

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte
Polimērmateriālu institūts

Juris GRĪNIŠ

Doktora studiju programmas «Ķīmijas tehnoloģija» doktorants

**BĒRZA SAPLĀKŠŅA ĪPAŠĪBU UZLABOŠANA
AR HIDROTERMISKĀS MODIFIKĀCIJAS
PAŅĒMIENU**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji

Dr. chem.

B. ANDERSONS

Dr. sc. ing.

M. DZENIS

**RTU Izdevniecība
Rīga 2016**

Grīniņš J. Bērza saplākšņa īpašību uzlabošana ar hidrotermiskās modifikācijas paņēmieniem. Promocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU Izdevniecība, 2016. – 30 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes «RTU P-02» 2016. gada 26. maija lēmumu, protokols Nr. 6

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES ĶĪMIJAS
TEHNOLOĢIJAS INŽENIERZINĀTŅU
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2016. gada 21. septembrī plkst. 15 Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē, P. Valdena ielā 3/7, 272. auditorijā.

Ar promocijas darbu var iepazīties RTU Zinātniskajā bibliotēkā, P. Valdena ielā 5, Rīga, LV-1048 un Latvijas Nacionālajā bibliotēkā, Mūkusalas ielā 3, Rīga, LV-1423.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Docents *Dr. sc. ing.* Juris Mālers
Rīgas Tehniskā universitāte

Vadošais pētnieks *Dr. sc. ing.* Aivars Žūriņš
LV Koksnes ķīmijas institūts

Asoc. profesors *Dr. sc. ing.* Uldis Spulle
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Juris Grīniņš

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, literatūras apskats, eksperimentālā daļa, rezultāti un to izvērtējums, secinājumi un izmantotās literatūras saraksts. Saturs izklāstīts 155 lapaspusēs. Darbā ir 40 attēli, 39 tabulas, 32 formulas, seši pielikumi un izmantotās literatūras saraksts ar 231 literatūras avotu.

PATEICĪBAS

Izsaku pateicību promocijas darba zinātniskajiem vadītājiem: *Dr. chem.* Bruno Andersonam un *Dr. sc. ing.* Mārcim Dzenim par aktuālo tēmu, darba vadīšanu, vērtīgiem padomiem un atbalstu darba izstrādes gaitā.

Īpašu pateicību vēlos izteikt LV Koksnes ķīmijas institūta Koksnes bionoārdīšanās un aizsardzības laboratorijas vadošajām pētniecēm Ilzei Irbei un Ingeborgai Andersonei par palīdzību ar pieredzi un auglīgām zinātniskajām diskusijām darba plānošanā, izstrādes gaitā un rezultātu interpretācijā. Īpaša pateicība arī bijušajam kolēģim Vladimiram Bizikam, kurš mani ievadīja praktiskajā zinātnes dzīvē, rādīja piemēru koleģiālām savstarpējām attiecībām un ar kuru turpinām apmainīties idejām un viedokļiem par zinātni un tās perspektīvām.

Nozīmīga loma promocijas darba izstrādē ir arī citiem LV Koksnes ķīmijas institūta kolēģiem, kas praktiski mani atbalstīja, veicot nepieciešamās analīzes un palīdzot izprast rezultātus. Pateicos kolēģiem: Anetei Meijai-Feldmanei, Annai Janbergai, Dacei Cīrulei, Edgaram Kukam, Gunāram Pavlovičam, Andim Antonam, Erjj Sansonetti, Aigaram Pāžem, Jānim Rižikovam, Pranam Brazdauskam, Mārim Puķem, Anrijam Verovkinam, Brigitai Neibertei, Kristīnei Meilei, Vladimiram Jakušinam u. c.

Paldies LV Koksnes ķīmijas institūta direktoram Uģim Cābulim par infrastruktūras nodrošināšanu, izstrādājot darbu.

Vissirsnīgākais paldies manai ģimenei – mammai, krustmātēm un brālim ar ģimeni par viņu ticību un atbalstu.

SATURS

PROBLĒMAS BŪTĪBA UN AKTUALITĀTE.....	6
PROMOCIJAS DARBA ĪSS SATURS	10
DARBA REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS	13
SECINĀJUMI	29
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	30

SAĪSINĀJUMI

BC – cietība pēc Brinela
eksperimentālais saplāksnis – no hidrotermiski modificētas bērza lobskaidas ar fenola-formaldehīda laminātu salīmēts saplāksnis
FF – fenola-formaldehīda adhezīvs
HTM – hidrotermiskā modifikācija (hidrotermiski modificēts – atkarībā no teikuma konteksta)
KŪU – kapilārā ūdens uzsūcamība
K_{KU} – kapilārās ūdens uzsūcamības koeficients
LM – līdzsvara mitrums
LS – lieces stiprība
MZ – masas zudumi
PP – polimerizācijas pakāpe
PUE – pretuzbriešanas efektivitāte
references saplāksnis – hidrotermiski modificēts industriālais bērza saplāksnis
RM – relatīvais mitrums
SS – stiepes stiprība
ŠSKŪK – šūnu sienas kopējā ūdens kapacitāte
TM – termiskā modifikācija (termiski modificēts – atkarībā no teikuma konteksta)
UB – uzbriešana biezumā
UT – uzbriešana tilpumā
VSKL – virsmas slapināšanas kontaktleņķis
WRE – ūdens pretuzsūkšanās efektivitāte

PROBLĒMAS BŪTĪBA UN AKTUALITĀTE

Sabiedrības ilgtspējīgai pastāvēšanai nepieciešami atjaunojami materiāli, dabīgo, neatjaunojamo materiālu samazināta izmantošana un ievērojams vidi ietekmējošo faktoru ierobežojums. Viens variants, kā samazināt oglekļa dioksīda emisiju, ir palielināt koksnes produktu izmantošanas apjomu un kalpošanas laiku, lai ogleklis materiālā tiek uzkrāts ilgākā laika periodā. Cits variants ir aizstāt energoietilpīgus materiālus ar koksni un tās produktiem. Aizvietojot neatjaunojamus materiālus ar tādiem, kas balstīti uz koksni, ir nepieciešamas zināšanas, kā radīt un ieviest jaunus apstrādes procesus koksnes produktiem ar zemu ietekmi uz vidi. Lai koksne būtu konkurētspējīga ar citiem materiāliem, nepietiek tikai ar draudzīgumu videi, bet tai jābūt konkurētspējīgai arī no tehnisko un kalpošanas īpašību viedokļa, viegli utilizējamai un lietojumam ekonomiski pamatotam. Termiskās modifikācijas (TM) procesu attīstība un to pielietojums koksnes produktiem varētu būt noteicošais faktors koksnes aizsardzības virziena tālākai attīstībai.

Mežs ir viens no galvenajiem dabas resursiem Latvijā un aizņem 3260 tūkstošus hektāru, kas ir 92 % no kopējās meža zemes. No tās 34 % klāj priede, 31 % – bērzs, 18 % – egle, 10 % – alksnis, 5 % – apse, ~1% – ozols ar osi. Meža platība un tajā uzkrātie koksnes resursi Latvijā nesamazinās, bet turpina pieaugt [1]. Kopējā koksnes krāja mežā 2009.–2013. gadā sasniedza 667 miljonus kubikmetru, un ikgadējais koksnes resursu pieaugums vienā gadā Latvijā pārsniedz 25 miljonus kubikmetru. Meža nozare Latvijā ir viena no nozīmīgākajām tautsaimniecības nozarēm, un tās īpatsvars iekšzemes kopproduktā veido ~6 %. Meža nozare ražošanas un eksporta apjoma (20 % no valsts kopējā eksporta) ziņā ir viens no lielākajiem apstrādes rūpniecības sektoriem Latvijas tautsaimniecībā, un tās pievienotās vērtības īpatsvars apstrādes rūpniecībā 2013. gadā bija 23,1 %. Saplākšņa eksports pēc 2015. gada datiem veido 8,8 % no kopējā meža produkcijas eksporta Latvijā, to eksportē uz tādām valstīm kā Vācija, Lielbritānija, Nīderlande, Francija, Turcija [2].

Bērza (*Betula spp.*) saplākšni plaši izmanto būvniecībā, iekšējā un ārējā apdarē, transportlīdzekļu būvē, taras, sporta piederumu, mēbeļu, iepakojuma materiālu, rotaļlietu, gultas līstu ražošanā, bet tā lietošana āra un paaugstināta mitruma apstākļos ir ierobežota bērza koksnes sliktās izturības pret bioloģisko noārdīšanos dēļ (zemākā – 5. izturības klase pēc EN 350-1) [3]. Koksni noārdošo sēņu un mitruma iedarbība ir faktori, kas būtiski pasliktina saplākšņa tehniskās īpašības – līmējuma un mehānisko stiprību, plātnes virsmas kvalitāti. Eksploatācijā saplākšņa ilgizturību nosaka vairāki faktori: lobskaids koksne, adhezīvs, presēšanas režīmi, vides apstākļi (mitrums, temperatūras svārstības u. c.). Mitrums viegli iesūcas lobskaids kārtās, tās uzbriest un uz saplākšņa virsmas veidojas viļņojums. Ūdens uzsūcamību samazina, saplākšni pārklājot ar hidroforu (ūdeni atgrūdošu) laminātu, tomēr tas nepasargā no noārdīšanās ar sēnēm. Bioizturības uzlabošanai lobskaidu vai saplākšņus piesūcina ar biocīdus saturošiem sastāviem, tos var arī ievadīt līmē, bet sarežģīta ir koksnes aizsardzībai nepieciešamā biocīda daudzuma savietojamība ar adhezīvu. Piesūcinot saplākšņa plātnes, būtiskākās problēmas ir nevienmērīgs

biocīdu sadalījums (labi piesūcas tikai ārējās lobskaidas kārtas), kvalitatīva piesūcināšana tikai plāniem (6,5 mm) materiāliem, ko neizmanto slodzēm pakļautās konstrukcijās. Sazāģējot impregnētās rūpnieciska izmēra plātnes beigu lietošanai paredzētajos izmēros, tiek atsegtas pret sēņu iedarbību vājāk aizsargātās iekšējās lobskaidas malas. Piesūcināšanas efektivitāti ir grūti prognozēt, jo kodolkoksnē piesūcas sliktāk nekā aplieva, bet to attiecība lobskaidas loksnēs ir atšķirīga. Saplākšņi no lapkoku koksnes lobskaidas ir vēl grūtāk aizsargājami pret bionoārdīšanos āra vidē nekā skujkoku koksnes materiāli. TM, salīdzinot ar ķīmisko modifikāciju vai aizsardzību ar biocīdiem, ir ekoloģisks paņēmieni koksnes fizikālo un bioizturības īpašību uzlabošanai bez videi un cilvēkiem bīstamiem savienojumiem.

