur komfortablu iekštelņu temperatūru. Tajā pašā laikā *PCM* neaizstāj tradicionālos izolācijas materiālus. Līdz ar to iespējas apvienot *PCM* lietojumu ar tradicionālajiem izolācijas materiāliem ir svarīgs pētījumu virziens, kuram līdz šim nav pievērsta pietiekama uzmanība.

Promocijas darba pētījums ir vērsts uz eksperimentālu izpēti vieda siltumizolācijas materiāla prototipa un tehnoloģijas izveidi. Balstoties iegūtajās zināšanās, formulēts mērķis izveidot temperatūru stabilizējošu industriālo kaņepju spaļu un koksnes garenfrēzēšanas skaidu izolācijas materiālu, integrējot tajā mikroiekapsulētu fāzmaiņas materiālu (temperatūras regulācijas diapazons 23–28 °C) saturošu dispersiju īpatnējās siltumietilpības, siltuminerces un siltumvadītspējas palielināšanai. Darba procesā veikti materiālu struktūru kombināciju

meklējumi funkcionālo īpašību kopuma (konstruktīvā stabilitāte, izolācijas īpašības) nodrošināšanai, kā arī atbilstošo saistvielu apjoma un savienojumu fizikālo un mehānisko īpašību testi, optimizēti izgatavošanas procesa parametri, testētās iegūto prototipu īpašības, precizētas iespējamās lietojumu jomas un ierobežojumi, izstrādātas eksperimentālas tehnoloģijas un optimizēti to parametri. Eksperimentālie izolācijas materiāli izgatavoti no kaņepju spaļiem un koksnes garenfrēzēšanas skaidām, tieši masā iejaucot 5 %, 10 %, 15 % iekapsulētas *PCM* dispersijas. Plātņu ražošanai izmantota aukstā presēšana, lietojot urīnvielas formaldehīda (UF) sveķu līmi kā saistvielu. Eksperimentālie paraugi izgatavoti kā vienslāņa 25 mm biezi plātņu materiāli, to blīvums ir  $290 \pm 20 \text{ kg/m}^3$ , kas kvalificējas kā zema blīvuma plātnes.

### **Tēmas aktualitāte**

Neskatoties uz jau esošiem pētījumiem par fāzmaiņas materiālu (*PCM*) lietojumu, jauno prototipu aktualitātes pamatā ir lielais latentā siltuma izmantošanas potenciāls. Integrējot mikroiekapsulētu fāzmaiņas dispersiju izolācijas kaņepju blakusproduktu plātnēs, iegūts risinājums jaunu tehnoloģiju attīstībai, kas saistīti ar iekštelņu mikroklimata regulēšanu nepalielinot ēkas masu.

### **Darba mērķis**

Veikt kompleksus pētījumus kaņepju blakusproduktu bāzes iekštelņu apdares izolācijas plātņu veiktspējas uzlabošanai, integrējot to sastāvā mikroiekapsulētu bioloģiskas bāzes fāzmaiņu materiālu funkcionālo īpašību intensifikācijai.

### **Darba uzdevumi**

- Publicēto un nepublicēto materiālu analīzes apskats par atjaunīgu resursu izmantošanu izolācijas plātnēs apvienojumā ar mikroiekapsulētu fāzmaiņu materiālu lietojumu.
- Apzināt un izanalizēt esošo plātņu materiālu izgatavošanas metodes un tehnoloģijas.
- Izstrādāt tehnoloģiju mikroiekapsulētu fāzmaiņu materiālu iestrādei plātnes struktūrā.
- Izstrādāt eksperimentālo plātņu prototipu struktūru risinājumus ar un bez *PCM* no kaņepju spaļiem un koksnes garenfrēzēšanas skaidām.
- Veikt paraugu testēšanu, iegūto rezultātu analīzi un interpretāciju.
- Veikt salīdzinošu materiāla īpašību analīzi, formulēt rekomendācijas.

### **Darba zinātniskā novitāte**

Iekapsulētu fāzmaiņu materiāla dispersijas lietojums un tehnoloģija to iestrādei kaņepju spaļu un garenfrēzēšanas koksnes skaidu bāzes izolācijas plātnes struktūrā.

### **Darba praktiskā nozīmība**

Plātnes no lauksaimniecības un kokrūpniecības blakusproduktiem ar to sastāvā integrētām fāzmaiņu materiālu mikrokapsulām siltumenerģijas latentai uzkrāšanai nodrošina iespēju uzlabot mikroklimatu iekštelpās (gaisa temperatūra), paaugstināt ēkas siltumenerģijas energoefektivitāti kopumā, dodot pozitīvu ieguldījumu virzībā uz pasīvo māju un aprītes bioekonomikas principu īstenošanu. Lauksaimniecības un kokrūpniecības blakusproduktu lietojums materiālu izstrādei ar augstu pievienoto vērtību būs nozīmīgs ieguldījums attiecīgo nozaru attīstībā un Latvijas tautsaimniecības attīstībā kopumā.

### **Aizstāvamā tēze**

Izveidotie plātņu prototipi un to izgatavošanai atbilstošā tehnoloģija, izmantojot lauksaimniecības un kokrūpniecības pārstrādes blakusproduktus, ļauj iegūt ilgtspējīgus izolācijas materiālus ar 2,53 reizes augstāku veiktspēju ēku temperatūras regulācijas nodrošināšanai iekštelpās.



## Darba aprobācija

### Publikācijas

- Kirilovs E., **Zotova I.**, Kukle S., Pugovics K. “Low density hemp shive particleboards for latent thermal energy storage performance.” **In:** Journal of Energy Systems, 2021, 5 (1), pp. 1–9. (SCOPUS) DOI: doi.org/10.30521/jes.805791.
- Kirilovs E., **Zotova I.**, Gendelis S., Kukle S., Stramkale V. “Experimental study of using micro-encapsulated phase-change material integrated into hemp shive wallboard.” **In:** MDPI Journal Buildings, 2020, 10 (12), pp. 1–14. (SCOPUS) DOI: doi.org/10.3390/buildings10120228.
- Kirilovs E., Kukle S., Gusovius H.-J., **Zotova I.**, Stramkale V. “Development of wet-preserved hemp fibreboard with thermal and sound insulation properties.” **In:** International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2019, pp. 74–79. (SCOPUS) DOI: 10.5593/sgem2019/6.2/S26.010.
- Kirilovs E., Kukle S., **Zotova I.**, Nagle A. “Structures of sound absorbing and thermal conductivity composite from raw renewable materials.” **In:** International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2018, pp. 333–340. (SCOPUS) DOI: 10.5593/sgem2018/6.3/S26.044.

### Konferences

- **Zotova I.**, Kukle S., Kirilovs E., Gutmane I. “Analysis of one-layer Hemp Shive and Wood Chips Insulation Wallboards.” Advanced Materials and Technologies 2020, Lithuania, Palanga, 24.08.20.–28.08.20.
- Kirilovs E., Kukle S., Gusovius H.-J., **Zotova I.** “Phase change material integrated in to indoor two-layer shive hemp wallboard.” Advanced Materials and Technologies 2020, Lithuania, Palanga, 24.08.20.–28.08.20.
- Kirilovs E., Gusovius H.-J., **Zotova I.**, Kukle S. “Development of hemp shive wallboard with integrated phase change material” 8. European conference on renewable energy systems 2020, Turkey, Istanbul, 24.08.20.–25.08.20.
- Kirilovs E., Kukle S., Gusovius H.-J., **Zotova I.** “Development of smart insulation materials with PCMs for indoor microclimate regulation” International Conference on Materials Engineering and Nanotechnology, ICMEN 2019, Kuala Lumpur, Malaysia, 2.12.19.–5.12.19.
- Kirilovs E., Kukle S., Gusovius H.-J., **Zotova I.** “Development of Innovative Low Density Thermal Insulation from Wet-Preserved Hemp.” Advanced Materials and Technologies 2019. Lithuania, Palanga, 19.08.19.–23.08.19.
- Kirilovs E., Kukle S., Gusovius H.-J., **Zotova I.**, Stramkale V. “Innovative board material development of raw material with different wet-preservation time.” 21st International Conference Materials, Methods & Technologies 2019, Burgas, Bulgaria, 1.07.19.–5.07.19.

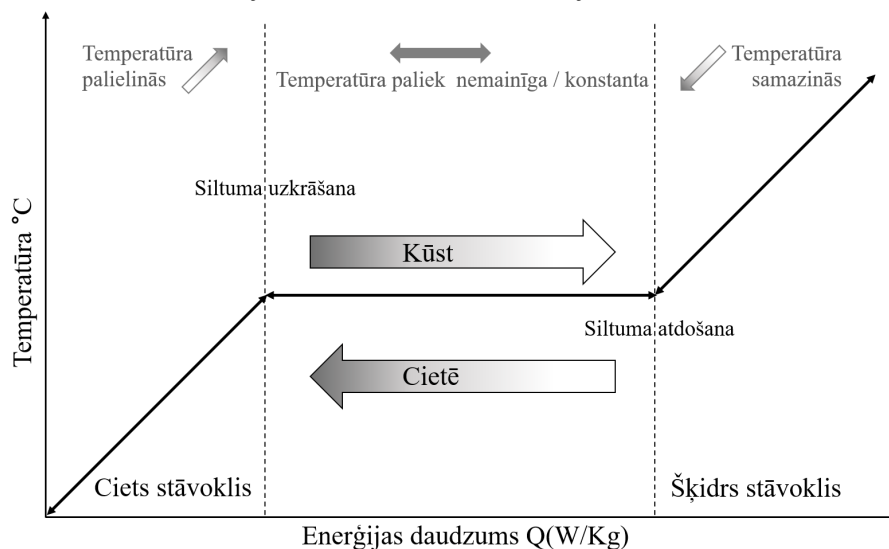
# 1. LITERATŪRAS APSKATS

Veiktais publicēto un npublicēto materiālu apskats un analīze liecina, ka galvenās tēmas ir šādas:

- atjaunīgo resursu un ražošanas blakusproduktu lietojums;
- fāzmaiņu materiāli, to darbības principi, vēsturiskās attīstības apskati, klasifikācija, iestrāde, lietojuma jomas;
- izolācijas materiāli, gan industrijā esošie, gan zinātnieku jaunradītie eksperimentālie materiāli;
- plātņu materiālu izgatavošanas metodes, tehnoloģijas un to īpašības, veikspējas uzlabošana un atjaunīgo komponentu lietojums.

## 1.1. Siltumietilpības paaugstināšana ar fāzmaiņu materiālu

Fāzmaiņas materiāli ir ideāli produkti siltuma pārvaldības risinājumiem, jo tie kušanas un sacietēšanas procesā (mainoties fāzei no vienas uz otru) uzglabā un atbrīvo siltumenerģiju. Fāzes maiņas laikā molekulas pārkārtojas, izraisot materiālās sistēmas entropijas (haotiskas) izmaiņas. Termodinamikā ir nepieciešams, lai materiāls absorbētu vai izdalītu siltumenerģiju vai silda šo entropijas izmaiņu dēļ, un šis siltums, kas saistīts ar materiāla masas vienību, tiek definēts kā materiāla latentais siltums. Kad šāds materiāls sacietē, tas atbrīvo lielu daudzumu enerģijas latentā saplūšanas siltuma vai kristalizācijas enerģijas veidā. Un otrādi, kad materiāls izkūst, no tiešās vietas tiek absorbēts vienāds enerģijas daudzums, pārejot no cietas uz šķidru konsistenci (1.1. att.). Šo *PCM* īpašību var izmantot vairākos veidos, piemēram, siltumenerģijas uzglabāšanā, ēku energoefektivitātē, pārtikas produktu dzesēšanā, kosmosa kuģu siltuma sistēmās, saules elektrostacijās, mikroelektronikas termiskajā aizsardzībā.



1.1. att. *PCM* darbības princips [27–31].

## 2. EKSPERIMENTU MATERIĀLI UN METODES

Nodaļā apkopota informācija par materiālu izvēli paraugu izgatavošanai, izgatavošanas tehnoloģiju, testēšanā lietotajām metodēm un paraugu sagatavošanu atbilstoši standartiem. Izolācijas materiāliem ir svarīgas īpašības – siltuma vadītspēja, siltumietilpība, skaņas absorbcija, uguns noturība, tas ir drošs videi un cilvēkam, ilgtspējīgs un izturīgs. Lai nodrošinātu iepriekš minētās īpašības, izveidotajam plātņu materiālam veiktas atbilstošas pārbaudes.

Sastāvdaļas izvēlētas, ņemot vērā šādus kritērijus: vietējā pieejamība; funkcionālā atbilstība; ietekme uz vidi (iegūšana, ražošana, izmantošana).

### 2.1. Paraugu izgatavošanas izejmateriāli un izejvielas

- Kaņepju spaļi – Latvijā audzētas kaņepju šķiedras šķirnes “*Bialobrzeskie*” blakusprodukts.
- Priedes garenfrēzēšanas skaidas – mēbeļu ražošanas un galdniecības blakusprodukts.
- Karbamīda – formaldehīda sveķu līme (UF) ar cietinātāju aukstai presēšanai.
- Rūpnieciski ražots iekapsulēts bioloģiskas izcelsmes fāzmaiņu materiāls, kas nesatur formaldehīdu.

### 2.2. Plātņu paraugu izgatavošana

• Izgatavotas un analizētas 47 paraugu grupas, variējot ar izejmateriālu struktūrām un slāņveida plātnēm, izejmateriālu daudzumu, saistvielas apjomu, frakciju izmēriem, virsmu reljefu, finierējot un iestrādājot dažādus *PCM* materiālus. Turpmāk izvēlēts attīstīt deviņu paraugu grupu plātnes, kas testētas pēc standartā noteiktām metodēm, lai noskaidrotu plātņu īpašības. Pilnveidojot izvēlētos plātnes veidus, visām plātnēm definēts konstants plātnes izejmateriāla un saistvielas apjoms, lai varētu novērtēt plātnes kopējās īpašības un to, kā īpašības ietekmē mikroiekapsulēta *PCM* pievienošana plātnes sastāvā.

• Testēšanai sagatavotas deviņas paraugu grupas, variējot ar izejmateriālu veidiem un mikroiekapsulēto *PCM* procentuālo apjomu no 5 % līdz 15 % ar soli 5%, saglabājot mērķa blīvuma noteiktās robežas. Trīs plātņu grupas izgatavotas bez *PCM*, lai būtu izejdati H, W un HW (kaņepju spaļu un koka garenfrēzēšanas skaidu materiālu salikums proporcijā 50 : 50), savukārt trīs H grupas un trīs HW grupas izgatavotas, mainot *PCM* apjomu, lai būtu iespēja salīdzināt datus.

• Izstrādāts paraugu izgatavošanas plāns, kurā aprēķināts un noteikts sastāvdaļu daudzums. Plātņu izgatavošanā saistvielas daudzums izmantots 10 % no absolūti sausas izejmateriālu masas, balstoties rūpniecībā lietoto saistvielas proporcijā līdzīgu plātņu izgatavošanai. Attiecīgi 231,5 g izejmateriāliem pievieno 23,15 g UF pulvera saistvielu un 18,94 g ūdens, kas savā starpā veido proporciju 55 : 45. Veicot plātnes masas noteikšanu 336 h pēc presēšanas, secināts, viss saistvielai pievienotais ūdens pilnībā no plātnes iztvaiko.

Plātnēm, kurām pievienota mikroiekapsulēta *PCM* dispersija ar sauso kapsulu apjomu robežās no 49 % līdz 53 %, aprēķinos pieņemts 52 %, veidojot proporciju 52 : 48 (kapsulas : disperģents). Balstoties literatūras izpētē, izvēlēts pievienot trīs masas % apjoma mikrokapsulas – 5 %, 10 % un 15 %.

