

ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY SKŁADEM CHEMICZNYM DREWNA
A JEGO CIEPŁEM SPALANIA*Aleksander Dziurzyński*

Instytut Chemicznej Technologii Drewna AR w Poznaniu

Dyr. Instytutu: prof. dr hab. Zdzisław Czechowski

Opracowano liniową zależność między ciepłem spalania a składem chemicznym drewna. W części doświadczalnej drewno sosny i buka rozłożono w procesach: roztwarzania alkalicznego, hydrolizy kwasowej, rozkładu przez grzyb *Polystictus versicolor* oraz rozkładu przez grzyb *Coniophora puteana*. W tak rozłożonym drewnie oznaczono skład chemiczny (substancje rozpuszczalne w 0,1 n NaOH, ligninę i holocelulozę) oraz ciepło spalania. W wyniku porównania doświadczalnego ciepła i obliczonego spalania stwierdzono, że istniejące różnice (średnio $\pm 2,0\%$) znajdują się w granicach błędów doświadczalnych.

WSTĘP

W analityce chemii drewna jako pierwsze rozwinęły się metody określania składu chemicznego i grup funkcyjnych drewna w sposób bezpośredni. Metody te oparte są na reakcjach chemicznych zaburzających skład i strukturę chemiczną badanego materiału drzewnego. Zaburzenia takie stanowią istotną wadę wielu metod klasycznych. Częstymi ich wadami są ponadto: duża czasochłonność, mała dokładność i wysoki próg czułości.

Pokonywanie owych trudności jest celem wszystkich rozwijanych aktualnie metod analitycznych w chemii drewna. Głównymi kierunkami tego rozwoju w ostatnich dziesięcioleciach są metody fizykochemiczne, a wśród nich metody spektrofotometryczne (Moore, Johns 1961, Karklin 1972, 1977) i termoanalityczne Eickner 1962, Domansky, Redos 1962). Systematyczny postęp notowany jest od lat również w technikach chromatograficznych, szczególnie w chromatografii gazowej. W ostatnich latach czynione są też próby stosowania w analityce chemii drewna technik polarograficznych (Ewstigneev, Bronov, Nikitin 1979). Zarysowują się również możliwości

określania składu chemicznego drewna przy wykorzystaniu niektórych wielkości fizykochemicznych, takich jak kureczliwość, moduł Younga (Cave 1975, 1976, 1978).

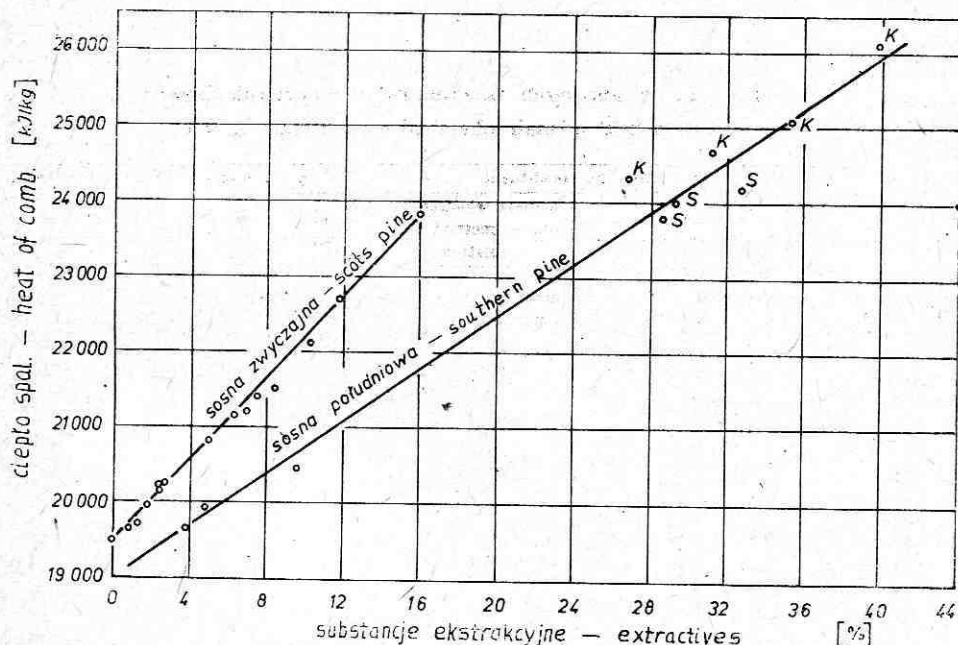
Wśród metod fizykochemicznych, pozwalających wypowiadać się o zmianach chemicznych drewna, nie poświęcono dotychczas należytej uwagi pomiarom ciepła spalania. Stosowana jest wprawdzie w nauce o drewnie zależność między składem elementarnym substancji organicznych a ich ciepłem spalania, opracowana przez Dulonga jako wzór idealizacyjny (Stohmann, Kerl 1893, Kollmann 1951, Vanin 1949). Mając jednak na uwadze, że oznaczenia składu chemicznego drewna wykonywane są często jako standardowe analizy przy kontroli jakości tego surowca należy stwierdzić, iż potrzebna jest zależność łącząca skład chemiczny drewna z jego ciepłem spalania. Łączne wykorzystanie zależności, między składem elementarnym a ciepłem spalania oraz składem chemicznym a ciepłem spalania, może być poza tym źródłem dodatkowych informacji o zmianach w strukturze chemicznej drewna np. stopniu utlenienia i dehydratacji.

Pomiary ciepła spalania cechuje wysoka precyzja i stosunkowo mała złożoność. Pomiary te nie są zbyt czasochłonne ani kosztowne. Z ogólnego przeglądu literatury dotyczącej ciepła spalania drewna wynika, że wielkość ta, związana od niedawna głównie z wartością opałową surowca drzewnego (Parr, Davidson 1922, Kollmann 1951, Szturma, Woltyńska 1967, Murphy, Cutter 1974), zaczyna być stopniowo wykorzystywana w analityce chemii drewna. Ciepło spalania korelowano dotychczas ze stopniem rozłożenia drewna przez grzyby (Vanin 1949, Kawase 1962, Salmi 1964), z zawartością substancji ekstrakcyjnych (Urbanik 1965, Howard 1973), z gęstością drewna (Pavic 1965) i warunkami ekologicznymi wzrostu drzew (Dadykin, Kononienko 1975, Madgwick 1970). W ostatnich latach przeprowadzono pomiary ciepła spalania drewna o różnym, a zarazem kontrolowanym, składzie chemicznym, z próbami interpretacji uzyskanych wyników (Doat 1977, Murphy, Masters 1978, Dziurzyński, Owczarzak, Surmiński 1978, Bowersox, Blankenhorn, Murphy 1979).

