
Termiski modificētas priedes un egles koksnes stiprība un elastības modulis statistiskajā liecē

J. Kažociņš^{1*}, I. Akerfelds¹

Kažociņš, J., Akerfelds, I. (2009). Bending strength and modulus of elasticity of thermally modified redwood and whitewood. *Mežzinātne/ Forest Science* 20(53): 95-104.

Kopsavilkums: Termiskā modificēšana ir apkārtējai videi draudzīgs koksnes termiskās apstrādes veids, ko izmanto lai uzlabotu tās fizikālās un mehāniskās īpašības. Termiskā modificēšana veikta priedes (*Pinus sylvestris*) un egles (*Picea abies*) koksnei trīs dažādos režīmos – 180 °C, 195 °C un 210 °C temperatūrā. Pētījumā noteikta termiski modificētas un neapstrādātas priedes un egles koksnes robežstiprība un elastības modulis statistiskajā liecē. Rezultāti liecina, ka, pieaugot termiskās modificēšanas temperatūrai, samazinās priedes un egles koksnes robežstiprība statistiskajā liecē. Elastības modulis pie 195 °C apstrādes temperatūras egles koksnei uzlabojas. Pētījuma finansētājs – Latvijas Republikas Izglītības un zinātnes ministrija.

Nozīmīgākie vārdi: priede, egle, termiski modificēta koksne, elastības modulis, robežstiprība.

...

Kažociņš, J., Akerfelds, I., Department of Wood processing, Latvian University of Agriculture. **Bending strength and modulus of elasticity of thermally modified redwood and whitewood.**

Abstract: Thermal modifying is an environmentally friendly technological process developed to improve the mechanical, physical and chemical properties of wood. Thermal modification was performed in specially constructed open-system chamber having electrical heaters and fan. The inert gas atmosphere was used to prevent wood oxidation during thermal modification at high temperatures. The impact of different temperatures (180 °C, 195 °C, and 210 °C) on the properties of redwood (wood of *Pinus sylvestris*) and whitewood (*Picea abies*) was analyzed.

In order to test the mechanical performance of thermally modified redwood and whitewood the bending strength and the modulus of elasticity were measured.

An increase of the temperature of thermal modification was observed to decrease the bending strength perpendicular to the grains for both wood species. Heating decreases the modulus of elasticity (MOE) for redwood, but somewhat improves it for spruce. For whitewood the modulus of elasticity was increased by 10% at the thermal modification temperature 195 °C. The research project was financed by the Ministry of Education

¹ LLU Kokapstrādes katedra, Dobeles iela 41, Jelgava, LV-3001, Latvija; *e-pasts: janis.kazocins@llu.lv

and Science of the Republic of Latvia.

Key words: redwood, whitewood, thermally modified timber, bending strength, MOE.

...

Кажоциньш Я., Акерфелдс И., Латвийский сельскохозяйственный университет, кафедра деревообработки. **Прочность и модуль упругости термически модифицированной древесины сосны и ели в статистическом изгибе.**

Резюме: Термическая модификация дружелюбный для окружающей среды процесс термической обработки древесины, который используется с целью усовершенствования её физических и механических свойств. Для древесины сосны (*Pinus sylvestris*) и ели (*Picea abies*) термическая модификация произведена в трех различных температурных режимах: при 180 °C, 195 °C и 210 °C. В исследовании определены: предельная нагрузка и модуль упругости на изгиб для термически модифицированной и необработанной сосновой и еловой древесины. Результаты свидетельствуют, что при увеличении температуры термической модификации предельная нагрузка на изгиб у сосновой и еловой древесин уменьшается. В свою очередь при температуре обработки 195 °C модуль упругости у еловой древесины улучшается.

Ключевые слова: сосна, ель, термически модифицированная древесина, модуль упругости, предельная нагрузка.

Ievads

Pasaulē termiski modificētu koksni izmanto mēbeļu ražošanā, būvniecībā un interjera elementu izgatavošanā.

Latvijā augušas priedes vidējā robežstiprība statiskajā liecē, atkarībā no blīvuma, ir robežās no 80 MPa līdz 110 MPa (Kūliņš, Greidiņš, 1998), savukārt egles koksnei tā ir no 49 MPa līdz 136 MPa (Molnar Sandor, Bariska Mihaly, 2002).