Mikroiekapsulēto *PCM* procentuālo daudzumu rēķina arī pret absolūti sausu izejmateriāla masu, kur: 5 % mikroiekapsulēto *PCM* gadījumā plātnei pievienotu 22,26 g dispersijas (11,57 g mikrokapsulu, 10,68 g disperģenta), kas iztvaikotu; 10 % – 44,52 g dispersijas (23,15 g kapsulas, 21,37 g disperģenta); 15 % – 66,77 g dispersijas (34,72 g kapsulu, 32,05 g disperģenta).

2.1. tabula

Paraugu izgatavošanas plāns

Paraugs 200 mm × 200 mm × 25 mm	Izejmateriāls	Saistviela no sausas izejmateriālu masas %	<i>PCM</i> materiāls % no sausas izejmateriālu masas	
Materiālu proporcijas	250 g, no tiem sausa masa – 231,48 g, 8 % – mitrums izejmateriālam 18,52 g	Proporcija (saistviela : ūdens) 55 : 45 UF pulveris 23,15 g; ūdens – 23,15 g	<i>PCM</i> kapsulas/dispersijas attiecība 52 : 48	
<b>H</b>	Kaņepju spaļi 100 %	UF 10 %	–	
<b>W</b>	Priedes skaidas 100 %	UF 10 %	–	
<b>HW</b>	Kaņepju spaļi 50 % un priedes skaidas 50 %	UF 10 %	–	
<b>H_5%PCM</b>	Kaņepju spaļi 100 %	UF 10 %	<b>5 %</b>	Kapsulas 11,57 g Disperģents 10,68 g
			22,26 g dispersijas	
<b>H_10%PCM</b>	Kaņepju spaļi 100 %	UF 10 %	<b>10 %</b>	Kapsulas 23,15 g Disperģents 21,37 g
			44,52 g dispersijas	
<b>H_15%PCM</b>	Kaņepju spaļi 100 %	UF 10 %	<b>15 %</b>	Kapsulas 34,72 g Disperģents 32,05 g
			66,77 g dispersijas	
<b>HW_5%PCM</b>	Kaņepju spaļi 50 % un priedes skaidas 50 %	UF 10 %	<b>5 %</b>	Kapsulas 11,57 g Disperģents 10,68 g
			22,26 g dispersijas	
<b>HW_10%PCM</b>	Kaņepju spaļi 50 % un priedes skaidas 50 %	UF 10 %	<b>10 %</b>	Kapsulas 23,15 g Disperģents 21,37 g
			44,52 g dispersijas	
<b>HW_15%PCM</b>	Kaņepju spaļi 50 % un priedes skaidas 50 %	UF 10 %	<b>15 %</b>	Kapsulas 34,72 g Disperģents 32,05 g
			66,77 g dispersijas	

- Plātņu izgatavošanā izmantota 10 % saistviela, kas izvēlēta gan pēc ražošanā lietotajiem datiem, gan veicot plātņu organoleptisko kritēriju novērtēšanu ar saistvielas apjomu no 4 % līdz 14 % ar soli 2 %. (Testos pārbaudīta saistvielas apjoma nepieciešamība konkrētajam izejmateriālam, lai tas atbilstu: 1) rūpnieciski izstrādātu materiālu datiem; 2) testējot īpašības, meklēts, pie cik procentiem saistvielas ir labākās īpašības mehāniskai apstrādei un mazākā paraugu deformācija.)

### 2.3. Plātņu paraugu izgatavošanas tehnoloģijas piedāvājums

Plātņu paraugu izgatavošanā izmantota aukstā presēšanas metode (2.1. att.).

1. Lignocelulozes izejmateriāla nosvēršana. Ja paredzēti vairāki slāņi, katru izejmateriāla slāni sver atsevišķā tvertnē.

2. Saistvielas sagatavošana:

- **nesatur PCM;** saistvielas sagatavošanai izmantota masas metode ar līmes pulvera un ūdens attiecību 55 : 45. UF līmes pulveri ar cietinātāju nosver atbilstoši ražotāja tehniskai datu lapai, atsevišķi nosver ūdens masu, kas ir istabas temperatūrā  $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; saistvielas komponentu sajaukšanu veic, izmantojot rokas elektrisko mikseri, ūdenī pakāpeniski piejaucot pulverveida saistvielu; sajaukšanu veic 120 s, līdz iegūta viendabīga saistvielas masa; saistvielas maksimālais atvērtais laiks 20 min, kas ir nepieciešams, lai saistvielu iejauktu lignocelulozes izejmateriālā;

- **satur PCM;** saistvielas sagatavošanas sākuma process ir precīzi tāds pats, kāds ir sagatavošanai bez PCM; pēc 120 s sajaukšanas, līdz iegūta viendabīga saistvielas masa, pievieno PCM 5 %, 10 % vai 15 % apjomā no izejmateriāla masas ar sekojošu papildu maisīšanu 120 s, lai iegūtu viendabīgu konsistenci; kopējais maisīšanas laiks – 240 s.

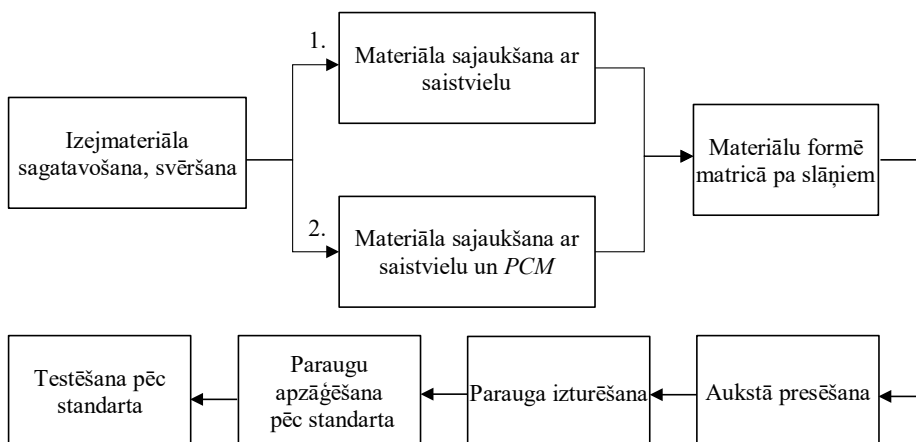
3. Saistvielas sajaukšanu ar izejmateriālu veic sajaukšanas tvertnē, iebērto izejmateriālu maisot ar elektrisko mikseri, lēnām un vienmērīgi pievieno saistvielu. Maisīšanas procesu pēc visas saistvielas pievienošanas veic vēl 120 s.

4. Sajaukto masu, vienmērīgi izlīdzinot, formē matricā. Ja ir vairāki slāņi, pirms katra nākamā slāņa ieklāšanas izlīdzina iepriekšējo.

5. Plātņi presē matricā pēc noteikta biezuma atbilstoši eksperimenta plānam.

6. Paraugu zem spiediena matricā iztur vismaz 12 h.

7. Iegūto plātņi iztur laboratorijas apstākļos 10–14 dienas, izņemot no matricas, zāgē atbilstoši veicamā testa standartiem.



2.1. att. Plātņu materiālu izgatavošanas tehnoloģijas shēma.

## 2.4. Izejmateriālu īpašību pārbaudes

- Mitruma saturs noteikts atbilstoši *LVS EN 322* standartam, lietojot digitālos svarus “*Kern EMB 600-2*” (ar precizitāti 0,01 g) un žāvēšanas skapi “*Binder KBF 115*”.
- Granulometriskā analīze veikta atbilstoši *LVS EN 933-1* un *LVS EN 933-2* standartiem, lietojot digitāli vadāmu elektromagnētisko sieto kratītāju “*Matest A059-01 KIT*” un digitālos svarus “*Kern EMB 600-2*” (ar precizitāti 0,01 g).

## 2.5. Izolācijas plātņu ekspluatācijas īpašību pārbaudes

- Mitruma saturs noteikts atbilstoši *LVS EN 322* standartam, lietojot digitālos svarus “*Kern EMB 600-2*” (ar precizitāti 0,01 g) un žāvēšanas skapi “*Binder KBF 115*”.
- Blīvums noteikts atbilstoši *LVS EN 323* standartam, lietojot digitālos svarus “*Kern EMB 600-2*”, digitālo bīdmēru “*KS Tools 300.0532*” (ar precizitāti 0,01 mm).
- Ūdens uzsūktspēja un uzbriecšana biežumā pēc 24 h izturēšanas ūdenī novērtēta, apvienojot *LVS EN 317* un *LVS EN ISO 29767* standartus, lietojot digitālos svarus “*Kern EMB 600-2*”, digitālo bīdmēru “*KS Tools 300.0532*” (ar precizitāti 0,01 mm).
- Veikta skenējošo elektronu mikroskopija, lietojot SEM iekārtu “*Tescan Vega*”, pārklājuma uznešanai izmantots “*LEICA EM ACE 200*”.
- Termiskās īpašības noteiktas, izmantojot metodes atbilstoši standartiem *LVS ISO 8302* un *LVS ISO 8301*, nosakot siltumietilpību, siltumvadītspēju un siltumpretestību, lietojot “*HFM 446 Lambda Series – NETZSCH Analyzing & Testing*” iekārtu, digitālos svarus “*Kern EMB 600-2*” (ar precizitāti 0,01 g).
- Fizikāli ķīmisko īpašību noteikšanai izmantots *LVS ISO 5660-1* standarts, nosakot ugunsreakcijas īpašības, lietojot konisko kalorimetru “*GD-ISO5660*” un digitālo bīdmēru “*KS Tools 300.0532*” (ar precizitāti 0,01 mm).

- Akustiskās īpašības noteiktas atbilstoši *LVS EN ISO 10534* standartam, nosakot skaņas absorbcijas koeficientu, *NRC* koeficientu, svērtās skaņas koeficientu un skaņas absorbcijas klasi, lietojot akustiskās impedances un pārvades zuduma mērījumu komplektu “*Brüel & Kjær Type 4206*” un digitālo bīdmēru “*KS Tools 300.0532*” (ar precizitāti 0,01 mm).

## **2.6. Mehānisko īpašību noteikšana**

- Robežstiprība liecē noteikta pēc *LVS EN 310* un *LVS EN 12089* standartiem, lietojot universālo testēšanas iekārtu “*FORMTEST UBP 86/200*”.
- Pretestības noteikšanas tests skrūvju aksiālai izraušanai veikts atbilstoši *LVS EN 320* standartam, lietojot universālo testēšanas iekārtu “*FORMTEST UBP 86/200*”.

### 3. EKSPERIMENTU REZULTĀTI UN TO ANALĪZE

Saskaņā ar apkopotajām eksperimentu metodēm ir realizēti eksperimenti ar plātņu paraugiem, kā rezultātā iegūti materiāla raksturojoši dati, veikta to apkopošana, interpretācija un salīdzinošā analīze ar līdzīgiem materiālu datiem no industrijas un publicētās literatūras.

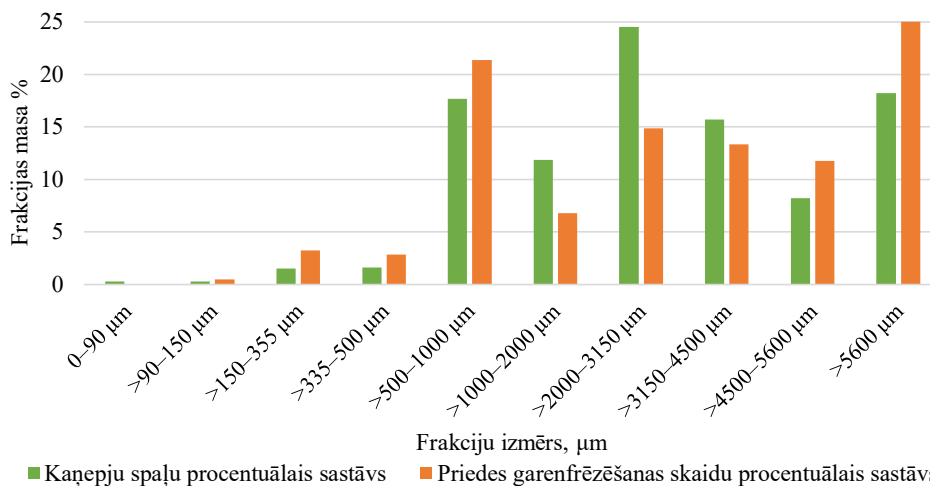
#### 3.1. Izejmateriālu raksturojums

Paraugu izgatavošanā būtiskākās izejmateriālu raksturojošās iezīmes ir izejmateriāla mitrums, lai tas būtu atbilstošs izvēlētajai saistvielai, un frakciju sadalījums izejmateriāla kopējā masā, lai varētu prognozēt, cik liels apjoms putekļu un mazo frakciju ir kopējā masā, kas samazina plātnes mehānisko noturību.

##### 3.1.1. Izejmateriālu komponentu mitrums

Kaņepju spaļu vidējais mitrums ir 7,9 %, savukārt priedes garenfrēzēšanas skaidu vidējais mitrums – 8,8 %. Priedes skaidu mitrums ir par 11 % augstāks nekā kaņepju spaļiem. Jāņem vērā arī tas, ka kokskaidu vidējais mitrums novērtēts, pieļaujot absolūto kļūdu 0,92 %, salīdzinot ar 0,21 % kaņepju spaļiem. Materiāla mitruma noteikšana veikta, lai precīzi noteiktu, vai izejmateriāliem ir pieļaujams lietot izvēlēto UF saistvielu. Secināts, ka vidējais to mitruma saturs iekļaujas saistvielas ražotāja noteiktajā līmējamā materiāla mitruma intervālā  $8 \pm 2$  %.

##### 3.1.2. Izejmateriālu granulometriskā analīze



3.1. att. Kaņepju spaļu un koka skaidu granulometriskās analīzes salīdzinoši rezultāti.

Izsiļājot izejmateriālu daļiņu paraugus, 3.1. attēlā apkopoti to vidējie rezultātu dati. Kaņepju spaļiem (H) ceturtdaļa (25 %) frakcijas ir izmērā 150–2000  $\mu\text{m}$ , turpretī priedes skaidu (W) materiālā šīs frakcijas ir par 39 % mazāk. Nepilni 20 % H materiālā ir frakcijas ar izmēru, kas ir lielāks par 5600  $\mu\text{m}$ , turpretī W šī izmēra frakcijas ir par 38 % vairāk. W frakciju izmērs



robežās 500–1000  $\mu\text{m}$  veido 17,7 %, kas ir par 17 % mazāk nekā W materiālā. W materiālā frakciju robežās 2000–5600  $\mu\text{m}$  apjoms izejmateriālā ir robežās 12–14 %. Frakcijas izmērā zem 500  $\mu\text{m}$  smalkā un putekļu daļa H izejmateriālā veido aptuveni 3,5 %, kas ir par 45 % mazāk nekā W materiālā. Šī izmēra frakcijas ietekmē plātnes mehāniskās īpašības, jo materiāla sajaukšanā ar saistvielu piesaista lielāko daļu saistvielas un uz lielākajām frakcijām nonāk mazāks apjoms saistvielas, tāpēc nolemts šī izmēra frakcijas atdalīt no kopējās masas pirms sajaukšanas ar saistvielu, veicot papildu sijāšanu.