Eiropā un pasaulē daudz pētīts skujkoku koksnes TM process, par lapkoku koksni ir mazāk informācijas, bet arī šajā virzienā pēdējo piecu gadu laikā ir vērojama attīstība. Ļoti maz informācijas pieejams par lobskaidas vai saplākšņa TM, jo īpaši – ar paraugu izmēriem, kas ir atbilstoši nelielām pilotiekārtām (0,5–1 m³). Kā optimāls apstrādes temperatūru diapazons lapkoku (bērza, dižskābarža, apses, papeles u. c. sugu) koksnei norādīti 180 °C līdz pat 220 °C. Šādās temperatūrās izdodas sasniegt ievērojamu bioloģiskās izturības un formas stabilitātes pieaugumu, bet ievērojami samazinās mehāniskā stiprība. No praktiskās pieredzes var secināt, ka tik plānam materiālam kā lobskaidai automātiski nevar piemērot tādus pašus apstrādes apstākļus (temperatūra un laiks) kā masīvkoksnei. Lobskaida modifikācijas vidē temperatūras, spiediena un vides skābuma ietekmē kļūst ļoti trausla. Tāpēc pētījumā izņemts bērza lobskaidas hidrotermiskajai modifikācijai (HTM) izmantot zemas apstrādes temperatūras un īsus apstrādes laikus.

Lai novērtētu HTM saplākšņa ekspluatācijas īpašības, tika izmantoti nemodificētas koksnes produktu (zāģmateriālu, parketa, apšuvumu, plātņu u. c.) testēšanas standarti ūdens uzsūcamības, mehāniskās stiprības, bioloģiskās izturības un virsmas īpašību raksturošanai.

Tēmas aktualitāte

Saplākšņa un TM koksnes ražotājiem ir vēlme palielināt piedāvātās produkcijas klāstu ar jauniem augstas pievienotās vērtības produktiem, kas spēs aizpildīt specifiskas tirgus nišas. Tomēr Eiropas un arī Latvijas TM koksnes ražotāju piedāvājumā nav atrodams neviens TM saplākšņa produkts. Tas liecina, ka šī tirgus niša joprojām nav aizņemta un ir ar nākotnes potenciālu.

Literatūrā ir ļoti maz informācijas par saplākšņa un lobskaidas TM, tāpēc šā paņēmiena izpēte ir loģisks solis jaunu produktu ar uzlabotām īpašībām meklēšanā. Saplākšnis, kas paredzēts lietošanai pastāvīga vai regulāri augsta mitruma apstākļos, dos iespēju ražotājam atbilstoši lietošanas īpašībām ieņemt jaunu tirgus nišu un reāli konkurēt ar analogiem, biocīdus saturošiem produktiem, ņemot vērā vairākus būtiskus vides aspektus, no kuriem svarīgākie: darbs ar ķīmiskiem aizsardzības līdzekļiem saplākšņa ražotnē, potenciāls vides piesārņojums ekspluatācijā, iespējamās utilizēšanas problēmas pēc produkta dzīves cikla beigām. TM ūdens tvaika vidē paaugstinātā spiedienā ir perspektīvs paņēmieni saplākšņa īpašību uzlabošanai, lai radītu produktu lietošanai mitrā vidē un āra apstākļos.

Promocijas darba mērķis

Izstrādāt jaunu koksnes produktu – saplāksni ar būtiski labākām funkcionālām īpašībām, bez biocīdiem un virsmas laminēšanas nodrošinot mazāku mitruma un ūdens uzsūcamību un uzlabotu formas stabilitāti, izturību pret noārdīšanos ar truses sēnēm, lai paplašinātu tā izmantošanas iespējas būvobjektos, transporta industrijā augsta mitruma un āra apstākļos.

Mērķa sasniegšanai darbā izvirzīti šādi uzdevumi:

- pamatojoties uz literatūras datiem un praktisko pieredzi, izvēlēties lobskaidai piemērotus HTM režīmus ar mērķi iegūt saplāksni ar uzlabotām īpašībām augsta mitruma un āra apstākļos;
- veikt bērza lobskaidas un industriāla saplākšņa HTM laboratorijas eksperimentālajā pilotiekārtā ūdens tvaika vidē divās apstrādes temperatūrās (150 °C un 160 °C) un divos izturēšanas laikos (10 min un 50 min) šajās temperatūrās;
- noteikt HTM lobskaidas īpašības dažādos režīmos;
- noteikt HTM industriālā bērza saplākšņa īpašības;
- salīmēt HTM lobskaidu rūpnieciski pietuvinātos apstākļos;
- noteikt no HTM bērza lobskaidas salīmētā saplākšņa īpašības;
- salīdzināt abu iegūto HTM saplākšņa produktu īpašības savstarpēji un ar neapstrādātu saplāksni;
- balstoties uz iegūtajiem datiem, noteikt optimālo HTM saplākšņa iegūšanas paņēmieni un apstrādes procesa parametrus.

Tēzes aizstāvēšanai

- Ar HTM paņēmieni iespējams iegūt jaunu saplākšņa produktu, izmantojot divus dažādus tehnoloģiskos paņēmienus – industriāla saplākšņa HTM un lobskaidas HTM un tālāku salīmēšanu ar adhezīvu.
- Iegūtais HTM saplākšņa produkts atbilst koksnes materiālu 3. lietošanas klasei (EN 335) [4]; 2.–3. izturības klasei pret truses sēnēm (CEN/TS 15083-1) [5]; tam ir uzlabota formas stabilitāte, zemāks LM saturs ar nelieliem mehāniskās stiprības zudumiem.

Darba zinātniskās novitātes

- Veikta bērza lobskaidas un industriāli izgatavota bērza saplākšņa HTM zemā apstrādes temperatūrā un īsā izturēšanas laikā, salīdzinot ar literatūrā pieejamo informāciju.
- Lobskaidas HTM veikta industriālam procesam daudz pietuvinātākos apstākļos (lokšņu skaits, izmērs un sakrāvuma princips), salīdzinot ar līdz šim veiktajiem pētījumiem, un tā salīmēta pusrūpnieciskos apstākļos ar komerciāli pieejamu adhezīvu.
- Noteiktas dažādas HTM lobskaidas īpašības pirms salīmēšanas ar adhezīvu.

- Pirmo reizi TM procesu vēsturē, izmantojot vienādus apstrādes parametrus, realizētas divas dažādas tehnoloģijas HTM saplākšņa iegūšanai un veikta iegūto produktu vispusīga īpašību izpēte un savstarpējais salīdzinājums.

Darba praktiskā nozīme

1. Darba rezultātus var izmantot HTM bērza saplākšņa tehnoloģijas attīstīšanai, lai izveidotu ražotni, kas dos iespēju iegūt jaunu saplākšņa produktu ar augstu pievienoto vērtību.
2. Izstrādāti optimālie HTM režīmi lobskaidai, kas no tās ļauj iegūt saplākšni atbilstoši 3. lietošanas klases prasībām (EN 335-1) izmantošanai āra apstākļos bez kontakta ar augsni, ar 2.–4. izturības klasi pret trapes sēnēm (CEN/TS 15083-1), ar uzlabotu formas stabilitāti, ar samazinātu koksnes līdzsvara mitrumu, virsmas hidrofilītāti un ūdens uzsūcamību caur to un samērīgām mehāniskajām īpašībām.

Darba rezultātu aprobācija

Ar promocijas darba tematiku saistītos zinātniskos sasniegumus un rezultātus autors ir prezentējis astoņās starptautiskās zinātniskās konferencēs. Par promocijas darba tematu ir publicēti 12 drukātu darbu konferenču pilnajos un tēžu krājumos un deviņi raksti starptautiski citējamajos žurnālos (1.–9.): *Holzforschung*, *International Wood Products Journal*, *International Biodeterioration & Biodegradation*, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.

1. Grinins J., Andersons B., Irbe I., Andersone I., Meija-Feldmane A., Janberga A., Pavlovics G., Sansonetti E. 2016. Thermo-hydro treated (THT) birch veneers for plywood production with improved properties. *Holzforschung*, DOI 10.1515/hf-2015-0155, In press.
2. Grinins J., Irbe I., Andersons B., Andersone I., Meija-Feldmane A., Janberga A., Pavlovics G., Sansonetti E. 2016. Thermo-hydro treated (THT) birch plywood with improved service properties. *International Wood Products Journal*, DOI 10.1080/20426445.2016.1212963 , In press.
3. Andersons B., Noldt G., Koch G., Andersone I., Meija-Feldmane A., Biziks V., Irbe I., Grinins J. 2016. Scanning UV microspectrophotometry as a tool to study the changes of lignin in hydrothermally modified wood. *Holzforschung*, 70 (3), 215–221.
4. Biziks V., Van Den Bulcke J., Grinins J., Militz H., Andersons B., Andersone I., Dhaene J., Van Acker J. 2016. Assessment of wood microstructural changes after one-stage thermo-hydro treatment (THT) by micro X-ray computed tomography. *Holzforschung*, 70 (2), 167–177.
5. Biziks V., Andersons B., Sansonetti E., Andersone I., Militz H., Grinins J. 2015. One stage thermo-hydro treatment (THT) of hardwoods: An analysis of form stability after five soaking-drying cycles. *Holzforschung*, 69 (5), 563–571.

6. Irbe I., Elisashvili V., Asatiani M.D., Janberga A., Andersone I., Andersons B., Biziks V., Grinins J. 2014. Lignocellulolytic activity of *Coniophora puteana* and *Trametes versicolor* in fermentation of wheat bran and decay of hydrothermally modified hardwoods. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 86, 71–78.
7. Grinins J., Andersons B., Biziks V., Andersone I., Dobeļe G. 2013. Analytical pyrolysis as an instrument to study the chemical transformations of hydrothermally modified wood. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 103, 36–41.
8. Chirkova J., Andersone I., Grinins J., Andersons B. 2013. Sorption properties of hydrothermally modified wood and data evaluation based on the concept of Hansen solubility parameter (HSP). *Holzforschung*, 67 (5), 595–600.
9. Sansonetti E., Andersons B., Biziks V., Grinins J., Chirkova J. 2013. Investigation of surface properties of hydrothermally modified soft deciduous wood. *International wood products journal*, 4 (2), 122–127.

PROMOCIJAS DARBA ĪSS SATURS

Ievadā ir pamatota promocijas darba aktualitāte, formulēts mērķis un uzdevumi, kā arī izklāstītas promocijas darba pamatnostādnes.