Wymienione prace stanowią odpowiedni punkt wyjścia do opracowania zależności między składem chemicznym drewna a jego ciepłem spalania. Badania nad taką zależnością są celem niniejszej pracy.

ANALIZA PODSTAWOWYCH DANYCH DOŚWIADCZALNYCH DOTYCZĄCYCH CIEPŁA SPALANIA DREWNA I JEGO SKŁADNIKÓW CHEMICZNYCH

Głównym czynnikiem decydującym o wielkości ciepła spalania drewna naturalnego są substancje żywiczne, a wielkości ciepła spalania drewna o różnej zawartości żywic układają się, w ramach tego samego gatunku



Rys. 1. Zależność między ciepłem spalania a zawartością substancji ekstrakcyjnych w mieszaninie etanol-benzen 1:1 w drewnie sosny zwyczajnej (Urbanik 1965) oraz drewnie, karpinie — K, i sękach — S, sosny południowej (Howard 1973)

Fig. 1. Correlation between the heat of combustion and extractives content in the mixture ethanol-benzen 1:1 in scots pine wood (Urbanik 1965) and in wood, stumps wood — K and in knots — S of Sourthen pine (Howard 1973)

wzdłuż linii prostej (rys. 1). Zróznicowanie ciepła spalania substancji ekstrakcyjnych w drewnie sosny zwyczajnej i południowej wynika z różnic w składzie chemicznym żywicy zawartych w tym drewnie. Proporcje między głównymi składnikami żywicy (terpenami, kwasami żywicznymi i kwasami tłuszczowymi) zależą nie tylko od warunków ekologicznych i fizjologicznych wzrostu drzew, ale także od czasu i sposobu przechowywania drewna. Swoisty dla każdego gatunku drewna, charakter substancji ekstrakcyjnych sprawia, że zależność między zawartością tych substancji a ciepłem spalania w ramach wielu gatunków drewna ma już charakter statystyczny. Zależność taka opisywana jest równaniem regresji o małym współczynniku korelacji $r=0,39$ (Doat 1977). W ramach jednego gatunku drewna zależności te mają natomiast charakter analityczny, a niewielkie odchyłki wyników doświadczalnych od linii prostych (rys. 1) należy tłumaczyć raczej niedokładnym wyekstrahowaniem badanego materiału drzewnego i stratami terpenów podczas suszenia drewna oraz wyekstrahowanych substancji żywicznych (Urbanik 1980).

Tabela 1

Ciepło spalania głównych składników chemicznych drewna
Combustion heat of main chemical constituents of wood

Składnik chemiczny — Chemical constituent			Ciepło spalania — Heat of combustion	
Nazwa Name	substrat substrate	metoda wyodrębnienia — method of isolation	wielkość quantity kJ/kg	źródło literaturowe — literature source
Celuloza Cellulose	bawełna cotton	niewymieniona unmentioned	17 581 i and 17 531	Stohmann, Kerl 1893
	drewno nieznanego gatunku — wood unknown species	niewymieniona unmentioned	18 916	Kolmann 1951 wg (after) Tobler
		CuO + NH ₃ Br + NH ₃	17 472 17 544	Stohmann, Kerl 1893 Stohmann, Kerl 1893
	dąb — oak	ASTM D 1104-56	17 030	Murphy, Masters 1978
	buk-beech buk-beech	Kürschner-Hoffer przemysłowa siarczanowa — industrial sulfate	17 750 17 414	Rypąček 1979 Dziurzyński a.an. 1978
	model — model	sumowanie energii wiązań — summing of bonds energy	17 954	Dziurzyński a.an. 1978
Hemicelulozy Hemicellulose	dąb — oak	ASTM D 1104-56	16 670	Murphy, Masters 1978
	model (brzoza) — model (birch)	sumowanie energii wiązań — summing of bonds energy	17 954	Dziurzyński a.an. 1978
Holoceluloza Holocellulose	świerk — spruce	Klauditz 1957	18 344	Rypąček 1980
	buk — beech	Klauditz 1957	18 441	Rypąček 1980
Lignina Lignin	drewno nieznanego gat. — wood unknown species	niewymieniona unmentioned	26 740 i and 27 401	Kolmann 1951 wg (after) Schläpfer
	dąb — oak	Klason (67% H ₂ SO ₄) Tappi T-13 m	25 535 21 180	Doat 1977 Murphy, Masters 1978
	świerk — spruce	Tappi T-13 m	26 492 26 492	Rypąček 1980 Rypąček 1980
	buk — beech	Tappi T-13 m	26 620	
	model (brzoza) — model (birch)	sumowanie energii wiązań — summing of bonds energy	25 129	Dziurzyński a.an. 1978
Substancje żywiczne i ekstrakcyjne Resin substances and extractives	sosna zwyczajna scots pine	ekstrakt etanol-benzen	40 500 do to 43 300	Urbanik 1965
	sosna połudn. south pine		34 500 do to 37 800	Howard 1978
	sosna nadmorska marit. pine	extract ethanol-benzene	34 911 28 380	Doat 1977 Doat 1977
	buk -beech			
Kwas abietynowy — ab etic acid		—	37 130	Doat 1977
Gumy roślinne Plant rubber	akacja		14 780	
	lochust (Senezal)	—	do to 15 490	Doat 1977

Tabela 2

Zmiany ciepła spalania składników chemicznych drewna poddanych głównym jednostkowym reakcjom chemicznym — Changes of combustion heat of chemical wood constituents after main chemical reactions

Składnik drewna Wood constituent	Reakcja chemiczna — Chemical reaction		Ciepło spalania Heat of combustion kJ/kg	Zmiana ciepła spal. Change of comb. heat %
	nazwa reakcji name of reaction	produkt reakcji the reaction product		
Celuloza Cellulose	0	celuloza — cellulose	17 443	0
	hydroliza hydrolysis	glikoza — glucose dekstryna — dextrin ($C_6H_{10}O_5$) ₁₀	15 651 17 264	-10,3 -1,1
	hydroliza + dehydratacja hydrolysis + dehydration	hydroksymetylofurfural hydroxymethylfural	22 246	+27,5
	utlenianie oxydation	monokarboksyceuloza monocarboxycellulose	12 923	-26,0
Hemicelulozy Hemicelluloses	0	octan 4-0-metyloglikuronoksydanu 4-0-methylglucuronoxylans acetate	18 037	0
	deacetylacja deacetylaation	ksylan — xylan	17 790	-1,4
	hydroliza + dehydratacja hydrolysis + dehydration	furfural — furfural	24 393	35,2
Lignina	0	$[C_6H_8,77(OCH_3)_{1,28}]_n$ $n > 100$	25 129	0
Lignin	hydroliza	mono- i di-mery fenylopropanowe — mono- and di-meres of phenylpropane	23 147	-7,9
	hydrolysis	cząsteczka ligniny o 18 resztach fenylopropanu — lignin molecule with 18 rests of phenylpropane	24 660	-1,9

Ciepło spalania głównych składników chemicznych drewna naturalnego zestawiono w tabeli 1. Z danych tej tabeli wynika, że ciepło spalania w ramach jednego składnika chemicznego drewna charakteryzuje się znacznymi rozrzutami. Rozrzuty te wywołane są głównie metodą wyodrębnienia danego składnika chemicznego drewna. Po odrzuceniu wielkości skrajnych, można głównym składnikom chemicznym drewna przyporządkować następujące przedziały wielkości ciepła spalania: holoceluloza: 17500 do 18500 kJ/kg; lignina: 25000 do 27000 kJ/kg; substancje ekstrakcyjne: 28000 do 43000 kJ/kg.