Pētījumi par Latvijā augušu priežu (*Pinus sylvestris* L.) un egļu (*Picea abies*) termiski modificētas koksnes statiskās lieces stiprību un elastības moduli perpendikulāri šķiedrām līdz šim nav veikti.

Pētījumu rezultāti citur pasaulē liecina, ka termiski modificētas koksnes statiskās lieces stiprības un elastības moduļa rādījumi, atkarībā no apstrādes temperatūras, samazinās. Paaugstinot koksnes temperatūru, atsevišķi

ķīmiski komponenti pakļauti termiskai sabrukšanai, kas tieši ietekmē koksnes fizikālos un mehāniskos rādītājus. Šo ķīmisko sastāvdaļu izmaiņu pakāpi nosaka apstrādes temperatūra, apstrādes laiks, apstrādes vide, koku suga un materiāla izmēri (Hill, 2006).

Neatgriezeniska stiprības rādītāju samazināšanās sākas, ja apstrādes temperatūra ir > 65 °C. Temperatūrā no 100 °C līdz 200 °C koksne dehidrējas, izdalot ūdens tvaikus un citas gāzes, kā, piemēram, oglekļa oksīdu CO, skudrskābi CH₂O₂, etiķskābi C₂H₄O₂ un ūdeni H₂O (White, Dietenberger, 2001).

Lignīns aizpilda brīvās vietas koksnes šūnu sienīnās, saistot celulozi, hemicelulozi un pektīnus, kā arī šūnu sienīnām piešķir mehānisko izturību. (Lignin and its Properties, 2006).

Izpētīts, ka, apstrādājot koksni 100 °C līdz 180 °C temperatūrā, lignīns kļūst mikstāks (*Resistance of thermally modified wood*

*basidiomycetes**, 2004), un tādējādi samazinās koksnes mehāniskā izturība.

Termiski modificētas, Somijā augušas egles, priedes un bērza koksnes stiprība liecē 200 °C temperatūrā samazinās par 10% līdz 30% (Jämsä, Viitaniemi, 2001).

Līdzīgi Somijā veiktie pētījumi par ūdens tvaikos (Thermowood®) apstrādātas priedes (*Pinus sylvestris*) mehāniskajām īpašībām liecina, ka statistiskās lieces stiprība, pie apstrādes temperatūras no 160 °C līdz 240 °C un apstrādes ilguma 4 h, samazinās no 110 MPa līdz 74 MPa. Savukārt elastības modulis statistiskajā liecē samazinās no 14800 MPa līdz 11500 MPa (ThermoWood Association, 2003).

Francijā pētītas slāpekļa vidē (retification®) apstrādātas priedes koksnes mehāniskās īpašības. Pie apstrādes temperatūras no 210 °C līdz 230 °C priedes koksnes (*Pinus sylvestris*) robežstiprība četru punktu liecē samazinās no 89,3 MPa līdz 65,3 MPa. Vācijā, veicot termisko modificēšanu neapstrādātā augu eļļā (MEN HOLZ process) 180 °C, 200 °C un 220 °C temperatūrā, priedes koksnes (*Pinus sylvestris*) elastības modulis statistiskajā liecē nesamazinājās zem 10000 MPa. Pie apstrādes temperatūras 200 °C elastības modulis bija lielāks par 11000 MPa. Nīderlandē, PLATO® procesā, priedes (*Pinus strobus* L.) robežstiprība liecē samazinājās no 90 MPa līdz 74 MPa. PLATO® process notiek 150 °C līdz 200 °C temperatūrā un sastāv no žāvēšanas, hidrolīzes un termiskās apstrādes fāzes (CTBA, 2003).

Citās valstīs veiktajos pētījumos termiskās modificēšanas laiks, temperatūra un apstrādes vide ir atšķirīgi. Tos izvēlas atkarībā no izmantojamās tehnoloģijas, koku sugas un termiskās modificēšanas mērķa.

Saskaņā ar Somijā pielietoto ThermoWood® tehnoloģiju, kas pēc apstrādes apjoma tiek izmantota visplašāk, nepieciešamais termiskās modificēšanas fāzes ilgums ir 0,4-4 h, bet kopējais cikla ilgums – vidēji 36 h (ThermoWood Association, 2003).

