
Dažādu antipirēnu ietekme uz egles *Picea abies* L. koksnes ugunsreakciju

E. Bukšāns¹

Bukšāns, E. (2009). Effect of fire retardants on the reaction to fire of *Picea abies* L. wood. *Mežzinātne / Forest Science* 20(53): 83-94.

Kopsavilkums: Koksnes apstrāde ar antipirēniem uzlabo tās ugunsreakciju. Būvniecībā visbiežāk izmanto egles *Picea abies* L. koksni, kuras apstrāde ar antipirēniem paplašina tās pielietojuma iespējas objektos ar paaugstinātām ugunsdrošības prasībām, ko nenodrošina neapstrādāta koksne. Latvijā pieejami dažādi gan vietējas izcelsmes, gan importēti antipirēni, taču nevienam no tiem nav deklarēta ugunsreakcijas klase.

Rakstā apkopoti pētījuma rezultāti par dažādu Latvijā izplatītu antipirēnu ugunsreakciju. Egles koksnes zāgmateriālu apstrāde izdarīta ar četriem dažādiem antipirēniem. Ugunsreakcijas testi veikti vienotajā dedzināšanas iekārtā (SBI) pēc standarta LVS EN 13823. Iegūtie rezultāti salīdzināti ar neapstrādātas egles koksnes degšanas rādītājiem.

Neapstrādāta egles koksne, saskaņā ar standartu LVS EN 13501-1, atbilst D ugunsreakcijas eiroklasei, bet, koksni apstrādājot ar antipirēnu, tās ugunsreakciju iespējams paaugstināt līdz C vai B klasei. Divi no pētījumā izvēlētajiem antipirēniem nodrošina koksnes atbilstību C ugunsreakcijas klasei un divi – B klasei. Labākos rezultātus uzrādīja ar termokīmiski reaģējošiem antipirēniem apstrādāta koksne.

Nozīmīgākie vārdi: ugunsreakcija, egles koksne, antipirēni.

...

Bukšāns, E., Department of Wood processing, Latvia University of Agriculture / Forest and Wood Products Research and Development Institute. **Effect of fire retardants on the reaction to fire of *Picea abies* L. wood.**

Abstract: Treatment of wood by fire retardants reduces its reaction to fire. Fire-retardant treated whitewood (wood of *Picea abies* L.), compared to untreated wood, which is commonly used in construction, is suitable for a greater variety of applications where higher fire safety is required. There are a number of fire retardants for wood available in Latvia, both domestic and imported, but for none of them correspondence to a definite fire class is specified.

The paper presents the results of the reaction to fire tests of whitewood treated by different fire retardants available in Latvia. Two impregnation and two coating type fire retardants were used for treating whitewood material. Samples of thickness 20 mm and moisture content of wood 11% were used. Untreated samples of the same dimensions were

¹ LLU Kokapstrādes katedra / Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts, Dobeles iela 41, Jelgava, Latvia, LV-3001, Latvija; e-pasts: edgars.buksans@e-koks.lv

used for reference tests.

Fire tests were done in the single burning item (SBI) according to Standard EN 13823 and the results were compared with those for untreated wood. Detailed data analysis is done to evaluate the heat release rate (HRR), the fire growth rate (FIGRA), and the total heat release (THR).

In all cases the treatment by fire retardants reduces the reaction to fire of whitewood by decreasing the heat release rate and the fire growth rate during burning. Fire retardants decreased also the total smoke production (TSP), thus allowing to classify the smoke release by index s1.

According to standard EN 13501-1, the reaction to fire of untreated whitewood corresponds to Fire Class D, while the treatment by fire retardants improves the reaction, which corresponds to Fire Class C or B. Two of the tested fire retardant treatments raise the reaction of whitewood to fire to Class B and the other two – to Class C. The best results were achieved with the fire retardant coatings expanding under the heat influence.

Key words: reaction to fire, whitewood, fire retardants.

Букшанс Э., Латвийский сельскохозяйственный университет, кафедра деревообработки. **Влияние использования разнообразных антипиренов на огнеустойчивость древесины ели *Picea abies* L.**

Резюме: Обработка древесины средствами противопожарной защиты является хорошим способом улучшения огнеустойчивости древесины.

В строительстве чаще всего используется древесина ели *Picea abies* L., обработка которой антипиренами (средствами противопожарной защиты) расширяет возможность её применения в строительстве зданий с повышенными требованиями противопожарной безопасности, которым не соответствует необработанная древесина.

В Латвии доступны различные средства противопожарной защиты как импортные так и местного производства, но их класс реакции на огонь не установлен.

В статье обобщены результаты проведенных испытаний по определению огнеустойчивости пиломатериалов древесины ели, обработанных доступными в Латвии разнообразными антипиренами. Испытания проводились с помощью единого обжигающего оборудования (SBI), соответствующего стандарту LVS EN 13823. Результаты сверены с показателями реакции на огонь необработанной древесины.

Необработанная древесина ели, согласно стандарту LVS EN 13501-1, относится к евроклассу D, но обработка средствами противопожарной защиты может повысить её огнеустойчивость до класса C или B.

Два испытанных средства противопожарной защиты повысили огнеустойчивость древесины ели до класса B, а два других – до класса C.