Zmiany struktury cząsteczkowej składników chemicznych drewna w jednostkowych reakcjach chemicznych są stosunkowo dobrze poznane, a ich analiza nie przedstawia większych trudności. Zmiany ciepła spalania składników drewna poddanych podstawowym chemicznym reakcjom jednostkowym zestawiono w tabeli 2. Obliczenia, których wyniki zawiera tabela 2 przeprowadzono metodą sumowania energii wiązań chemicznych (Dziu-

rzyński i inni 1978). Z danych tabeli 2 wynika, że w reakcjach hydrolizy, utleniania i deacetylacji ciepło spalania maleje, natomiast w reakcjach dehydratacji — rośnie. Godnym podkreślenia jest fakt, że reakcje hydrolizy i deacetylacji powodują bardzo małe zmiany ciepła spalania. W reakcjach częściowej hydrolizy, w których produkty końcowe posiadają stopień polimeryzacji większy od 100, zmiany ciepła spalania są już niewykrywalne.

Zmiany ciepła spalania w każdym występującym w przyrodzie i w praktyce procesie chemicznego rozkładu drewna są zawsze wypadkowymi efektów cieplnych kilku równoległych jednostkowych reakcji chemicznych. W środowisku kwaśnym zachodzą np. reakcje hydrolizy celulozy i kondensacji ligniny. W środowisku alkalicznym celuloza nie ulega tak radykalnym zmianom chemicznym, ale w ligninie zachodzi jednocześnie kondensacja i hydroliza (Sarkannen, Ludwig 1972). Reakcje hydrolizy i kondensacji wywołują z kolei przeciwne, eliminujące się wzajemnie zmiany ciepła spalania. Stwierdzenie to zgodne jest z danymi doświadczalnymi. Pomiarы entalpii rzeczywistych procesów kwasowej oraz alkalicznej hydrolizy drewna dają bowiem wielkości zbliżone do zera (Dziurzyński, Sobczak, Surmiński 1981). Zjawisko wzajemnego eliminowania się efektów cieplnych w równoległych reakcjach jednostkowych zaobserwowano łącznie dla fazy ciekłej i fazy stałej produktów po procesach hydrolizy kwasowej oraz alkalicznej. Należy sądzić, że w przypadku gdy przedmiotem zainteresowania będzie wyłącznie faza stała, czyli stała substancja drzewna pozostała po oddzieleniu produktów ciekłych rozpuszczalnych w wodzie, wówczas zjawisko eliminowania się efektów cieplnych będzie jeszcze bardziej wyraźne i ścisłe. Wiadomo bowiem, że produkty ciekłe i rozpuszczalne w wodzie (glukoza, furfural, hydroksymetylofurfural, kwas octowy,...) są najbardziej zmienionymi chemicznie składnikami drewna, a tym samym zmiana ich ciepła spalania jest największa (tab. 2).

MODEL ZALEŻNOŚCI MIĘDZY SKŁADEM CHEMICZNYM DREWNA A JEGO CIEPŁEM SPALANIA

Doświadczalne ciepło spalania drewna jest równe średniej ważonej ciepła spalania składników chemicznych tego drewna in situ.

$$Q_{sp} = \frac{1}{\sum a_i^*} \sum a_i^* q_i^* \quad (1)$$

gdzie Q_{sp} — ciepło spalania drewna kJ/kg, a_i^* — zawartość i -tego składnika chemicznego w tkance drzewnej in situ, $\sum a_i^* = 100\%$

i — lignina, holoceluloza..., q_i^* — ciepło spalania i -tego składnika chemicznego w tkance drzewnej in situ kJ/kg.

Obliczenia ciepła spalania drewna można wykonywać tylko w oparciu o preparaty jego składników chemicznych, czyli na podstawie wielkości in vitro. Zawartości procentowe oraz ciepła spalania składników chemicznych drewna in situ zawarte w równaniu (1) należy zatem zastąpić odpowiednimi wielkościami in vitro

$$q_i^* = q_i^\circ + \Delta q_i^\circ + \Delta q_i(x, t), \quad (2)$$

gdzie q_i° — ciepło spalania preparatu in vitro i -tego składnika drewna naturalnego (nierozłożonego), Δq_i° — zmiana ciepła spalania i -tego składnika drewna wywołana jego wyodrębnianiem ze stanu in situ w stan in vitro, $\Delta q_i(x, t)$ — zmiana ciepła spalania i -tego składnika drewna wywołana działaniem czynnika rozkładającego (x) w czasie (t).

Rzeczywiste metody oznaczania składu chemicznego drewna obarczone są zawsze pewnym błędem. Ilość celulozy oznaczona w drewnie np. metodą Kürschnera-Hoffera jest zawyżona w stosunku do ilości czystej celulozy pewnymi ilościami hemicelulozy i ligniny (Wise, Jahn 1952). Ilość ligniny oznaczona metodą Tappi może być zawyżona zdehydratyzowanymi i aromatyzowanymi fragmentami cząsteczek holocelulozy (Wiertelak 1935). Mając to na uwadze przyjmujemy, że wyniki rzeczywistych oznaczeń składu chemicznego drewna oraz wyniki oznaczone metodami bezbłędnymi są powiązane ze sobą liniowo i posiadają wspólny współczynnik kierunkowy (k) oraz indywidualne, stałe poprawki na nieselektywność oznaczenia w warunkach początkowych (b_i)

$$a_i^* = k a_i(x, t) + b_i, \quad (3)$$

gdzie $a_i(x, t)$ — zawartość procentowa preparatu i -tego składnika chemicznego w drewnie rozłożonym czynnikiem (x) w czasie (t), b_i — wielkość stała

$$\sum_i b_i = 0, \quad k = \frac{100}{\sum_i a_i(x, t)}.$$

Wstawiając q_i^* z równania (2) i a_i^* z równania (3) do równania (1) otrzymujemy:

$$Q_{sp} = \frac{1}{\sum_i a_i(x, t)} \sum_i a_i(x, t) [q_i^\circ + \Delta q_i^\circ + \Delta q_i(x, t)] + \frac{1}{100} \sum_i b_i [q_i^\circ + \Delta q_i^\circ + \Delta q_i(x, t)]. \quad (4)$$

Z doświadczenia wiadomo, że w podstawowych procesach chemicznych drewna, jak działanie NaOH, H₂SO₄, efekty cieplne reakcji jednostkowych ($\Delta q_i(x, t)$) eliminują się wzajemnie dając wypadkową bliską zeru (Dziurzyński, Sobczak, Surmiński 1981). Dlatego też ostatnie dwa człony równania (4) tj.

