

## PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNE NIEKTÓRYCH RODZAJÓW DREWNA MODYFIKOWANEGO

*Michał Domański, Longin Glijer*

Instytut Podstaw Techniki SGGW-AR w Warszawie

### WSTĘP

W ostatnich latach daje się zauważyć nagły rozwój wytwarzania drewna zmodyfikowanego. Głównym celem modyfikacji drewna jest zwiększenie jego właściwości mechanicznych i właściwości te są w przeważającej mierze przedmiotem badań.

W Zakładzie Techniki i Energetyki Ciepłej Wydziału Technologii Drewna SGGW - AR w Warszawie podjęto badania wpływu modyfikacji drewna na jego właściwości cieplne.

W niniejszej pracy zostaną przedstawione wyniki dotychczasowych badań współczynnika przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ), współczynnika wyrównania temperatury ( $a$ ), ciepła właściwego ( $c$ ) i temperatury zapalenia ( $t_z$ ) dla następujących rodzajów drewna zmodyfikowanego: lignamonu, lignostonu, lignofolu i lignomeru.

### OPIS BADANYCH RODZAJÓW DREWNA MODYFIKOWANEGO

#### LIGNAMON

Lignamon jest tworzywem produkowanym na skalę przemysłową w Czechosłowacji. Otrzymywany jest z litego drewna nasyczonego amoniakiem a następnie prasowanego.

Badaniom poddany był lignamon o gęstości  $713 \text{ kg/m}^3$  otrzymany z drewna bukowego o gęstości  $647 \text{ kg/m}^3$ . Wilgotność badanego lignamonu wynosiła  $7\%$ , natomiast drewna bukowego  $4\%$  (wilgotności równoważne dla  $t = 20^\circ\text{C}$  i  $\eta = 36\%$ ).

## LIGNOSTON

Lignoston otrzymuje się w wyniku prasowania drewna litego, w kierunku prostopadłym do przebiegu włókien z równoczesną obróbką termiczną.

Badano lignoston bukowy wyprodukowany w Zakładach Przemysłu Sklejek w Białymstoku w normalnym procesie technologicznym. Średnia gęstość lignostonu wynosiła  $1218 \text{ kg/m}^3$ , wilgotność  $0\%$ .

## LIGNOFOL

Lignofol jest tworzywem otrzymywanym w wyniku sklejanie pod ciśnieniem na gorąco klejem wodoodpornym fornirów o grubości poniżej  $1 \text{ mm}$ .

Badano lignofol bukowy, równoległowarstwowy otrzymany z fornirów grubości  $0,71 \text{ mm}$  klejonych żywicą fenolowo-formaldehydową „fenolit — 43” typu rezolowego w roztworze wodnym. Lignofol ten został wyprodukowany na zlecenie Instytutu Podstaw Techniki SGGW - AR przez Laboratorium Branżowe Sklejek w Bydgoszczy.

Gęstość badanego lignofolu wynosiła  $1284 \text{ kg/m}^3$ , wilgotność  $0\%$ .

## LIGNOMER

Lignomer jest tworzywem otrzymywanym w wyniku wprowadzenia do drewna monomerów i następnie ich spolimeryzowania.

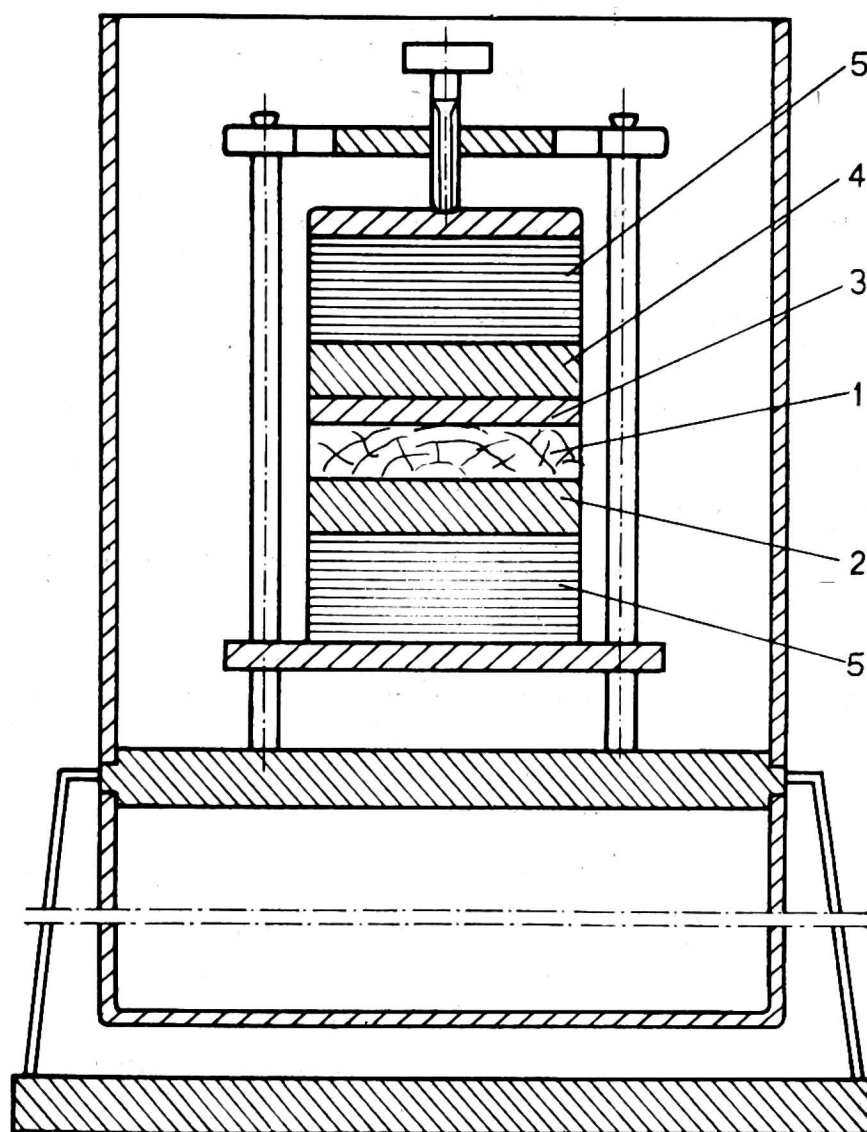
Badaniom poddano lignomer brzozyowy o zawartości polistyrenu  $85\%$ . Gęstość lignomeru wynosiła  $1021 \text{ kg/m}^3$ , wilgotność —  $0\%$ .