Наилучшие результаты достигнуты при обработке древесины ели с пенообразующими антипиренами.

Ключевые слова: реакция на огонь, древесина ели, антипирены (средства противопожарной защиты).

Ievads

Populārākais koksnes ugunsizturības uzlabošanas paņēmiens ir tās apstrāde ar antipirēniem, taču šobrīd Latvijā pieejamo antipirēnu ugunsreakcijas klase nav noteikta un nav zināmi arī dati par tādas koksnes ugunsizturību, kas apstrādāta ar antipirēniem.

No ekonomiskā un fizikālā viedokļa pretuguns aizsardzības pasākumos būtiski ir aizkavēt degšanas sākuma stadiju – attīstību. Šim mērķim izmanto piesūcināšanu vai apsmidzināšanu ar uguns aizsardzībai paredzētiem šķidrumiem – antipirēniem. Zināmi vairāki antipirēnu darbības mehānismi (Hribernik u.c., 2007):

- barjeras mehānisms, kad antipirēns izveido barjeru skābekļa piekļūšanai aizsargājamam materiālam;
- siltuma teorija, kas pamatojas uz siltuma spēju absorbēt antipirēnu, tādējādi aizkavējot uzliesmošanu;
- nedegošo gāzu teorija, kas pamatojas uz antipirēna sadalīšanos nedegošās gāzēs, kas samazina gan gaistošo savienojumu, gan skābekļa koncentrāciju to maisījumā zem uzliesmošanas līmeņa;
- brīvo radikāļu slazdu teorija, saskaņā ar kuru antipirēns, mijiedarbojoties ar termiskās sadalīšanās procesā iniciētiem aktivajiem radikāļiem, veido tādus, kas nespēj iesaistīties ķēdes reakcijas turpināšanā un veicina tās pārrāvumu;
- palielinātas pārogletās un samazinātas gaistošo savienojumu masas teorija, antipirēnam samazinot pirolīzes temperatūru, pie kādas notiek koksnes pāroglešanās, tādējādi veidojot vairāk kokogļu un mazāk gaistošo savienojumu.

Biežāk antipirēnos izmantotais amonija dihidrogenfosfāts, amonija hidrogenfosfāts un amonija polifosfāts ar skābes katalīzi veicina koksnes dehidratēšanos (ūdens izdalīšanos) un dekarboksilāciju, kas kopā ar ūdens lielo iztvaikošanas siltumu samazina pirolīzes temperatūru un gaistošo savienojumu (spirts un aldehīdi) veidošanos, vienlaicīgi palielinot pārogleto koksnes masu.

Uzskata, ka antipirēni, kas pamatā iedarbojas ķīmiski, ir efektīvāki par tiem, kuru darbība pamatojas uz fizikālām parādībām. Antipirēnu efektivitāte prognozējama, sadedzinot ar tiem apstrādātu koksni attiecīgās iekārtās un nosakot tās masas zuduma ātrumu, siltumenerģijas izdalīšanos un degšanas atlikumu (Liodakis u.c., 2006).

Vispārinot izšķirami divi koksnes ugunsizsardzības veidi – koksnes piesūcināšana un apdare (Schaffer, 1992). Ja apdari saprotam kā koksnes pārklāšanu ar materiālu, kas uzlabo tās ugunsizturību, tad piesūcināšana ir daudz sarežģītāks process, kura gaitā notiek koksnes virspusēja apstrāde ar darba šķīdumu, pielietojot smidzināšanu vai otu, kā arī iegremdēšanu darba šķīdumā, augstspiediena impregnēšanu un ķīmisko modifikāciju. Plašu dažādu neorganisku antipirēnu izpēti ir veikusi LeVan (1984), raksturojot dažādus antipirēnu veidus, to efektivitāti un procesus degšanas laikā, par vienu no labākajiem atzīstot antipirēnu $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$.

Pagājušajā gadsimtā daudzi zinātnieki pastiprinātu uzmanību veltījuši koksnes ugunsizsardzības līdzekļu izstrādei, galvenokārt veicot koksnes piesūcināšanu ar neorganiskajām vielām, kas manāmi uzlaboja koksnes materiālu ugunsizturību. Visi

neorganiskie materiāli koksne ir nenoturīgi un līdz ar to pielietojami tikai vietās, ko neietekmē nokrišņi vai paaugstināta gaisa relatīvā mitruma svārstības. Mitruma izplatīšanās piesūcinātā koksne izraisa neorganisko vielu „izskalošanos” (Schaffer, 1992). Sweet u.c. (1996) pētījuši koksnes bioloģisko noturību un ugunsreakciju, izmantojot kombinēto koksnes apstrādes veidu ar antipirēniem un bioloģiskās stabilitātes uzlabošanas līdzekļiem. Pētījumu rezultāti, pēc paātrinātas novecināšanas testa, uzrādīja nelielu ugunsnoturības spēju samazināšanos. Tomēr, pēc Tsantaridis un Östman (2007) veiktajiem ilggadīgajiem novērojumiem, ar antipirēnu apstrādātas koksnes ugunsreakcija, pēc maksīgās un dabiskās novecināšanas, ievērojami samazinās. Šīs koksnes papildus apdarei tika pielietoti aizsargpārklājumi – krāsa un eļļa. Tas liecina, ka ilgtermiņā antipirēnu iedarbības efektivitāte koksne mazinās. Paraugi atkārtoti izvērtēti pēc 3 un 5 gadiem.