$\frac{1}{100} \sum_i b_i [\Delta q_i^\circ + \Delta q_i(x, t)]$ można pominąć gdyż są one wielkościami poniżej dokładności pomiaru.

Wyprowadzony model zależności między ciepłem spalania a składem chemicznym drewna należy przystosować do postaci nadającej się do obliczeń. W tym celu do równania (4) wprowadza się uproszczenie:

$$\frac{1}{\sum_i a_i(x, t)} \sum_i a_i(x, t) [\Delta q_i^\circ + \Delta q_i(x, t)] + \frac{1}{100} \sum_i b_i q_i^\circ = 0. \quad (5)$$

Uproszczenie to oznacza, iż eliminują się wzajemnie następujące grupy wielkości:

— wielkości Δq_i° i $\Delta q_i(x, t)$ będące miarą zmian energii wiązań w składnikach drewna,

— wielkości b_i będące miarą indywidualnych błędów metodycznych wywołanych nioselektywnością oznaczeń poszczególnych składników chemicznych drewna.

Po uwzględnieniu uproszczenia (5) równanie ogólne (4) przyjmie postać:

$$Q_{sp} = \frac{1}{\sum_i a_i(x, t)} \sum_i a_i(x, t) q_i^\circ. \quad (6)$$

METODYKA DOŚWIADCZEŃ

CHARAKTERYSTYKA DREWNA UŻYTEGO DO BADAŃ

Doświadczenia wykonano na drewnie buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) oraz sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.). Drewno obu gatunków pobrano z drzew 80-letniej sosny i 80-letniego buka, pochodzących z Leśnego Zakładu Doświadczalnego Akademii Rolniczej w Poznaniu Nadleśnictwo Zielonka w Murowanej Goślinie. Drewno do badań wybrano z przyobwodowych partii drzew, z wysokości 3 - 6 metrów nad powierzchnią ziemi, a następnie pocięto na próbki o wymiarach $3 \times 20 \times 30$ mm (ostatni wymiar wzdłuż włókien). Drewno sosny wybrano wyłącznie z części bielastej. Uzyskane próbki drewna poddano ekstrakcji w mieszaninie etanol-benzen (1 : 1). Ekstrakcję prowadzono przez okres 10 dni (po 8 godzin dziennie) w 5-litrowym ekstraktorze o okresie cyrkulacji 5 godzin. Wyekstrahowane drewno wysuszono do stałej masy w suszarce próżniowej przy temp. 333 K (60°C), a następnie przechowywano w słojach w temp. 291 - 293 K (18 - 20°C).

PROCESY ZMIENIAJĄCE SKŁAD CHEMICZNY DREWNA

Wybrane do doświadczeń drewno buka i sosny poddano rozkładowi w następujących procesach: roztwarzanie alkaliczne w NaOH, hydroliza kwasowa w H_2SO_4 , rozkłady przez grzyby.

Roztwarczanie alkaliczne drewna przeprowadzono w bombach Hägglunda, a hydrolizę kwasem siarkowym w kolbach szklanych pod chłodnicami zwrotnymi. Przed procesami roztwarzania i hydrolizy próbki nasyciono na pełno metodą próżniową, aby wykluczyć ich pływanie po powierzchni roztworów reakcyjnych. Procesy te przeprowadzono w dwóch powtórzeniach przy parametrach stałych zamieszczonych w tabeli 3. Czasy trwania obydwu procesów

Tabela 3

Parametry stałe procesów roztwarzania alkalicznego
oraz hydrolizy kwasowej drewna
Constant parameters of alkaline pulping and acid
wood hydrolysis processes

Nazwa parametru Name of parameter	Wielkości — Values	
	roztwarzanie w NaOH pulping in NaOH	hydroliza H_2SO_4 hydrolysis H_2SO_4
Stężenie reagentu Concentration of reagent	1,2n	1,2n
Moduł cieczy Modulus of liquid	5-kg/kg	5 kg/kg
Temperatura Temperature	165°C	100°C
Czas trwania Duration	1 min, 20 min 2 h, 6 h	20 min, 1 h 6 h, 30 h

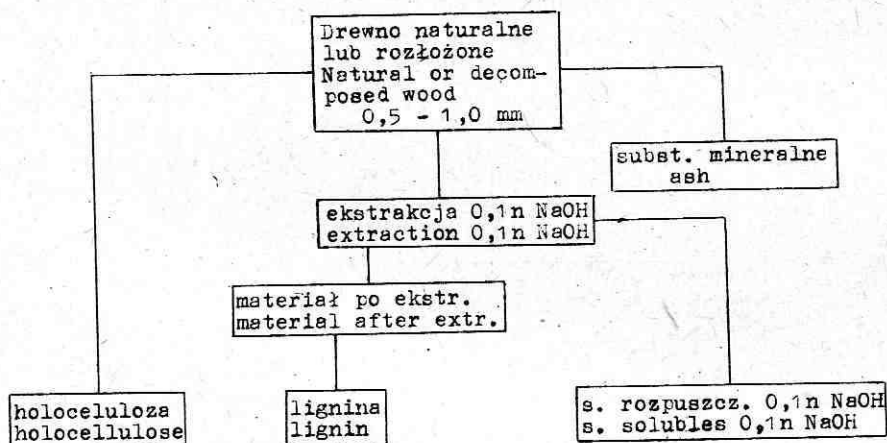
zostały tak dobrane, aby uzyskać masy drewna roztworzonego i zhydrolizowanego w możliwie szerokim przedziale i równych odstępach ich wydajności.

Produkty (masy drzewne), uzyskane po zakończeniu procesów roztwarzania alkalicznego i hydrolizy kwasowej, przemywano wodą o temperaturze około 95°C w ilości 20 litrów do pH 8,8 w przypadku drewna roztwarzanego w NaOH i pH 6,5 w przypadku drewna hydrolizowanego H_2SO_4 .