## METODYKA BADAŃ

## WYZNACZANIE WSPÓLCZYNNIKA PRZEWODZENIA CIEPŁA

Współczynnik przewodzenia ciepła wyznaczano w zminiaturyzowanym aparacie Poensgena, którego schemat przedstawia rysunek 1 w warunkach ustalonego ruchu ciepła. Próbkę badanego materiału 1 o wymiarach  $50 \times 50 \times 7$  z gładko obrobionymi szerokimi płaszczyznami umieszczona była między miedzianą płytką 2 zasilaną z ultratermostatu wodą a grzejnikiem 3 zasilanym prądem stałym. Nad grzejnikiem, nad cienką warstwą korka umieszczana była druga płytką 4 zasilana z ultratermostatu wodą o temperaturze około  $10 \text{ K}$  wyższą od temperatury wody dopływającej do płytki dolnej.

Temperatura płytki 4 była równa temperaturze grzejnika, spełniała więc rolę izolacji cieplnej, powodując przepływ całego ciepła wytworzonego w grzejniku przez próbkę badanego materiału do płytki z wodą chłodzącą. Wartość  $\lambda$  obliczano ze wzoru:



Rys. 1. Schemat aparatu Poensgena

1 — próbka badanego materiału, 2 — płytka chłodząca, 3 — grzejnik, 4 — płytka grzejna, 5 — izolacja

Tabela 1

Współczynnik przewodzenia ciepła i temperatury zapalenia lignamonu i drewna bukowego w temperaturze 20 °C

Rodzaj materiału	Kierunek ruchu ciepła	Współczynnik przewodzenia ciepła W/mK	Wilgotność materiału %	Gęstość materiału kg/m <sup>3</sup>	Temp. °C
Lignamon		0,543	4,4	720	295
	t	0,221	4,1	710	
	r	0,184	4,1	707	
Drewno bukowe		0,448	7,0	656	286
	t	0,185	7,1	638	
	r	0,158	7,1	647	

$$\lambda = \frac{U \cdot J \cdot s}{\Delta t \cdot \varphi} - K \cdot \text{W/mK} \quad (1)$$

gdzie:

$U$  — spadek napięcia na grzejniku, V,

$J$  — prąd grzejnika, A,

$s$  — grubość badanej próbki, m,

$F$  — powierzchnia szerokiej płaszczyzny badanej próbki, m<sup>2</sup>,

$\Delta t$  — różnica temperatur szerokich płaszczyzn badanej próbki, K

$\varphi$  — współczynnik uwzględniający spadek napięcia na amperomierzu,

$K$  — poprawka uwzględniająca straty ciepła do otoczenia i elementów aparatu.

#### WYZNACZANIE WSPÓLCZYNNIKA WYRÓWNIANIA TEMPERATURY

Współczynnik wyrównywania temperatury wyznaczano w zmodyfikowanym aparacie Poensgena opierając się na teorii stanu uporządkowanego. Stan ten występuje w nieustalonym ruchu ciepła podczas ochładzania lub ogrzewania ciała w środowisku o stałej temperaturze, przy wartości  $F_o > 0,5$ . W stanie tym zmiany różnicy temperatury środowiska i dowolnego punktu ciała mają charakter eksponenty. Szybkość tych zmian jest charakteryzowana przez parametr zwany tempem chłodzenia lub ogrzewania  $m$ . Wartość  $m$  oblicza się ze wzoru:

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1} \quad (2)$$

gdzie:

$\vartheta_1$  i  $\vartheta_2$  — różnica temperatury środowiska i dowolnego punktu ciała w czasie  $\tau_1$  i  $\tau_2$ .

Praktycznie przy wartości liczby  $B_i = 100$  tempo chłodzenia (ogrzewania) przyjmując wartość maksymalną i staje się proporcjonalnie do wartości współczynnika wyrównywania temperatury  $a$

$$m = \frac{a}{K}, \quad 1/s \quad (3)$$

$K$  — współczynnik kształtu ciała, m<sup>2</sup>;

z powyższego:

$$a = m \cdot K, \quad m^2/s. \quad (4)$$

W aparacie Poensgena umieszczono dwie próbki badanego materiału o wymiarach jak przy pomiarze  $\lambda$ , między dwoma płytkami zasilanymi

z ultratermostatów wodą o tej samej temperaturze. Grzejnik był usunięty. Między próbkami badanego materiału znajdowała się spoina termopary, druga spoina tej termopary była wlutowana w jedną z płytek.

Po wyliczeniu wartości  $m$  ze wzoru (2) obliczano wartość  $a$  według wzoru (4).