Zināmi arī efektīvi organisko un neorganisko vielu savienojumi, piemēram, Ellis u.c. (1987), apstrādājot koksni ar dietilhlorfosfātu, konstatējuši, ka ievērojami – vairāk nekā 20% apmērā – palielinājies atlikušās ogles daudzums.

Antipirēnu iedarbības mehānismi koksne ir dažādi (Hakkarainen u.c., 2005; Östman un Tsantaridis, 1995) un tie:

- pastiprināti veido ogli, kas aizkavē koksnes sakaršanu;
- pirolīzes gāzes pārvērš nedegošas, piemēram, ūdens tvaikos un CO_2 ;
- temperatūras ietekmē veido nedegošu slāni uz koksnes virsmas;
- veido brīvos radikāļus, kas cikliski reaģē ar

pirolīzes gāzēm;

- veido izolējošu putu pārklājumu, kas aizsargā koksni no sakaršanas.

Zhang u.c. (2007) termokīmiski reaģējošu antipirēna sastāvu pagatavojuši, par divkomponentu matricu izmantojot nepiesātinātu poliesteru un epoksīda sveķus, par skābes cietinātāju – amonija polifosfātu, par uzbriedinātāju aģentu – melamīnu, par oglekļa avotu – pentaeritrolu un par sinenerģētiku – uzbriestošu grafitu un titāna oksīdu. Rezultātā 2,0 mm biezs šī sastāva uzputojot antipirēna slānis nodrošinājis 210 minūšu ilgu ugunsizturību. Pārklājuma pētīšanai izmantota termogravimetriskā analīze (TGA), diferenciāli skanējošā kalorimetrija (elektronu skanējošā mikroskopija (ESM)), rentgena staru difrakcija (XRD) un Furjē pārveidojuma infrasarkanā spektroskopija (FTIR). Pārklājums stabilitāti saglabājis līdz 277°C un sadalījies pie karsēšanas 290-500°C temperatūrā, izdalot NH_3 un H_2O . Sadalīšanās pakāpe 500-700°C sasniedza 81%, kas saistīts ar fosforskābes, polifosforskābes un metafosforskābes izdalīšanos. Ap 790°C temperatūrā svara zudums sasniedza 88%. Melamīns pilnīgi (100%) sadalās zem 370°C, izdalot NH_3 , kas uzputo izkusušo un pārorgloto polimēru, veidojot uzbrieduš, sīkporainu pārorglējuma slāni. Ja amonija polifosfāta : pentaeritrola : melamīna attiecība ir 8:3:5, pārorglota slānis ir homogēnāks (pastiprināti pārorglots, kas nodrošina vislabāko ugunsizturību). Jo biežāks un kompaktāks ir šis slānis, jo ugunsizturība ir augstāka. Dehidratācijas katalizatora un uzbriedinātāja sadalīšanās temperatūrai jābūt iespējami tuvākai pārorglējuma aģenta kušanas

temperatūrai (Zhang u.c., 2007).

Komerčiāli ražotu antipirēnu ķīmiskais sastāvs parasti nav zināms, jo ražotāji dažādu apsvērumu dēļ šo informāciju neizpauž, sevišķi tas attiecināms uz jaunākās paaudzes antipirēniem. Latvijas tirgū ir dažāda veida antipirēni, tomēr to ugunsreakcijas parametri nav deklarēti un nav pieejama arī informācija par šo antipirēnu iedarbības efektivitāti. Līdz ar to konkrētā pētījuma mērķis ir novērtēt Latvijā biežāk lietoto antipirēnu efektivitāti uz egles *Picea abies* L. koksnes zāgmateriālu izpētes bāzes.

Materiāli un metodes

Dažādu antipirēnu ietekmes uz koksnes degšanas procesu izpētei izvēlēti četri dažādi antipirēni, no kuriem divi ir sāļu, skābju bāzes antipirēni iestrādei ar piesūcināšanas metodi un divi – uzputojošie uguns aizsardzības sastāvi. Informācija par pielietotajiem antipirēniem apkopota 1. tabulā.

Pētījumā izmantota nejausi izvēlēta egles (*Picea abies* L.) koksne, neizvērtējot tās anizotropiju. Egles kokmateriāli visplašāk tiek pielietoti būvniecībā, tādēļ ugunsdrošības paaugstināšana visaktuālākā ir tieši šīs koku

sugas materiāliem. Eksperimentiem izgatavoti paraugi, kuru izmērs 1500 x 500 x 20 mm. Egles zāgmateriāli ar sākotnējo šķērsriezumu 25 x 100 mm kalibrēti 20 mm biezumā un iestiprināti horizontāli, vertikālās līstes izvietojot 150 mm atstatumā no vairoga sānu malām.

Vienu paraugu veido divi vairogi. Ar katru no uguns aizsardzības sastāviem sagatavoti 5 paraugi un vēl 5 – no neapstrādātas egles koksnes.