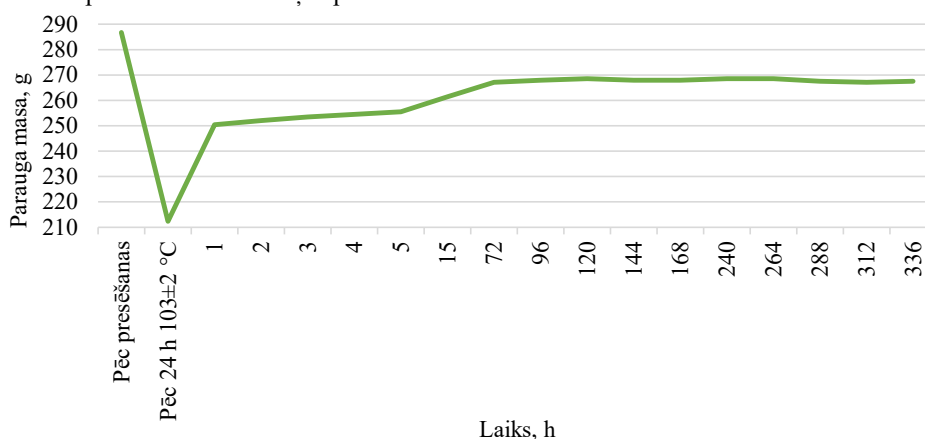
### 3.2. Plātņu materiālu īpašības

Izstrādājot plātnes, svarīgi ir noteikt to pamatīpašības, lai, balstoties šajos rezultātos, interpretētu mehāniskās un fizikālās īpašības.

#### 3.2.1. Plātņu materiāla mitruma noteikšana un salīdzināšana

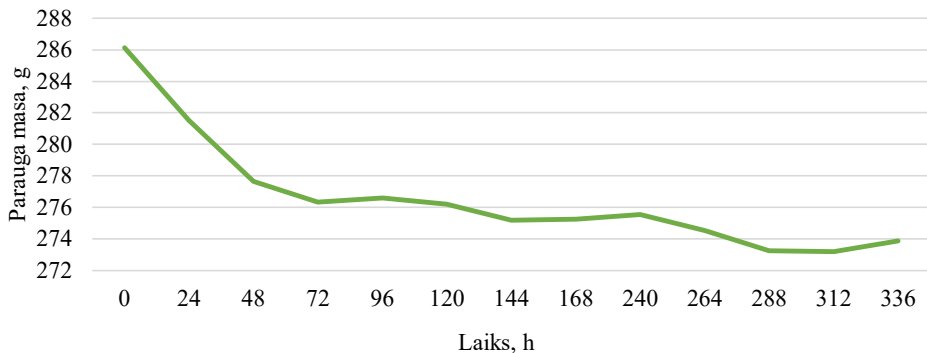
Parauga mitrums noteikts, lietojot masas metodi, plātnes masa pēc presēšanas ir 286 g pēc 24 h, izņemot no žāvēšanas skapja, masa ir 212 g, zaudējot 26 % no sākotnējās masas jeb 35 % mitruma (saistvielai lietotais ūdens un kaņepju spaļu izejmateriāla mitrums 8 %). Turpinot eksperimentu, paraugs svērts pirmās 5 h ik 60 min, un parauga masa vidēji palielinājās par 2 g ik pēc 1 h. Parauga masa pēc 72 h sasniedza 267 g, attiecīgi no izņemšanas brīža masa palielinājās par 25 %. Pēc šī rezultāta fiksēšanas paraugu turpina svērt 14 dienas, bet turpmākās izmaiņas ir minimālas un svārstās  $267 \pm 1$  g. No iegūtajiem rezultātiem secināts, ka paraugu pēc žāvēšanas skapja ir jāiztur laboratorijas telpas apstākļos trīs diennaktis, lai iegūtu līdzsvara mitrumu, ieteicams – septiņas dienas.

Vidēji plātnes parauga masas izmaiņas ir 6,5 % robežās, parauga mitrums – 6,9 %. Iegūtais rezultāts atbilst plātnes nepieciešamajam mitrumam, lai to izmantotu iekšstelpās, kā arī iegūtais plātnes mitrums līdzvērtīgs izejmateriālu komponentu mitrumam –  $8 \pm 2$  %. 3.2. attēlā redzamas plātnes masas izmaiņas pēc žāvēšanas.



3.2. att. Parauga masa uzreiz pēc presēšanas, pēc 24 h izturēšanas žāvēšanas skapī un 14 dienu periodā, iztuot laboratorijas apstākļos.

Salīdzināšanai veikta otra veida parauga mitruma noteikšana, paraugu izņemot no preses, iztur laboratorijas apstākļos 14 dienas. Parauga sākotnējā masa ir 286 g, pēc 72 h parauga masa ir samazinājusies par 3 %, sasniedzot 277 g. Veicot masas fiksēšanu 14 dienas, novērojams, ka masas izmaiņas svārstās 1,5 % robežās, kas ir pieļaujami materiālam, kas izgatavots no dabīgiem izejmateriāliem un “elpo” – uzņem un atdod mitrumu (3.3. att.).



3.3. att. Parauga masas izmaiņa pēc presēšanas 336 h laboratorijas apstākļos.

Lai fiksētu paraugu mitrumu, izmantojot abas mitruma noteikšanas metodes, pēc 14 dienām abus paraugus liek žāvēšanas skapī uz 24 h. Pirmajam paraugam sākuma masa ir 286 g, otrajam paraugam – 273 g. Žāvēšanas rezultātā paraugi zaudējuši proporcionāli 8 % un 10 % masas, paraugu mitrums attiecīgi ir 9 % un 11 %. Paraugiem veikti kontrolmērījumi laboratorijā un noteikts, ka katrai plātnei pēc 336 h iegūta sākotnējā masa.

Salīdzinot abas plātņu mitruma noteikšanas metodes, novērots, ka plātnēm pēc aukstās presēšanas ieteicams, lai žūšanas process noritētu lēnām un vienmērīgi, pretējā gadījumā, plātnei ātri žūstot, tā sāk plaisāt un deformēties. Realizējot šādu plātnes žūšanas procesu, var novērot, ka pēc 336 h plātnē notiek nelielas mitruma un masas svārstības, kas, realizējot pirmo metodi, izsakāmas 0,5 % robežās, realizējot otro metodi, izsakāmas 1,5 % robežās.

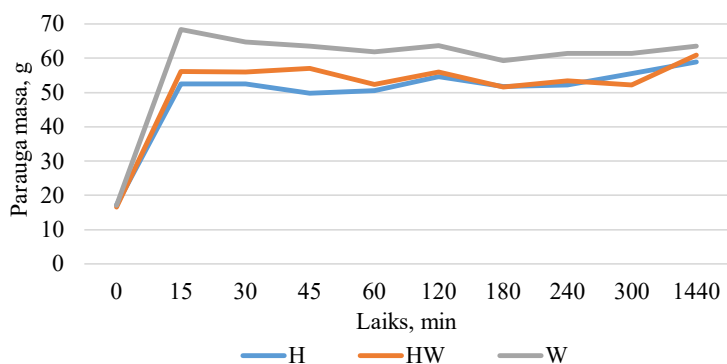
### 3.2.2. Blīvuma vienmērība plātnēs

Paraugu iekšējās nevienmērības raksturošanai veikta blīvuma vienmērības noteikšana, lai noskaidrotu plātņu blīvuma izkliedi. H grupas vidējais 200 mm × 200 mm plātņu blīvums ir 285 kg/m<sup>3</sup>. Blīvumi svārstās 269–296 kg/m<sup>3</sup> robežās. Izgatavoto plātņu absolūtā kļūda – 24,94 kg/m<sup>3</sup>, relatīvā kļūda – 8,8 %. Šīs atšķirības rodas dažādu tehnoloģisko izstrādes procesu dēļ, piemēram, neprecīzi iestrādājot izejmateriālus, kā arī tieši izgatavošanas vai plātnes žāvēšanas laikā, kad mainās biežums. Sagatavoto 50 mm × 50 mm paraugu vidējais blīvums ir 290 ± 9,98 kg/m<sup>3</sup>, blīvuma svārstības 272–307 kg/m<sup>3</sup> robežās ar absolūto kļūdu 9,98 kg/m<sup>3</sup> un 3,4 % relatīvo kļūdu. Lielākās 50 mm × 50 mm paraugu svārstības ir H<sub>55</sub> grupai, kur relatīvā kļūda vidēji ir trīs reizes lielāka nekā pārējām H grupas plātnēm. Salīdzinot visus H plātņu blīvumus ar 50 mm × 50 mm izmēra paraugu vidējo blīvumu, var secināt, ka plātnes parauga blīvuma svārstības starp mazajiem paraugiem un plātņu vidējo blīvumu ir normas robežas 2 % amplitūdā.

HW grupas paraugu 200 mm × 200 mm plātņu blīvums svārstās 276–292 kg/m<sup>3</sup> robežās, plātņu vidējais blīvums 285 kg/m<sup>3</sup> ar absolūto kļūdu 14,74 kg/m<sup>3</sup>, plātnes savā starpā veido 5,2 % relatīvo kļūdu. Sagatavoto 50 mm × 50 mm paraugu blīvumi svārstās 259–294 kg/m<sup>3</sup> robežās, kas veido vidējo rezultātu 276 kg/m<sup>3</sup> ar absolūto kļūdu 15,21 kg/m<sup>3</sup>. Šī starpība veido relatīvo kļūdu 5,5 % robežās, attiecīgi HW\_45 grupai tie ir 3,6 %; HW\_46 – 7,2 % un HW\_47 grupai – 11,5 %. Kļūdas rodas saistībā gan ar tehnoloģisko izgatavošanu, gan ar to, ka plātnēs ir divu veidu izejmateriāli, kur kaņepju spaļi ir blīvāki un ar lielāku frakciju izmēru, savukārt koka garenfrēzēšanas skaidas sapresējas nevienmērīgāk. HW plātnēm 50 mm × 50 mm paraugu vidējais rezultāts pret plātņu vidējo rezultātu uzrāda nevienmērību 3 % apjomā, bet šis rezultāts neparāda plātnes iekšējo nevienmērību kopumā.

W grupas 200 mm × 200 mm plātnēm blīvums ir 287–309 kg/m<sup>3</sup> robežās. Plātņu vidējais blīvums ir 300 kg/m<sup>3</sup> ar absolūto kļūdu 20,90 kg/m<sup>3</sup>. No šīm plātnēm veidojas 7 % liela relatīvā kļūda. Sagatavoto 50 mm × 50 mm paraugu vidējais blīvums ir 302 ± 24,74 kg/m<sup>3</sup>, kur paraugu blīvumi svārstās starp 283 kg/m<sup>3</sup> un 326 kg/m<sup>3</sup>, to relatīvā kļūda ir 8,2 %. Lielākā relatīvā kļūda ir W\_53 grupā – 12,9 %, kas ir nepilnas trīs reizes lielāka nekā W\_52 grupā, kam ir 4,1 %. Analizējot paraugu vidējos rezultātus pret plātņu blīvumu vidējo rezultātu, starpība ir 1 %, taču novērots, ka plātnēm nevienmērīgāks blīvums ir tuvāk plātņu malām, kā arī W grupas plātnēm nevienmērība ir izteiktāka.

### 3.2.3. Materiāla ūdens uzsūktspējas un uzbriešanas novērtēšana



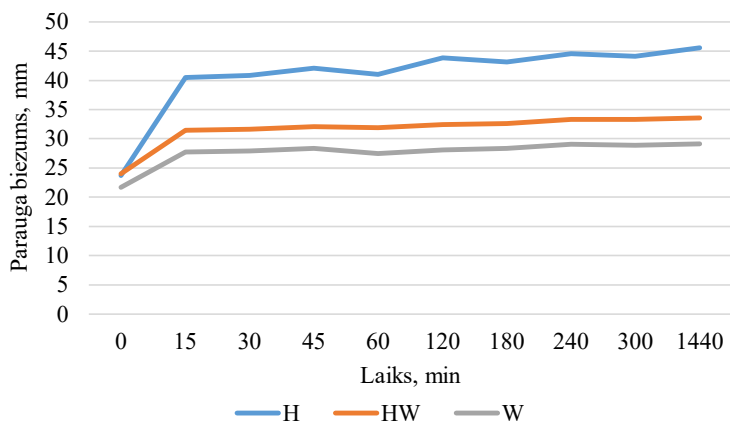
3.4. att. H, HW un W paraugu 24 h masas izmaiņas ūdenī.

Materiālu ūdens uzsūktspējas un uzbriešanas novērtējums veikts trīs paraugu grupām: H, W un HW. H paraugu masas izmaiņas pirmajās 15 min ir straujākās un sasniedz 205 % jeb parauga masa no sākotnējās masas palielinās trīs reizes (3.4. att.). Turpinot eksperimentu pēc pirmajām 15 min, tālāko 5 h laikā masas izmaiņas ir 18 % robežās. Laika posmā no 120 min līdz 1440 min masa palielinās vēl par 4 g, kas ir 20 % no sākuma masas. Kopumā 24 h laikā masas izmaiņas ir 343 %.

W paraugiem pieaugums, salīdzinot ar pārējām paraugu grupām, ir lielākais, sasniedzot 272 % no sākotnējās masas jeb 24 h laikā masas izmaiņas palielinās 3,8 reizes. Galvenais masas

pieaugums vērojams pirmajās 15 minūtēs. Turpinot testu, masas izmaiņas atšķirība pēc 24 h ir neliela, jo paraugi uzsūc visu mitrumu jau sākotnēji.

HW paraugiem masas izmaiņas pēc pirmajām 15 min veidoja 239 % jeb masa pieauga 3,4 reizes. Turpmākajās 120 min masas pieaugums ir ļoti minimāls – līdz 3 %. Paraugu masas izmaiņas 24 h palielinājās 3,7 reizes, un vidēji tas ir par 268 %. Kopumā paraugs ūdeni uzsūc lielā apjomā, bet tas nedalās frakcijās un labi turas kopā.

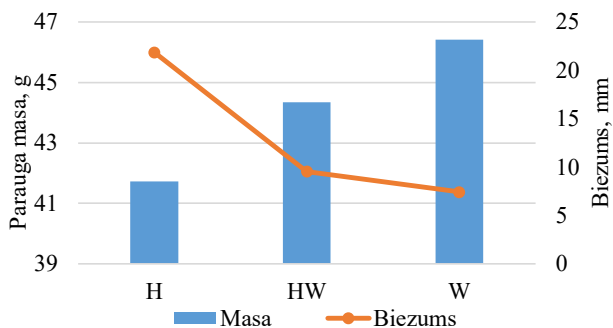


3.5. att. H, HW un W paraugu 24 h biežuma izmaiņas ūdenī.

H paraugu biežuma izmaiņas ir notikušas viskrasāk, salīdzinot ar visām paraugu grupām (3.5. att.). Pirmās 15 min parauga biežums palielinājies par 71 % no sākotnējā biežuma. Turpinot mērīt biežuma izmaiņas, pirmās 300 min vidēji biežums mainījās vairs par 4–12 % jeb 1–3 mm, tādas pašas izmaiņas bija laika posmā no 120–1440 min. Šī eksperimenta laikā parauga biežumi palielinājās vidēji par 192 % jeb gandrīz divas reizes no sākotnējā biežuma. Vizuāli novērojot paraugus, tie jau pirmajās 15 min bija ļoti strauji uzņēmuši mitrumu, paraugi dažādos virzienos strauji un nevienmērīgi izmainīja ģeometriju, lielākajai daļai paraugu atdalījās frakcijas, dažiem lielāki gabali, un pāris paraugi pat sadalījās uz pusēm, neveiksmīgi tos izņemot no trauka eksperimenta laikā.

HW paraugiem biežuma izmaiņas, salīdzinot ar masas izmaiņām, nav tik krasas, kopumā biežums mainījies par nepilniem 10 mm, kas ir 40 % no sākotnējā biežuma. Krasākās biežuma izmaiņas paraugiem bija pirmajās 15 min, kur paraugu biežums mainījās vidēji par 31 %. Vizuāli šie paraugi ir mainījuši biežumu, bet diezgan labi turas kopā, bet, ņemot vērā tā mitruma uzņemšanas apjomu, nav paredzēts telpām, kur iespējama tieša saskare ar ūdeni vai lielu mitrumu.