Mając wartość  $a$  oraz wyznaczoną na drodze stereometrycznej gęstość materiału obliczano wartość ciepła właściwego  $c$  z zależności:

$$c = \frac{\lambda}{a \cdot \rho}, \quad \text{kJ/kgK} \quad (5)$$

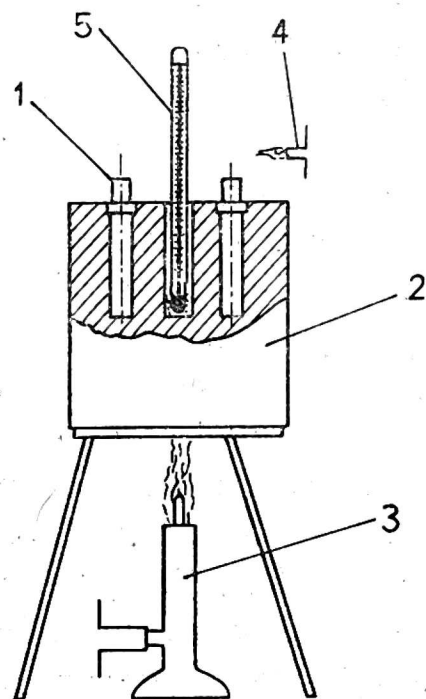
gdzie:

- $\lambda$  — współczynnik przewodzenia ciepła, kW(m·K),
- $a$  — współczynnik wyrównywania temperatury, m<sup>2</sup>/s,
- $\rho$  — gęstość materiału, kg/m<sup>3</sup>.

#### POMIAR TEMPERATURY ZAPALENIA

Wielkość ta była oznaczana według metody podanej w normie PN-69/C-89022 „Tworzywa sztuczne. Oznaczanie temperatury zapalenia”.

Materiał przeznaczony do badań był mielony i suszony w suszarce do  $W_0 = 0\%$ . Temperaturę zapalenia oznaczono przy użyciu przyrządu pokazanego na rysunku 2. Około 1 g zmielonego tworzywa wsypywano do stalowej próbówki 1. Próbówkę umieszczano w otworze aluminiowego



Rys. 2. Przyrząd do wyznaczania temperatury zapalenia

1 — próbka, 2 — walec aluminiowy, 3 — palnik gazowy, 4 — mikropalniczka, 5 — termometr

walca 2 podgrzanego palnikiem gazowym 3. Za pomocą mikropalniczki gazowej 4 próbowano zapalać gazy wydobywające się z próbówki przez otwór w wieczku. Temperaturę bloku aluminiowego, a więc i badanej

próbki wskazywał termometr rtęciowy 5. Walec podgrzewano do temperatury o 10 K niższej niż spodziewana temperatura zapalenia. Jeśli w ciągu 5 minut ogrzewania wydobywające się gazy płonęły krócej niż 5 sekund, podwyższano temperaturę o 2-3 K i ponawiano próbę. Za temperaturę zapalenia przyjmowano średnią z udanych prób o najniższych temperaturach.

#### WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Przy pomiarach wartości współczynnika przewodzenia ciepła lignamonu wyznaczano także wartości tego współczynnika dla drewna bukowego, z którego został wyprodukowany lignamon. Dla lignostonu, lignofolu i lignomeru wartości współczynników cieplnych materiałów wyjściowych (drewna bukowego i brzożowego) zostały określone na podstawie wzorów podanych w literaturze [3, 4]. Wzory te uwzględniają tylko kierunek wzdłużny i prostopadły (wartość średnia z kierunku stycznego i promieniowego) w stosunku do włókien przepływu ciepła. Pomiar przeprowadzone były dla kierunku wzdłużnego, stycznego i promieniowego.

#### LIGNAMON

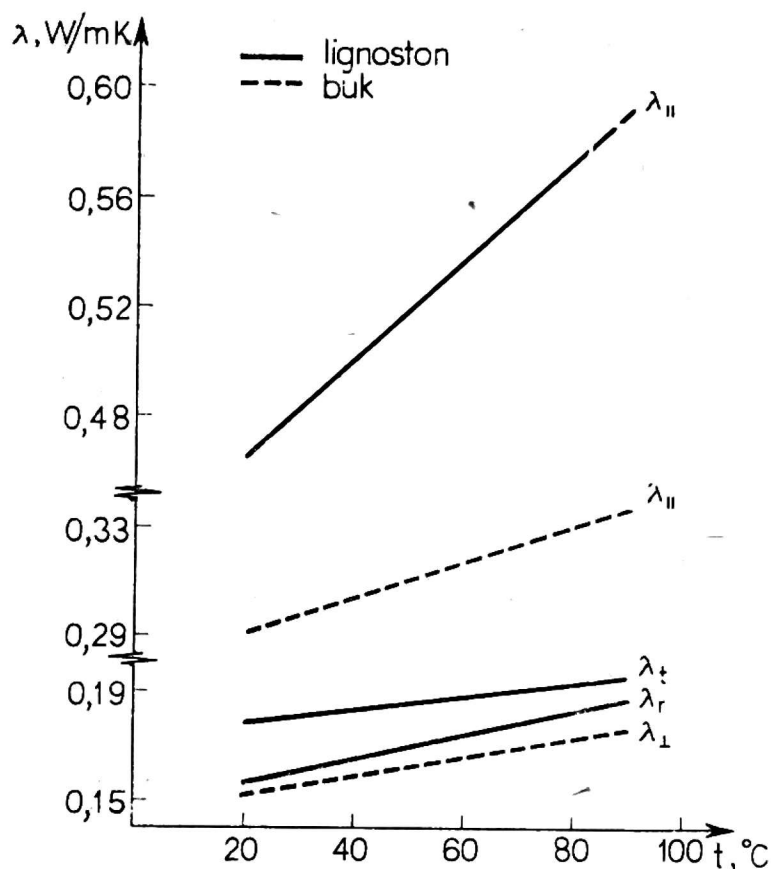
Dla lignamonu przeprowadzono pomiary tylko wartości współczynnika przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ) i temperatury zapalenia  $t_z$ . Wielkości te określono także dla drewna bukowego, z którego otrzymano lignamon. Pomiary  $\lambda$  prowadzone były dla przepływu ciepła wzdłuż włókien ( $||$ ), w kierunku promieniowym ( $r$ ) i w kierunku stycznym ( $t$ ). Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 1. Z analizy wyników zestawionych w tej tabeli wynika, że wzrost wartości współczynnika  $\lambda$  lignamonu w stosunku do drewna bukowego w trzech głównych kierunkach anatomicznych wynosi około 20%. Wzrost ten byłby na pewno większy, gdyby badano materiały o tej samej wilgotności.