Rozkłady grzybowe drewna przeprowadzono przy użyciu grzyba powodującego zgniliznę typu brunatnego *Coniophora puteana* (Schum. ex Fr./Karst.) oraz grzyba wywołującego zgniliznę białą (*Polystictus versicolor* L. ex Fr.) Grzyby te wybrano z uwagi na powszechność ich występowania, a także dlatego, że reprezentują one dwa różne rodzaje rozkładu grzybowego drewna (Seifert 1962, 1966). Przygotowane próbki wysterylizowano parą wodną w autoklawie, a następnie umieszczono w kolbach Kollego zawierających pożywkę agar-agar z dodatkiem ekstraktu słodowego. Próbki te układano w kolbach na przeciekach szklanych. Doświadczenia wykonano na 1 szczepie w 40 replikacjach przypadających na 1 ubytek masy (5 kolb Kollego po 8 próbek w 1 kolbie). Rozkład grzybowy prowadzono w kamerze w temp. 22°C, wilgotności względnej 65 - 70% oraz przy rozproszonym świetle dziennym. Działanie grzybów było przerywane po czasie 10 do 300 dni, tj. po osiągnięciu ubytków masy próbek (Δm) od 3 do 60%.

OZNACZENIA SKŁADU CHEMICZNEGO DREWNA

Próbki badanego materiału rozdrabniano do postaci trocin o wymiarach 0,5 - 1,0 mm. Oznaczenia składu chemicznego uzyskanych partii trocin oparto na wariancie przedstawionym na rysunku 2 (Dziurzyński 1980).



Rys. 2. Schemat przyjętego wariantu oznaczeń składu chemicznego drewna
Fig. 2. Scheme of accepted variant of determinations of chemical composition of wood

Substancje rozpuszczalne w 0,1n NaOH oznaczano wg metody Tappi T 4m, opracowanej dla 1% NaOH; jedyną różnicą było zmniejszenie stężenia NaOH z 1% do 0,1n. Oznaczenie ligniny przeprowadzono na materiale wyekstrahowanym 0,1 n NaOH według metody Tappi T 13 m. Holocelulozę oznaczano stosując 10% kwas nadoctowy w temp. 90°C, przy czasie: 20 minut dla buka, 45 minut dla sosny (Haas, Schoch, Strohle 1955, Vanino 1937).

Drewno rozłożone oraz wybrane składniki chemiczne drewna w postaci preparatów ligniny, holocelulozy i substancji rozpuszczalnych w 0,1n NaOH, poddano oznaczeniom ciepła spalania. Do pomiarów użyto kalorymetru typu KL 5, produkcji Spółdzielni Pracy „Precyzja” w Bydgoszczy. Oznaczenia ciepła spalania wykonano zgodnie z metodyką przyjętą dla paliw stałych według PN-73G-04513. Wyniki ciepła spalania podano w Jouleach na 1 gram bezwzględnie suchego materiału drzewnego wolnego od substancji mineralnych, czyli w przeliczeniu na czystą substancję organiczną.

WYNIKI DOŚWIADCZEŃ I ICH OMÓWIENIE

Wyniki doświadczeń zestawiono w tabelach 4 i 5. Najistotniejszymi w niniejszej pracy wielkościami, zmieniającymi się podczas rozkładu drewna, są dane dotyczące składu chemicznego i ciepła spalania. Jak wynika z danych

Tabela 4

Skład chemiczny oraz doświadczalne i obliczone ciepło spalania drewna sosny rozłożonego czynnikami chemicznymi i biologicznymi
 Chemical composition and experimental and calculated heat of combustion of pine wood decomposed by chemical and biological factors

Rodzaj rozkładu Kind of decomposition	Czynnik rozkładający — Decomposing factor	Ubytek masy Mass loss Δm(%)	Skład chem. w % drewna rozłożonego — Chemical composition in % of decomposed wood			Ciepło spalania Heat of combustion kJ/kg		$\frac{Q_{calc}}{Q_{exper}}$
			s. rozp w 0,1 n NaOH solub- les 0,1 n NaOH	lignina lignin	holoceluloza holocellulose	doświadczalne experimental	obliczone calculated	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
—	—	— 0	5,72	27,64	67,42	20 120	20 690	1,028
Roztworzenie alkaliczne Alkaline pulping	1,2n NaOH t=165°C	21,0 33,3 47,8	3,99 4,28 4,27	28,70 21,90 10,31	67,00 74,60 88,59	20 200 19 460 18 230	20 820 20 100 18 860	1,031 1,033 1,034
Hydroлиза kwasowa Acid hydrolysis	1,2n H ₂ SO ₄ t=100°C	10,2 22,6 31,6	12,98 7,20 6,73	29,79 34,41 36,42	64,11 65,17 63,54	20 410 20 750 21 210	20 790 21 200 21 390	1,019 1,022 1,008
Zgnilizna typu białego White rot	<i>Polystictus versicolor</i>	6,0 14,0 28,7	18,96 20,87 24,27	20,84 20,42 19,75	65,84 63,22 61,87	18 580 19 550 19 700	20 020 19 990 19 920	1,022 1,022 1,011
Zgnilizna typu brunatnego Brown rot	<i>Coniophora puteana</i>	12,0 23,0 38,0 63,0	35,16 36,58 36,35 58,27	25,45 28,18 29,82 34,43	50,40 48,76 45,04 11,47	20 030 20 210 20 670 23 050	20 450 20 650 20 860 21 700	1,021 1,021 1,009 0,941

Tabela 5

Skład chemiczny oraz doświadczone i obliczone ciepło spalania drewna buka rozłożonego czynnikami chemicznymi i biologicznymi
 Chemical composition and calculated heat of combustion of beech wood decomposed by chemical and biological factors

Rodzaj rozkładu Kind of decomposition	Czynnik rozkładający — Decompositing factor	Ubytek masy Mass loss $\Delta m(\%)$	Skład chem. w % drewna rozłożonego — Chemical composition in % of decomposed wood			Ciepło spalania Heat of combustion kJ/kg		$\frac{Q_{calc}}{Q_{exper}}$
			s. rozp w 0,1 n NaOH les 0,1 n NaOH	lignina lignin	holoceluloza holocellulose	doświadczone experimental	obliczone calculated	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
— Roztworzenie alkaliczne Alkaline pulping	— 1,2n NaOH $t=165^{\circ}\text{C}$	0	12,95	23,51	69,49	19 920	20 020	1,005
		25,5	4,75	25,40	64,38	20 010	20 300	1,014
		52,0	2,14	8,18	84,31	18 260	18 600	1,019
Hydrolyza kwasowa Acid hydrolysis	1,2n H ₂ SO ₄ $t=100^{\circ}\text{C}$	58,7	3,68	2,11	88,94	17 630	18 050	1,024
		13,8	23,11	25,16	57,15	20 100	20 360	1,013
		24,0	16,95	29,38	59,33	20 290	20 600	1,015
Zgnilizna typu białego White rot	<i>Polystictus versicolor</i>	42,7	10,56	34,48	62,49	20 770	20 870	1,005
		3,0	18,78	21,12	64,19	19 860	19 970	1,006
		24,0	20,81	20,65	63,99	19 960	19 940	0,999
Zgnilizna typu brunatnego Brown rot	<i>Coniophora puteana</i>	33,0	21,81	19,60	61,60	19 800	19 900	1,005
		63,0	27,41	17,47	60,51	19 570	19 780	1,010
		2,5	26,94	19,90	56,21	19 930	20 040	1,006
		16,0	49,08	15,68	40,80	19 890	20 080	1,007
		23,0	52,88	14,64	38,66	20 060	20 000	0,997
		36,0	59,70	13,47	35,74	20 110	19 970	0,993
		57,0	75,11	10,79	21,23	21 590	20 060	0,929