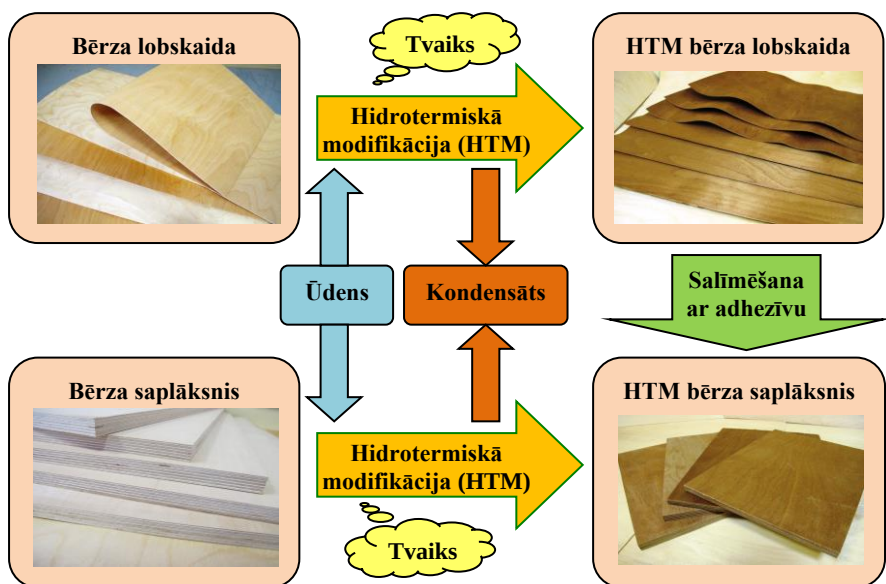
Pirmā nodaļa ir veltīta literatūras apskatam, kurā norādīti koksnes aizsardzības veidi, veikts koksnes termiskās modifikācijas (TM) procesu attīstības apskats. Aplūkoti lobskaidas modifikācijas pirmsākumi un noteikti piemērotākie modifikācijas veidi. Aprakstīti teorētiski piemērotākie modifikācijas veidi saplāksnim un daži esošie pētījumi par saplākšņa TM. Salīdzināti galvenie pasaulē izmantotie koksnes TM paņēmieni un to tehnoloģiskie raksturojumi, kā arī norādīti ražošanas apjomi un tendences Eiropā un pasaulē. Apkopotas TM koksnes priekšrocības un trūkumi, fizikāli mehāniskās īpašības, bioloģiskās izturības u. c. īpašību izmaiņas TM rezultātā saistībā ar koksnes ķīmiskā sastāva izmaiņām.

Otrā nodaļa veltīta eksperimentālajai daļai, kurā pamatota lobskaidas un saplākšņa paraugu izvēle un sagatavošana un saplākšņa iegūšana no HTM lobskaidas, kā arī atspoguļotas darbā izmantotās metodes un iekārtas. Promocijas darbā HTM lobskaidas un saplākšņa iegūšanai izmantota shēma, kas parādīta 1. attēlā. Dots izmantotās daudzfunkcionālās koksnes modifikācijas iekārtas raksturojums. Izvēlētas divas dažādas HTM temperatūras un divi dažādi izturēšanas laiki katrā temperatūrā (1. tabula).

Lobskaidas un saplākšņa HTM procesu atkarībā no procesa parametriem var iedalīt trīs stadijās: I – sildīšana; II – izturēšana temperatūrā; III – atdzesēšana (2. attēls).

Izvēlētie HTM režīmi bērza lobskaidas un saplākšņa koksnei

Apstrādes režīms	Maksimālā temperatūra (°C)	Apstrādes laiks maksimālā temperatūrā (min)	Maksimālais spiediens procesā (MPa)	Sildīšanas/ dzesēšanas ātrums (°C/min)
1	150	10	0,472	0,12–0,22 / 0,20–0,40
2	150	50	0,495	
3	160	10	0,637	
4	160	50	0,660	



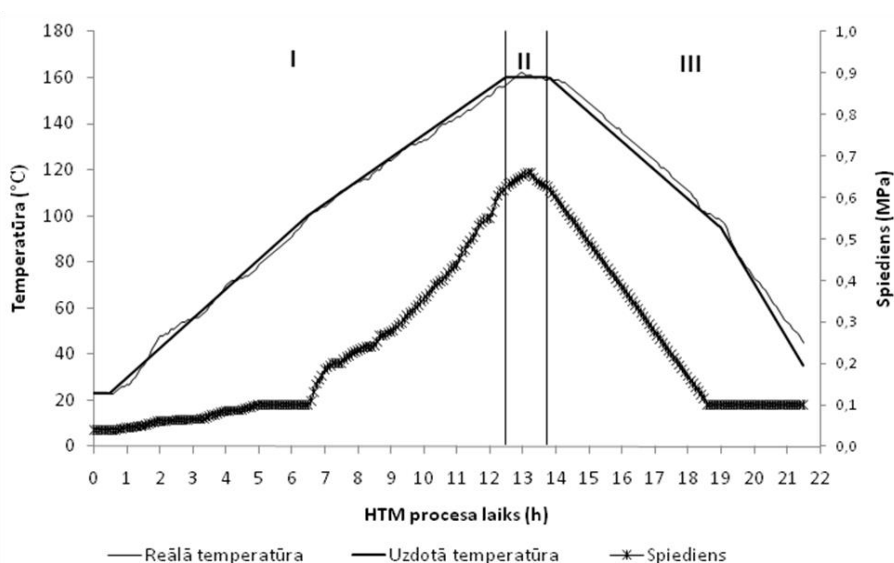
1. attēls. HTM bērza saplākšņa iegūšanas principiālā shēma.

Promocijas darbā izmantotās analīzes metodes HTM lobskaidas raksturošanai:

- ķīmisko komponentu, ūdens izskalojumu un elementu sastāvs;
- līdzsvara mitruma saturs;
- mehāniskā stiprība (statiskās lieces un stiepes stiprība);
- bioizturība pret trapes un krāsojošām sēnēm;
- virsmas slapināšanas kontaktenķis un krāsa.

Promocijas darbā izmantotās analīzes metodes HTM industriāla saplākšņa (references) un no HTM lobskaidas izgatavota saplākšņa (eksperimentālais) raksturošanai:

- fizikālo parametru izmaiņas;
- līdzsvara mitruma saturs;
- pretuzbriešanas efektivitāte;
- ūdens uzsūcamība caur virsmu;
- uzbriešana biežumā un lieces stiprība pēc cikliskas testēšanas;
- mehāniskā stiprība (statiskās lieces stiprība un cietība pēc Brinela);
- līmējuma stiprība;
- bioizturība pret trupes un krāsojošām sēnēm;
- virsmas slapināšanas kontaktenķis un virsmas kvalitāte.



2. attēls. HTM procesa darba cikla diagramma apstrādes režīmā 160 °C / 50 min.

Trešajā nodaļā, pamatojoties uz 1. un 2. nodaļā apkopoto informāciju, analizēti darba rezultāti un dots to izvērtējums.

Secinājumos ir formulēti sasniegtie darba rezultāti un definēti būtiskākie atzinumi.

Literatūras sarakstā ir uzskaitīti darbā izmantotie literatūras avoti, uz kuriem balstoties tika noteikti pētījuma virzieni un salīdzināti iegūtie rezultāti.

DARBA REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

HTM lobskaida

HTM rezultātā mainās lobskaidas ķīmiskais sastāvs (2. tabula), veidojas masas zudumi (MZ), kas palielinās ar apstrādes temperatūras un laika paaugstināšanu. Ir zināms, ka MZ koksnes TM laikā rada ūdens, ekstraktvielu un hemiceluložu destrukcijas produktu iztvaikošana [6]. Temperatūrai ir lielāka ietekme uz ekstrahējamo vielu veidošanos, un tās paaugstināšana par 10 °C palielina ekstraktvielu saturu lobskaidā vairāk nekā divas reizes.

Relatīvais lignīna saturs HTM lobskaidā arī pieaug kā funkcija no apstrādes temperatūras un laika. Relatīvais Kiršnera celulozes saturs HTM lobskaidā ievērojami pieaug, 150 °C apstrādē – par ~7 %, savukārt 160 °C – par 11–15 %. Holocelulozes saturs lobskaidā 150 °C apstrādē samazinās par 3–4 %, savukārt maksimālā apstrādē (160/50) palielinās līdz 71,1 % (~4 % pieaugums). Neapstrādāta lobskaida satur 43,9 % α-celulozes, un HTM 150 °C temperatūrā izraisa palielinājumu par 2,8 % (150/10) un 4,8 % (150/50). 160 °C temperatūrā palielinājums ir vēl izteiktāks – 9,1 % (160/10) un 12,8 % (160/50). Neapstrādāta lobskaida satur 23,4 % hemiceluložu. Pēc apstrādes 150 °C temperatūrā hemiceluložu zudumi ir 27 % pēc 10 min un 34 % pēc 50 min. 160 °C temperatūrā zudumi ir 38 % (160/10) un 39 % (160/50).

Metoksi- grupu daudzums HTM lobskaidas koksne nedaudz palielinās. Tas liecina, ka nav notikusi būtiska metoksi- grupu atšķelšanās TM rezultātā un pieaugums saistīts ar lignīna relatīvā satura pieaugumu HTM koksne.

HTM 160 °C temperatūrā ievērojami palielina celulozes PP, ko veicina vai nu celulozes struktūras amorfo reģionu (ar mazāku PP) pāreja kristāliskajos, vai arī notiek celulozes amorfās daļas ievērojama destrukcija.

2. tabula

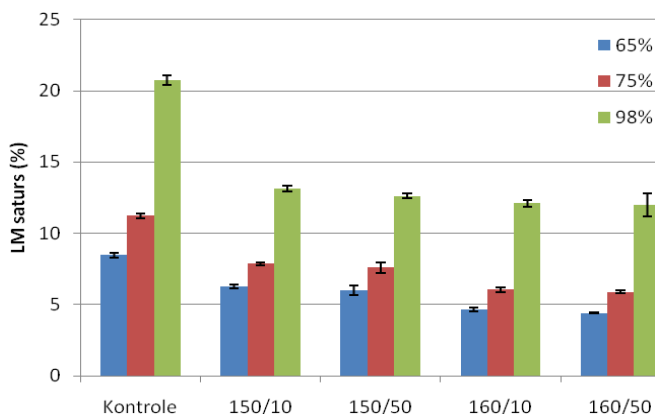
HTM bērza lobskaidas masas zudumi, ķīmisko komponentu sastāvs un celulozes polimerizācijas pakāpe (PP)

Noteiktais parametrs	Kontrole	Apstrādes temperatūra (°C) / laiks (min)			
		150/10	150/50	160/10	160/50
Masas zudumi (%)	–	1,6 ± 1,0	2,4 ± 1,0	4,3 ± 0,9	6,3 ± 1,0
Ekstraktvielas (%)	2,3 ± 0,4	3,2 ± 0,5	5,2 ± 0,3	10,2 ± 0,9	12,5 ± 1,1
Lignīns (%)	21,3 ± 0,2	21,8 ± 0,2	23,1 ± 0,8	23,0 ± 0,9	24,4 ± 0,6
Kiršnera celuloze (%)	50,8 ± 0,8	57,7 ± 0,1	57,9 ± 0,5	61,4 ± 0,3	65,4 ± 1,0
Holoceluloze (%)	67,3 ± 0,6	63,7 ± 0,5	64,2 ± 1,3	67,6 ± 1,5	71,1 ± 0,2
α-celuloze	43,9 ± 0,7	46,7 ± 0,5	48,7 ± 1,5	53,0 ± 1,7	56,7 ± 0,6
Hemicelulozes* (%)	23,4 ± 0,7	17,0 ± 0,5	15,5 ± 1,5	14,6 ± 1,7	14,4 ± 0,6
Metoksi- grupu saturs (%)	5,50 ± 0,01	5,76 ± 0,04	5,89 ± 0,10	5,93 ± 0,08	6,11 ± 0,06
Celulozes PP	930 ± 10	880 ± 10	940 ± 30	1180 ± 50	1160 ± 30