Paraugu apstrāde ar antipirēniem veikta atbilstoši izgatavotāju rekomendācijām, uzklājot noteikto daudzumu un tā kontrolei pielietojot svēršanu.

Pirms eksperimentu uzsākšanas paraugi kondicionēti, atbilstoši standarta LVS EN 13238 prasībām, 23°C temperatūrā un pie 50% gaisa relatīvā mitruma. Kondicionēšanas laiks – vismaz 350 h.

Pirms eksperimentu veikšanas katra parauga vidējā blīvuma noteikšanai tas nosvērts ar precizitāti 1 g, kā arī pārbaudīta tā mitruma daudzuma atbilstība standartam LVS EN 13183-2. Koksnes mitrums pēc kondicionēšanas – $11 \pm 1\%$.

1. tabula, Table 1

Paraugu sagatavošana un marķēšana
Preparing and marking the samples

Materiāls <i>Material</i>	Ražotājs <i>Manufacturer</i>	Marķējums <i>Marking</i>	Normatīvais patēriņš, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ <i>Normative consumption, $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$</i>
Neapstrādāta egles koksne <i>Untreated spruce wood</i>	–	E	–
UNITHERM AWR	Du Pont Performance GmbH, Vācija	A1	400
PLASMOSTOP D	Izostav, Čehija	A2	250
TENTS	SIA Katekss, Latvija	A3	300
Antipirēns	SIA V Pero, Latvija	A4	400

Eksperimentu norise

Pirms eksperimentu uzsākšanas, lai izvairītos no tehniskām kļūmēm un varētu veikt iegūto datu salīdzināšanu, kalibrēta SBI ugunsreakcijas testēšanas iekārta.

Eksperimenti izdarīti atbilstoši standarta LVS EN 13823 metodikai. Kopējais eksperimenta laiks vienam paraugam – 1560 s. Datu reģistrācija veikta ar laika intervālu 3 s.

Iegūtie empīriskie dati apstrādāti ar aprakstošās statistikas metodēm.

Rezultāti

Pirms eksperimentu uzsākšanas noteikts koksnes mitrums – $11 \pm 0,5\%$, kā arī tās blīvums – $500 \pm 20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Izmēģinājumu rezultātā iegūti šādi dati par ugunsreakciju raksturojošiem rādītājiem:

FIGRA – uguns pieauguma ātruma indekss, $\text{W} \cdot \text{s}^{-1}$;

HRR – degšanas momentānā jauda, kW;

THR – kopējais izdalītā siltuma daudzums, MJ;

SMOGRA – dūmgāzu izdalīšanās ātruma palielinājums, $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$;

TSP – kopējais dūmgāzu izdalīšanās daudzums, m^3 .

Datu automatiskās apstrādes programmatūras aprēķinātās ugunsreakcijas parametru vērtības dotas 2. tabulā. FIGRA(0,2) un FIGRA(0,4) ir momentānās FIGRA vērtības brīdī, kad THR sasniedzis 0,2 MJ un 0,4 MJ robežvērtības. Pie vienmērīgas degšanas FIGRA(0,2) un FIGRA(0,4) ir vienādi, kas novērojams kokmateriālu degšanas procesā. Pētījumos konstatēts, ka ar antipirēniem apstrādāta koksne sākumā deg ar palielinātu uguns ātrumu, kam seko strauja degšanas

samazināšanās. Īpaši izteikti tas notiek, lietojot antipirēnu A2, kas skaidrojams ar pārklājuma uzpušošanās reakcijas ķīmiskajām norisēm, kā arī pirolīzes produktu izdalīšanos līdz brīdim, kad izveidojies ugunsdrošo putu slānis.

Dažādu materiālu degšanas procesu nosaka daudzi blakus faktori: jo lielāka mēroga uguns testēšanas metode tiek lietota, jo faktoru, kas izraisa arī lielāku rezultātu izkliedi, ir vairāk. Koksne ir anizotrops materiāls un kombinācijā ar citiem degšanu ietekmējošiem faktoriem izraisa palielinātu rezultātu izkliedi: neapstrādātai egles koksnei tā aptuveni ir 12% no vidējās FIGRA vērtības. Galvenie ugunsreakcijas rādītāji ir FIGRA un THR (600), tomēr papildus šīs reakcijas indeksu noteikšanai svarīgi aplūkot arī dūmu veidošanos, ko raksturo SMOGRA un TSP. Visvairāk dūmu rada neapstrādāta koksne, kas skaidrojams ar degšanas procesa norisi. Materiāla degšana ar lielāku siltuma jaudu izraisa arī lielāku dūmu daudzumu. Ar antipirēniem apstrādātu egles kokmateriālu degšanas laikā dūmu veidošanās ir pat līdz 50% mazāka nekā neapstrādātai koksnei. Pētījumā nav noteikts dūmu ķīmiskais sastāvs, kas, lietojot antipirēnu, varētu uzrādīt kaitīgu vielu klātbūtni, bet veikta dūmgāzu optiskās caurlaidības analīze un tādējādi noskaidrots dūmu daudzums.