Pētījuma mērķis ir noskaidrot termiski modificētas, Latvijā augušas priedes koksnes (*Pinus sylvestris*) vidējo robežstiprību statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $f_{m,90,m}$ un vidējo elastības moduli statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $E_{m,90,m}$. Paredzams, ka, palielinoties termiskās modificēšanas temperatūrai, koksnes robežstiprība statistiskajā liecē un elastības modulis samazināsies.

Materiāli un metodes

Sagatavju izgatavošanai izmantoti svaigi cirsti zāgbaļķi, kas iegūti Ventspils rajonā, mētrāja augšanas apstākļu tipā. Sagataves ir 25 mm biezi, 1500 mm gari, neapmaloti zāgmateriāli. Pēc izgatavošanas tās tiek mākslīgi žāvētas 60 °C temperatūrā līdz koksnes mitrums ir 12%. Pēc žāvēšanas beigām kontrolkoksnes paraugu izgatavošanai atlasa līdz telpas temperatūrai atdzesētas sagataves, kas satur 12% mitruma. Pārējās sagataves, pirms termiskās modificēšanas 103 °C temperatūrā, žāvētas līdz to mitrums ir 0-3%.

Izvēloties termiskās modificēšanas vidi, temperatūru un apstrādes laiku, ņemta vērā citu valstu pieredze, kā arī līdz šim veikto pētījumu dati par koksnes ķīmiskā sastāva izmaiņu specifiku, termiskās apstrādes procesā pielietojot dažādas temperatūras. Termiskā modificēšana veikta 4 stundas, kas ir maksimāli nepieciešamais laiks modificēšanai ūdens tvaikos (ThermoWood Association, 2003); cikla kopējais ilgums (t) nepārsniedz 34 h

(skat. 1. attēlu.).

Termisko modificēšanu veic 180 °C, 195 °C un 210 °C temperatūrā slāpekļa (N₂) un argona (Ar) vidē, specializētā kamerā. Argonu pielieto termiskās apstrādes sākumposmā, lai no kameras izspiestu skābekli (O₂). Slāpekli (N₂) pielieto termiskās modificēšanas laikā, lai kamerā nodrošinātu ≤ 2% O₂. Skābekļa daudzums noteikts ar dūmgāzu analizatoru „testo 325-M”.

Kontrollkoksnes paraugu sagataves un termiski modificētās sagataves kondicionētas 20 ± 2 °C temperatūrā pie gaisa relatīvā mitruma ψ 65 ± 5%. Pēc kondicionēšanas paraugu izgatavošanai tās mehāniski apstrādātas, ievērojot standarta DIN 52 186 testa paraugiem uzstādītās prasības.

Robežstiprības statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $f_{m,90}$ un elastības moduļa statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $E_{m,90}$ noteikšanai izgatavoti 30 paraugi bez defektiem un no katras koku sugas. Paraugu izmēri: platums 20 mm, augstums 20 mm, garums 360 mm; $f_{m,90}$ un $E_{m,90}$ noteikts atbilstoši standarta DIN 52 186 prasībām trīspunktu liecē. Paraugu testēšanai izmantota pārbaudes iekārta Zwick Z100/TL3S-100kN.

Pirms pārbaudes testa noteikts katra parauga blīvums ρ .

Veicot datu statistisko analīzi, noteikta standartnovirze s , standartklūdas sm , variācijas koeficienta CV un lineārās korelācijas koeficienta r vērtība (Arhipova, Bāliņa, 2006).

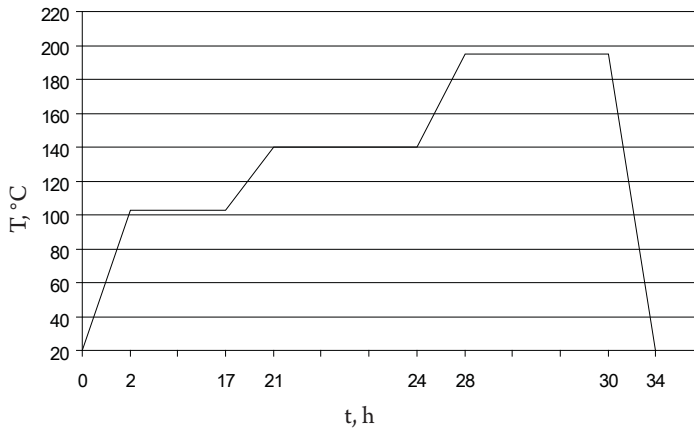
1. tabula, Table 1

Termiski modificētas priedes un egles koksnes robežstiprība statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām

Bending strength of thermally modified pine and spruce perpendicular to the grain

Koku suga Specie	Apstrādes temperatūra T, °C Treatment temperature T, °C	Paraugu skaits Number of samples	Paraugu mitrums ω_m , % Moisture content of samples ω_m , %	Paraugu blīvums ρ_m , kg m ⁻³ Density of a samples ρ_m , kg m ⁻³	$f_{m,90,m}$, MPa	Standartnovirze s , MPa Standard deviation s , MPa	Standartklūda s_x , MPa Standard-error s_x , MPa	Variācijas koeficients CV Variation coefficient CV
Priede Pine	Kontrollkoksne Control	30	10,3	567	113	14	2,6	0,12
	180	30	8,4	506	108	21	3,7	0,19
	195	30	7,8	518	105	22	4,0	0,21
	210	30	7,7	440	85	18	3,4	0,22
Egle Spruce	Kontrollkoksne Control	30	11,7	531	109	10	1,8	0,09
	180	30	10,2	498	88	9	1,6	0,10
	195	30	8,4	542	84	23	4,2	0,27
	210	30	7,1	497	63	18	3,2	0,28

$f_{m,90,m}$ – vidējā robežstiprība statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām / average strength of static bending perpendicular to the grain.



1. attēls. Termiskās modificēšanas režīms 195 °C temperatūrā.

Figure 1. Schedule of thermal modifying at 195°C.

2. tabula, Table 2

Termiski modificētas priedes un egles koksnes elastības modulis statistiskajā liecē
perpendikulāri šķiedrām

Modulus of elasticity of thermally modified pine and spruce perpendicular to the grain

Koku suga Specie	Apstrādes temperatūra T , °C Treatment temperature T , °C	Paraugu skaits Number of samples	Paraugu mitrums ω_m , % Moisture content of samples ω_m , %	Paraugu blīvums ρ_m , kg m^{-3} Density of a samples ρ_m , kg m^{-3}	$E_{m,90m}$, MPa	Standartnovirze s , MPa Standard deviation s , MPa	Standartklūda s_x , MPa Standard-error s_x , MPa	Variācijas koeficients CV Variation coefficient CV
Priede Pine	Kontrollkoksne Control	30	10,3	567	14356	1757	321	0,12
	180	30	8,4	506	14363	2049	374	0,14
	195	30	7,8	518	14247	2058	376	0,14
	210	30	7,7	440	11388	2235	408	0,20
Egle Spruce	Kontrollkoksne Control	30	11,7	531	14143	1426	260	0,10
	180	30	10,2	498	12125	1326	242	0,11
	195	30	8,4	542	15743	1941	354	0,12
	210	30	7,1	497	14497	1318	241	0,09

$E_{m,90m}$ – vidējais elastības modulis statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām / average modulus of elasticity of static bending perpendicular to the grain.

Rezultāti un diskusija

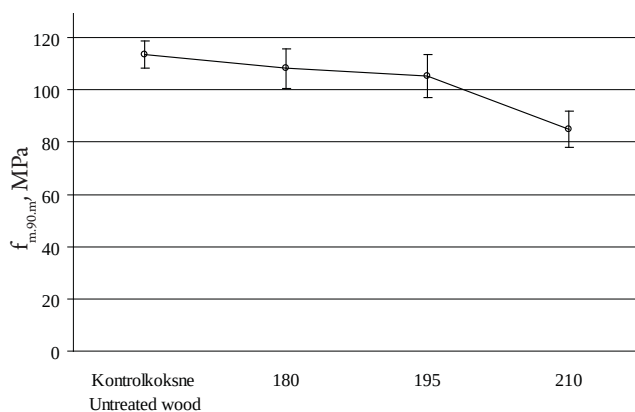
Kopsavilkuma tabulās (1. un 2. tab.) dotas pārbaudīto paraugu blīvuma ρ , paraugu mitruma ω , $f_{m,90,m}$ un $E_{m,90,m}$, kā arī $f_{m,90,m}$ un $E_{m,90,m}$ rezultātu standartnovirzes, standartklūdas un variācijas koeficienti.