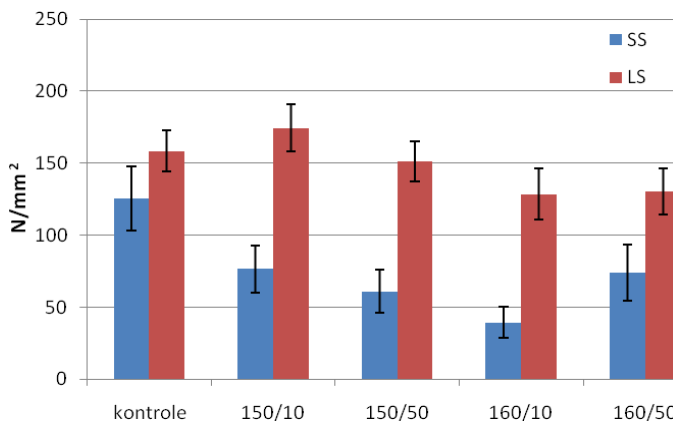
*Hemicelulozes = Holoceluloze – α-celuloze

HTM rezultātā lobskaida kļūst ievērojami hidrofobāka, tās līdzsvara mitruma (LM) saturs samazinās visos vides RM saturos (3. attēls). LM saturs HTM lobskaidā ir vairāk nekā 1,5 reizes mazāks nekā kontrolē. Visi HTM režīmi pat vislielākā vides RM nodrošina lobskaidas LM saturu ievērojami zem 20 %.

HTM izraisa ievērojamu lobskaidas lieces (LS) un stiepes stiprības (SS) samazināšanos (4. attēls). LS samazinās līdz pat 19 %, bet SS ir 2–3 reizes mazāka nekā kontrolē. Šķiet, ka celulozei un lignīnam ir lielāka nozīme LS nodrošināšanā, savukārt hemicelulozes ir vairāk atbildīgas par SS. Kā norāda lobskaidas ķīmiskais sastāvs (skat. 2. tabulu), hemicelulozes tiek termiski vairāk ietekmētas nekā citi koksnes komponenti, un tāpēc ir paredzams, ka SS tiek vairāk ietekmēta HTM procesā nekā LS.



3. attēls. HTM lobskaidas LM saturs vidēs ar dažādiem RM.



4. attēls. HTM lobskaidas stiepes (SS) un lieces stiprība (LS).

Trupes sēņu testu rezultāti HTM lobskaidai ir apkopoti 3. tabulā. Lobskaidai MZ (gan ENV 12038, gan kombinētajā EN 84+ENV 12038 testā) ir lielāki pēc *C. puteana* iedarbības. ENV 12038 testā vissliktākā bioizturība pret *C. puteana* ir HTM lobskaidai 150/10 (43 %), bet *T. versicolor* gadījumā kontrolei un apstrādēm 150/10, 150/50 MZ ir ~29 %. Arī 160 °C apstrāde nav efektīva.

Kombinētajā EN 84 + ENV 12038 testā HTM lobskaidai pie 150/50 ir vissliktākā bioloģiskā izturība pret *C. puteana* (40,7 %), bet abām apstrādēm 150/10 un 150/50 ir vissliktākā izturība pret *T. versicolor* (18 %). Vismazākie MZ ir HTM lobskaidai pie 160/50. HTM lobskaida nav ļoti izturīga pret trupes sēņu iedarbību, jo MZ ir lielāki par 5 %.

3. tabula

HTM lobskaidas bioloģiskā izturība (MZ) pēc brūnās trupes sēnes *Coniophora puteana* un baltās trupes sēnes *Trametes versicolor* iedarbības

Apstrādes temperatūra (°C) / laiks (min)	ENV 12038		EN 84 un ENV 12038 (ar izskalošanu)	
	<i>C. puteana</i>	<i>T. versicolor</i>	<i>C. puteana</i>	<i>T. versicolor</i>
Kontrole	36,6 ± 3,5	29,6 ± 3,4	30,6 ± 5,6	9,7 ± 3,4
150/10	43,0 ± 6,8	29,3 ± 4,2	31,3 ± 8,6	18,4 ± 6,0
150/50	38,6 ± 4,9	28,8 ± 8,0	40,7 ± 6,6	18,8 ± 4,9
160/10	29,1 ± 4,4	19,6 ± 5,0	27,9 ± 2,2	12,1 ± 3,7
160/50	30,7 ± 12,5	18,1 ± 5,5	18,7 ± 6,6	6,7 ± 3,0

HTM lobskaidas virsmas apauguma novērtējums ar pelējuma un zilējuma sēnēm dots 4. tabulā. Kontroles paraugiem bija vairāk nekā 50 % virsmas apaugums, HTM lobskaida atkarībā no apstrādes režīma netika kolonizēta vispār vai arī bija nedaudz apaugusi ar baltu gaisa micēliju. Pēc micēlija atlieku noņemšanas HTM lobskaidai nebija vērojama sēņu izraisīta iekrāsošanās (vērtējums 0), savukārt kontroles paraugi bija spēcīgi iekrāsojušies (vērtējums 4). Tātad sēņu attīstību uz paraugiem kavē HTM.

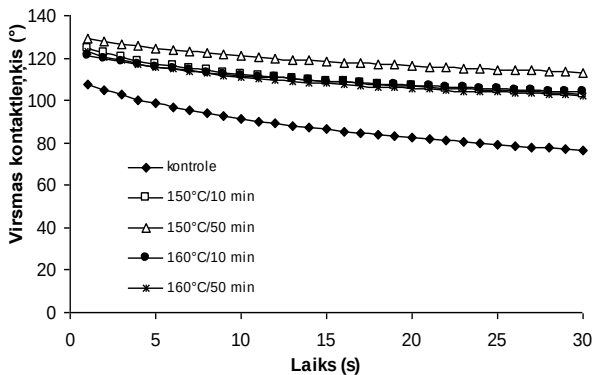
4. tabula

HTM lobskaidas virsmas apaugums ar pelējuma un zilējuma sēnēm

Noteiktais parametrs	Kontrole	Apstrādes temperatūra (°C) / laiks (min.)			
		150/10	150/50	160/10	160/50
Vērtējums (0–4)	4	0	0	0	0

HTM lobskaidai ir samazināta virsmas slapināšana ar ūdeni (5. attēls). Virsmas slapināšanas kontaktlenķa (VSKL) vērtības 150 °C apstrādē palielinās par 19,1–26,6 %, bet 160 °C apstrādē – par 17,6 %. Arī laika gaitā pēc piliena uzpildināšanas visiem HTM lobskaidas paraugiem VSKL ir lielāks nekā neapstrādātai lobskaidai,

un tas saglabājas virs 100° pat pēc 30 sekundēm, bet kontrolei tas ir mazāks par 80°, liecinot par drīzāk hidrofilām īpašībām.



5. attēls. HTM lobskaidas VSKL 30 sekunžu laikā pēc piliena uzpilināšanas.

HTM saplāksnis un no HTM lobskaidas izgatavots saplāksnis

Pēc HTM bērza saplāksnim (references) rodas MZ (5. tabula). 150 °C temperatūrā MZ ir niecīgi, bet 160 °C – MZ ir 2–4 reizes lielāki. Pēc HTM saplākšņa blīvums samazinās, bet tilpums praktiski nemainās, un var uzskatīt, ka FF adhezijs nodrošina formas stabilitāti apstrādes laikā.

5. tabula

HTM references saplākšņa fizikālo parametru izmaiņas

Apstrādes temperatūra (°C) / laiks (min.)	Blīvums ($\text{kg} \times \text{m}^{-3}$)		Blīvuma zudumi (%)	Masas zudumi (%)	Tilpuma izmaiņas (%)
	Pirms	Pēc			
150/10	730 ± 6	708 ± 17	4,0 ± 0,6	2,0 ± 0,7	-1,1 ± 0,7
150/50		700 ± 18	4,7 ± 0,5	2,0 ± 1,2	-0,1 ± 0,7
160/10		676 ± 22	6,9 ± 0,9	4,5 ± 1,1	1,5 ± 0,7
160/50		659 ± 15	9,0 ± 0,8	7,4 ± 0,9	1,5 ± 0,4

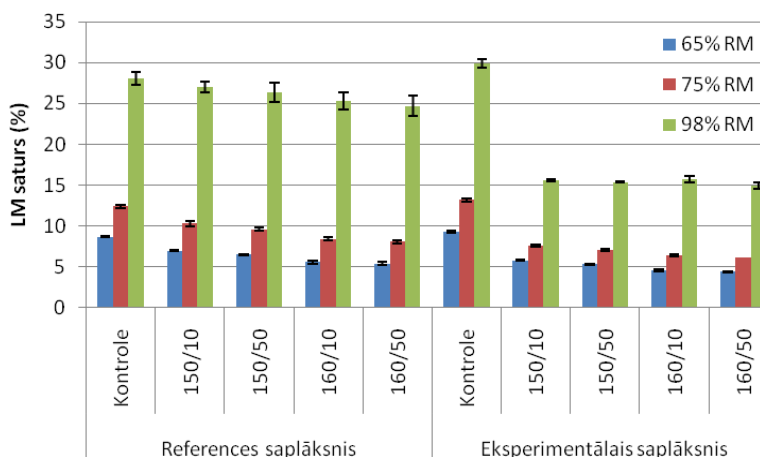
Pēc HTM lobskaida pusrūpnieciskos apstākļos salīmēta ar FF laminātu. Iegūtajam materiālam (eksperimentālais saplāksnis) noteikts blīvums pēc salīmēšanas (6. tabula).