Koksnes degšanas un antipirēnu darbības mehānismu padziļinātai izpētei ir veikti aprēķini, lai ilustrētu degšanas procesa norisi noteiktā laika periodā. Būtiskākais kritērijs minētā procesa dinamikas raksturošanai ir degšanas jauda (HRR): 1. attēls (a, b, c un d grafiks) rāda antipirēnu A1, A2, A3 un A4 (pelēkā krāsā) degšanas jaudu salīdzinājumā ar neapstrādātu egles

2. tabula, Table 2

Ugunsreakcijas parametri
Parameters for the reaction to fire

Ugunsreakcijas parametri Reaction to fire parameters	FIGRA (0,2)	FIGRA (0,4)	THR _{600s}	SMOGRA	TSP _{600s}
Mērvienības / Units	W·s ⁻¹	W·s ⁻¹	MJ	cm ² ·s ⁻²	m ²
Egles koksne / Spruce wood					
Vidējais / Average	374,5	374,5	15,2	8,3	60,6
Standartnovirze / Standarddeviation	47,1	47,1	2,0	3,0	7,5
Egle ar antipirēnu A1 / Spruce with fire retardant A1					
Vidējais / Average	22,5	22,5	2,2	4,7	30,9
Standartnovirze / Standarddeviation	8,5	8,5	0,7	2,3	2,5
Egle ar antipirēnu A2 / Spruce with fire retardant A2					
Vidējais / Average	155,8	36,9	3,8	5,8	39,5
Standartnovirze / Standarddeviation	55,4	2,9	0,5	1,7	5,4
Egle ar antipirēnu A3 / Spruce with fire retardant A3					
Vidējais / Average	139,8	130,4	7,0	7,9	42,7
Standartnovirze / Standarddeviation	13,1	7,4	1,1	3,9	13,3
Egle ar antipirēnu A4 / Spruce with fire retardant A4					
Vidējais / Average	130,3	119,8	7,0	9,3	49,4
Standartnovirze / Standarddeviation	27,8	17,2	0,8	2,3	10,2

koksni. Efektīvākie šajā ziņā ir termoķīmiski reaģējošie antipirēni A1 un A2, kuru pārklājums temperatūras iedarbībā veido līdz 20 mm biezu, nedegošu putu slāni, kas pasargā koksni no uzkaršanas un aizkavē pirolīzes procesu norisi. Termoķīmiski reaģējošo antipirēnu efektivitāte visaugstākā ir 600 s laikā no saskaršanās brīža ar ārēju liesmu, jo pēc tam putu slānis noārdās un uguns aizsardzība kļūst vājāka (skat. 1.att. a un b). Ar šiem antipirēniem apstrādātas koksnes degšanas jauda pirmajās 10 minūtēs, salīdzinot ar neapstrādātas koksnes degšanu, ir 10 reižu mazāka. Antipirēns A2, saskaroties ar ārēju liesmu, salīdzinājumā ar neapstrādātu koksni, sākumā izraisa īslaicīgu jaudas pieaugumu – līdz 10 kW (skat. 1. att. b). Eksperimentu laikā netika novērota parauga aizdegšanās,

kas liecina par nepilnīgu ķīmisko reakciju. Termoķīmiski reaģējošie antipirēni 2-4 reizes pildzina koksnes aizdegšanos, jo aizkavē koksnes sakaršanu, un tādēļ pirolīzes process sākas vēlāk. Sāļu, skābju bāzes antipirēnu (A3 un A4) darbības princips orientēts uz degšanas procesa slāpēšanu un ierobežošanu. Pētījumos novērots, ka šāda tipa antipirēni nepildzina koksnes aizdegšanās laiku – tas ir tāds pats vai pat mazāks nekā neapstrādātai koksnei: pēc SBI testa metodes aptuveni 30-40 s. Eksperimentos konstatēts, ka antipirēnu A3 un A4 iedarbība būtiski neatšķiras, un, salīdzinājumā ar neapstrādātu koksni, tie samazina liesmu izplatīšanos. Antipirēni A3 un A4 nodrošina vienmērīgāku koksnes degšanu ar jaudu, kas ir divas reizes mazāka nekā neapstrādātai koksnei (skat. 1. att.