W paraugiem vērojams vidēji 7,5 mm pieaugums, kas ir nepilni 34 %. Šai paraugu grupai biežuma pieaugums pa stundām ir mazāks par 1 mm, kas liecina par to, ka tieši šie paraugi ir visizturīgākie pret uzbriešanu. Vizuāli šie paraugi, lai gan uzņem pēc aprēķiniem vislielāko masu, vismazāk izmaina savu ģeometrisko stāvokli, un pēc vizuālā izskata var secināt, ka tie biežumu mainījuši nedaudz.

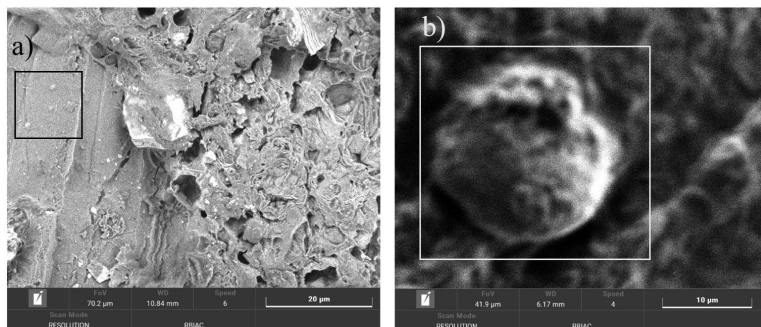


3.6. att. H, HW un W paraugu biezuma un masas izmaiņas 24 h ūdenī.

Kopumā veicot 24 h uzsūktspējas un uzbriešanas novērtējumu (3.6. att.), secināts, ka vislielākais masas pieaugums ir W paraugiem, sasniedzot 46 g, savukārt mazākais H paraugiem, sasniedzot 41 g. Visi paraugi ir veidoti no frakcijām 500–5600  $\mu\text{m}$  robežās, poraini un ar ūdenī šķīstošu saistvielu, kas jau pēc teorijas nav paredzēti ilgstošai saskarei ar ūdeni. Bet ir ļoti vērtīgi zināt, lai varētu prognozēt, kas notiks, piemēram, ar sienas paneļiem, ja telpa applūdis vai būs konstantā saskarsmē ar lielu mitruma apjomu.

### 3.2.4. Skenējošā elektronu mikroskopija

Sagatavotajiem paraugiem veikta skenējošā elektronu mikroskopija (SEM), 3.7. attēlā redzams kaņepju spaļa šķiedru kūlis un saistviela. 3.7. attēlā atzīmētās vietas: a) neliela izmēra mikrokapsula uz kaņepju spaļa virsmas; b) ~15  $\mu\text{m}$  liela mikrokapsula.



3.7. att. SEM attēlos PCM materiāla atrašanās vieta paraugos.

### 3.3. Izolācijas plātnes ekspluatācijas īpašības

Darba izstrādes gaitā veikta plātņu paraugu termisko, fizikāli ķīmisko, akustisko un mehānisko īpašību noteikšana un analizēšana.

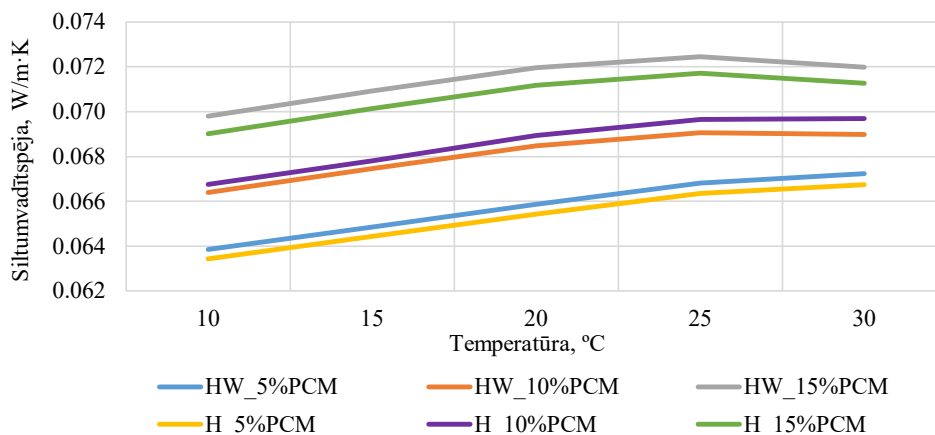
### 3.3.1. Termiskās īpašības

Kā būtisks plātņu novērtēšanas posms ir to termisko īpašību noteikšana. Viena no precīzākajām un visplašāk izmantotajām mērīšanas metodēm ir siltuma plūsmas mērītāja izmantošana. Plātņu paraugiem aprēķinātas siltumvadītspējas, siltumietilpības un siltumpretestības vērtības, nosakot plātņu veiktspējas īpašības un novērtējot *PCM* ietekmi uz tām.

#### 3.3.1.1. Siltumvadītspēja

Paraugu siltumvadītspējas koeficients noteikts temperatūrā, kas ir 10–30 °C amplitūdā ar intervālu 5 °C. Kā redzams 3.8. attēlā, 10–20 °C temperatūrā lambda paraugiem ar 10 % un 15 % *PCM* palielinās lineāri proporcionāli, savukārt paraugam ar 5 % – lineāri proporcionāli līdz 25 °C. Paraugiem ar 10 % un 15 % *PCM* pēc 20 °C vērojamas krasākas svārstības rezultātos, turpretī ar 5 % *PCM* svārstības sākas tikai 25 °C temperatūrā. Var secināt, ka paraugā ir lielāks *PCM* apjoms, jo svārstības ir lielākas, kas skaidrojams ar to, ka pie lielāka *PCM* apjoma ir lielāks ūdens bāzes dispersijas apjoms paraugā. Līdz 20 °C izdalās parauga mitrums, kas ietekmē lambda koeficientu, pēc 20 °C materiāla mitrums ir stabilizējies, un lambda koeficients uzlabojas vidēji par 1,41 %

Izvērtējot paraugus bez *PCM* piejaukuma 20 °C temperatūrā, labāko rezultātu uzrāda paraugs ar kaņepju spaļiem un garenfrēzēšanas skaidām, sasniedzot 0,064 W/m·K. Veidojot parauga struktūru, izmantojot maisījumu 50 % kaņepju spaļus un 50 % koksnes garenfrēzēšanas skaidas, rezultāts samazinās par 4,69 %, veidojot 0,067 W/m·K.



3.8. att. Siltumvadītspējas vidējie rezultāti paraugu grupām ar mainīgu *PCM* sastāvu.

20 °C temperatūrā, nosakot siltumvadītspējas koeficientu, paraugiem ar pievienotu *PCM*, labākais rezultāts (zemākā lambda) ir kaņepju spaļu paraugam ar 5 % *PCM*, kam siltumvadītspējas koeficients  $\lambda$  ir 0,065 W/m·K, turklāt šim paraugam ir arī vislielākais biežums 26 mm un mazākais blīvums 273 kg/m<sup>3</sup>, kas piešķir materiālam labāku porainību un siltumvadītspēju. Ļoti tuvs rezultāts ir HW\_5%PCM, kam siltumvadītspējas koeficients  $\lambda$  = 0,066 W/m·K ar līdzīgu blīvumu kā H\_5%PCM. No visiem paraugiem augstākā siltumvadītspēja

0,07 W/m·K ir paraugu grupām H\_15%PCM un HW\_15%PCM ar augstāko blīvumu 308–316 kg/m<sup>3</sup>.

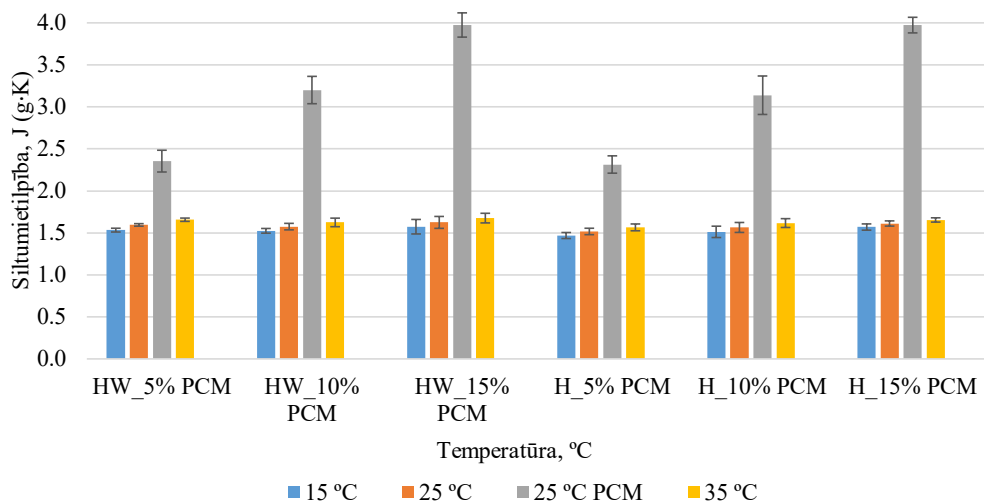
Analizējot rezultātus, var novērot, ka mazāks siltumvadītspējas koeficients jeb labāka siltumizolācija ir paraugiem bez *PCM*, pieliekot kapsulas,  $\lambda$  palielinās, kas izteikti novērojams HW paraugu grupai. Palielinoties temperatūrai, visos variantos palielinās  $\lambda$ . Labāka siltumvadītspēja pie līdzīga blīvuma ir H grupas paraugiem, salīdzinot ar HW grupas paraugiem, kas ir saistīts gan ar to, ka kaņepju spaļiem ir labāka siltumvadītspēja nekā kokam, kā arī tas, ka kaņepju spaļi rada poraināku materiāla struktūru paraugā nekā skaidas.

### 3.3.1.2. Siltumietilpība

Siltumietilpības rezultātu analīzes pamatā ņemta informācija par *PCM* kušanas temperatūras amplitūdu, kas ir 23–28°C. Kā redzams 3.9. attēlā, 15 °C un 35 °C temperatūrā *PCM* aktivitāte nav novērojama, izmaiņas rezultātos abās materiālu grupās temperatūras diapazonā HW un H ir 7 %, savukārt vienas materiālu grupas ietvaros atšķirības starp *PCM* apjomu paraugos ir 2 % apjomā. HW materiālu grupas siltumietilpība ir par 4 % lielāka nekā H grupas paraugiem.

Lai indikatīvi saprastu, kāda siltumietilpības vērtība ir paraugiem ar *PCM* 25 °C temperatūrā, tā tika aprēķināta kā vidēji svērtā vērtība starp 15 °C un 35 °C. Iegūtā lineārā sakarība liecina, ka visa parauga ietvaros siltumietilpība palielinās proporcionāli temperatūrai.

Analizējot rezultātus, ja nebūtu pievienots *PCM*, vidēji uz katriem 10 °C siltumietilpība palielinātos par 3–4 %. Starp 15 °C un 25 °C temperatūru siltumietilpība visām sešām paraugu grupām palielinājās robežās starp 3–4 %, starp 25 °C un 35 °C – arī 3–4 %, kas ir salīdzinoši vienmērīgs materiāla siltumietilpības palielinājums, temperatūrai paaugstinoties.



3.9. att. Paraugu siltumietilpības izmaiņas pie dažāda *PCM* apjoma 25 °C temperatūrā, šo paraugu aprēķinātās siltumietilpības vidējās vērtības un standartnovirze.

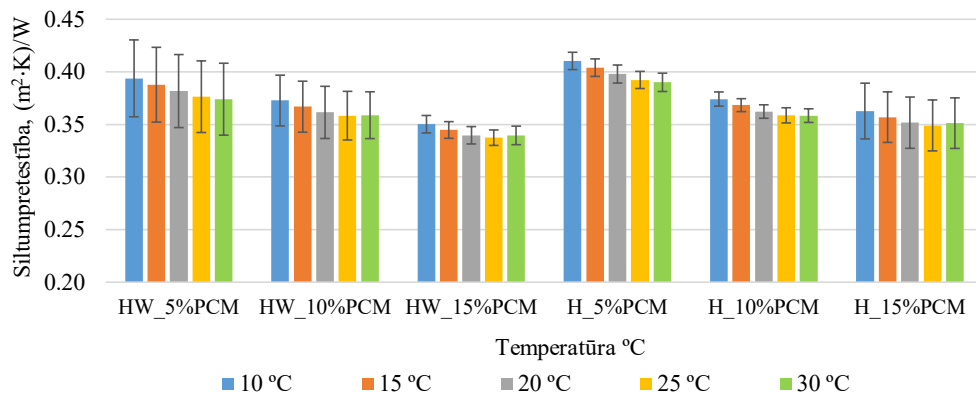
3.9. attēlā redzama izteikta siltumietilpības palielināšanās tieši 25 °C temperatūrā, kas sakrīt ar PCM kapsulu kušanas temperatūru gan materiālu grupās, gan arī vienas grupas ietvaros, palielinoties PCM apjomam palielinās siltumietilpības apjoms. Materiālu grupās HW un H, palielinoties PCM apjomam par 5 %, siltumietilpības rādītājs palielinās vidēji 1,3 reizes, pie 15 % apjoma sasniedzot 3,97 J/(g·K).

Salīdzinot rezultātus HW grupā starp 15 °C, kad PCM nedarbojas, un 25 °C, kad PCM darbojas, vērojamas šādas izmaiņas: pie 5 % PCM materiāla siltumietilpība palielinās par 54 %, pie 10 % PCM ietilpība palielinās 2,1 reizi, pie 15 % PCM ietilpība palielinās no 1,57 J/(g·K) līdz 3,97 J/(g·K), sasniedzot 2,53 reizes lielu pieaugumu. H grupas paraugiem ir identiskas izmaiņas, vienīgi pie 5 % PCM apjoma ietilpība palielinās par 57 % no 1,47 līdz 2,31 J/(g·K), bet pie HW grupas paraugiem siltumietilpība ir 1,53 J/(g·K), kas ir par 7 % mazāk.

Salīdzinot paraugu datus 25 °C temperatūrā, ar datiem, kad PCM veikspēja aktivizējas, un materiālu aprēķinātās siltumietilpības lielumu, vērojama PCM siltumietilpības palielināšanās no 1,48 līdz 2,47 reizēm. Pie 5 % PCM HW grupai ietilpība palielinās par 48 %, H grupai – par 47 %, pie 10 % PCM siltumietilpība HW grupai palielinās 2,03 reizes, H grupai – 2,01 reizi, pie 15 % PCM W grupas siltumietilpība palielinās 2,45 reizes, H grupai – 2,47 reizes. Nosakot ietilpības palielināšanos 25 °C temperatūrā ar dažādu procentuālo PCM sastāvu, redzams, ka paraugu siltumietilpību var palielināt līdz pat 2,5 reizēm.

### 3.3.1.3. Siltumpretestība

3.10. attēlā redzams, ka H paraugu siltumpretestības, PCM saturam mainoties 5–15 % robežās, pārsniedz visā diapazonā atbilstošās HW vidējās vērtības par 3,9 līdz 4,1 procentpunktiem. Palielinoties temperatūrai, visu testēto variantu vidējā siltumpretestība samazinās, HW\_5%PCM (rel. kl. > 9 %) un HW\_10%PCM, kā arī H\_15%PCM (rel. kl. ~ 7 %) variantiem ir liela mērījumu izkliede, kas, iespējams, saistīta ar nevienmērīgu materiālu komponentu daļiņu izkliedi paraugu šķērsgrīzumā, kā arī skaidrojams ar nelielu paraugu daudzumu katrā grupā, radot absolūto kļūdu 0,02–0,04 apjomā. H paraugu vidējā siltumpretestība apskatīto temperatūru diapazonā samazinās par 4,9 %; savukārt HW – par 5,1 %, un šīs atšķirības nav uzskatāmas par būtiskām.