No HTM lobskaidas salīmēta eksperimentālā saplākšņa blīvums (ρ)

Noteiktais parametrs	Kontrole	Apstrādes temperatūra (°C) / laiks (min)			
		150/10	150/50	160/10	160/50
ρ ($\text{kg} \times \text{m}^{-3}$)	680 ± 16	740 ± 20	708 ± 14	806 ± 33	871 ± 36
$\Delta \rho$ (%)	—	+8,8	+4,1	+18,5	+28,1

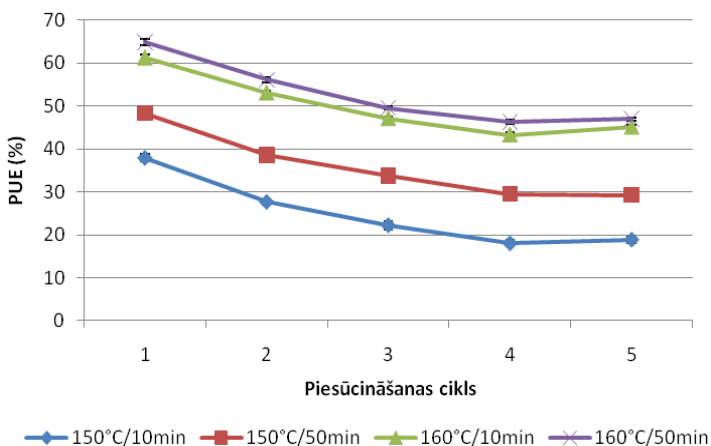
Visiem no HTM lobskaidas salīmētajiem eksperimentālajiem saplākšņiem ir lielāks blīvums nekā no neapstrādātas lobskaidas iegūtajam. Visiem paraugiem tika piemērots vienāds presēšanas-līmēšanas režīms: temperatūra – 140 °C; presēšanas laiks – 15 min; spiediens – 1,2 MPa, tāpēc var uzskatīt, ka līmēšanas tehnoloģija visos gadījumos ir identiska. Jāsecina, ka līmēšanas-presēšanas procesā ir notikusi HTM lobskaidas sablīvināšanās. Tas pozitīvi ietekmē eksperimentālā saplākšņa lieces stiprību (13. attēls), bet nedaudz ierobežo pretuzbriešanas efektivitāti (8. attēls).

LM saturs ir ļoti svarīgs koksnes raksturlielums, jo tas ietekmē citas īpašības, piemēram, mehānisko stiprību, formas stabilitāti un bioloģisko izturību. LM saturs gan references, gan eksperimentālajam saplākšnim ir samazināts visos vides RM (6. attēls). Eksperimentālajam saplākšnim LM visos gadījumos ir mazāks. HTM temperatūrai ir lielāka ietekme nekā apstrādes laikam. References saplākšnim LM samazinās par 19–38 %, 17–35 % un 4–12 %, attiecīgi 65, 75 un 98 % RM. Eksperimentālajam saplākšnim samazinājums 150 °C temperatūrā ir 38–48 %, bet 160 °C – LM ir uz pusi mazāks, salīdzinot ar neapstrādātu materiālu.



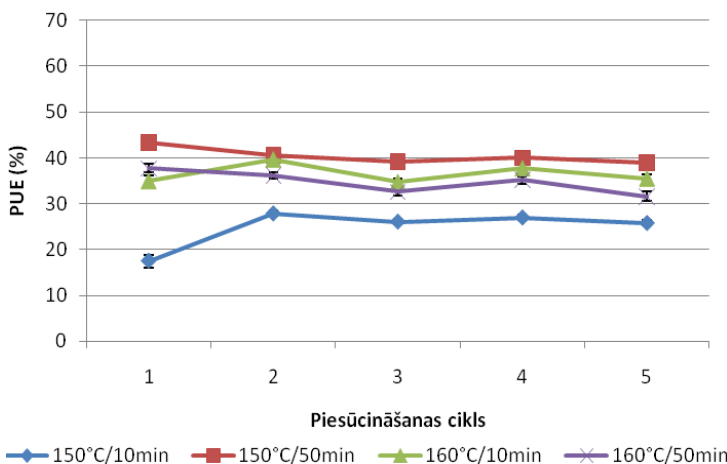
6. attēls. References un eksperimentālā saplākšņa LM saturs dažādos RM.

Samazināts LM koksnē pēc HTM visbiežāk izraisa tās formas stabilitātes uzlabojumu. Abu saplākšņa veidu gadījumā pēc HTM ir formas stabilitātes uzlabojums. References saplākšnim PUE palielinās gan ar HTM temperatūras, gan laika palielināšanu (7. attēls). 160 °C temperatūrā HTM paraugi ir ar līdzīgu formas stabilitāti visa testa gaitā un ievērojami pārsniedz 150 °C paraugu PUE. Pēc 1. cikla PUE 160 °C temperatūrā HTM paraugiem ir par 13–26 % lielāka nekā 150 °C un par 15,8–28,1 % lielāka pēc 5. cikla. Tomēr pēc katra cikla PUE samazinās visiem paraugiem, un pēc 5. cikla PUE samazinājums 150 °C temperatūrā HTM paraugiem ir 39–50 %, savukārt 160 °C – 26–27 %.



7. attēls. References saplākšņa PUE piecu piesūcināšanas-žāvēšanas ciklu gaitā.

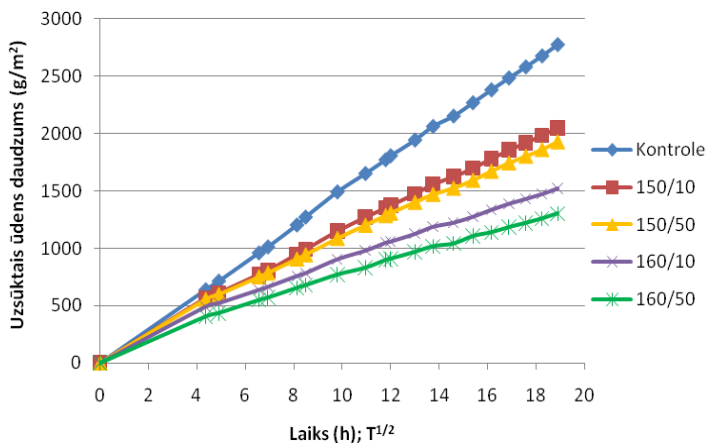
Eksperimentālajam saplākšnim nav tendences, kas parāda temperatūras vai laika ietekmi uz materiāla PUE (8. attēls). Vismazākā PUE ir 150 °C/10 min, vislielākā – 150 °C/50 min HTM paraugiem. Pēc apstrādes 160 °C vislabākās īpašības ir 160/10 paraugam, kam PUE pēc 5. cikla ir tuva labākajam paraugam (150/50). Apstrāde 160/50 ir ar nedaudz sliktāku PUE. Labākā parauga (150/50) gadījumā PUE pēc katra cikla samazinās, un pēc 5. cikla zudumi sasniedz 10,1 %. Vissliktākajam paraugam (150/10) PUE ievērojami uzlabojas, un pēc 5. cikla uzlabojums ir 47,4 %. Paraugam 160/10 PUE pēc pieciem cikliem nedaudz palielinās (+1,7 %), bet 160/50 samazinās par 16,2 %.



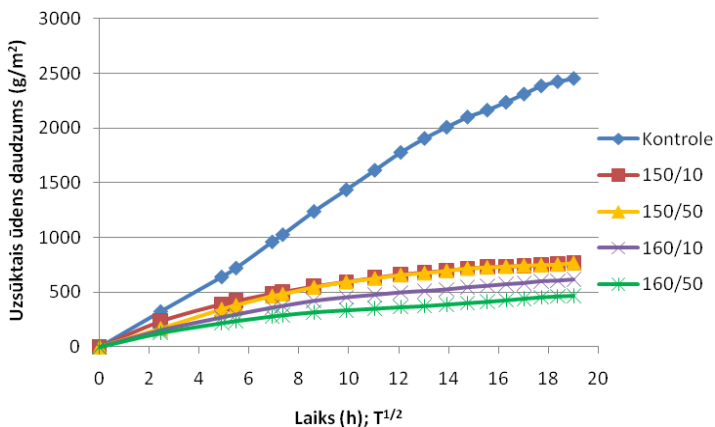
8. attēls. Eksperimentālā saplākšņa PUE piecu piesūcināšanas-žāvēšanas ciklu gaitā.

HTM rezultātā samazinās saplākšņa līdzsvara mitrums, paaugstinās materiāla hidrofbotāte un uzlabojas formas stabilitāte. Paredzams, ka samazināsies arī saplākšņa ūdens uzsūcamība caur virsmu.

References un eksperimentālajam saplāksnim ūdens uzsūcamība caur virsmu samazinās, palielinot gan HTM temperatūru, gan apstrādes laiku (9. un 10. attēls). Eksperimentālajam saplāksnim ir ievērojami mazāka ūdens uzsūcamība caur virsmu, testa beigās nesasniedzot 1000 g/m², kamēr references saplāksnim pārsniedz pat 2000 g/m² (150/10).

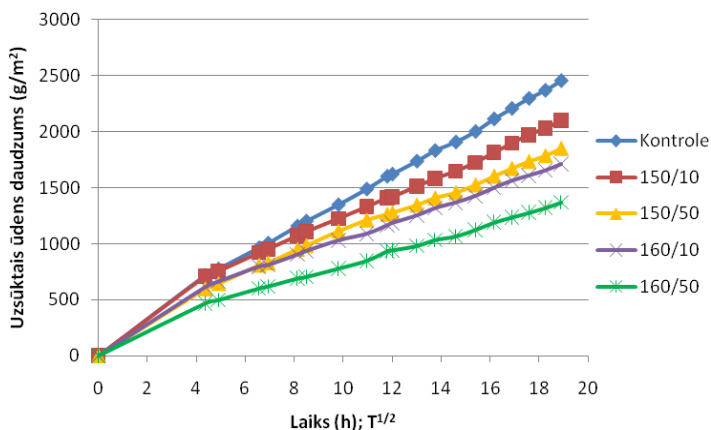


9. attēls. References saplākšņa KŪU caur virsmu.

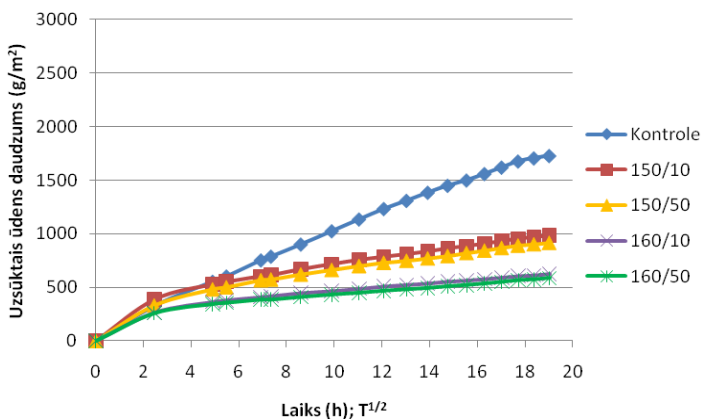


10. attēls. Eksperimentālā saplākšņa KŪU caur virsmu.

Lai noteiktu, kā mainās saplākšņa ūdens uzsūcamība caur virsmu pēc novecināšanas āra zilējuma-pelējuma testā, tika testēta arī ūdens uzsūcamība caur novecināto virsmu. Visiem references un eksperimentālajiem paraugiem ūdens uzsūcamība vienādā testa periodā ir lielāka nekā pirms materiāla novecināšanas (11. un 12. attēls). Eksperimentālajam saplāksnim arī pēc novecināšanas ir ievērojami mazāka ūdens uzsūcamība caur virsmu nekā references saplāksnim.