tabel 4 i 5, zawartości poszczególnych składników w drewnie rozłożonym rosną lub maleją, w zależności od typu rozkładu tego drewna. W procesach hydrolizy H_2SO_4 i działania grzyba *C. puteana* przeważają reakcje rozkładu węglowodanów. W procesie roztwarzania NaOH przeważają reakcje delignifikacji. Podczas działania grzybem *P. versicolor* składniki drewna rozkładane są natomiast równomiernie.

Wymienione zmiany zawartości głównych składników chemicznych drewna rozłożonego znajdują odzwierciedlenie w zmianach ciepła spalania tego drewna. I tak: — ciepło spalania rośnie wraz ze wzrostem zawartości ligniny i spadkiem zawartości holocelulozy, czyli w procesach hydrolizy H_2SO_4 i rozkładu przez grzyb *C. puteana*; — w przypadku delignifikacji, ciepło spalania drewna obu gatunków maleje; podczas rozkładu przez grzyb *P. versicolor* ciepło spalania zmienia się bardzo nieznacznie.

Spśród oznaczeń składu chemicznego, dokładniejszego omówienia wymagają zmiany zawartości substancji rozpuszczalnych w 0,1n NaOH. Ilości tych substancji zmieniają się bowiem w bardzo szerokich granicach, od około 4% w przypadku drewna roztworzonego w NaOH, aż do ponad 50% — w przypadku drewna rozłożonego grzybem *C. puteana*. W wyniku rozkładu ich zawartość wzrasta w przypadku sosny aż 4 - 5-krotnie, a w przypadku buka 2 - 3-krotnie. Duży, bo aż 3-krotny przyrost substancji rozpuszczalnych w 0,1n NaOH, wykazuje także drewno sosny rozłożone grzybem *P. versicolor*. Drewno buka rozłożone przez grzyb *P. versicolor* nie wykazuje natomiast zmian zawartości tych substancji.

Wzrost zawartości substancji rozpuszczalnych w 0,1 n NaOH może odbywać się jedynie kosztem pozostałych składników drewna, tj. ligniny i holocelulozy, jest więc powodowany częściową depolimeryzacją głównych składników drewna. Z oznaczeń substancji rozpuszczalnych w 0,1n NaOH wynika pośrednio, że najsilniej zdepolimeryzowane są składniki chemiczne drewna sosny i buka rozłożonego grzybem *C. puteana* oraz drewna sosny rozłożonego przez grzyb *P. versicolor*. Drewno buka rozkładane przez grzyb *P. versicolor* wydaje się być nieznacznie zdepolimeryzowane. Silna depolimeryzacja drewna sosny rozkładanego przez grzyb *P. versicolor* jest główną przyczyną ciemnienia tego drewna (Dziurzyński, Prądyński 1982). W drewnie roztwarzanym NaOH, a dla większych ubytków masy również i hydrolizowanym za pomocą H_2SO_4 , ilość substancji rozpuszczalnych w 0,1n NaOH każdorazowo maleje. W próbkach tych nie występują więc zdepolimeryzowane składniki drewna.

Fakt, że drewno poddane roztwarzaniu NaOH lub hydrolizie H_2SO_4 jest nieznacznie lub wcale zdepolimeryzowane, jest zrozumiałe jeżeli pamiętać się, iż procesy te prowadzone były w środowisku ciekłym. W procesach tych zdecydowanie przeważająca część zdepolimeryzowanych składników drewna przeszła więc do roztworu reagentów. Do dalszych badań pobrano tu jedynie substancję drzewną, która nie przereagowała, czyli — po przemyciu wodą

do odczynu obojętnego — pozostała w stanie stałym. W procesach rozkładu grzybowego zdepolimeryzowane składniki drewna nie mogły opuścić tkanki drzewnej, powodując tym samym zwiększanie wyników oznaczeń zawartości substancji rozpuszczalnych w 0,1n NaOH.

Ważną informacją, mówiącą o poprawności oznaczeń składu chemicznego drewna, jest suma wyników tych oznaczeń. Suma ta waha się w granicach od 94,5 do 113,5% i świadczy o nieselektywności oznaczeń składu chemicznego próbek drewna metodami użytymi w niniejszej pracy.

Analiza zawartości substancji rozpuszczalnych w NaOH pozwala na oznaczanie udziałów frakcji holocelulozowej i frakcji ligninowej w tych substancjach (Dziurzyński 1980). Z oszacowań tych wynika, że skład chemiczny substancji rozp. w 0,1n NaOH jest zmienny. W drewnie rozłożonym przez grzyb *C. puteana*, w miarę postępu procesu rozkładu, rośnie udział frakcji ligninowej — od 21 do 48% w przypadku buka i od 8 do 39% w przypadku sosny. W drewnie sosny rozłożonym przez grzyb *P. versicolor* udział frakcji ligninowej również nieznacznie rośnie. Drewno buka rozłożone przez grzyb *P. versicolor* ma natomiast w przybliżeniu stały skład frakcyjny substancji rozp. w 0,1n NaOH.

Spostrzeżenia poczynione tutaj w odniesieniu do substancji rozp. w 0,1n NaOH potwierdzają poglądy, że substancje te, niejednorodne pod względem chemicznym, zmieniają swój skład w zależności od sposobu i stopnia rozkładu drewna (Tichy 1974). Główną przyczyną tej zmienności jest częściowa depolimeryzacja głównych składników drewna w procesach jego rozkładu (Rypąček 1977, Blankenhorn i inni 1980).

WERYFIKACJA MODELU MATEMATYCZNEGO

Obliczenia ciepła spalania przeprowadzono zgodnie z równaniem (6), przyjmując następujące wielkości ciepła spalania składników chemicznych drewna:

holoceluloza sosny	— 17 790 kJ/kg,
holoceluloza buka	— 17 780 kJ/kg,
lignina sosny	— 28 200 kJ/kg,
lignina buka	— 26 820 kJ/kg,
substancje sosny rozpuszczalne w 0,1n NaOH	— 19 670 kJ/kg,
substancje buka rozpuszczalne w 0,1n NaOH	— 20 820 kJ/kg.