Paaugstinot termiskās modificēšanas temperatūru, priedes un egles koksnes $f_{m,90,m}$ salīdzinājumā ar kontrolkoksni, samazinās; visstraujāk $f_{m,90,m}$ samazinās 210 °C apstrādes temperatūrā (skat. 2., 3. attēlu).

Termiski modificētas priedes koksnes $E_{m,90,m}$ paaugstinot termiskās modificēšanas temperatūru līdz 195 °C, salīdzinājumā ar

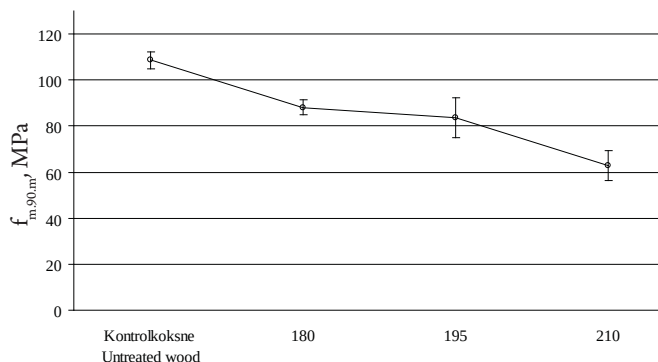
kontrolkoksni, būtiski nesamazinās, taču pie 210 °C $E_{m,90,m}$ samazinās par 20% (skat. 4. attēlu). $E_{m,90,m}$ egles koksnei, to termiski modificējot 180 °C temperatūrā, salīdzinājumā ar kontrolkoksni, samazinās, taču, paaugstinot termiskās modificēšanas temperatūru līdz 195 °C, tas palielinās par 10% (skat. 5. attēlu).

Termiski modificētas priedes koksnes (*Pinus sylvestris*) $f_{m,90,m}$ 210 °C temperatūrā, salīdzinājumā ar neapstrādātu koksni, samazinās par 25%, bet eglei – par 42%. Termiski modificējot priedes koksni (*Pinus sylvestris*) slāpekļa vidē retification[®] procesā,



2. attēls. Termiski modificētas priedes koksnes $f_{m,90,m}$ un tās reprezentācijas intervāls ar 95% ticamību. $f_{m,90,m}$ atšifrējumu skat. 2. tab.

Figure 2. $f_{m,90,m}$ of thermally modified pine and the interval of confidence 95%. Meaning of the $f_{m,90,m}$ see in Table 2.

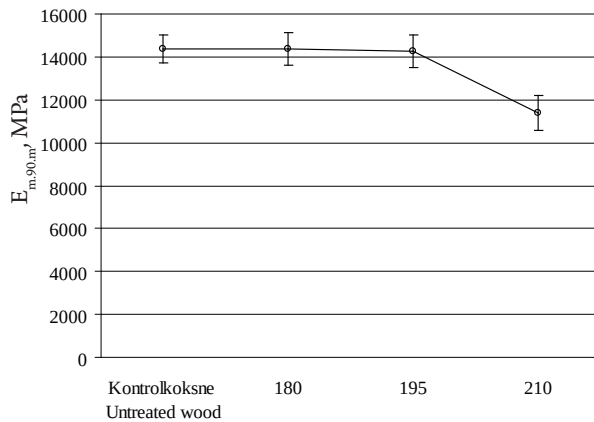


3. attēls. Termiski modificētas egles koksnes $f_{m,90,m}$ un tās reprezentācijas intervāls ar 95% ticamību. $f_{m,90,m}$ atšifrējumu skat. 2. tab.

Figure 3. $f_{m,90,m}$ of thermally modified spruce and the interval of confidence 95%. Meaning of the $f_{m,90,m}$ see in Table 2.