Z powyższego wynika, że lignamon zachowuje charakterystyczną cechę swego materiału wyjściowego - drewna tzn. anizotropowość. Wzrost przewodności cieplnej wynika ze wzrostu gęstości w wyniku prasowania. Właściwości cieplne amoniaku nie odgrywają w tym wypadku istotnej roli, bowiem jego udział masowy w lignamonie jest znikomo mały — rzędu 0,3%. Temperatura zapalenia lignamonu podwyższyła się nieznacznie (3%) w stosunku do temperatury zapalenia drewna bukowego. Wzrost ten jest spowodowany wzrostem gęstości.

#### LIGNOSTON

Dla lignostonu o  $W_o = 0\%$  wyznaczono wartości  $\lambda$ ,  $a$  i  $c$  w trzech temperaturach 20, 55 i 90°C. Otrzymane wyniki obrazują rysunki 3-5.





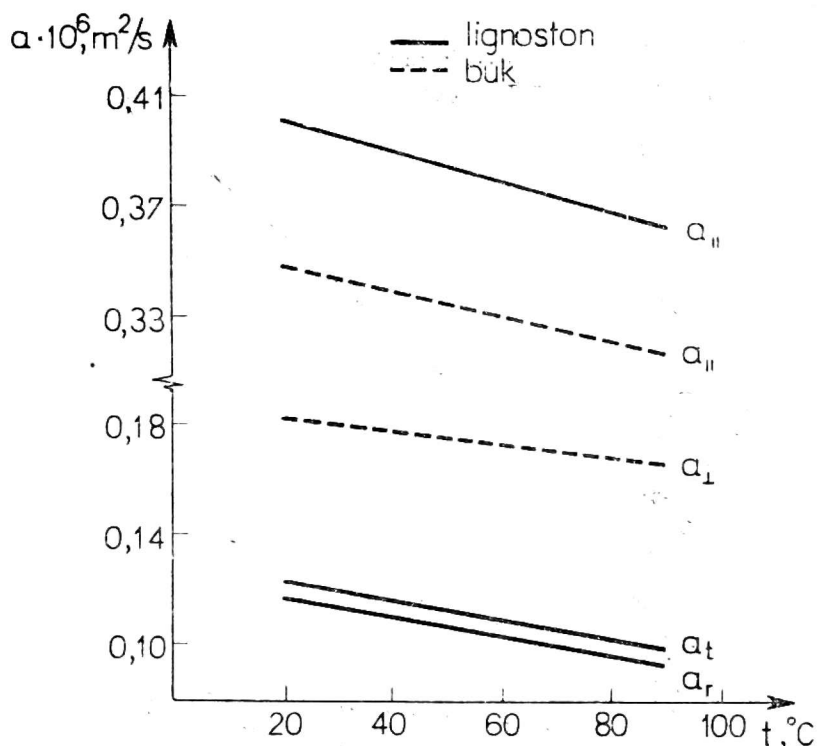
Rys. 3. Wykres zależności współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  lignostonu i drewna bukowego od temperatury

Rysunek 3 przedstawia zależność współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  od temperatury. Wartość współczynnika  $\lambda$  lignostonu wzrosła wyraźnie w stosunku do wartości tego współczynnika drewna bukowego szczególnie dla ruchu ciepła wzdłuż włókien. Zależność współczynnika  $\lambda$  lignostonu od temperatury zachowała charakter prostoliniowy występujący w suchym drewnie z tym, że dla kierunku w poprzek włókien kąt wznoszenia jest taki sam jak dla drewna, natomiast dla kierunku wzdłużnego ma większą wartość.

$$\frac{\lambda_{l_{90}}}{\lambda_{l_{20}}} = 1,15 ; \frac{\lambda_{||_{90}}}{\lambda_{||_{20}}} = 1,28$$

Lignoston zachował charakterystyczną dla drewna bukowego większą wartość współczynnika  $\lambda$  dla przepływu ciepła w kierunku stycznym niż w kierunku promieniowym. Wzrost wartości współczynnika  $\lambda$  lignostonu w stosunku do drewna bukowego spowodowany jest głównie sprasowaniem drewna, bowiem udział substancji nasycających w lignostonie jest niewielki — około 3%.

Rysunek 4 przedstawia zależność współczynnika  $a$  od temperatury. Charakter tej zależności jest liniowy i dla lignostonu oraz drewna bukowego jest zbliżony, różne są tylko wartości współczynnika  $a$  dla tych materiałów.



Rys. 4. Wykres zależności współczynnika wyrównywania temperatury  $\alpha$  lignostonu i drewna bukowego od temperatury

Dla kierunku w poprzek włókien wartości współczynnika  $\alpha$  lignostonu są nieco niższe, a dla kierunku wzdłuż włókien nieco wyższe. Tłumaczy się to tym, że współczynniki  $\lambda$  lignostonu i drewna bukowego dla kierunku w poprzek włókien są zbliżone, natomiast dla kierunku równoległego współczynnik  $\lambda$  lignostonu ma znacznie większą wartość.