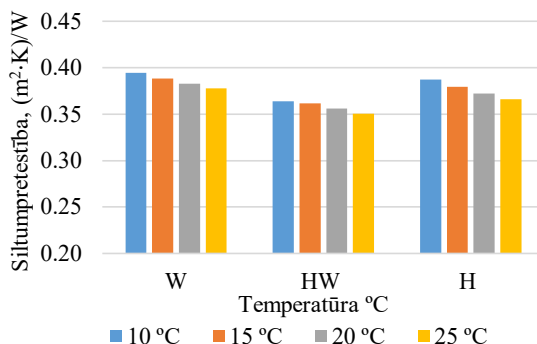
3.10. att. Siltumpretestības rezultāti pie dažādām temperatūrām.



Kopumā augstākie rezultāti ir H\_5 % grupai, R ir 0,39–0,41 (m<sup>2</sup>·K)/W, kas ar mazāko blīvumu no visām paraugu grupām vislabāk nodrošinātu izolācijas īpašības telpā. Nākamais materiāls ar augstāko rezultātu ir HW\_5 %, kas skaidrojams arī ar sakarību starp blīvumu un siltumvadītspējas īpašībām, kas abām paraugu grupām ar 5 % PCM piejaukumu ir vislabākā.

Ar 10 % PCM piejaukumu abu grupu materiālu īpašības ir praktiski vienādas, sasniedzot 0,37 (m<sup>2</sup>·K)/W. Pie 15 % PCM piejaukuma sasniedz rezultātu 0,36 (m<sup>2</sup>·K)/W, ar nedaudz sliktāku rezultātu HW\_15%PCM grupa ar rezultātu 0,35 (m<sup>2</sup>·K)/W.

Kopumā pretestības rezultāts ir robežās 0,34–0,41 (m<sup>2</sup>·K)/W, no kuriem nedaudz augstākus rezultātus parādīja kaņepju paraugu grupa – 0,35–0,41 (m<sup>2</sup>·K)/W.



3.11. att. Siltumpretestības rezultāti pie dažādām temperatūrām.

3.11. attēlā redzami siltumpretestības rezultāti paraugiem W, HW un H bez PCM piejaukuma. Rezultāti H un W grupās ir proporcionāli, W rezultāti ir augstāki nekā H. Apvienojot šos abus materiālus, to siltumpretestības īpašība samazinās par 4 %. HW\_5%PCM rezultāts ir praktiski vienāds W paraugu rezultātam. HW ir 3 % atšķirība no H\_15%PCM rezultāta.

### 3.3.2. Fizikāli ķīmiskās īpašības

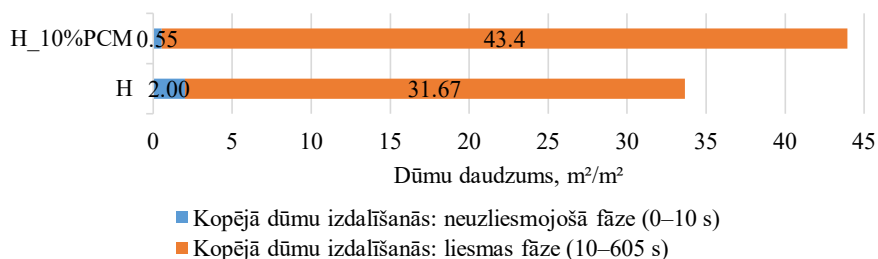
Būtisks aspekts ir plātņu uzliesmošanas īpašību noteikšana un PCM ietekme uz kopējiem rezultātiem. Kā jau minēts iepriekš, fāzmaiņu materiāliem pastāv uzliesmošanas risks, un, iestrādājot PCM iekšējo sienu apdares plātnēs, nav novērtēta to ugunsreakcija. Iegūtos rezultātus projektētāji var izmantot, lai līdzsvarotu potenciālo enerģijas ietaupījumu, izmantojot PCM, ar pilnīgāku izpratni un paredzamību par saistīto ugunsgrēka risku, lietojot piedāvātās plātnes. Tas ļauj arī lietot atbilstošas riska mazināšanas stratēģijas.

#### 3.3.2.1. Ugunsreakcijas tests

Materiālu ugunsreakcijas īpašības noteiktas H un H\_10%PCM paraugu grupām. Abu paraugu grupu siltuma atdeve ir līdzīga, taču H\_10%PCM grupai ir par 6 MJ/m<sup>2</sup> jeb 15 % augstāka siltuma atdeve nekā H grupai. Abām paraugu grupām kopējais izdalītais siltuma daudzums ir 45–51 MJ/m<sup>2</sup> robežās, patērētais skābeklis – 28–32 g robežās, H\_10%PCM grupai, salīdzinot ar H grupas paraugiem, skābeklis patērēts par 14 % jeb 4,5 g vairāk. Tas ir skaidrojams ar papildu izejvielas piejaukumu, jo arī to sadegšanai nepieciešams vairāk

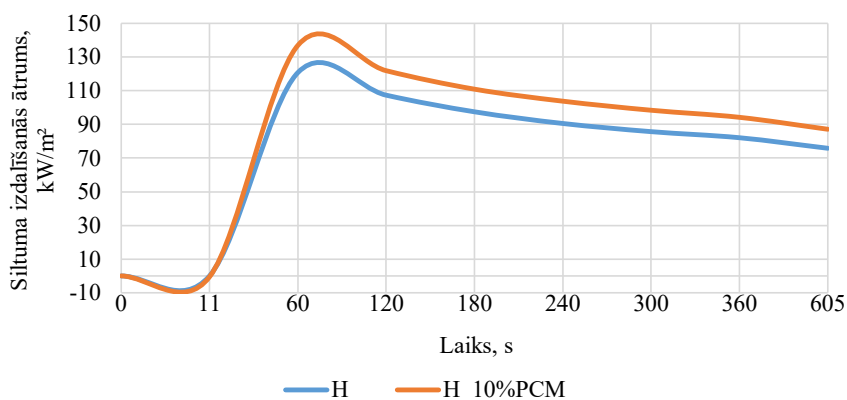
skābekļa. Abām paraugu grupām masas zuduma atšķirība ir 1 % robežās. Paraugu grupām specifiskais zuduma koeficients atšķiras par 0,3 %: H grupai zudums ir  $6,89 \text{ g}/(\text{sm}^2)$ , H\_10%PCM grupai –  $6,97 \text{ g}/(\text{sm}^2)$ . Paraugi ar PCM sastāvā aizdegās 1,49 reizes ātrāk nekā paraugi bez PCM, un tas nozīmē, ka kapsulas veicina paraugu degšanu un ir jādodomā par papildu aizsardzību pret aizdegšanos. H paraugu grupa aizdegās pēc 9,67 s, savukārt H\_10%PCM grupa – pēc 6,5 s.

Dūmu izdalīšanās degšanas rezultātā kopējais dūmu daudzums laika posmā 0–605 s ir: H grupai –  $33,70 \text{ m}^2/\text{m}^2$ ; H\_10%PCM grupai –  $43,95 \text{ m}^2/\text{m}^2$ . Tas ir, visa testa laikā H\_10%PCM, salīdzinot ar H grupu, izdalīja par 30 % vairāk dūmu. H paraugu grupa pirmajās 10 s, kas ir neuzliesmojošā fāzē, izdalīja 3,6 reizes vairāk dūmu nekā H\_10%PCM paraugu grupa. Savukārt laika posmā 10–605 s, tas ir, liesmu fāzē, 1,4 reizes vairāk dūmus izdalīja paraugi ar PCM sastāvu: H grupa –  $31,67$ , H\_10%PCM grupa –  $43,4 \text{ m}^2/\text{m}^2$ . No iegūtajiem rezultātiem secināts, ka dūmu daudzumu ietekmē PCM sastāvs paraugos (3.12. att.).



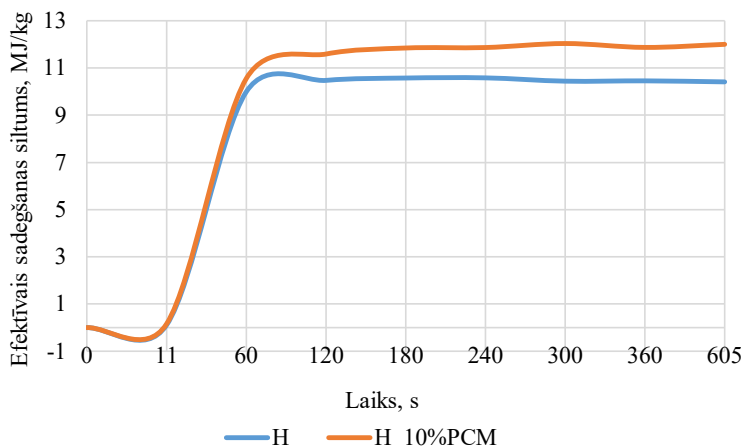
3.12. att. Paraugu dūmu daudzums.

Analizējot siltuma izdalīšanās datus, secināms, ka paraugu grupai ar PCM pie 60 s rezultāts ir lielāks –  $136,92 \text{ kW}/\text{m}^2$ , savukārt H grupai –  $120,7 \text{ kW}/\text{m}^2$ , kas ar līdzvērtīgu rezultātu starpību arī samazinājās, iegūstot to, ka 605 s joprojām lielāks siltuma izdalīšanās ātrums  $87,11 \text{ kW}/\text{m}^2$  pret H grupu  $75,82 \text{ kW}/\text{m}^2$  (3.13. att.).



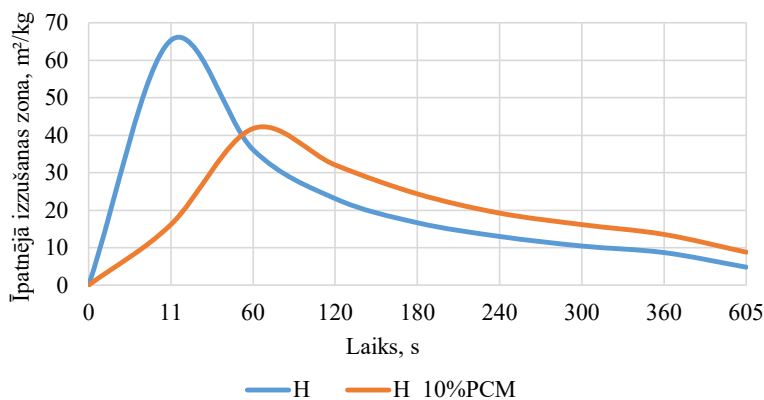
3.13. att. Siltuma izdalīšanās ātrums.

3.14. attēlā redzami efektīvā sadegšanas siltuma rezultāti, kur pirmajās 60 s sadegšanas siltums izdalās strauji, pēc 10 s, iestājoties degšanas fāzei, sadegšanas siltums līdz 60 s strauji palielinās. Laika posmā no 60 s līdz 605 s notiek izmaiņas, nostabilizējoties rezultātam, iegūstot: H\_10%PCM grupai – 12 MJ/kg, H grupai –10,41 MJ/kg.



3.14. att. Efektīvais sadegšanas siltums.

Īpatnējās izžušanas koeficients ir krasi atšķirīgs abām grupām, kā redzams 3.15. attēlā, grupai ar PCM tas notiek lēnāk un vienmērīgāk pirmajās 60 s, sasniedzot maksimālo vērtību 41,78 m<sup>2</sup>/kg, un pēc tam šī vērtība vienmērīgi samazinās. Savukārt H grupas paraugiem maksimālā vērtība sasniegta jau pirmajās 11 s, sasniedzot 65,3 m<sup>2</sup>/kg, un līdz 60 s jau strauji krītas, tālāk vienmērīgi samazinoties. H grupas vērtība pirmajās 11 s sasniedz četras reizes augstāku īpatnējās izžušanas koeficientu.

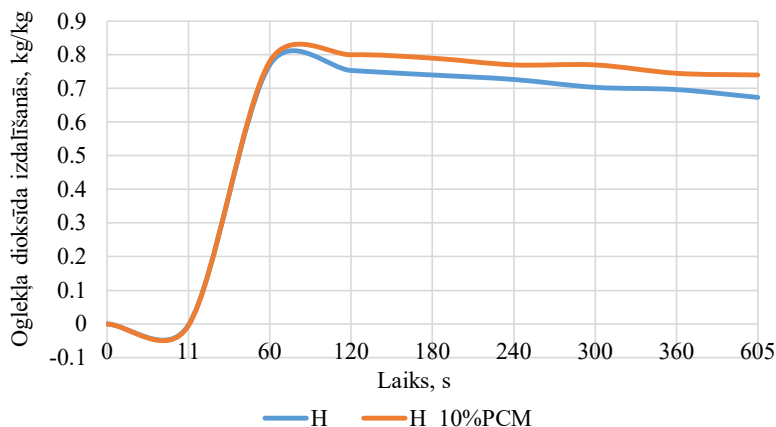


3.15. att. Īpatnējās izžušanas koeficients.

Masas zuduma mērījumus izmanto, lai analizētu gruzdēšanas attīstību kaņepju spaļu izolācijas plātnē. Masas zuduma ātrums strauji sasniedz maksimumu H grupai 12,1 g/(s·m<sup>2</sup>), H\_10%PCM grupai 12,64 g/(s·m<sup>2</sup>). Masas zudums abām paraugu grupām sāk samazināties no

60 s, un tas turpina samazināties līdzvērtīgi atlikušo pārbaudes laiku. Lielākā daļa no kopējā masas zuduma ir uz leju vērsta gruzdēšanas režīma laikā, neskatoties uz reģistrēto zemo izdalīšanās temperatūru. Tas ir tāpēc, ka sākotnējā degšana ietver pirolīzes procesu, kura laikā lielākā daļa masas tiek zaudēta, tālākā procesā notiek pārroģošānās oksidēšanās reakcijas, līdz ar to masas zudums ir mazāks.

Pirmajās 60 s ir straujākais degšanas process, kura laikā izdalās oglekļa dioksīds ( $\text{CO}_2$ ). Vērojams, ka turpmākajā degšanas procesā izdalītais  $\text{CO}_2$  daudzums samazinās. H\_10%PCM grupas rezultāti ir nedaudz augstāki, ko varētu ietekmēt pievienotā mikroiekapsulētā PCM dispersija (3.16. att.).



3.16. att. Oglekļa dioksīda izdalīšanās.

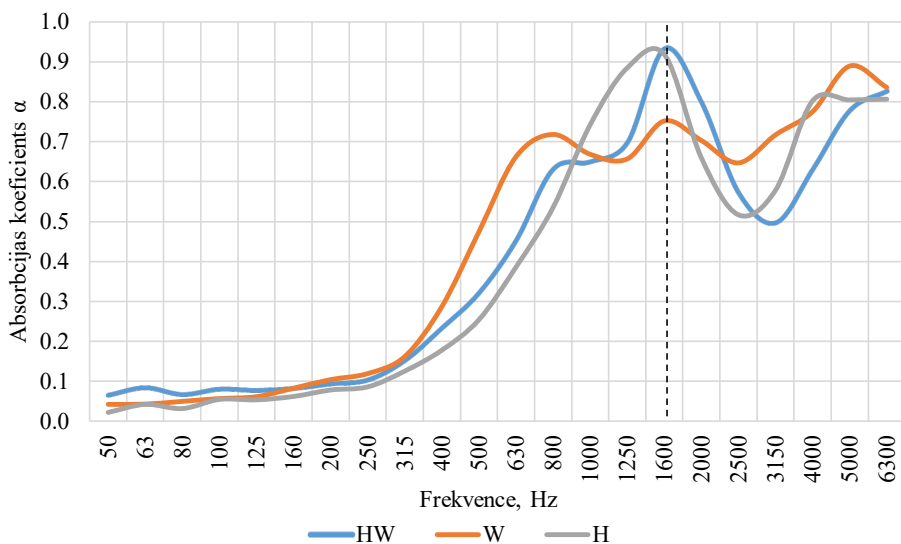
### 3.3.3. Akustiskās īpašības

Troksņa piesārņojums uzskatāms par stresa faktoru, kas ilgstoši var nelabvēlīgi ietekmēt cilvēka veselību. Porainus absorbējošus materiālus izmanto dažādu skaņu un troksņu pasīvai kontrolei. Zinot tehnisko kaņepju spaļu augsto porainību, ir būtiski noteikt izgatavotās plātnes akustiskās īpašības. Paraugiem noteiktas akustiskās īpašības, nosakot, vai materiāls ir skaņas absorbents, aprēķināts skaņas absorbcijas un *NRC* koeficienti, noteikta absorbcijas klase.