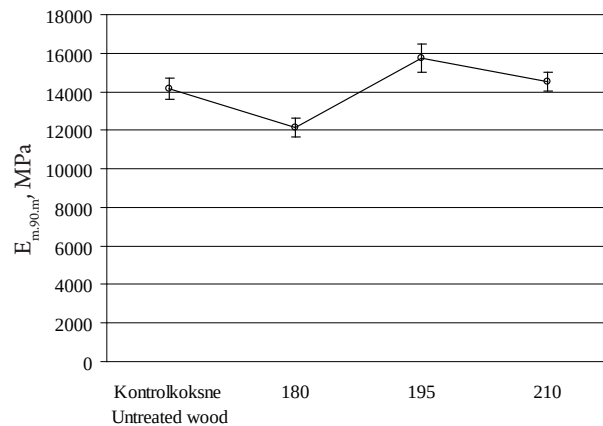
4. attēls. Termiski modificētas priedes koksnes $E_{m,90,m}$ un tās reprezentācijas intervāls ar 95% ticamību. $E_{m,90,m}$ atšifrējumu skat. 2. tab.

Figure 4. $E_{m,90,m}$ of thermally modified pine and the interval of confidence 95%. Meaning of the $E_{m,90,m}$ see in Table 2.



5. attēls. Termiski modificētas egles koksnes $E_{m,90,m}$ un tās reprezentācijas intervāls ar 95% ticamību. $E_{m,90,m}$ atšifrējumu skat. 2. tab.

Figure 5. $E_{m,90,m}$ of thermally modified spruce and the interval of confidence 95%. Meaning of the $E_{m,90,m}$ see in Table 2.



līdzīgi rezultāti iegūti arī Francijā, kur statiskās lieces stiprība 4 punktu liecē perpendikulāri šķiedrām samazinājusies par 27%. Salīdzinot šos datus, jāņem vērā, ka atšķirīgs ir retification® procesa termiskās modificēšanas laiks, apstrādes vide un temperatūra (CTBA, 2003).

Daudzu pētījumu rezultāti liecina, ka termiski modificētas koksnes elastības modulis, apstrādājot koksni īsu laika periodu, nedaudz pieaug, bet pēc ilgākas apstrādes – atkal samazinās, ko nosaka pielietotās modificēšanas vide.

Termiski modificētas priedes koksnes

$E_{m,90,m}$ 210 °C temperatūrā samazinās par 21% un ir 11388 MPa, savukārt eglei tas palielinās par 3%, salīdzinot ar kontrollkoksni. MEN HOLZ procesā 180 °C, 200 °C un 220 °C temperatūrā termiski modificētas priedes koksnes (*Pinus strobus*) $E_{m,90,m}$ ir lielāks par 10 000 MPa, taču ar šo apstrādes paņēmieni koksni 18 h termiski modificē neapstrādātā augu eļļā, kas var būtiski ietekmēt tās stiprības rādītājus (CTBA, 2003).

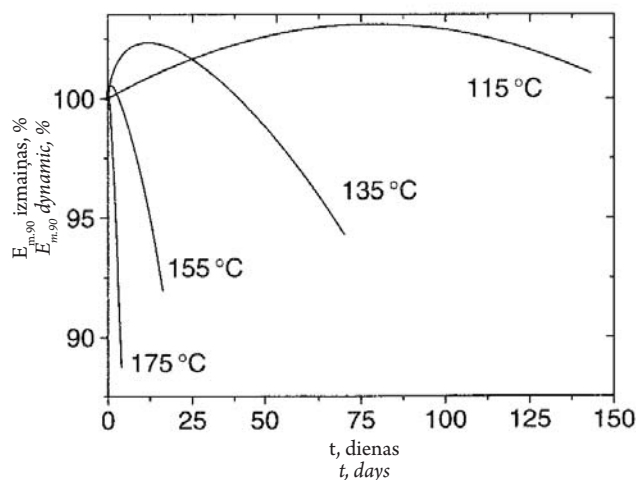
Būtiska mehānisko īpašību samazināšanās novērota hidrotermiskās apstrādes (koksnes termiskā modificēšana gāzu vidē) procesā modificētai duglāzijai

(Pseudotsuga), garskuju priedei (*Pinus palustris*) un sitkas eglei (*Picea sitchensis*). Koksnes mehāniskā stiprība samazinās par 50%, to apstrādājot 177 °C temperatūrā 4 h un par 75% – pēc 8 h (MacLean, 1953). Veidojas lineāra sakarība starp stiprības samazināšanos procentos un pieaugošo termiskās apstrādes temperatūru. Ekstrapolācijas rezultātā secināts, ka mehānisko īpašību samazināšanās būtu iespējama, ja koksni 195 °C temperatūrā apstrādātu 32h (MacLean, 1953).