Rysunek 5 przedstawia zależność ciepła właściwego  $c$  od temperatury. Podobnie jak dla drewna tak i dla lignostonu zależność ta jest liniowa. Wartości dla obu tych materiałów różnią się nieznacznie z lekką przewagą na korzyść drewna.

Temperatura zapalenia lignostonu ( $255^{\circ}\text{C}$ ) jest o około 11% niższa niż drewna bukowego ( $286^{\circ}\text{C}$ ). Zagęszczenie drewna w mniejszym stopniu wpłynęło na wzrost temperatury zapalenia niż nasycenie palnymi substancjami (parafina i olej wrzecionowy) na jej obniżenie.

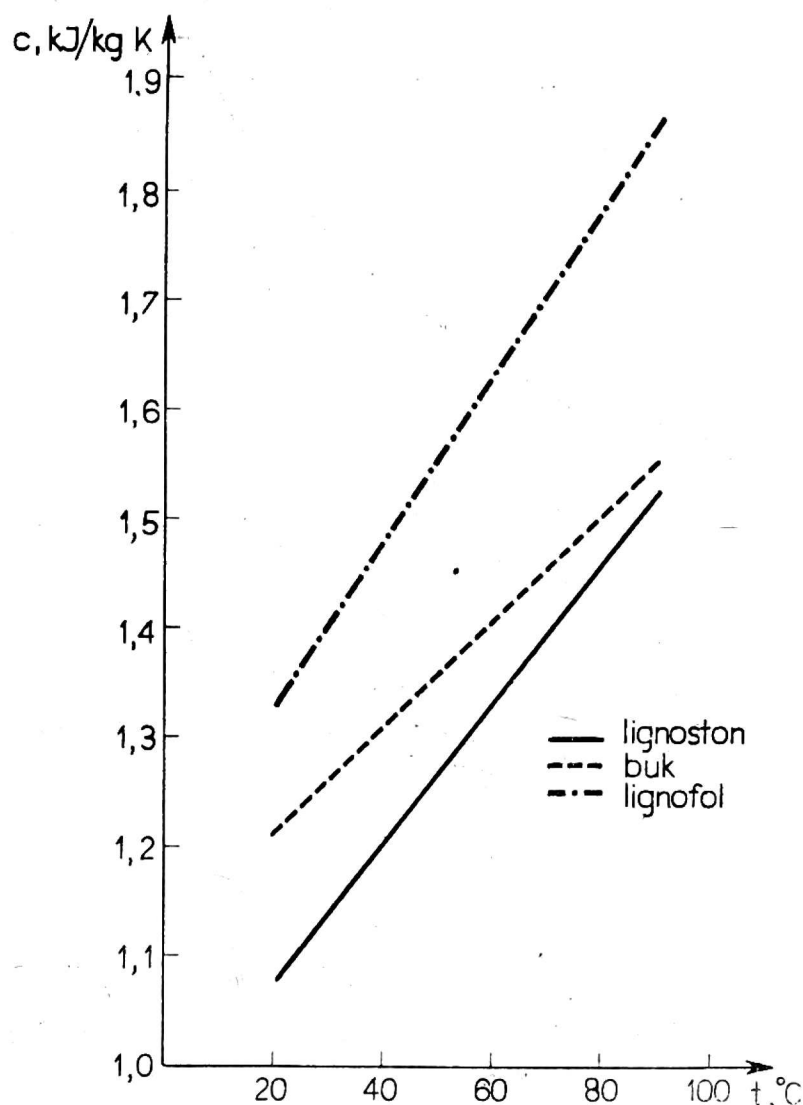
#### LIGNOFOL

Dla lignofolu o  $W_o = 0\%$  wyznaczono wartość  $\lambda$   $\alpha$  i  $c$  w trzech temperaturach: 20, 55, i  $90^{\circ}\text{C}$ .

Pomiary prowadzono dla trzech przypadków przepływu ciepła a mianowicie: prostopadle do kierunku przebiegu włókien i warstw forniru — lignofol  $a$ ; prostopadle do włókien i równolegle do warstw forniru — lignofol  $b$ ; równolegle do kierunku włókien i warstw forniru — lignofol  $c$ . Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunkach 5-7.

Rysunek 6 przedstawia wykres zależności współczynnika  $\lambda$  lignofolu i drewna bukowego od temperatury. Dla lignofolu zależność ta nie ma





Rys. 5. Wykres zależności ciepła właściwego  $c$  lignostonu, lignofolu i drewna bukowego od temperatury