#### 3.3.3.1. Skaņas absorbcijas koeficients, skaņas absorbcijas klases, *NRC* koeficients

Materiāls ir nevienmērīgs, salīdzinoši porains, paraugi atšķiras ar materiāla iekšējo struktūru, frakciju orientāciju pret skaņas viļni. Šo faktoru kopums ietekmē materiāla absorbciju, kas savukārt ietekmē mērījumu rezultātus.

Skaņu absorbcijas testos vērojama rezultātu nevienmērība, kas skaidrojama gan ar materiālu struktūru atšķirībām, gan ar materiālu paraugu sagatavošanu un to novietojumu impedances caurulē. Rezultātu novirzi rada tas, ka konkrētajai iekārtai, lai iegūtu plašu frekvenču diapazonu, jāveido divu izmēra paraugi. Iegūtie rezultāti datorprogrammā jāsavieno vienā grafikā. Datu apvienošanu vienā grafikā var manīt pie 1600 Hz, kas ar raustītu līniju iezīmēts 3.17. attēlā. Datus analizējot, var secināt, ka blīvums ietekmē absorbcijas pakāpi un ka ir liela rezultātu izkliede, bet kopumā konkrētās frekvencēs īpašību tendences saglabājas.



3.17. att. Paraugu HW, W un H grupu vidējie absorbcijas koeficienta  $\alpha$  1/3 oktāvu frekvenču joslu rezultāti.

HW paraugu grupai materiālu var uzskatīt par absorbējošu, absorbcijas koeficients ir virs 0,5, sākot no ~ 650 Hz frekvencē. Izstrādātais materiāls līdz 400 Hz galvenokārt ir atstarojošs. Absorbcijas līkne aug līdz 1600 Hz, sasniedzot augstāko vērtību 0,93. Tālāk līknei veidojas absorbcijas samazinājums līdz 3150 Hz, iegūstot 0,5 vērtību, kur absorbcija atkal palielinās, 5000–6300 Hz frekvences posmā sasniedzot absorbcijas koeficientu 0,78 līdz 0,83 robežās. Starp paraugiem HW grupā ir nelielas atšķirības, lielākās atšķirības ir ap 4000 Hz, kur absolūtā nevienmērība sasniedz 0,17.

W grupas paraugi savā starpā uzrāda nevienmērīgus rezultātus, jo šo materiālu grupu vissarežģītāk bija apstrādāt, lai iegūtu maza diametra paraugus, kur arī novērojamas lielas absolūtās kļūdas novirzes 0,12–0,36 – 1000–6300 Hz frekvences apgabalā. W paraugi kā absorbents strādā 550–6300 Hz frekvences joslā ar koeficientu 0,65–0,9.

H paraugu grupas paraugi G, H, I un 7., 8., 9. veido līdzīgus rezultātus, līdz 1500 Hz nepārsniedzot absolūto kļūdu 0,07, savukārt 2000–6300 Hz frekvencē kļūda ir 0,11–0,19. Materiālu var uzskatīt par absorbējošu, sākot ar 700 Hz. Augstāko blīvumu paraugs uzrāda nedaudz zemāku absorbcijas pakāpi. Labākie rezultāti un absorbcijas koeficients ir 0,75–0,95 robežās 1000–2000 Hz un 4000–6300 Hz frekvences diapazonos. Pēc paraugu apvienošanas posmā 1600–3000 Hz absorbcijas koeficients vidēji ir 0,55–0,66.

Visu trīs grupu materiāli kā absorbents strādā līdzīgi, paraugi ar koeficienta vērtību virs 0,5 frekvences joslā 700–6300 Hz atšķiras nebūtiski. Visefektīvākā absorbcija ir 1000–2000 Hz un 4000–6300 Hz frekvencē. Visvienmērīgāk pēc 500 Hz absorbē W grupas paraugi, H un HW rezultāti ir ļoti līdzīgi. Visu trīs grupu materiālus var saukt par skaņas absorbentiem.

Vidējais skaņas absorbcijas koeficients pēc sakritības H grupai 50–6300 Hz frekvencē ir 0,48, HW grupai – 0,47. Rezultāti ir ļoti līdzvērtīgi, ņemot vērā līdzīgo struktūru un paraugu

blīvumu. W grupas rezultāts ir augstāks visās frekvenču joslās, ņemot vērā to, ka šādas struktūras materiāliem novērtē rezultātu augstākā frekvencē, tad H, HW un W paraugiem 500–6300 Hz frekvencē absorbcijas koeficients ir 0,65–0,69 robežās.

*NRC* koeficients ir noteikts 250–2000 Hz frekvences diapazonā. HW materiālu grupai koeficients ir 0,47, H grupai – 0,44, W grupai – 0,49. Rezultāti ir līdzīgi ar absorbcijas koeficientu 50–6300 Hz frekvencē, bet, ņemot vērā to, ka pie *NRC* aprēķināšanas neņem vērā zemās un augstās frekvences, tad rezultāti nav vienādi.

3.1. tabula

		Skaņas absorbcijas klase dažādās frekvencēs									
		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
<b>HW grupa</b>		0,10	–	0,32	<b>D</b>	0,65	<b>C</b>	0,80	<b>B</b>	0,63	<b>C</b>
<b>H grupa</b>		0,09	–	0,25	<b>E</b>	0,74	<b>C</b>	0,66	<b>C</b>	0,80	<b>B</b>
<b>W grupa</b>		0,12	–	0,47	<b>D</b>	0,67	<b>C</b>	0,70	<b>C</b>	0,78	<b>C</b>

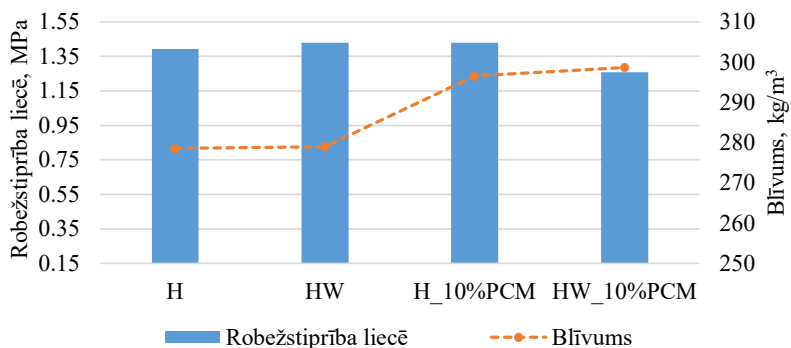
Skaņas absorbcijas klase noteikta katrā paraugu grupā, atsevišķi apskatot, kādā frekvencē materiāls vislabāk absorbē, lai noskaidrotu, vai šis izstrādātais materiāls darbojas arī kā absorbcijas materiāls (3.1. tab.).

### 3.3.4. Mehāniskās īpašības

Sagatavotajiem plātņu paraugiem veikti mehānisko īpašību indikatīvie mērījumi, lai noskaidrotu plātnes noturību liecē un skrūvju aksiālās izraušanas pretestību. Šie divi testi raksturo plātņu materiāla lietojumu kā brīvēstāvošu elementu un tā fiksācijas iespēju pie virsmas ar atbilstošiem stiprinājumiem.

#### 3.3.4.1. Robežstiprība liecē

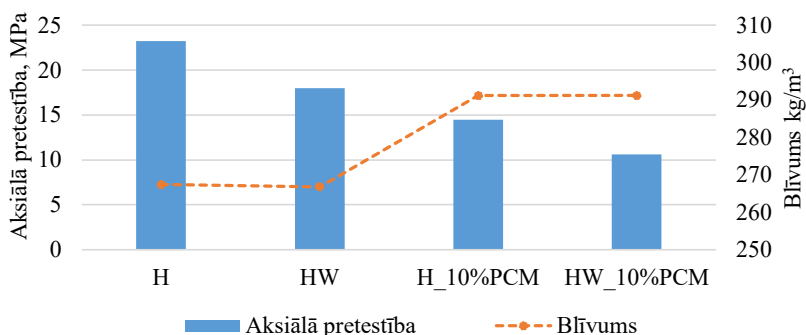
Robežstiprības tests liecē veikts H un HW paraugiem un paraugu grupām ar pievienotu 10 % *PCM* (3.18. att.), to biezums – 25 mm, blīvums – 278–298 kg/m<sup>3</sup> robežās. Salīdzinot H un HW rezultātus, robežstiprība atšķiras 0,04 MPa, labāko rezultātu uzrādot HW paraugiem 1,39 MPa. H un H\_10%*PCM* paraugu grupām rezultāti ir ar 0,04 MPa starpību, sliktāku rezultātu uzrādot paraugiem ar *PCM* sastāvā. Turpretī, salīdzinot paraugus HW un HW\_10%*PCM*, paraugos ar *PCM* vērojams rezultāta samazinājums par 13 %. Lai arī, pievienojot *PCM*, materiāla blīvums palielinās par 7 %, rezultāta kritums skaidrojams ar sastāva izmaiņām – saistvielā esošais ūdens daudzums pievienots vairāk, jo *PCM* dispersijas sastāvā arī ir ūdens, kas kopumā ietekmē paraugu stiprību ar garenfrēzēšanas skaidām. Vidējā lieces izturība paraugiem ir salīdzinoši zema – 1,38 MPa, kas nozīmē, ka tos vislabāk ir izmantot rāmju pildīņu konstrukcijās vai slodzi nenesošās konstrukcijās, piemēram, skrūvējot pie stabilas virsmas. Konkrēto materiālu nevar izmantot kā brīvēstāvošu horizontālu elementu.



3.18. att. Robežstiprība liecē.

### 3.3.4.2. Pretestības noteikšana skrūvju aksiālai izraušanai

Veicot testu, jau sākotnēji paraugos skrūves skrūvētas, neveicot priekšurbumu, jo materiāls ir zema blīvuma. Pēc 10 % *PCM* pievienošanas paraugiem aksiālās stiprības rezultāts samazinājās 1,6 reizes. Salīdzinot H un HW grupu paraugus, 1,3 reizes izturīgāki ir H grupas paraugi, H sasniedzot 23 MPa, HW – 18 MPa (3.19. att.).



3.19. att. Pretestība skrūvju aksiālai izraušanai.

## 3.4. Īpašību salīdzinājums ar citiem izolācijas materiāliem

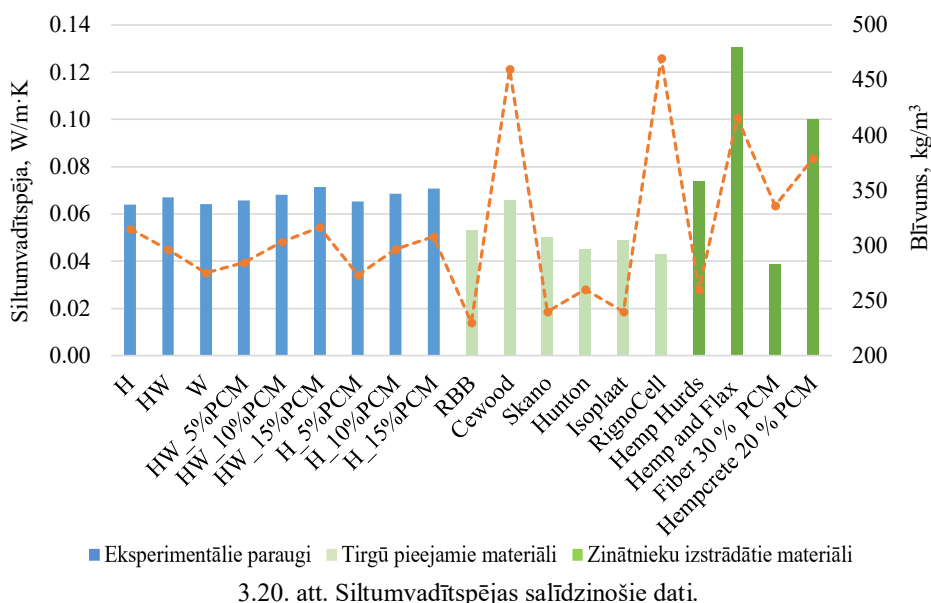
Izpētot tirgū pieejamos izolācijas materiālus un zinātnieku izstrādātos materiālus gan ar *PCM*, gan bez *PCM*, veikta salīdzinošā analīze, lai noteiktu izstrādātā materiāla priekšrocības un vājās vietas. Salīdzināšanai izvēlēti materiāli ar līdzīgiem blīvumiem – tirgū pieejamo materiālu blīvums 230–460 kg/m<sup>3</sup> robežās; zinātnieku izstrādāto materiālu blīvums 185–416 kg/m<sup>3</sup>, autores izstrādāto plātņu blīvums 296–316 kg/m<sup>3</sup>.

Siltumvadītspēja ir salīdzināta sešiem izolācijas materiāliem (3.20. att.), kas ir iegādājami tirgū, un četriem zinātnieku izstrādātiem materiāliem, no kuriem divos ir iestrādāts *PCM*.

Labākie siltumvadītspējas rezultāti ir tirgū pieejamajiem siltumizolācijas materiāliem – 0,043–0,053 W/(m·K) robežās. *Cewood* akustikas plātnēm un Lietuvas zinātnieku radītajām

kaņepju spaļu plātnēm ar cietes saistvielu ir līdzīgākais rezultāts ar autores izstrādātajiem prototipiem – 0,066–0,074 W/(m·K).

Siltumvadītspējas vidējie rezultāti tirgū ir 0,051 W/(m·K), zinātnieku izstrādātajiem materiāliem – 0,086 W/(m·K), autores izstrādātajiem materiāliem – 0,067 W/(m·K). Siltumvadītspēja autores izstrādātajiem materiāliem, salīdzinot ar tirgū esošajiem materiāliem, ir vidēji par 32 % sliktāka, vairumam materiālu ir zemāks blīvums, taču līdz pat 28 % labāka nekā lielākajai daļai zinātnieku izstrādātajiem materiāliem, kur viena no sastāvdaļām ir lauksaimniecības atlikumi. Vienam no pētniecības materiāliem, kur ģipša kaņepju betonam pievienots 20 % *PCM*, ir novērojama *PCM* negatīva ietekme uz siltumvadītspējas rezultātu.

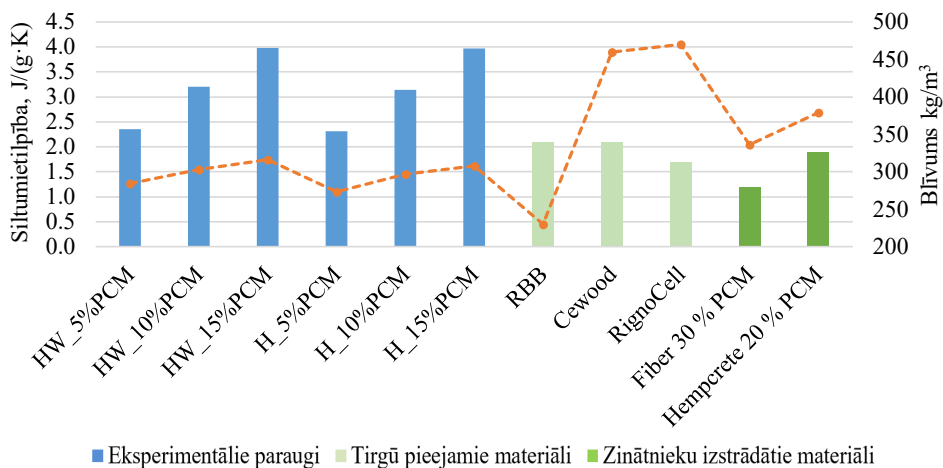


3.20. att. Siltumvadītspējas salīdzinošie dati.