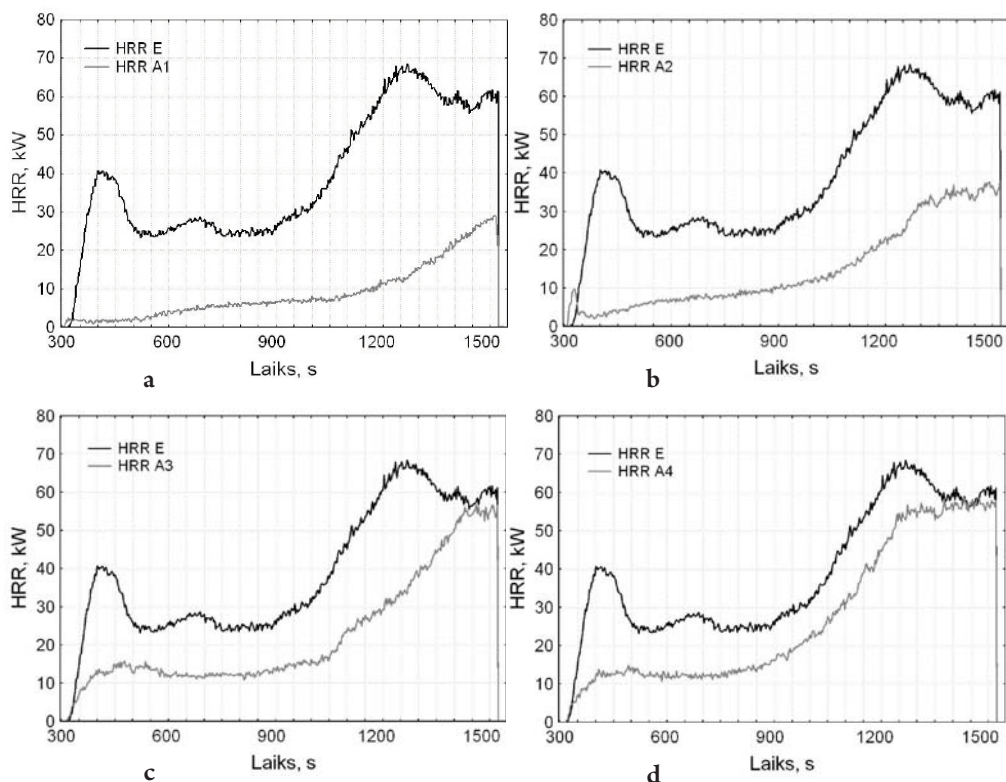
c un d grafiku). Degšanas jaudas būtiska palielināšanās sākas pēc 900 s no testa starta momenta, kas skaidrojams ar liesmu veidošanos parauga otrajā pusē.

Antipirēni A1 un A2 ievērojami samazina uguns pieauguma ātruma indeksa vērtību, kas ir līdz 20 reizes mazāka nekā neapstrādātai koksnei (skat. 2.att. a un b grafikus; pelēkā krāsā). Antipirēnu A3 un A4 FIGRA vērtības testa sākuma ir tikai 3-4 reizes mazākas, kas skaidrojams ar materiāla aizdegšanos (skat. 2. att. c un d grafiku). Šajā gadījumā uguns aizsardzības līdzekļu A3 un A4 darbības mehānisms vērsts uz

liesmu izplatības ierobežošanu, kas redzams, salīdzinot apstrādātas un neapstrādātas koksnes FIGRA liknes.

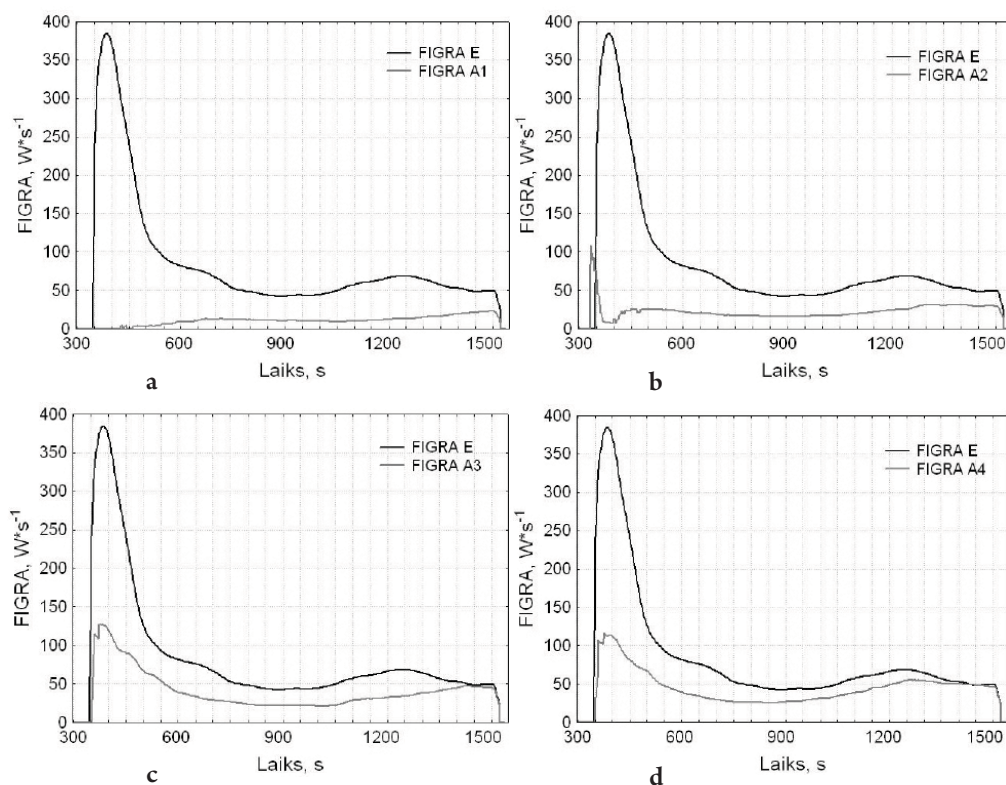
Kopējā izdalītā siltuma daudzuma raksturlienes izmantojamas dažādu antipirēnu efektivitātes salīdzināšanai (skat. 3. att.). Labākos rezultātus dod uzputojošais uguns aizsardzības sastāvs A1, bet mazefektīvs attiecīgi ir A4.