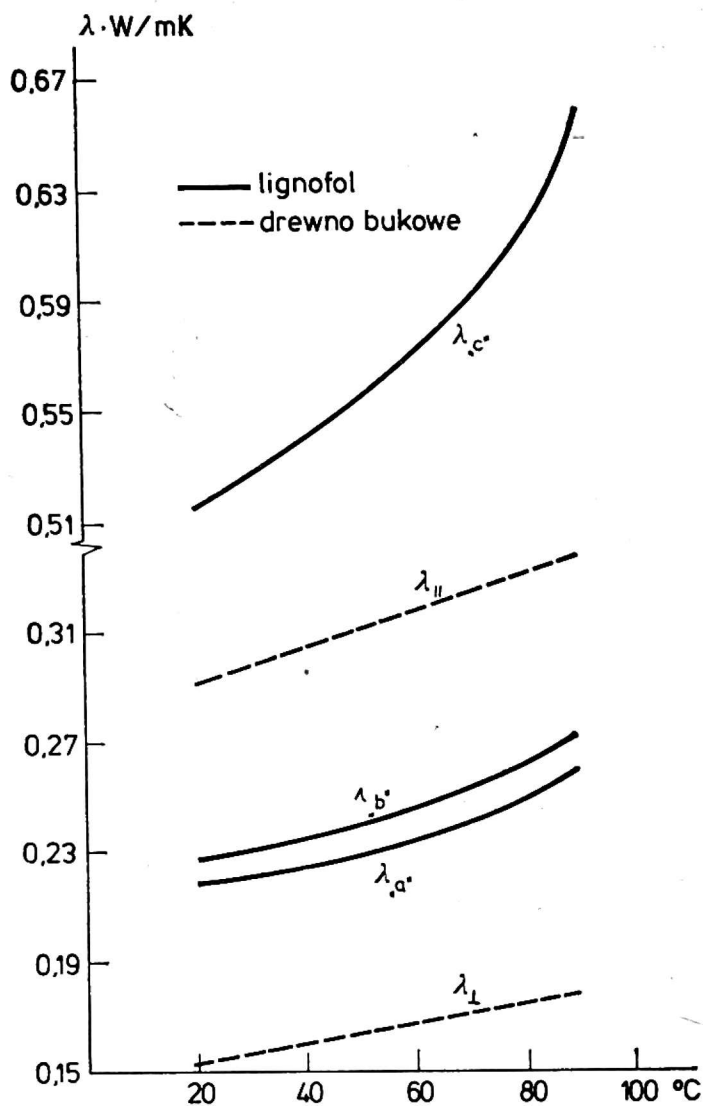
charakteru liniowego tak jak dla drewna i jest wyraźniejsza. Wartości współczynnika  $\lambda$  lignofolu są wyraźnie wyższe niż drewna. Lignofol  $b$  ma nieznacznie wyższy współczynnik  $\lambda$  od lignofolu  $a$  natomiast lignofol  $c$  ma ponad 2-krotnie wyższy współczynnik  $\lambda$  od lignofolu  $a$  i  $b$ .

Podobnie jak dla lignostonu krzywa zależności  $\lambda$  od temperatury dla kierunku wzdłuż włókien ma bardziej stromy przebieg niż dla kierunku w poprzek włókien:

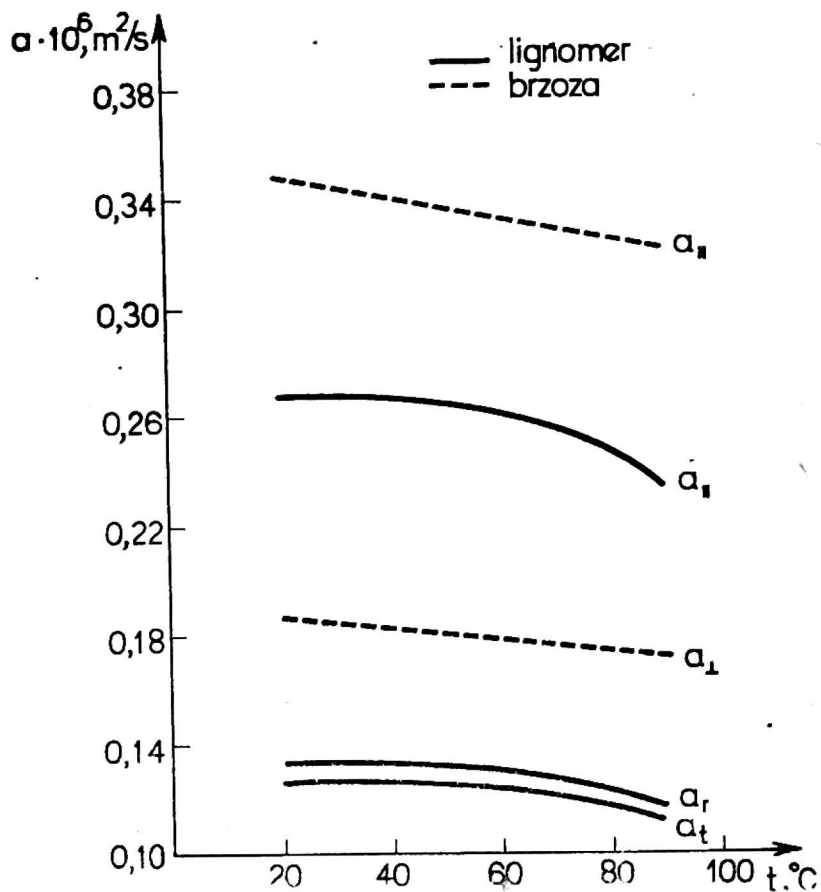
$$c = \frac{\lambda_{90}}{\lambda_{20}} = 1,28, \quad b = \frac{\lambda_{90}}{\lambda_{20}} = 1,20, \quad a = \frac{\lambda_{90}}{\lambda_{20}} = 1,19$$

Wartość współczynnika  $\lambda$  lignofolu oraz charakter jej zależności od temperatury wynikają w głównej mierze z właściwości cieplnych kleju użytego w produkcji lignofolu, bowiem jego udział masowy wynosi około 18%.

Jak wynika z rysunku 7 lignofol ma niższy współczynnik wyrównywania temperatury  $a$  niż drewno. Zależność współczynnika  $a$ , podobnie



Rys. 6. Wykres zależności współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  lignofolu i drewna bukowego od temperatury