Z danych tabel 4 i 5 wynika, że odchylenia obliczonego ciepła spalania od wielkości doświadczalnych mieszczą się przeważnie w granicach od -0,7 do +3,4%. Jedynie w przypadku drewna silnie rozłożonego grzybem *C. puteana* ($\Delta m > 50\%$) różnica między obliczeniami a doświadczeniem dochodzi do -7,1%. Dla drewna naturalnego różnice te wynoszą: 2,8% u sosny i 0,5% u buka.

Różnice między doświadczalnymi a obliczonymi wielkościami ciepła spalania mogą być wywołane zarówno błędami pomiarów, jak i niespełnieniem założeń i uproszczeń poczynionych w modelu matematycznym.

Błędy pomiarów. Każda wielkość wchodząca w skład równania (6) jest obciążona pewnym błędem doświadczalnym. Podobnym błędem jest obciążone doświadczalnie oznaczone ciepło spalania. Błędy te, w zależności od rodzaju pomiaru, wynoszą od 0,09 do 0,37%. Średnie błędy oznaczeń i pomiarów wykonanych w ramach niniejszej pracy powodują, że średni błąd ilorazu $Q_{obl}/Q_{dośw}$ wynosi — zgodnie z regułami klasycznego rachunku błędów — około $\pm 1,68\%$. Do błędów doświadczalnych należy zaliczyć również uproszczenia metodyczne poczynione w części doświadczalnej. Główne z tych uproszczeń związane jest z oznaczaniem zawartości substancji rozpuszczalnych w 0,1n NaOH. Jak wykazano w pracy, w substancjach tych wraz ze wzrostem stopnia rozłożenia drewna (Δm) rośnie udział frakcji ligninowej. Wzrost udziału frakcji ligninowej najbardziej widoczny jest w substancjach rozpuszczalnych w 0,1n NaOH otrzymanych z drewna rozłożonego przez grzyb *C. puteana*. Wzrostowi udziału frakcji ligninowej towarzyszy z kolei wzrost ciepła spalania substancji rozpuszczalnych w NaOH. Wynik obliczeń ciepła spalania powinien więc, w przypadku drewna silnie rozłożonego przez grzyb *C. puteana*, być zaniżony. Zaniżenie to jest jakościowo zgodne z różnicami między doświadczalnym i obliczonym ciepłem spalania drewna silnie rozłożonego przez ten gatunek grzyba.

Założenia i uproszczenia przyjęte w wyprowadzonym modelu matematycznym (równanie 6) nie mogły być w niniejszej pracy zweryfikowane. Sprawdzenie tych uproszczeń wymagałoby wykonania doświadczeń bardziej dokładnych. Doświadczenia takie nie mogłyby być jednak zbyt szczegółowe. Ze wzrostem ilości składników chemicznych oznaczanych w drewnie, wskutek sumowania się błędów poszczególnych oznaczeń, maleje bowiem dokładność obliczeń ciepła spalania.

WNIOSKI

Na podstawie badań wykonanych w niniejszej pracy sformułowano następujące wnioski:

1. Zależność między ciepłem spalania a składem chemicznym drewna naturalnego oraz drewna rozłożonego w procesach chemicznych lub biotycznych można opisać następującym równaniem liniowym;

$$Q_{sp} = \frac{1}{\sum_i a_i(x, t)} \sum_i a_i(x, t) q_i^0$$

Możliwe są tym samym obliczenia jednej wielkości niewiadomej (ciepła spa-

lania, zawartości i -tego składnika chemicznego) jeżeli dane są pozostałe wielkości występujące w tym równaniu.

2. Ciepło spalania obliczone wg powyższego równania jest ilościowo zgodne z doświadczeniem jeżeli spełnione są warunki:

— dany materiał drzewny jest: drewnem naturalnym, drewnem rozłożonym w hydrolizie kwasowej lub alkalicznej delignifikacji względnie też drewnem w małym i średnim stopniu rozłożonym przez grzyby;

— do obliczeń dane są wyniki oznaczeń zawartości co najmniej takich składników chemicznych jak: substancje ekstrakcyjne w mieszaninie etanol-benzen, substancje rozpuszczalne w 0,1n NaOH, lignina, holoceluloza.

3. Ciepło spalania obliczone w oparciu o zaproponowaną w niniejszej pracy metodę oznaczeń składu chemicznego, w przypadku drewna silnie rozłożonego przez grzyby, różni się w niektórych przypadkach od wielkości doświadczalnych do 7%; stwierdzono to w przypadku zgnilizny brunatnej badanych gatunków drewna spowodowanej przez grzyb *Coniophora puteana*. Różnice te wywołane są uproszczoną metodyką oznaczeń składu chemicznego drewna a głównie zmiennym składem frakcyjnym substancji rozpuszczalnych w 0,1n NaOH.

Praca wpłynęła do Redakcji w sierpniu 1982

LITERATURA

1. Blankenhorn P. R., Baldwin R. C., Merrill W., Ottone S. P.: Calorimetric Analysis of Fungal Degradet Wood. Wood Science, 1980, 13, 1: 26 - 31.
2. Boversox T. W., Blankenhorn P. R., Murphey W. K.: Heat of Combustion, Ash Content, Nutrient Content, and Chemical Content of Populus Hybrids. Wood Science 1979, 11, 4: 257 - 262.
3. Browning B. L.: Methods of wood chemistry. Wiley-Interscience 1967, 13, 87: 401 - 403, 786.
4. Cave J. D.: Wood substance as a water-reactive fibre-reinforced composite. Journal of Microscopy 1975, 104, 1: 47 - 52.
5. Cave J. D.: Modelling the Structure of the Softwood Cell Wall for Computation of Mechanical Properties. Wood Science and Technology 1976, 10: 19 - 28.
6. Cave J. D.: Modelling Moisture-Related Mechanical Properties of the Wood Constituents. Wood Science and Technology 1978, 12: 75 - 86.
7. Dadykin W. P., Kononienko W. N.: O teplovoj sposobnosti organiceskovo materiala drevesnyh rastenij. Lesovedenie 1975, 2: 20 - 37.
8. Doat J.: Le Pouvoir calorifique des bois tropicaux. Bois et Forêts des Tropiques 1977, 172, Mars-Avril 33 - 55.
9. Domansky R., Redos F.: Zum Studium der Pyrolyse des Holzes und seiner Komponenten. Holz als Roh- und Werkstoff 1962, 20: 473.
10. Dziurzyński A.: Analiza możliwości wykorzystania wielkości ciepła spalania do oceny zmian struktury chemicznej drewna. Ref. X Symp. Ochrony Drewna, Rogów, 20 - 23.10.1978.