Ja salīdzina THR600s vērtības, kas ir galvenais kritērijs materiālu klasifikācijā, tad uguns aizsardzības līdzekļu A3 un A4 uzrādītie rezultāti ir vienādi (skat. 4. att.).



1. attēls. Degšanas jaudas dinamika apstrādātai un neapstrādātai egles koksnei (a – A1; b – A2; c – A3; d – A4).

Figure 1. Heat release rate for fire-retardant treated and untreated whitewood.



2. attēls. Uguns izplatīšanās ātruma indekss apstrādātai un neapstrādātai egles koksnei (a – A1; b – A2; c – A3; d – A4).

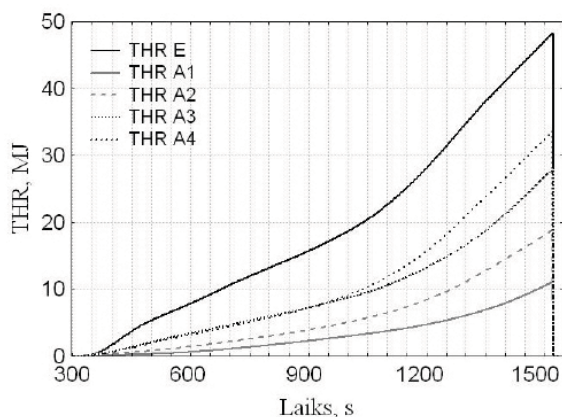
Figure 2. Fire growth rate for fire-retardant treated and untreated whitewood.

Diskusija

Analizējot pētījuma rezultātus, secināts, ka antipirēni A1 un A2 pieskaitāmi pie termoķīmiski reaģējošiem saskaņā ar autoru Hakkarainen u.c., (2005), Östman un Tsantaridis (1995) izstrādāto antipirēnu klasifikāciju, savukārt antipirēnu A3 un A4 darbības rezultātā veidojas palielināts ogle slānis un nedegošu gāzu daudzums, kas neaizsargā koksni no sakaršanas.

Galvenais antipirēnu pielietojanas mērķis ir uzlabot ugunsreakcijas rādītājus, kas

savukārt, kaut arī nedaudz, tomēr ietekmē konstrukcijas ugunsizturību atkarībā no izmantotā antipirēna. Tā kā ugunsreakcijas parametru uzlabošana ir primārais uzdevums, tad būtiski ir aplūkot ugunsreakcijas klasifikācijas kritērijus, kas pēc standarta LVS EN 13501:2007 doti 3. tabulā. Tabulā ietverti ugunsreakcijas klasifikācijas kritēriji B, C un D ugunsreakcijas klasei, izņemot A2 klasi, kura koksnes produktiem nav iegūstama. Iekļaušanai A2 ugunsreakcijas klasē ir veicama materiāla degšanas siltuma

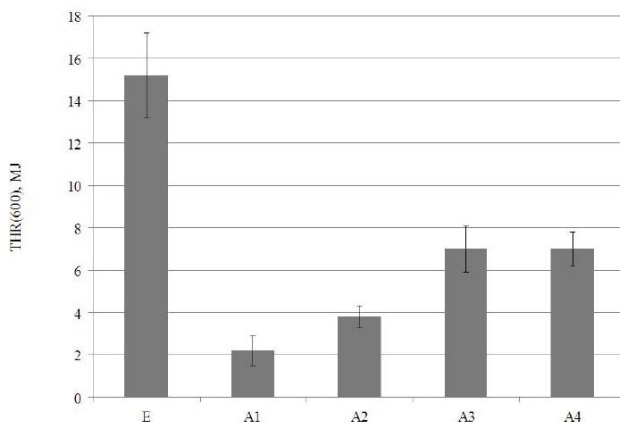


3. attēls. Kopējais siltuma izdalīšanās daudzums apstrādātai un neapstrādātai egles koksnei.

Figure 3. Total heat release rate for fire-retardant treated and untreated whitewood.

4. attēls. Kopējais siltuma izdalīšanās daudzums 600 s laikā.

Figure 4. Total heat release rate in 600 s.



noteikšana skābekļa vidē, kā rezultātā konstatēts, ka koksnes sadedzes izdalītais siltums vairākkārtīgi pārsniedz A2 ugunsreakcijas klases kritērijus.

Salīdzinot pētījuma rezultātus ar ugunsreakcijas klasifikācijas kritērijiem, secināts, ka neapstrādāta egles koksne pieskaitāma D ugunsreakcijas klasei, pie nosacījuma, ka materiāla biezums nav mazāks par 20 mm, kas atbilst eksperimentos iegūtajiem datiem. D ugunsreakcijas klasei ir plašas FIGRA robežas – 250 līdz 750 W·s⁻¹,

un egles koksnei pētījumā noteiktā FIGRA ir 370 W·s⁻¹.

Pētījuma dati neraksturo antipirēnu darbību ilgtermiņā. Saskaņā ar literatūras datiem ilgstošas ekspluatācijas gaitā antipirēni zaudē uguns aizsardzības spējas un, lai tās atjaunotu, izdarāma atkārtota apstrāde. Tā kā termokīmiski reaģējošie antipirēni pielietojumā koksnei ir salīdzinoši jauns produkts, informācija par to efektivitāti pēc ilggadējas izmantošanas šobrīd vēl nav pieejama.