Pētot dažādos apstrādes laikos un temperatūrā termiski modificētas priedes un bērza koksnes mehāniskās īpašības, konstatēts, ka, neatkarīgi no apstrādes veida un sugas, elastības modulis būtiski samazinās tikai tad, ja koksnes masas zudums ir > 8% (Rusche, 1973a). Atvērtā sistēmā, gaisa vidē, 115 °C līdz 175 °C temperatūrā apstrādātiem dažādu koku sugu paraugiem konstatēts sākotnējs elastības moduļa pieaugums, taču pēc ilgāka laika novērota moduļa vērtības samazināšanās

(skat. 6. attēlu), (Millett, Gerhards, 1972).

Y. Kubojima izolētā kamerā 160 °C temperatūrā, gan gaisa, gan slāpekļa vidē, modificējot koksnes paraugus dažādos apstrādes laikos, noteicis to mehāniskās īpašības. Par siltumpārneses aģentu izmantojot slāpekli un veicot īslaicīgu apstrādi, konstatēts koksnes elastības moduļa pieaugums, taču tas samazinājies, koksni termiski modificējot gaisa vidē (Kubojima, Okano, Ohta, 2000a). P. Bekhta un P. Niemz konstatējuši 50% egles koksnes lieces stiprības samazināšanos, to apstrādājot 200 °C temperatūrā, taču elastības moduļa izmaiņas bijušas nelielas (Bekhta, Niemz, 2003). Elastības moduļa pieaugums konstatēts arī gobas, dižskābarža, apsēs un kļavas koksnei, taču, pagarinot termiskās apstrādes laiku un paaugstinot temperatūru, tam bijusi tendence samazināties (Chang, Keith, 1978).



6. attēls. Elastības moduļa izmaiņu dinamika (Millett, Gerhards, 1972).

Figure 6. Changing dynamic of modulus of elasticity (Millett, Gerhards, 1972).

Secinājumi

Pētījuma rezultātā iegūti dati par Latvijā augušas priedes (*Pinus sylvestris*) un egles (*Picea abies*) koksnes robežstiprību statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $f_{m,90}$ un elastības moduli statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $E_{m,90}$, koksni termiski modificējot 180 °C, 195 °C un 210 °C temperatūrā 4 stundas argona un slāpekļa vidē.

1. Eksperimentāli konstatēts, ka priedes kontrolkoksnis $f_{m,90,m}$ ir 113 MPa, egles – 109 MPa. Termiskās modificēšanas rezultātā priedes un egles koksnes $f_{m,90,m}$ palielinoties termiskās modificēšanas temperatūrai, pakāpeniski samazinās.
2. Apstrādājot 180 °C temperatūrā, priedes koksnes robežstiprība statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $f_{m,90,m}$ samazinās par 5 MPa, apstrādājot 195 °C temperatūrā – par 8 MPa, bet 210 °C temperatūrā – par 28 MPa, salīdzinot ar kontrolkoksnī. Savukārt, apstrādājot egles koksni 180 °C temperatūrā, tās robežstiprība statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $f_{m,90,m}$ samazinās par 21 MPa, apstrādājot 195 °C temperatūrā – par 4 MPa, bet 210 °C – par 21 MPa, salīdzinot ar kontrolkoksnī.
3. Eksperimentāli novērots, ka kontrolkoksnis vidējais elastības modulis statistiskajā liecē perpendikulāri šķiedrām $E_{m,90,m}$ priedei ir 14356 MPa, eglei – 14143 MPa. Apstrādājot priedes koksni 180 °C un 195 °C temperatūrā, tas būtiski nemainās, bet 210 °C temperatūrā – samazinās par 2968 MPa vai 20,7% salīdzinājumā ar kontrolkoksnis $E_{m,90,m}$.
4. Apstrādājot egles koksni 180 °C temperatūrā, tās $E_{m,90,m}$ samazinās par 2018 MPa; savukārt 195 °C un 210 °C temperatūrā – $E_{m,90,m}$ palielinās attiecīgi par 1600 MPa un 354 MPa salīdzinājumā ar kontrolkoksnis $E_{m,90,m}$.
5. Datu analīze liecina, ka $f_{m,90,m}$ un $E_{m,90,m}$ standartklūda nepārsniedz 5%, kas norāda uz veikto eksperimentu atbilstību ģenerālkopai. Paaugstinot apstrādes temperatūru, pieaug atsevišķu variantu izkliede, par ko liecina variāciju koeficienta pieaugums $f_{m,90,m}$ no 0,09 kontrolkoksnī līdz 0,28 koksnei, kas apstrādāta 210 °C temperatūrā. Pie visām apstrādei pielietotajām temperatūrām novērojama vidēji cieša vai cieša lineārā korelācija starp koksnes blīvumu ρ un $f_{m,90}$, kā arī starp $E_{m,90}$ un $f_{m,90}$, tomēr, paaugstinoties apstrādes temperatūrai, attālinās prognozētās lineārās regresijas zonas robežas.
6. Pētījuma rezultāti liecina, ka 180 °C un 195 °C temperatūrā apstrādātas priedes koksnes mehāniskās īpašības statistiskajā liecē, salīdzinot ar kontrolkoksnī, būtiski nesamazinās, tomēr 210 °C temperatūrā apstrādātas koksnes $f_{m,90,m}$ un $E_{m,90,m}$ ievērojami samazinās; 195 °C un 210 °C temperatūrā apstrādātas egles koksnes $f_{m,90,m}$ samazinās ievērojami, taču, salīdzinot ar kontrolkoksnī, pieaug $E_{m,90,m}$.