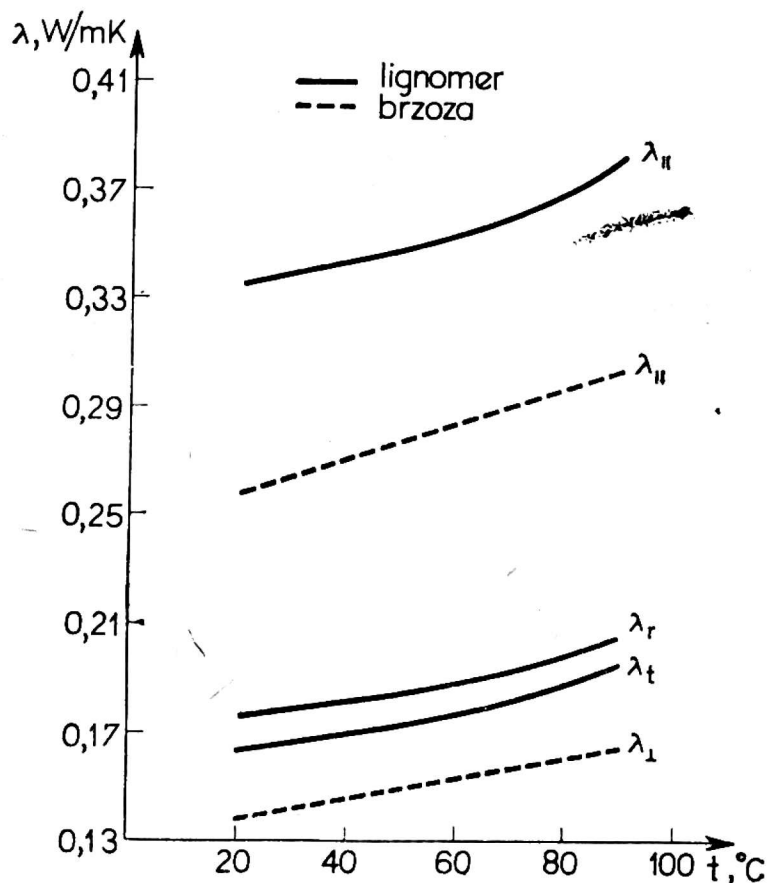
Rys. 7. Wykres zależności współczynnika wyrównywania temperatury  $\alpha$  lignofolu i drewna bukowego od temperatury

jak współczynnika  $\lambda$ , ma charakter nieliniowy, natomiast ciepło właściwe  $c$ , lignofolu, podobnie jak drewna, ma liniową zależność od temperatury (rys. 5). Zależność ta dla lignofolu jest wyraźniejsza (drewno —  $C_{10} : C_{20} = 1,3$ , lignofol —  $C_{10} : C_{20} = 1,4$ ). Ciepło właściwe lignofolu jest większe od ciepła właściwego drewna. Temperatura zapalenia lignofolu ( $265^{\circ}\text{C}$ ) jest o około 7% niższa niż drewna bukowego ( $286^{\circ}\text{C}$ ). Prawdopodobnie niższa jest temperatura zapalenia kleju używanego w produkcji lignofolu.

## LIGNOMER BRZOWOWY

Dla lignomeru o  $W_o = 0\%$  wyznaczono wartości  $\lambda$ ,  $a$  i  $c$  w trzech temperaturach 20, 55,  $90^{\circ}\text{C}$ . Pomiary prowadzono dla przepływu ciepła wzdłuż włókien, w kierunku stycznym i w kierunku promieniowym.

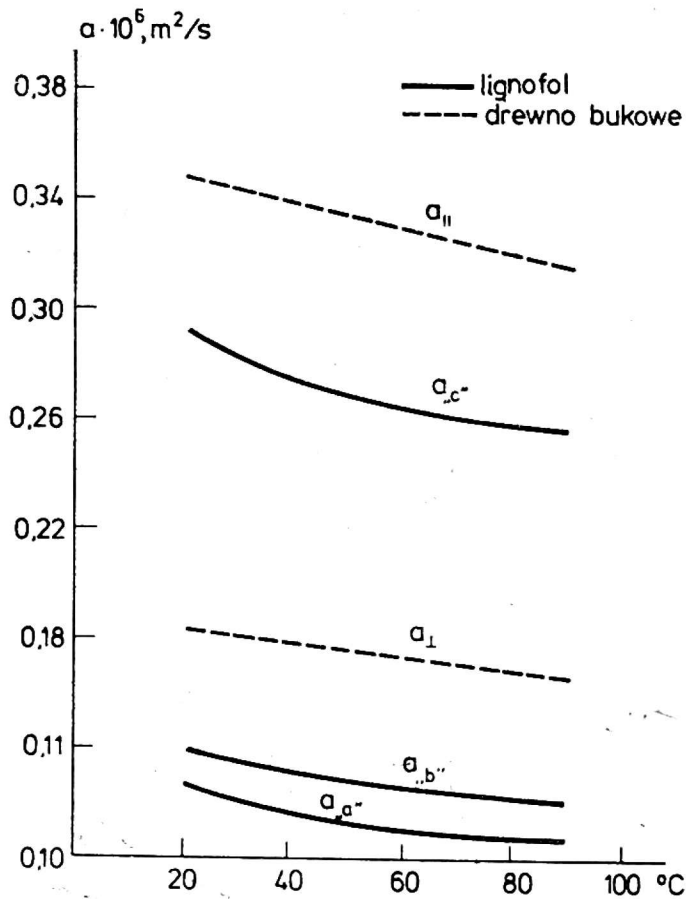
Rysunek 8 przedstawia wykres zależności współczynnika  $\lambda$  lignomeru i drewna brzozonego od temperatury. Zależność ta dla lignomeru w zakresie temperatur od 20 do  $\sim 70^{\circ}\text{C}$  ma charakter liniowy, powyżej — nieliniowy.