3. tabula, Table 3

Ugunsreakcijas klasifikācijas kritēriji pēc standarta LVS EN 13501-1:2007

Reaction to fire classification criteria according to LVS EN 13501:2007

Ugunsreakcijas klase <i>Reaction to fire class</i>	Testēšanas metodes <i>Test methods</i>	Kritēriji <i>Criteria</i>
B	LVS EN 13823 un	$FIGRA \leq 120 \text{ W} \cdot \text{s}^{-1}$ un $LFS < \text{parauga šķautne un}$ $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$
	LVS EN ISO 11925-2 Laiks = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ 60 s
C	LVS EN 13823 un	$FIGRA \leq 250 \text{ W} \cdot \text{s}^{-1}$ un $LFS < \text{parauga šķautne un}$ $THR_{600s} \leq 15 \text{ MJ}$
	LVS EN ISO 11925-2 Iedarbība = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ 60 s laikā
D	LVS EN 13823 un	$FIGRA \leq 750 \text{ W} \cdot \text{s}^{-1}$
	LVS EN ISO 11925-2 Iedarbība = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ 60 s laikā

Secinājumi

1. Egles koksnes materiāli pieskaitāmi D ugunsreakcijas klasei, taču atkarībā no antipirēna tipa un darbības principiem iespējama tās uzlabošana līdz C vai B klasei. Lai sasniegtu atbilstību B ugunsreakcijas klases kritērijiem, nepieciešams koksni pasargāt no sakaršanas un pirolīzes sākšanās, kas izdarāms, pielietojot termokīmiski reaģējošus antipirēnus.
2. Ar antipirēniem A1 un A2 apstrādāta egles koksne pieskaitāma B ugunsreakcijas klasei, savukārt ar A3 un A4 apstrādāta koksne – C ugunsreakcijas klasei.
3. Antipirēni A3 un A4 samazina uguns pieauguma ātruma indeksu FIGRA divas līdz trīs reizes, savukārt termokīmiski reaģējošie antipirēni A1 un A2 – 10-15 reižu.
4. No pētījumā pielietotajiem antipirēniem efektīvākais bija antipirēns A1, savukārt antipirēni A3 un A4 uzrādīja ļoti līdzīgus rezultātus.

Literatūra

- Ellis, W. D., Rowell, R. M., LeVan, S. L., Susott, R. A. (1987). Thermal degradation properties of wood reacted with diethylchlorophosphate or phenylphosphonic dichloride as potential flame retardants. Wood and fibre science, 19(4), 1987, pp. 439-445.
- Hakkarainen, T., Mikkola, E., Östman, B., Tsantaridis, L., Brumer, H. and Piispanen, P. (2005). State-of-the-art, InnoFireWood, 47 p. Available at: <http://virtual.vtt.fi/virtual/innofirewood/stateoftheart/ifw-stateoftheart.pdf>, 04.08.2006.
- Hribernik, S., Smole, M. S., Kleinschek, K. S., Bele, M., Jamnik, J. and

- Gaberscek, M.** (2007). Flame retardant activity of SiO₂-coated regenerated cellulose fibres. *Polymer Degradation and Stability*, 92, (11), 2007, pp. 1957-1965.
- LeVan, S.L.** (1984). Chemistry of fire retardancy. In Rowell, Roger M., ed . The chemistry of solid wood. *Advances in chemistry series 207*. Washington, DC: American Chemical Society; 1984; Chapter 14.
- Liodakis, S., Vorisis, D., Agiovlasitis, I. P.** (2006). Testing the retardancy of various inorganic chemicals on smoldering combustion of *Pinus halepensis* needles. *Thermochimica Acta*, 444, 2006, pp. 157-165.
- Östman, B., Tsantaridis, L. D.** (1995). Heat release and classification of fire retardant wood products, *Fire and Materials*, 1995. Vol. 19, No. 6, pp. 253-258.
- Schaffer, E.L.** (1992). Fire resistive structural design. *Proceedings of international seminar on wood engineering*. Pieejams: <http://www.fpl.fs.fed.us/document-lists/firelist.html> 07.06.2007.
- Sweet, M.S., LeVan, S.L., White, R.H., Tran, H.C., Groot, R.** (1996). Fire performance of wood treated with combined fire-retardant and preservatives systems. Res. Paper FPL-RP-545, Madison. Forest Service, USDA. 10 p. Available at: <http://www.fpl.fs.fed.us/document-lists/firelist.html> 07.06.2007.
- Tsantaridis, L., Östman, B.** (2007). Durability of the reaction to fire performance of FRT wood products in interior and exterior applications, *Proceedings of 11th international conference Interflam 2007 volume 1*, Interscience communications Ltd., West yard house, Guildford Grove, Greenwich, London SE10 8JT, pp. 33-44.
- Zhang Gu,J, G., Dong, S., Zhang, Q., Kong, J.** (2007). Studie on preparation and fire-retardant mechanism analysis of intumescent flame-retardant. *Surface & Coatings Technology* 201, 2007, 7835-7841, doi:10.1016/j.surfcoat.2007.03.020.