Šādas koksnes izmantošana nebūtu ieteicama izstrādājumiem, kam paredzams noslogojums liecē.

Literatūra

- Arhipova, I., Bāliņa, S.** (2006). Statistika ekonomikā un biznesā. Rīga, 364 lpp.
- Bekhṭa, P., Niemz, P.** (2003). Effect of high temperature on the change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57(5), 539-546.
- Hill, C.** (2006). Wood modification Chemical, Thermal and Other Processes. (2006) England, 233 p.
- Chang, C. I., Keith, C.T.** (1978). Properties of heat-darkened wood. II. Mechanical properties and gluability. Report, Eastern Forest Products Laboratory, Canada, No. OPX214E.
- Heat Treated Timber. (2003) CTBA, Paris., 96 p.
- Kubojima, Y., Okano, T., Ohta, M.** (2000a). Bending strength and toughness of heat-treated wood. *Journal of Wood Science*, 46(1), 8-15.
- Kūliņš, L., Greidiņš, Ģ.** (1998) Priedes koksnes mehānisko īpašību noteikšana. LLU raksti Nr. 14: 95-99.
- Lignin and its Properties. [WWW dokuments] – URL <http://www.lignin.org/01augdialogue.html> – [Resurss aprakstīts 2007. gada 11. februārī].
- MacLean, J. D.** (1953). Effect of steaming on the strength properties of wood. *Proceedings of the American Wood Preservers Association*, 49, 88-112.
- Mazela, B., Zakrzewski, R., Grześkowiak, W., Cofta, G., Bartkowiak, M.** (2004). Resistance of thermally modified wood basidiomycetes, The August Cieszkowski Agricultural Univeristy of Poznań. [WWW dokuments] – URL <http://www.ejpau.media.pl/volume7/issue1/wood/art-03.html> – [Resurss aprakstīts 2007. gada 11. februārī].
- Millett, M. A., Gerhards, G. C.** (1972). Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C. *Wood Science*, 4(4): 193-201.
- Molnar, S., Bariska, M.** (2002). Wood species of Hungary. 37 p.
- Rusche, H.** (1973a). Thermal degradation of wood at temperatures up to 2000 deg. C. I. Strength properties of wood after heat treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 31(7): 273-281.
- Jämsä, S., Viitaniemi, P.** (2001). Heat treatment of wood Better durability without chemicals. In: Heat treatment of wood in Finland – state of the art. [WWW dokuments] – URL: www.bfafh.de/inst4/43/pdf/heat_fra.pdf – [Resurss aprakstīts 2007. gada 6. februārī].
- ThermoWood® Handbook (2003). Finnish ThermoWood Association, Helsinki, 66 p.
- White, R. H., Dietenberger, M. A.** (2001). Wood products : thermal degradation and fire Encyclopedia of materials : science and technology. Elsevier Science Ltd, pp. 9712-9716.