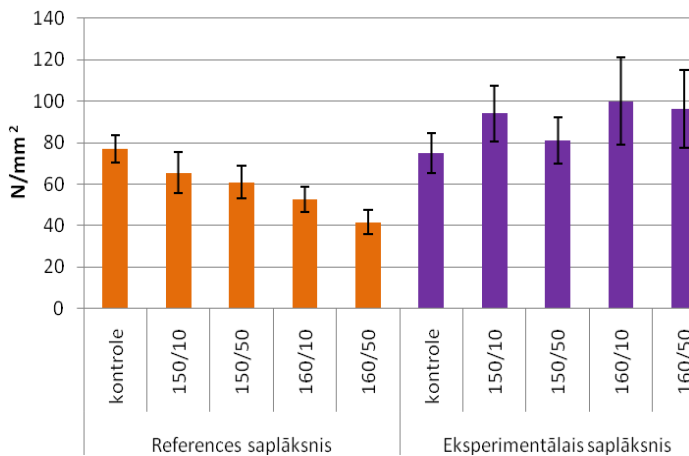


11. attēls. Āra zilējuma-pelējuma testā novecināta references saplākšņa KŪU caur virsmu.



12. attēls. Āra zilējuma-pelējuma testā novēcināta eksperimentālā saplākšņa KŪU caur virsmu.

Lieces stiprība (LS) ir svarīgs materiāla radītājs, un zināms, ka tā ievērojami samazinās koksnes termiskās apstrādes rezultātā [7]. LS ir kombinācija no trim spriegumiem – stiepes, spiedes un bīdes. References un eksperimentālā saplākšņa LS attēlota 13. attēlā. HTM izraisa ievērojamu references saplākšņa LS pasliktinājumu. Pat zemākā HTM temperatūra (150 °C) izraisa LS samazinājumu par 15–21 %, pēc apstrādes 160 °C LS zudumi sasniedz 46 % pēc 50 min apstrādes. HTM laiks ir tikpat būtisks ietekmējošais faktors kā temperatūra.

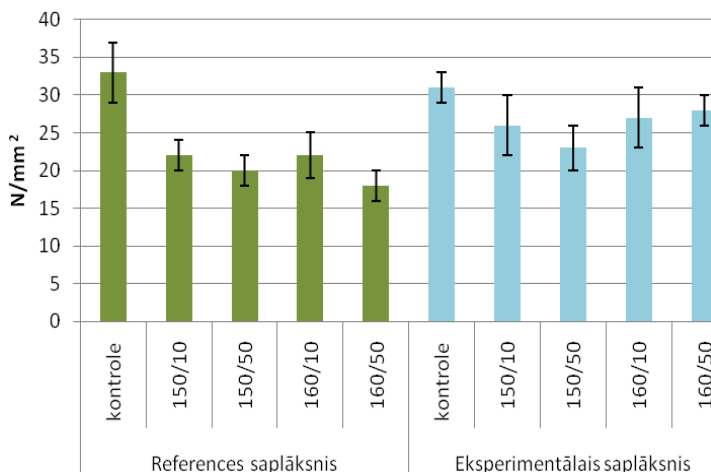


13. attēls. References un eksperimentālā saplākšņa lieces stiprība.

Eksperimentālajam saplāksnim LS pat uzlabojas, salīdzinot ar neapstrādātu materiālu. LS režīmam 150 °C / 10 min uzlabojas par 25 %, bet abām apstrādēm 160 °C temperatūrā uzlabojums ir 28–33 %. Tikai režīmam 150 °C / 50 min uzlabojums ir salīdzinoši niecīgs – 8 %. LS uzlabojums skaidrojams ar materiāla blīvumu, kas visiem no HTM lobskaidas salīmētajiem eksperimentālajiem paraugiem ir lielāks nekā no neapstrādātas lobskaidas iegūtajam (6. tabula).

Virsmas cietība pēc Brinela (BC) references saplāksnim ievērojami samazinās, bet atšķirība starp visiem apstrādes režīmiem ir statistiski nebūtiska (14. attēls). Nevar noteikt, kuram apstrādes parametram ir lielāka ietekme uz BC, un tās samazinājums ir 33–45 %.

Eksperimentālajam saplāksnim BC samazinās, bet mazākā mērā nekā references saplāksnim. Apstrādē 150 °C temperatūrā BC samazinājums ir 13–23 %, savukārt apstrādē 160 °C temperatūrā – 6–10 %. BC tieši nekorelē ar materiāla blīvumu, jo vislielākā BC ir neapstrādātam paraugam ar vismazāko blīvumu.



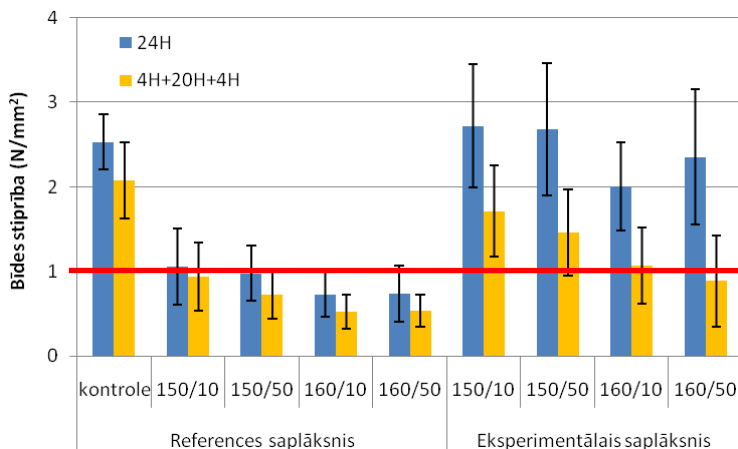
14. attēls. References un eksperimentālā saplākšņa cietība pēc Brinela.

Abu HTM saplākšņa produktu līmējuma stiprība (bīdes stiprība) novērtēta saskaņā ar standarta EN 314 [8] prasībām, veicot aukstā ūdens (24H) un vāroša ūdens pirmapstrādi (4H + 20H + 4H). Saskaņā ar standarta EN 636 [9] prasībām līmējuma stiprībai jābūt augstākai par $1 \text{ N} \times \text{mm}^{-1}$ materiāliem, kas paredzēti lietošanai ārējās vides apstākļos (3. lietojuma klase).

References saplāksnim līmējuma stiprība ir ievērojami mazāka nekā eksperimentālajam (15. attēls), un vidējās vērtības nesasniedz $1 \text{ N} \times \text{mm}^{-1}$. Parastam bērza saplāksnim, salīmētam ar FF līmi, līmējuma stiprība ir 2,53 un 2,07 $\text{N} \times \text{mm}^{-2}$ pēc aukstā un vāroša ūdens pirmapstrādes. HTM 150 °C temperatūrā izraisa līmējuma kvalitātes pazemināšanos vairāk nekā uz pusi (54–64 %), bet apstrādēm

160 °C temperatūrā samazinājums pārsniedz 70 %. Industriālo saplāksni pakļaujot HTM, tiek sagrautas līmes šuves, un šāda modifikācija nav pieņemama ražošanā.

Visu eksperimentālā saplākšņa paraugu līmējuma stiprība atbilst 3. klasei (saplākšnis lietojams ārējās vides apstākļos). Līmējuma stiprību vairāk ietekmē apstrādes temperatūra nekā laiks. Palielinot HTM temperatūru no 150 uz 160 °C, līmējuma stiprība pēc 24H pirmapstrādes pazeminās par 27 %, ja apstrādes ilgums ir 10 min, un par 14 %, ja apstrādes ilgums ir 50 min. Izmaiņas pēc 4H + 20H + 4H pirmapstrādes ir attiecīgi 31 % (10 min) un 28 % (50 min). Vislielāko līmējuma stiprību uzrāda no režīmā 150/10 HTM lobskaidas salīmētie saplākšņa paraugi.



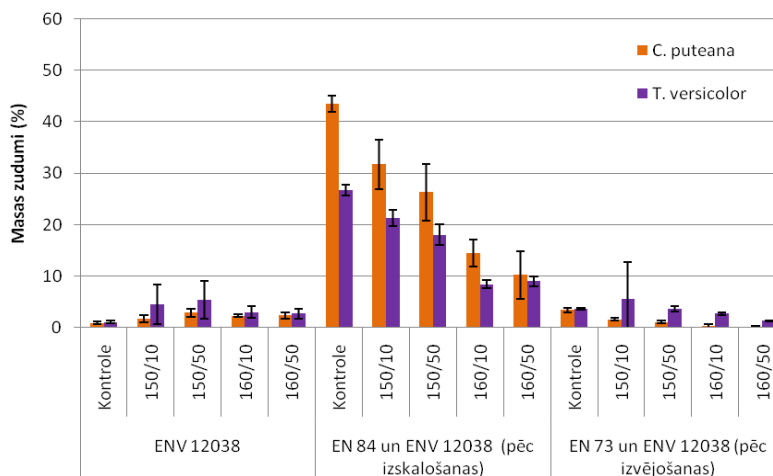
15. attēls. References un eksperimentālā saplākšņa līmējuma stiprība

TM koksnes produktiem ļoti svarīgs rādītājs ir to bioloģiskā izturība pret trupes sēņu iedarbību. ENV 12038 gadījumā vislabākā izturībā pret trupes sēnēm ir neapstrādātam saplāksnim, un tas klasificējams kā ļoti izturīgs (16. attēls). HTM bioizturību neuzlabo, MZ palielinās, kas skaidrojams ar sēnes attīstībai piemērotu degradācijas produktu (piemēram, viegli utilizējamu cukuru) veidošanos apstrādes procesā. Lai arī HTM paraugu MZ ir lielāki par kontroli, tomēr arī tie klasificējas kā ļoti izturīgi, izņemot apstrādi 150/50.

Pēc paraugu izskalošanas ar ūdeni (EN 84 + ENV 12038) lielākie MZ ir nemodificētam saplāksnim pēc abu trupes sēņu iedarbības (neizturīgs vai nedaudz izturīgs). Izturība pret trupes sēnēm pieaug, paaugstinot HTM temperatūru un laiku. Labākie rezultāti sasniegti pēc HTM 160 °C / 50 min., un materiāls ir vidēji izturīgs pret *C. puteana* un izturīgs pret *T. versicolor*. HTM 150 °C temperatūrā dod tikai nelielu uzlabojumu, un materiāls ir nedaudz izturīgs.

Pēc paraugu ilgstošas izvējošanas (EN 73 + ENV 12038) vislielākie MZ ir neapstrādātam saplāksnim, un tas klasificējas, kā ļoti izturīgs. No HTM paraugiem izturīgs ir tikai 150/10 paraugs pēc *T. versicolor* iedarbības, bet pārējie ir ļoti

izturīgi. Vislabākos rezultātus sasniedz apstrāde 160 °C temperatūrā, kam MZ ir mazāki nekā bez novecināšanas. Tas liek domāt, ka no paraugiem ir izvēdināti daļa sēņu attīstību veicinoši savienojumi.