3.21. attēlā redzams, ka izstrādātajiem materiāliem ir sasniegta augstāka siltumietilpība ar vidējo rezultātu 3,16 J/(g·K), tirgū pieejamajiem materiāliem vidējā siltumietilpība sasniedz 1,97 J/(g·K), savukārt zinātnieku izstrādātajiem materiāliem – 1,55 J/(g·K).

Siltumietilpība izgatavotajos izolācijas materiālos ar vienādu biežumu un 15 % *PCM* sastāvā ir augstākā, sasniedzot 3,97 J/(g·K), kas ir divas reizes augstāks rezultāts nekā tirgū pieejamajiem materiāliem, kas ir 1,7–2,1 J/(g·K) robežās. Salīdzinot H un HW vidējos rezultātus ar tirgū pieejamajiem materiāliem, iegūtais rezultāts ir par 1,6 reizēm labāks. Salīdzinot labāko autores rezultātu ar zinātnieku izstrādātajiem materiāliem ar 20 % līdz 30 % pievienotu *PCM*, kur iegūtais rezultāts ir 1,2–1,9 J/(g·K) robežās, autores izstrādātās plātnes sasniedz 2,6 reizes labāku rezultātu.





3.21. att. Siltumietilpības salīdzinošie dati.

Salīdzinot autores izstrādāto materiālu ar izolācijas materiāliem (3.2. tab.), ko var iegādāties būvniecības veikalos, ugunsreakcijas klase, kas šobrīd gan ir teorētiska (iegūta dažos testos), ir pat salīdzinoši augsta. Grūtāk ir konkurēt ar materiāliem, kas izstrādāti no betona vai kaļķa. Šeit ir iespēja meklēt risinājumus nākotnē, izmantojot papildu pildvielas, lai samazinātu arī aizdegšanās reakciju un ātrumu.

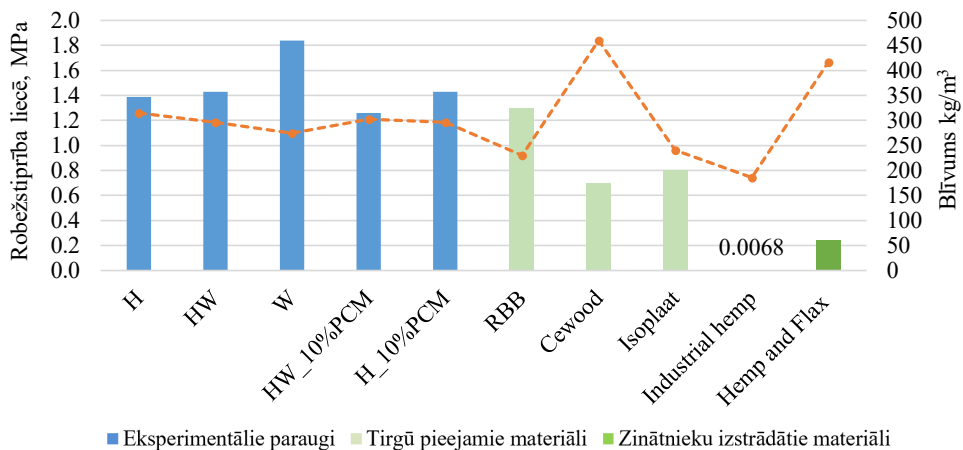
3.2. tabula

Ugunsreakcijas klases salīdzinošie dati

Materiāls	H	Cewood	HW_10 %	RBB	ISOPLAAT	SKANO	HUNTON
Uguns-reakcijas klase	B*	B	C*	E	E	E	F

Cewood uzņēmums raksta, ka var sasniegt skaņas absorbcijas koeficientu 0,9, bet tas ir dažāds, līdzīgi, kā tas ir autores izstrādātajā darbā – dažādās frekvencēs materiāls dažādi reaģē, vidēji sasniedzot koeficientu 0,6–0,7. Svarīgi, ka materiāli, kuriem ir izolācijas īpašības, papildus nodrošina telpas akustisko komfortu, samazina skaņu vibrācijas un uzlabo telpas izolāciju. Pētot dažādu akustisko plātņu īpašības, secināts, ka svarīgākais ir tas, lai materiāls būtu absorbējošs un skaņas absorbcijas koeficients ir virs 0,5.

Salīdzinot eksperimentālo plātņu robežstiprību liecē ar rūpnieciski ražotiem un zinātnieku izstrādātiem materiāliem, vērojams, ka autores izstrādātie materiāli ir vienā līmenī ar RBB kokšķiedras plātņi, sasniedzot 1,3 MPa, bet par 1,8 reizēm pārsniedz Cewood un Isoplaat materiālus (3.22. att.). Augstākie rezultāti autores izstrādātajiem materiāliem ir 1,26–1,43 MPa robežās. Zinātnieku izstrādāto materiālu robežstiprība liecē ir 0,0068–0,24 MPa robežās.



3.22. att. Robežstiprības liecē saīdzinošie dati.

### 3.5. Īss materiāla raksturojums un paredzamais lietojums

#### Lignocelulozes izolācijas plātne iekštelpu mikroklimata nodrošināšanai

Plātņveida izolācijas materiālu ražošanā būtisks motīvs ir ilgtspēja un vietējo ražošanas pārpalikumu vai atjaunīgo dabas resursu efektīva izmantošana. Pētījuma gaitā izstrādātas zema blīvuma iekšējo sienu izolācijas plātnes no lauksaimniecības un kokapstrādes blakusproduktiem, variējot ar struktūru un mikroiekapsulētu fāzmaiņu materiāla apjomu plātnē līdz 15 %.

#### Inovācija

Jaunā produkta inovācija balstīta lielajā latentā siltuma izmantošanas potenciālā, integrējot fāzmaiņas materiālu ražošanas pārpalikumos balstītā izolācijas materiālā.

#### Izejmateriāli un ražošana

Kaņepju spaļi, priedes garenfrēzēšanas skaidas, UF saistviela, mikroiekapsulēta fāzmaiņas materiāla dispersija *MikroCaps PCM-S50* (Slovēnija).

PCM izmantots kā latentā siltumenerģijas krātuve iekštelpu mikroklimata pašregulācijai atkarībā no vides temperatūras. Plātņu paraugi ražoti, izmantojot aukstās presēšanas tehnoloģiju, kas nodrošina samazinātu CO<sub>2</sub> emisijas ražošanas procesā. PCM fāzes maiņa izvēlētajā intervālā ir nozīmīgs solis, lai sasniegtu gandrīz nulles emisiju ēkas norobežojošo konstrukciju. Fāzmaiņas materiāli ir atzīti par efektīvu veidu, kā uzlabot ēkas energopārvaldību, pateicoties fāzes pārejai, šādi materiāli spēj uzkrāt lielu enerģijas daudzumu. Apvienojot kaņepju spaļu un koksnes garenfrēzēšanas skaidu siltumizolācijas materiālus ar PCM materiālu, iespējams palielināt ēkas siltuma ietilpību līdz 2,5 reizēm, nodrošinot vienmērīgu klimatu telpā, praktiski nepalielinot ēkas masu, un plātnes porainā struktūra spēj samazināt trokšņa līmeni.

### **Materiāla vizuālās un apstrādes iespējas**

Materiālu var izmantot gan kā funkcionālu – latentā siltuma uzkrāšanas un telpas trokšņa slāpēšanas, akustikas uzlabošanas, gan kā dizaina elementu, presēšanas procesā veidojot reljefa virsmu dekoratīvo sienu un griestu paneļos. Stiprinot paneļus rāmja konstrukcijā, tie var kalpot arī kā telpu atdaloši elementi.

Iespējams veikt mehānisko apstrādi – zāģēšanu, frēzēšanu, urbšanu, slīpēšanu.

Apdares risinājumi – iespējams krāsot gan masā, gan tikai uz ārējās virsmas (labākais variants – krāsošana ar pistoli), kā arī aplīmēt ar dažādiem dekoratīviem materiāliem.

### **Lietošanas vide**

Iekštelpās, kur relatīvais mitrums nepārsniedz  $60 \pm 5 \%$ , kā funkcionāli dekoratīvu paneli (klimata un akustikas uzlabošanai) vai izolācijas plātni energoefektivitātes uzlabošanai, veicot iekštelpas sienu un griestu apdari.

Stiprināšana – skrūvējot, līmējot, liekot rāmjveida konstrukcijā.

### **Tehniskā specifikācija**

- Siltumvadītspēja 0,064–0,072 W/m·K.
- Siltumietilpība 0,352–0,394 J/(g·K).
- Siltumpretestība 2,35–3,97 (m<sup>2</sup>·K)/W.
- Skaņas absorbcija 500–6300 Hz  $\alpha = 0,65$ –0,69.
- *NRC* koeficients 250–2000 Hz  $\alpha = 0,44$ –0,49.
- Skaņas absorbcijas klase 1000–4000 Hz B un C.
- Blīvums  $290 \pm 20$  kg/m<sup>3</sup>.
- Biezums 25 mm.
- Materiāla mitruma saturs  $8 \pm 2 \%$ .
- Ugunsreakcijas klase B–C.
- Robežstiprības liece 1,26–1,43 MPa.
- Aksiālā pretestība 10,6–23,2 MPa.

## **Nodaļas kopsavilkums**

### **Izejmateriālu raksturojums**

- Kaņepju spaļu (H) frakciju mitrums ir 7,9 %, priedes skaidu (W) frakciju vidējais mitrums 8,8 %, vidējais mitruma saturs iekļaujas saistvielas ražotāja noteiktajā līmējamā materiāla mitruma intervālā  $8 \pm 2 \%$ , kas ļauj lietot izvēlēto UF saistvielu.

- Granulometriskajā analizē noskaidrots, ka frakcijas, kas mazākas par 500 μm, kaņepju spaļu frakciju sastāvā ir 3,7 %, koksnes garenfrēzēšanas skaidās – 6,6 %, ko atdala pirms plātņu izgatavošanas, plātņu izgatavošanā izmanto frakcijas, kas lielākas par 500 μm.

### **Plātņu izgatavošana**

- Darba procesā strādāts pie eksperimentālajām plātnēm, variējot plātņu mainīgos – biezumu, izejmateriālu un izejvielu proporcijas, izejmateriālu frakciju lielumus, veidojot dažāda veida slāņu salikumu plātnes, veidojot virsmas ar reljefu, kā arī virsmas aplīmējot. Izvēlēts veidot plātnes no viena izejmateriāla vai jaucot divus izejmateriālus proporcijā 50 : 50.

### **Saistvielas apjoma noteikšana un saistīto īpašību analīze**

- Saistvielas apjoma noteikšanā un saistīto īpašību analīzē secināts, ka plātnes nepieciešams izgatavot ar vismaz 10 % saistvielu, presē izturēt vairāk nekā 10 h zem spiediena, lai mazinātu ģeometrisku deformāciju. Ātrā žūšanas procesā un īsā slogošanas laikā plātnes ģeometrija izmainās.

- Izdaloties mitrumam no parauga, tā masa mainās līdz 4 %, attiecīgi, jo lielāks saistvielas procentuālais daudzums izvēlēts, jo lielāka masas izmaiņa prognozējama. Materiālu laboratorijas apstākļos pirms turpmāko pārbaužu veikšanas nepieciešams izturēt minimums piecas dienas, vēlams 7–10 dienas, kad plātnes masa nemainās vairāk par 1,5 % dienā.

### **Plātņu materiālu īpašības**

- Plātņu tālāko apstrādi var veikt pēc 10–14 dienām, kad plātne pēc presēšanas iegūst līdzsvara mitrumu.

- Plātņu blīvuma vienmērība 200 mm × 200 mm paraugiem pret 50 mm × 50 mm paraugiem ir 1 % robežās. Plātnēm nevienmērīgāks blīvums novērots tuvāk malām, kā arī izteiktāka nevienmērība – W grupas plātnēm.

- Materiāla ūdens uzsūktspējas un uzbriešanas testā noteikts, ka visas trīs paraugu grupas pirmajās 15 testa minūtēs strauji uzņēma ūdeni. H grupas paraugi mainīja savu biezumu 1,9 reizes no sākotnējā biezuma, drupa un izjuka ūdenī. Lielākas masas izmaiņas bija W grupai – 3,8 reizes no sākotnējās paraugu grupas vidējās masas, bet tas neietekmēja parauga īpašības, un ūdeni tas nesadalījās frakcijās. HW paraugi ir labs kompromiss starp abiem izejmateriāliem, kaņepju plātnēm pievienojot garenfrēzēšanas koksnes skaidas, tās neuzbriest un nesadalās frakcijās.

- SEM attēlos identificētas dažāda izmēra mikrokapsulas uz kaņepju spaļu virsmām.

### **Termiskās īpašības**

- Plātnes masā pievienojot *PCM*, materiāla siltumvadītspēja samazinās, jo lielāks procentuālais sastāvs, jo lielāks samazinājums. Labākie rezultāti ir paraugu grupām bez *PCM*. Pie 10 °C – H 0,062 W/m·K; HW 0,066 W/m·K; W 0,062 W/m·K; H grupas paraugiem ar 5–15 % *PCM* ir 0,063–0,069 W/m·K; HW grupas paraugiem ar 5–15 % *PCM* ir 0,064–0,070 W/m·K. Pie 20 °C – H 0,064 W/m·K; HW 0,067 W/m·K; W 0,064 W/m·K; H grupas paraugiem ar 5–15 % *PCM* ir 0,065–0,071 W/m·K; HW grupas paraugiem ar 5–15 % *PCM* ir 0,066–0,072 W/m·K.

- Siltumietilpība *PCM* kušanas temperatūras 23–28 °C amplitūdā palielinās. Nosakot ietilpības palielināšanos 25 °C temperatūrā ar 5–15 % *PCM* sastāvu, noteikts, ka paraugu siltumietilpību var palielināt līdz pat 2,53 reizes. HW grupai pie 5 % *PCM* paraugu

siltumietilpība palielinājās 1,48 reizes, kas ir 2,35 J/(g·K); pie 10 % *PCM* – 2,03 reizes, kas ir 3,20 J/(g·K); pie 15 % *PCM* – 2,45 reizes, sasniedzot 3,97 J/(g·K). H grupas paraugiem palielinājās siltumietilpība pie 5 % *PCM* – 1,53 reizes, kas ir 2,31 J/(g·K); pie 10 % *PCM* – 2,01 reizes, kas ir 3,14 J/(g·K); pie 15 % *PCM* – 2,47 reizes, kas ir 3,97 J/(g·K).

- Siltumpretestības rezultāts paraugu grupās ir 0,34–0,41 (m<sup>2</sup>·K)/W robežās, augstāko rezultātu – 0,41 (m<sup>2</sup>·K)/W – uzrādīja kaņepju spaļu (H) paraugu grupa.

### Ugunsreakcijas tests

- Abām paraugu grupām kopējais izdalītais siltuma daudzums ir 45–51 MJ/m<sup>2</sup> robežās, masas zuduma atšķirība – 1 % robežās; masas zuduma ātrums strauji sasniedz maksimumu H grupai – 12,1 g/(s·m<sup>2</sup>), H\_10%PCM grupai – 12,64 g/(s·m<sup>2</sup>); specifiskais zuduma koeficients atšķiras par 0,3 %.

- Patērētais skābeklis ir 28–32 g robežās, H\_10%PCM skābeklis ir patērēts par 14 % jeb 4,5 g vairāk.