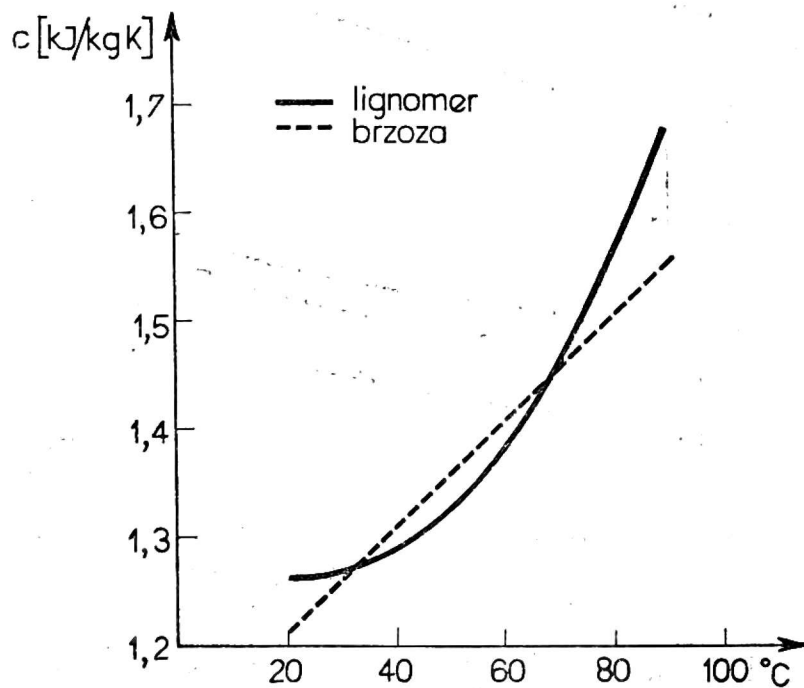
Rys. 8. Wykres zależności współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$  lignomeru i drewna brzozonego od temperatury

Wynika to prawdopodobnie z faktu zmiany właściwości polistyrenu w temperaturze wyższej od temperatury zeszklenia, której wartość zamyka się w granicach  $80-100^{\circ}\text{C}$  według Vicata [1].

Podobnie jak dla poprzednio omawianych rodzajów drewna modyfikowanego wartość współczynnika  $\lambda$  ze wzrostem temperatury wzrasta silniej w kierunku wzdłużnym niż w innych kierunkach i jest większa w



Rys. 9. Wykres zależności współczynnika wyrównywania temperatury  $a$  lignomeru i drewna brzożowego od temperatury



Rys. 10. Wykres zależności ciepła właściwego  $c$  lignomeru i drewna brzożowego od temperatury

stosunku do wartości współczynnika  $\lambda$  drewna niż w pozostałych kierunkach.

Wartości współczynnika  $a$  lignomeru są niższe niż dla drewna (rys. 9).

Zależność współczynnika  $a$  od temperatury ma inny charakter niż dla drewna i poprzednio omówionych tworzyw. Wynika to z innej zależności ciepła właściwego ( $c$ ) lignomeru od temperatury (rys. 10). Zależność ciepła właściwego lignomeru od temperatury jest prawie identyczna jak dla polistyrenu [2], którego udział masowy wynosi 85%.

Temperatura zapalenia lignomeru (294°C) jest prawie taka sama jak drewna brzozonego 293°C.

### WNIOSKI

1. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła ( $\lambda$ ) badanych rodzajów drewna modyfikowanego są wyższe niż drewna naturalnego.
2. Zależność współczynnika  $\lambda$  od temperatury tworzyw, w których jest znaczny udział substancji modyfikujących, ma inny charakter niż drewna.
3. Zależność współczynnika  $\lambda$  od temperatury tworzyw o małym udziale substancji modyfikującej (lignoston) ma charakter taki jak drewna.
4. Stosunek  $\lambda_{II}:\lambda_I$  lignostonu i lignofolu jest o wiele wyższy niż drewna a lignamonu i lignomeru praktycznie taki sam.
5. Wszystkie badane tworzywa mają niższy współczynnik wyrównywania temperatury niż drewno.
6. Ciepło właściwe badanych tworzyw różni się niewiele od ciepła właściwego drewna.
7. Temperatura zapalenia badanych rodzajów drewna modyfikowanego różni się nieznacznie od temperatury zapalenia drewna naturalnego. Różnice te są *in plus* lub *in minus* w zależności od właściwości palnych użytych substancji modyfikujących.
8. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość otrzymania z drewna tworzyw o znacznie większej anizotropii cieplnej.

### LITERATURA

1. Graff J.: Polistyren i kopolimery styrenu. Biuro Wydawnicze „Chemia” Warszawa, 1977.
2. Hertz Z. i in.: Polistyren. WNT, Warszawa 1962.
3. Krzysik F.: Nauka o drewnie. PWN Warszawa 1974.
4. Vorreiter L.: Holztechnologische Handbuch. t. 1 i 2, Wiedeń, Monachium 1958.

*Michał Domański, Longin Glijer*

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

### Резюме

В Отделе техники и термической энергетики Варшавской сельскохозяйственной академии проводились исследования основных термических свойств (коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , коэффициент выровненности температуры  $a$ , удельного тепла  $c$  и температуры воспламенения  $t_z$  нескольких видов модифицированной древесины).

Исследования показали по отношению к природной древесине рост величины коэффициента теплопроводности, снижение коэффициента выровненности температуры, незначительные изменения удельного тепла и температуры воспламенения. В материалах с высоким участием модифицирующих веществ установлено повышение термической анизотропии.

*Michał Domański, Longin Glijer*

## BASIC THERMIC PROPERTIES OF SOME KINDS OF MODIFIED WOOD

### Summary

Investigation on basic thermic properties (warmth conductivity  $\lambda$ , temperature levelling coefficient  $a$ , specific warmth  $c$  and ignition temperature  $t_z$  of several modified wood kinds) were carried out in the Department of Technics and Thermic Energetics, Warsaw Agricultural University.

In relation to natural wood an increase of the warmth conductivity coefficient, a decrease of the temperature levelling coefficient, insignificant changes of specific warmth and ignition temperature have been proved in the investigations. In materials with a considerable percentage of modifying agent an increase of the thermic anisotropy has been found.