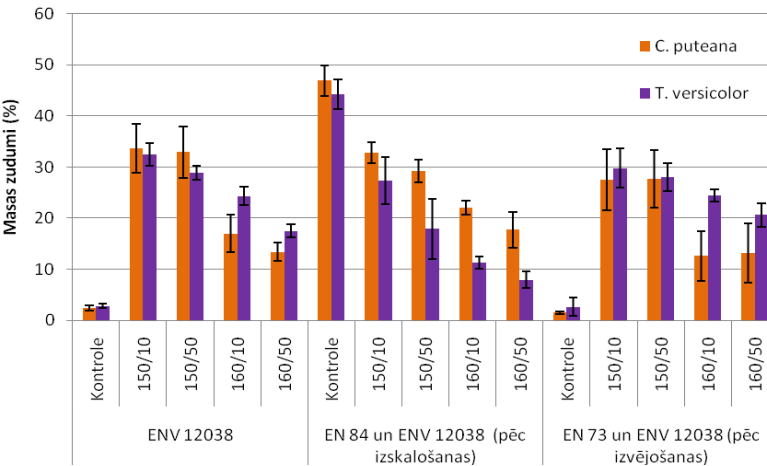
16. attēls. References saplākšņa bioloģiskā izturība – MZ pēc brūnās trupes sēnes *Coniophora puteana* un baltās trupes sēnes *Trametes versicolor* iedarbības.

Ekspperimentālajam saplāksnim vienādā HTM režīmā gandrīz visos gadījumos ir lielāki MZ nekā references saplāksnim (17. attēls). ENV 12 038 gadījumā vislabākā izturība pret trupes sēnēm ir neapstrādātam saplāksnim, kas ir ļoti izturīgs. HTM bioizturību neuzlabo, bet ievērojami pasliktina. Pēc apstrādes 150 °C temperatūrā materiāls ir neizturīgs vai nedaudz izturīgs. Arī abas apstrādes 160 °C temperatūrā dod tikai nedaudz izturīgu vai vidēji izturīgu materiālu. Trupes sēņu attīstībai piemērotu degradācijas produktu klātbūtne no HTM lobskaidas salīmētā saplāksnī atvieglo to attīstību, salīdzinot ar references saplāksni.

Pēc paraugu izskalošanas ar ūdeni (EN 84 + ENV 12038) ir līdzīga tendence kā references saplāksnim. Lielākie MZ ir nemodificētam saplāksnim pēc abu trupes sēņu iedarbības, un tas ir neizturīgs. Izturība pret trupes sēnēm nedaudz pieaug, paaugstinot HTM temperatūru un laiku. Labākie rezultāti sasniegti, modificējot lobskaidu režīmā 160 °C / 50 min., un izdodas iegūt nedaudz izturīgu saplāksni pret *C. puteana* un izturīgu pret *T. versicolor*. HTM 150 °C temperatūrā dod tikai nedaudz izturīgu materiālu.

Pēc paraugu ilgstošas izvējošanas (EN 73 + ENV 12038) vismazākie MZ ir neapstrādātam saplāksnim, un tas ir ļoti izturīgs. Visi HTM paraugi ir ar ievērojami sliktāku bioloģisko izturību. Vidēja izturība pret *C. puteana* ir tikai abām apstrādēm 160 °C temperatūrā, bet pārējos gadījumos eksperimentālais saplāksnis klasificējams kā nedaudz izturīgs. Šajā gadījumā tendence ir pilnīgi atšķirīga, salīdzinot ar

references saplākšni. Jāsecina, ka termiskās destrukcijas produktu izskalošana (un izskalotais daudzums) vai izvējošana visos gadījumos nerada vienādu efektu.



17. attēls. Eksperimentālā saplākšņa bioloģiskā izturība – MZ pēc brūnās trupes sēnes *Coniophora puteana* un baltās trupes sēnes *Trametes versicolor* iedarbības.

Ir svarīgi novērtēt materiāla bioloģisko izturību ne tikai simulētos laboratorijas, bet arī reālos āra apstākļos, tāpēc saplākšņa paraugi izvietoti āra stendā zilējuma noturības noteikšanai. Izvērtējot āra testa paraugu bioloģisko apaugumu, pēc pirmā ekspozīcijas mēneša references un eksperimentāliem paraugiem (7. tabula) netika novērots sēņu iekrāsojums (atzīme 0).

7. tabula

References un eksperimentālā saplākšņa izturība pret zilējuma sēnēm trīs mēnešu periodā. Parādītas vidējās atzīmes ($n = 6$) pēc iekrāsojuma skalas 0–4

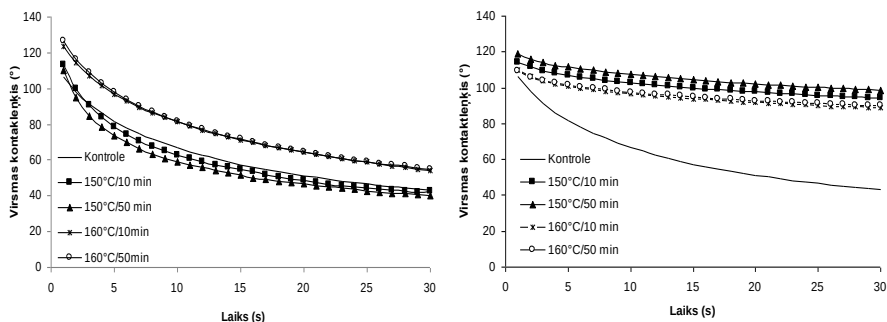
Laiks (mēneši)	Kontrole	Apstrādes temperatūra °C / laiks (min.)			
		150/10	150/50	160/10	160/50
References saplākšnis					
1	0	0	0	0	0
2	1	2	2,0	1,8	1,2
3	3,8	4	4	3,8	3,8
Eksperimentālais saplākšnis					
1	0	0	0	0	0
2	1,2	1,5	1	0	0
3	3,7	3,5	3,7	2,7	2,7

Pēc otrā mēneša references saplākšņu paraugi bija vairāk sazīlējuši (>1) nekā kontrole (1). Eksperimentālo saplākšņu kontrole un 150 °C temperatūrā HTM paraugi bija vairāk sazīlējuši (1–1,5) nekā 160 °C temperatūrā apstrādātie paraugi (0). Pēc diviem mēnešiem eksperimentālo paraugu noturība pret zilējumu bija labāka (0–1,5) nekā references paraugiem (1–2). Paraugiem ar nekrāsotām malām tika novērota intensīvāka zilējuma attīstība uz eksponētās virsmas.

Pēc trīs mēnešu ekspozīcijas references saplākšņu kontrole un modificētie paraugi sasniedza sēņu iekrāsojuma atzīmi 3,8–4. Eksperimentālie paraugi parādīja labākus rezultātus – ja kontrole un abi HTM režīmi 150 °C temperatūrā sasniedza krāsojumu 3,5–3,7, tad apstrāde 160 °C temperatūrā vēl daļēji pasargāja materiāla virsmu no zilējuma (2,7).

HTM rezultātā saplākšņa un arī lobskaidas virsma izmainās, un tā kļuva hidrofohāka. Lielāka virsmas hidrofohitāte nozīmē, ka tiek kavēta ūdens piliena iesūkšanās koksnē, kas ir pozitīva īpašība TM koksnei, ja tā tiek lietota āra apstākļos. References saplākšnim tikai HTM 160 °C temperatūrā palielina virsmas hidrofohitāti, jo VSKL, salīdzinot ar kontroles saplākšni, pieaug par 18,6–20 % (18. attēls). Apstrāde 150 °C temperatūrā nekādu uzlabojumu nedod, un VSKL pat ir par 3,8–9,8 % mazāks nekā kontrolei.

Eksperimentālajam saplākšnim ir lielāka virsmas hidrofohitāte – visiem paraugiem VSKL ir virs 90°, kas ir ievērojami lielāks nekā nemodificētam saplākšnim. HTM rezultātā paraugu VSKL pieaug par 30,8–36,5 % apstrādē 150 °C temperatūrā un par 23,7–24,2 % apstrādē 160 °C temperatūrā. Pēc 30 sekundēm visiem eksperimentālajiem paraugiem VSKL saglabājas virs 90° (kontrolei ap 50°), bet references paraugiem tas ir tikai 45–60°.



18. attēls. References (pa kreisi) un eksperimentālā (pa labi) saplākšņa virsmas slapināšanas kontaktenķa izmaiņu dinamika 30 sekunžu laikā.

HTM saplākšņa pašizmaksa

Veikts vienkāršots aprēķins aptuvenajām izmaksām saplākšņa HTM laboratorijas pilotiekārtā. Saplākšņa HTM kopējās izmaksas ir ~150 EUR 150 °C

temperatūrā un ~155 EUR 160 °C temperatūrā (8. tabula). Atšķirība izmaksās starp režīmiem ir neliela un veidojas uz darbaspēka izmaksu pamata.

8. tabula

Saplākšņa HTM kopējās izmaksas, lai iegūtu 8,4 m² materiāla ar biezumu 12 mm

Apstrādes temperatūra (°C) / laiks (min.)	Materiāls	Elektroenerģija	Darbaspēks	Ūdens	Kopā (EUR)
150/10	68,04	5,48	76,3	0,13	149,95
150/50	68,04	5,99	76,3	0,13	150,46
160/10	68,04	6,08	80,93	0,13	155,18
160/50	68,04	6,18	80,93	0,13	155,28

Pēc 8. tabulas datiem aprēķinātā HTM saplākšņa ar biezumu 12 mm pašizmaksa ir 17,85–18,49 EUR/m². Saplākšnim ar biezumu 12 mm (cena vidēji 8,1 EUR/m²) uz 1 m² HTM procesā papildus nepieciešami 9,75–10,39 EUR. Tātad HTM procesa pievienotā vērtība pārsniedz 100 % no izejmateriāla vērtības.

No HTM lobskaidas izgatavota saplākšņa pašizmaksa

Veikts vienkāršots aprēķins aptuvenajām izmaksām lobskaidas HTM laboratorijas pilotiekārtā, pēc tam to salīdzinot ar FF laminātu, lai iegūto gatavo produktu. Lobskaidas HTM un salīmēšanas izmaksas, lai iegūtu saplākšni ir ~127 EUR 150 °C temperatūrā un ~132 EUR 160 °C temperatūrā (9. tabula). Atšķirība izmaksās starp režīmiem ir neliela un veidojas uz darbaspēka izmaksu pamata.