- H grupas paraugi aizdegās pēc 9,67 s, H\_10%PCM grupas paraugi – pēc 6,5 s, kas ir 1,49 reizes ātrāk.

- Dūmu izdalīšanās daudzums laika posmā 0–605 s H grupai – 33,70 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, H\_10%PCM grupai – 43,95 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, rezultātā visa testa laikā H\_10%PCM grupa, salīdzinot ar H grupu, izdalīja par 30 % vairāk dūmu.

- Siltuma izdalīšanās paraugiem ar *PCM* 60 s rezultāts ir lielāks – 136,92 kW/m<sup>2</sup>, H grupai – 120,7 kW/m<sup>2</sup>.

### Akustiskās īpašības

- Visas paraugu grupas ir skaņas absorbenti, visefektīvāk skaņa tiek absorbēta 1000–2000 Hz un 4000–6300 Hz frekvences diapazonā.

- 500–6300 Hz frekvencē absorbcijas koeficients ir: H – 0,65; HW – 0,65 un W – 0,69.

- *NRC* koeficients noteikts 250–2000 Hz frekvencē. HW materiālu grupai koeficients ir 0,47, H grupai – 0,44, W grupai – 0,49.

- Skaņas absorbcijas klase no 1000-4000 Hz ir B un C.

### Mehāniskās īpašības

- Izstrādātās plātnes prototipa robežstiprība liecē sasniedz 1,26–1,43 MPa.

- Skrūvju aksiālās izraušanas pretestības rezultāts H grupas paraugiem ir 23,2 MPa, HW grupas paraugiem – 18 MPa; H\_10%PCM grupas paraugiem – 14,5 MPa, HW\_10%PCM grupas paraugiem – 10,6 MPa.

### Īpašību salīdzinājums ar citiem izolācijas materiāliem

- Autores izstrādāto materiālu siltumvadītspēja, salīdzinot ar lielāko daļu zinātnieku izstrādātajiem materiāliem, ir par 28 % labāka, taču par 32 % sliktāka nekā rūpnieciski ražotajiem materiāliem. Analizējot rezultātus, novērojama negatīva tendence, ka materiāliem ar pievienotu *PCM* pasliktinās siltumvadītspējas rezultāti.

- Autores izgatavoto izolācijas materiālu ar 15 % *PCM* piejaukumu siltumietilpība ir augstākā, sasniedzot 3,97 J/(g·K), kas ir divas reizes augstāks rezultāts nekā tirgū pieejamajiem materiāliem, kas ir 1,7–2,1 J/(g·K) robežās. Salīdzinot ar zinātnieku izstrādātajiem materiāliem ar 20–30 % *PCM* piejaukumu, kur iegūtais rezultāts ir 1,2–1,9 J/(g·K) robežās, autores izgatavotās plātnes sasniedz 2,6 reizes labāku rezultātu.
- Ugunsreakcijas klase ir konkurētspējīga un augstāka nekā tirgū esošajiem izolācijas materiāliem.

#### **Paredzamais lietojums, vide un apstrāde**

- Materiāls paredzēts iekštelpām, kur relatīvais mitrums nepārsniedz  $60 \pm 5$  %.
- To var izmantot kā funkcionālu (latentā siltuma uzkrāšanas un telpas trokšņa slāpēšanas, akustikas uzlabošanai) un estētisku (kā dizaina elementu) izolācijas plātni iekštelpas sienu, griestu apdarei, stiprinot paneļus rāmja konstrukcijā, plātnes var kalpot arī kā telpu atdaloši elementi.
  - Apdares risinājumi – iespējams krāsot gan masā, gan tikai uz ārējās virsmas (labākais variants ar krāsošanas pistoli), kā arī aplīmēt ar dažādiem dekoratīviem materiāliem.
  - Iespējams veikt mehānisko apstrādi – zāģēšanu, slīpēšanu, frēzēšanu, urbšanu.
  - Stiprināšana – skrūvējot, līmējot, liekot rāmjeida konstrukcijā.

## SECINĀJUMI

- Veiktais publicēto un nepublicēto materiālu apskats un analīze liecina, ka galvenās tēmas ir: 1) atjaunīgo resursu un ražošanas blakusproduktu lietojums; 2) fāzmaiņu materiāli, to darbības principi, vēsturiskās attīstības apskati, klasifikācija, iestrāde, lietojuma jomas; 3) izolācijas materiāli, gan esošie, gan zinātnieku eksperimentāli jaunradītie; 4) plātņu materiālu izgatavošanas metodes, tehnoloģijas un īpašības, veikspējas uzlabošana un atjaunīgu komponentu lietojums.

- Promocijas darbā, pamatojoties uz veikto pētījumu apskatu un praktisko analīzi, pirmo reizi laboratorijas apstākļos, izmantojot aukstās presēšanas metodi, izgatavotas industriālo kaņepju spaļu plātnes ar masā iekļautu mikroiekapsulētu *PCM* dispersiju līdz 15 % apjomā un noteiktas plātņu variantu fizikālās un mehāniskās īpašības.

- Promocijas darba mērķis sasniegts, kompleksu pētījumu rezultātā integrējot kaņepju blakusproduktus iekštelņu apdares izolācijas plātņu sastāvā, uzlabojot to veikspēju, iestrādājot plātņu struktūrā mikroiekapsulētus bioloģiskas izcelsmes fāzmaiņu materiālus funkcionālo īpašību intensifikācijai.

- Izstrādātā aukstās presēšanas plātņu izgatavošanas tehnoloģija mikroiekapsulētu *PCM* dispersijas iestrādāšanai plātnes izgatavošanas procesā un lietotie materiāli nodrošina temperatūras regulāciju iekštelņās un vienmērīgu klimatu telpā, praktiski nepalielinot ēkas masu.

- Izstrādātie plātņu prototipi no kaņepju spaļiem un priekšgarenfrēzēšanas skaidām proporcijā 50 : 50 ar 10 % karbamīda-formaldehīda sveķu līmi un mikroiekapsulēto *PCM* dispersijas procentuālo apjomu no 5 % līdz 15 % ir noturīgākas pret ūdens uzsūktspēju.

- Noteiktās termiskās, fizikālās, akustiskās un mehāniskās īpašības liecina, ka plātnes ir labs siltuma un akustikas izolācijas materiāls.

- Siltumvadītspēja samazinās, palielinoties *PCM* procentuālajam sastāvam; sasniegtie labākie siltumvadītspējas rezultāti bez *PCM* H un HW grupu paraugiem ir 0,062–0,063 W/m·K.

- Siltumpretestības labākie rezultāti ir H grupas paraugiem – 0,41 (m<sup>2</sup>·K)/W.

- Iestrādātās fāzmaiņu mikroiekapsulas spēj palielināt plātnes siltumietilpību, sasniedzot labāko rezultātu 3,97 J/(g·K) pie 15 % *PCM*, palielinot rādītāju par 147 %, salīdzinot ar plātnēm bez *PCM*.

- Labas skaņas absorbcijas īpašības 500–6300 Hz frekvencē, labākais absorbcijas koeficients *W* – 0,69, plātnes porainā struktūra spēj uzlabot akustikas īpašības. Plātnes visefektīvāk absorbē skaņu 1000–2000 Hz un 4000–6300 Hz frekvences joslās; tas atbilst skaņas absorbcijas B un C klasei (1000–4000 Hz).

- Ugunsreakcijas testi liecina, ka plātnes ar mikroiekapsulēto *PCM* sastāvā izdala par 30 % vairāk dūmus (43,95 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>); patērē par 14 % vairāk skābekli; 1,49 reizes ātrāk aizdegas; kopējais izdalītais siltuma daudzums ir 45 līdz 51 MJ/m<sup>2</sup> robežās, masas zuduma atšķirība ir 1 % robežās; specifiskais zuduma koeficients atšķiras par 0,3 %; siltuma izdalīšanās paraugiem ar *PCM* 60 s ir 120,7 līdz 136,92 kW/m<sup>2</sup> robežās.

- Mehānisko īpašību analīzes rezultātā secināts, ka izolācijas plātņu prototipu robežstiprības lieces izturība ir salīdzinoši maza – 1,26–1,43 MPa, zemāka paraugiem ar *PCM* sastāvā, tos nav ieteicams izmantot kā brīvstāvošus, bet ieteicams lietot rāmju konstrukcijās kā pildīņus vai stiprināt slodzi nenesošās konstrukcijās, piemēram, stiprinot ar skrūvēm pie virsmas. Sasniegtā augstākā skrūvju aksiālās izraušanas pretestība – 23,2 MPa – ir H grupas paraugiem.

- Izstrādātā tehnoloģija ļauj plātnes tonēt, pievienot citas pildvielas, kā arī veidot virsmu ar reljefu.

- Izstrādātie plātņu prototipi lietojami iekštelpās, sausā vidē, pateicoties porainībai, tie spēj absorbēt troksni; ar iestrādātiem *PCM* telpā veido vienmērīgu klimatu.

### **Priekšlikumi, nākotnes vīzija – tēmas pētījumu iespējamais turpinājums**

- Materiāla īpašību paaugstināšana pret degšanu, pievienojot mikrokapsulas ar antipirēnu pildījumu.

- Utilizācijas iespējas maļot vai dedzinot, materiāla ietekme uz vidi.

- Izstrādāt tehnoloģiju, lai izgatavotu vairākslāņu plātnes, variējot ar slāņu biezumu un optimālāko *PCM* slāņa novietojumu pret telpu.



## LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Torgal F.P. Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020. *Constr. Build. Mater.* 2014, Vol. 51, p. 151–162.
2. Berardi U. A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, Vol. 123, p.230–241.
3. Haghghat, F. Applying Energy Storage in Ultra-low Energy Buildings – Final report, 2014.
4. Raluca I., Tamas-Gavrea T., Daniela D.M., Claudiu A. Physical and Mechanical Property Characterization of Hemp Shive Reinforced Gypsum Composite Board. *Advanced Engineering Forum*, 2017, p. 262–271.
5. U.S. Energy Information Administration. *International Energy Outlook 2017*. US Energy Information Administration Report, September 2017. [Tiešsaiste]: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf) (Citēts: 2019. gada 23. septembrī).
6. El Wazna M., Gounni A., El Bouari A., El Alami M., Cherkaoui O. Development, characterization and thermal performance of insulating nonwoven fabrics made from textile waste. *Journal of Industrial Textiles*, 2019, Vol. 48, p. 1167–1183.
7. Rofie S. Novel Low Density Particleboard from Hemp Shives. //Doctoral Thesis.- University of Wales, UK, 2005.
8. Lee S., Shupe T.F., Hse C. Mechanical and physical properties of agro-based fiberboard. *Holz Roh Werkst*, 2005, Vol. 64, p. 74–79.
9. Manaia J.P., Manaia A.T., Rodrigues L.H.M. *Industrial Hemp Fibers: An Overview*. *Fibers*, 2019, Vol. 7, p. 106.
10. Ryms M., Klugmann-Radziemska E. Possibilities and benefits of a new method of modifying conventional building materials with phase-change materials (PCMs). *Construction and Building Materials*, 2019, Vol. 211, p. 1013–1024.
11. Whiffen T., Russell-Smith G., Riffat S. Active thermal mass enhancement using phase change materials. *Energy Build.* 2016, Vol. 111, p.1–11.
12. Pomianowski M. Z., Heiselberg P., Jensen R. L., Cheng R., Zhang Y. A new experimental method to determine specific heat capacity of inhomogeneous concrete material with incorporated microencapsulated-PCM. *Cement and Concrete Research*, 2014, Vol. 55, p. 22–34.
13. Zalba B., Marín J. M., Cabeza L. F., Mehling, H. Review on thermal energy storage with phase change: Materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*, 2003, Vol. 23, p. 251–283.
14. Ryms M., Januszewicz K., Kazimierski P., Łuczak J., Klugmann-Radziemska E., Lewandowski W.M. Post-Pyrolytic Carbon as a Phase Change Materials (PCMs) Carrier for Application in Building Materials. *Materials*, 2020, Vol. 13, p.1268.
15. Madad A., Mouhib T., Mouhsen A. Phase Change Materials for Building Applications: A Thorough Review and New Perspectives. *Buildings*, 2018, Vol. 8, p. 63.

16. Rao Z., Wang S., Zhang Z. Energy saving latent heat storage and environmental friendly humidity-controlled materials for indoor climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, Vol. 16, p. 3136–3145.
17. Cao L., Su D., Tang Y., Fang G., Tang F. Properties evaluation and applications of thermal energy storage materials in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, Vol. 48, p. 500–522.
18. Memon S. A. Phase change materials integrated in building walls: A state of the art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, Vol. 31, p. 870–906.
19. Schossig P., Henning H.-M., Gschwander S., Haussmann T. Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2005, Vol. 89, p. 297–306.
20. Lai C.-M., Chen R., Lin C.-Y. Heat transfer and thermal storage behaviour of gypsum boards incorporating micro-encapsulated PCM. *Energy Build*, 2010, Vol. 42, p. 1259–1266.
21. Mathis D., Blanchet P., Lagièrre P., Landry V. Performance of Wood-Based Panels Integrated with a Bio-Based Phase Change Material: A Full-Scale Experiment in a Cold Climate with Timber-Frame Huts. *Energies*, 2018, Vol. 11, 3093.
22. Ramakrishnan S., Sanjayan J., Wang X. Experimental Research on Using Form-stable PCM-Integrated Cementitious Composite for Reducing Overheating in Buildings. *Buildings*, 2019, Vol. 9, 57.
23. Castell A., Martorell I., Medrano M., Pérez G., Cabeza L. Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling. *Energy Build*, 2010, Vol. 42, p. 534–540.
24. Bravo J. P., Venegas T., Correa E., Álamos A., Sepúlveda F., Vasco D. A., Barreneche C. Experimental and Computational Study of the Implementation of mPCM-Modified Gypsum Boards in a Test Enclosure. *Buildings*, 2020, Vol. 10, 15.
25. Zhu N., Ma Z., Wang S. Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review. *Energy Conversion and Management*, 2009, Vol. 50, p. 3169–3181.
26. Kuznik F., Virgone J. Experimental assessment of a phase change material for wall building use. *Applied Energy*, 2009, Vol. 86, p. 2038–2046.
27. Abhat A. Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials. *Solar Energy*, 1983, Vol. 30, p. 313–332.
28. Nazari M., Jebrane M., Terziev N. Bio-Based Phase Change Materials Incorporated in Lignocellulose Matrix for Energy Storage in Buildings – A Review. *Energies*, 2020, Vol. 13, p. 1–25.
29. Zhang X., Shi Q., Luo L., Fan Y., Wang Q., Jia G. Review Research Progress on the Phase Change Materials for Cold Thermal Energy Storage. *Energies*, 2021, Vol. 14, p. 1–46.
30. Voronin D.V., Ivanov E., Gushchin P., Fakhruллин R., Vinokurov V. Review Clay Composites for Thermal Energy Storage: A Review. *Molecules*, 2020, Vol. 25, 1504.
31. Podara V. C., Kartsonakis I. A., Charitidis C. A. Review Towards Phase Change Materials for Thermal Energy Storage: Classification, Improvements and Applications in the Building Sector. *Applied Sciences*, 2021, Vol. 11, 1490.



**Inga Zotova** dzimusi 1991. gadā Rīgā. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvusi produktu dizainera kvalifikāciju materiālu tehnoloģijā un dizainā (2014) un profesionālā maģistra grādu materiālu dizainā un tehnoloģijā (2016). Kopš 2016. gada strādā RTU. Patlaban ir Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes (MLĶF) Dizaina tehnoloģiju institūta zinātniskā asistente. Ieguvusi RTU Studentu parlamenta Gada balvu "Gada studentu atbalsts MLĶF 2020". Zinātniskās intereses saistītas ar atjaunīgo resursu plātņu pētniecību un izstrādi.