9. tabula

Lobskaidas HTM un salīmēšanas kopējās izmaksas, lai iegūtu 5,25 m² materiāla ar biezumu 11–12 mm

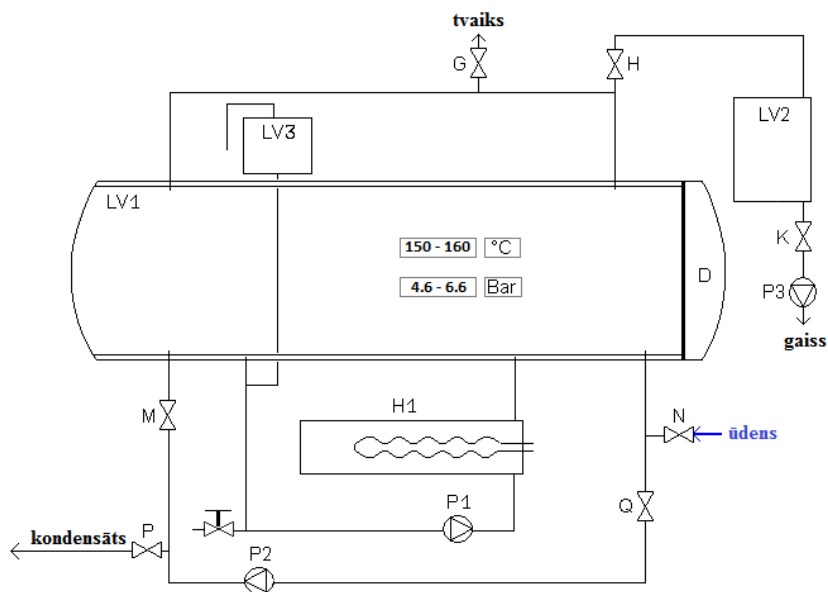
Apstrādes temperatūra (°C) / laiks (min.)	Materiāls	Elektroenerģija	Darbaspēks	Ūdens	Adhezīvs	Kopā (EUR)
150/10	36,11	5,13	84,39	0,12	1,58	127,33
150/50	36,11	5,46	84,39	0,12	1,58	127,66
160/10	36,11	5,76	89,02	0,12	1,58	132,59
160/50	36,11	5,99	89,02	0,12	1,58	132,82

Pēc 9. tabulas datiem aprēķinātā no HTM lobskaidas deviņās kārtās salīmēta saplākšņa (ar biezumu 11–12 mm) pašizmaksa ir 24,25–25,29 EUR/m². Lai no HTM lobskaidas iegūtu saplākšni, ir nepieciešami papildu ~17–18 EUR/m². Tātad pievienotā vērtība pārsniedz 200 % no izejmateriāla vērtības.

Būtībā no HTM lobskaidas iegūta saplākšņa analogs nav ne parasts, ne laminēts, ne krāsots saplākšnis, bet to var uzskatīt par konkurentu ar biocīdiem impregnētam saplākšnim. Pasaules tirgū impregnēta saplākšņa tirgus cena ir ~113 EUR par 2500 × 1220 × 18 mm plātni, jeb ~37 EUR/m² [10], kas ir ievērojami lielāka nekā mūsu HTM saplākšņa un no HTM lobskaidas salīmētā saplākšņa pašizmaksa. Turklāt tiek lietoti komerciāli impregnēšanas autoklāvi nevis, kā mūsu gadījumā, izmantotā laboratorijas pilotiekārta ar mazu ražību.

Saplākšņa HTM tehnoloģiskā shēma

HTM lobskaidas un saplākšņa iegūšanai var izmantot iekārtu ar 19. attēlā parādīto tehnoloģisko shēmu. Iekārtas galvenā sastāvdaļa ir nerūsējoša tērauda autoklāvs LV1. Caur durvīm D autoklāvā tiek ievietots nepieciešamais daudzums izejas materiāla (lobskaida vai saplākšnis). Caur ventili N iepilda nepieciešamo daudzumu ūdens. Tad atver ventīļus H un K un iedarbina sūkni P3, kas no autoklāva izsūc gaisu, līdz tiek sasniegts nepieciešamais vakuums. Pēc tam izslēdz sūkni P3 un aizver ventili K un uztur autoklāvā vakuumu. LV2 tiek izmantota kā starptverte, kurā uzkrājas vakuumēšanas laikā no koksnes papildus izsūktais gaiss. Vakuumēšanas beigās aizver ventili H.



19. attēls. HTM iekārtas tehnoloģiskā shēma.

Tad sāk autoklāva sildīšanu, ieslēdz sildelementu H1, kas iebūvēts tvertnē ar minerāleļļu, un ieslēdz sūkni P1, kas nodrošina minerāleļļas cirkulāciju pa autoklāva sienā specializētiem kanāliem. LV3 ir minerāleļļas termiskās izplešanās tvertne. Kad nepieciešamā temperatūra autoklāvā ir sasniegta, izslēdz sildelementu H1 un minerālās sūkni P1. Ja temperatūra uzdotajā HTM procesa laikā pazeminās, apsildi atsāk, lai autoklāvā uzturētu nepieciešamo temperatūru.

Pēc sildīšanas sāk autoklāva atdzesēšanu, ko realizē ar spiediena pazemināšanu. Caur ventili G lēnām tiek izlaists HTM procesā radušais tvaiks, līdz autoklāvā tiek sasniegts normāls atmosfēras spiediens. Pēc tam atver ventīļus M, Q un P un iztecina no autoklāva HTM procesā radušos kondensātu. Ja kondensāta paštece sistēmā ir traucēta, aizver ventili M, ieslēdz sūkni P2 un izsūknē kondensātu no autoklāva. Autoklāva tālāku atdzesēšanu turpina caur neredzējamām durvīm D, un materiālu izņem, kad tā temperatūra nepārsniedz 35–40 °C.

SECINĀJUMI

1. HTM procesā bērza lobskaidas koksnē norit ķīmiskās struktūras pārvērtības, kas izraisa masas zudumus. Celulozes polimerizācijas pakāpe palielinās un norit ievērojama hemiceluložu destrukcija, un to destrukcijas produkti tiek izekstragēti gan ar acetonu, gan ūdeni. Ķīmisko komponentu pārveides rezultātā nedaudz izmainās materiāla elementsastāvs, pieaug oglekļa un samazinās skābekļa īpatsvars.
2. Ķīmiskās pārvērtības HTM lobskaidā izraisa virkni tās īpašību izmaiņu. Lobskaida iegūst tumši brūnu dekoratīvu krāsojumu, un tās virsma un arī pats materiāls kļūst ievērojami hidrofobāks. Samazināta tendence uzsūkt mitrumu un ūdeni veicina HTM lobskaidas labo izturību pret krāsojošām sēnēm un nedaudz uzlabo arī izturību pret trupes sēnēm. Mehāniskā, jo īpaši – stiepes, stiprība HTM lobskaidai ievērojami samazinās, kas ir saistīts ar ievērojamo hemiceluložu destrukciju.
3. HTM procesa rezultātā industriālam bērza saplāksnim samazinās blīvums, ir masas zudumi, virsma iegūst tumši brūnu dekoratīvu krāsojumu, un uz tās izveidojas plaisas. HTM saplāksnis kļūst hidrofobāks un uzsūc ievērojami mazāk mitruma un ūdens gan caur virsmu, gan visā tilpumā. HTM saplāksnim ir uzlabota izturība pret trupes sēnēm gan pēc izskalošanas, gan izvējošanas, bet HTM nedod nekādu uzlabojumu pret krāsojošām sēnēm. HTM rezultātā tiek sagrauts adhezīva un lobskaidas līmējums, kas izraisa ievērojamu lieces stiprības un virsmas cietības samazinājumu. Abas apstrādes 160 °C temperatūrā piešķir saplāksnim labākas īpašības (izņemot mehānisko un līmējuma stiprību) nekā 150 °C temperatūrā.
4. No HTM lobskaidas salīmētam saplāksnim ir tumši brūns dekoratīvs krāsojums, tā virsma ir gluda un hidrofoba. Materiālam ir samazināts līdzsvara mitruma saturs un ūdens uzsūcamība caur virsmu, uzlabota formas stabilitāte. Mehāniskā stiprība (izņemot lieces stiprību) un līmējuma stiprība šādam saplāksnim samazinās, bet bioizturības uzlabojums ir niecīgs.

5. Lobskaidas HTM un tālāka salīmēšana ar FF laminātu ir uzskatāma par piemērotāko paņēmieni HTM bērza saplākšņa iegūšanai, jo iegūtajam produktam ir vairāk pozitīvo ekspluatācijas īpašību.
6. Ieteicamākais lobskaidas HTM režīms ir 160 °C/10 min, un no tās iegūst saplākšni ar: palielinātu blīvumu (+18 %); samazinātu līdzsvara mitruma saturu (–48 % līdz –52 %); palielinātu pretuzbriešanas efektivitāti (+36 %); samazinātu ūdens uzsūcāmību caur virsmu; samazinātu līmējuma stiprību (–21 % pēc 24H un –48 % pēc 4H + 20H + 4H pirmapstrādes); palielinātu lieces stiprību (+34 %); samazinātu virsmas cietību (–10 %); 3. vai 4. izturības klasi pret trupes sēnēm; nedaudz palielinātu izturību pret krāsojošām sēnēm.
7. No HTM lobskaidas izgatavots saplākšnis klasificējams atbilstoši 3. lietojuma klasei (LVS EN 335) un paredzēts lietošanai āra un paaugstināta mitruma apstākļos, bet sakarā ar viduvējo bioizturību pret trupes sēnēm (3. vai 4. klase pēc CEN/TS 15083-1) tam piemērojama 3.1. apakšklase, kas neparedz ilglaicīgu materiāla samirkšanu, un ūdens netiek ilgstoši akumulēts.
8. HTM industriālais bērza saplākšnis ieteicams tikai produktiem, kam nav svarīga mehāniskā un līmējuma stiprība un virsmas stāvoklis pēc izgatavošanas. Šajā gadījumā piemēroti ir abi apstrādes režīmi 160 °C temperatūrā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] Internets: https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/ZM/mezhi/meza_pamatnostadnes/1_pielikums.pdf.
- [2] Internets: https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/ZM/mezhi/meza_pamatnostadnes/Pamatnostadnes_2015_2020.pdf.
- [3] EN 350-1 Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Part 1: Guide to the principles of testing and classification of natural durability of wood. 1994.
- [4] LVS EN 335 Koksnes un tās izstrādājumu ilgizturība. Lietojumklases: Definīcijas, to piemērošana masīvkoksnei un koksnes izstrādājumiem. 2013.
- [5] CEN/TS 15083-1 Durability of wood and wood-based products - Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods – Part 1: Basidiomycetes. 2005.
- [6] D. Kocaefe, S. Poncsak, and Y. Boluk, «Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen,» *BioResources*, vol. 3, no. 2, pp. 517–537, 2008.
- [7] M. Boonstra, J. Van Acker, B. Tjeerdsma, and E. Kegel, «Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents,» *Ann. For. Sci.*, vol. 64, pp. 679–690, 2007.
- [8] EN 314-1 Plywood – Bonding quality - Part 1: Test methods. 2004.
- [9] LVS EN 636 Saplākšnis. Specifikācijas. 2013.
- [10] Internets: <http://www.garnicaplywood.com/en/productos/garnica-duraply/>.