11. Dziurzyński A.: Zależność między ciepłem spalania a składem chemicznym drewna w procesach jego rozkładu. Praca doktorska AR Poznań, 1980.
12. Dziurzyński A., Owczarzak J., Surmiński J.: Ciepło spalania drewna i mas włóknistych brzozy (Summ. Heat of combustion of wood and birch pulps). Prace Komisji Technologii Drewna, Pozn. Tow. Przyj. Nauk, 1978, VII: 41 - 56.
13. Dziurzyński A., Sobczak S., Surmiński J.: Próba określenia entalpii procesów kwasowej oraz alkalicznej hydrolizy drewna (Summ. Attempts to determine the enthalpy of the processes of acid and alkaline wood hydrolysis). Prace Komisji Technologii Drewna Pozn. Tow. Przyj. Nauk, 1981, X: 13 - 23.
14. Dziurzyński A., Prądkowski Wł.: Specificity of colour changes in beech and scots pine wood decayed by *Polystictus versicolor* fungus, 1981. Praca przygotowana do druku.
15. Eickner H. W.: Basic research on the pyrolysis and combustion of wood. For. Prod. J., 1962, 4: 194 - 199.
16. Ewstigneew E. J., Bronov L. W., Nikitin W. M.: Primenene polarograficeskovo metoda v analize funkcionalnovo sostava lignina. I. Issledovania na modelnykh sojedinieniach. II. Izucenie prirody polarograficeskikh vojn lignina. Chimia drevesiny, 1979, 6: 71 - 89.
17. Haas H., Schoch W., Ströhle U.: Herstellung von Skelettsubstanzen mit Peressigsäure. Das Papier J. 9, H. 19/20, 1955, 10: 469 - 475.
18. Howard E. T.: Heat of combustion of various southern pine materials. Wood Science, 1973, 3: 194 - 197.
19. Kawase K.: Chemical components of wood decayed under natural condition and their properties. Journal of the Faculty of Agriculture Hokkaido University, 1962, 52, 2: 186 - 245.
20. Karklin W. B.: Infračrvená spektroskopie dřeviny i jeje osnovnykh komponentov. Chimia drevesiny, 1971 (7): 83 - 114.
21. Karklin W. B. a. an.: IK-spektroskopie dřeviny i jeje osnovnykh komponentov. XIV Issledovane IK-spektrov mechaniceskikh smesej lignina i holocellulozy berezowej dřeviny. Chimia drevesiny, 1977, 5: 53 - 59.
22. Kolmann F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. B. I. 1951: 239 - 243.
23. Madgwick H. A. J.: Calorific values of *pinus virginiana* as affected by time of sampling, tree age, and position in stand. Ecology, 1970, 51, 6: 1094 - 1097.
24. Moore W. E., Johnson D. B.: Procedures for the chemical analysis of wood and wood products. Forest Products Laboratory Madison Wis. 1967, (skrypt).
25. Murphey W. K., Masters K. R.: Gross heat of combustion of northern red Oak (*Q. rubra*) chemical components. Wood Science, 1978, 10, 3: 139 - 141.
26. Murphey W. K., Cutter B. E.: Gross heat of combustion of five hardwood species at differing moisture contents. Forest Prod. J., 1974, 24, 2: 44 - 45.
27. Parr S. W., Dawidson C. N.: The calorific value of American Woods. The Journal of Industr. and Eng. Chem., 1922, 14, 10: 935 - 936.
28. Pavič J.: Effect of wood density and defects on the calorific value of Beech wood. Glasnik Sumarskog Fakulteta Univerzitet u Beogradu, 1965, 28: 1 - 66.
29. Rypáček V.: Depolymerizace polysacharidické složky dřeva dřevokaznými houbami (Summ. Depolymerization of polysaccharidic components of wood by wood destroying fungi). Dřevarský výzkum, 1977, R. XXII, Zv. 1 - 2: 9 - 17.
30. Rypáček V.: materiály niepublikowane, 1979, 1980.
31. Salmi J.: Lahovikaisuuden vaikutus koivupuun lämpöarvoon (Summ. The influence of decay on the heat value of birch wood). Pienpuualan Toimikunta (Helsinki), 1964, 168: 1 - 26.

32. Sarkanen K. V., Ludwig C. H.: Lignins — occurrence, formation structure and reactions. Wiley Intersc. Thum. ros. — 1975: Ligniny. Moskwa 1971; 116, 269, 450.
33. Seifert K.: Die chemische Veränderung der Holzzellwand-Komponenten unter dem Einfluss pflanzlicher und tierischer Schädlinge. 2. Mitteilung — Abbau von *Pinus silvestris* L. durch *Coniophora cerebella* Pers. Holzforschung, 1962, 16, H. 4: 102 - 113.
34. Seifert K.: Chemischer Abbau der Buchenholz-Zellwand durch den Weissfäulepilz *Polystictus versicolor* Linn./Fr. Holz als Roh- und Werkstoff, 1966, 24, H. 3: 81 - 87.
35. Stohmann F., Kerl B.: Muspratt's Chemie — Encyklopädisches Handbuch der Technischen Chemie. Braunschweig, 1893, B. IV: 278 - 279 i 296 - 297.
36. Szturma L., Woltyńska H.: Wartość opałowa odpadów drzewnych (Summ. Fuel value of wood waste). Prace Instytutu Technologii Drewna XIV, 1967, 2 (42): 63 - 92.
37. Tichy V.: Untersuchungen über humifizierung der Lignocellulosen XVI. Zersetzung von Buchenholz durch Bräunfaulepilze. Scripta Fac. Sci. Nat. UJEP Brunensis, Biologia, 1974, 1, (4): 1 - 10.
38. Urbanik E.: Niektóre efekty cieplne procesu palenia się drewna sosnowego i ich hamowanie pod wpływem działania środków ochronnych. Praca doktorska, Poznań. 1965.
39. Urbanik E.: doniesienie prywatne, 1980.
40. Vanin S. J.: Drevesinovedenie. Leningrad-Moskwa, 1949: 267 - 271.
41. Vanino L.: Preparative Chemie. Stuttgart, 1937, B. II: 110.
42. Wiertelak J.: O oznaczaniu ligniny przez hydrolizę kwasem siarkowym towarzyszących jej węglowodanów. Roczniki Nauk Rolniczych i Leśnych. XXXIV, Poznań 1935: 129 - 134.
43. Wise L. E., Jahn E. C.: Wood Chemistry. New York-London, 1952, II: 863, 865, 866, 868.
44. Polska Norma PN-73/G-04513: Paliwa stałe — oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.

Александр Дзиурзынски

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ДРЕВЕСИНЫ И ТЕПЛОТОЙ ЕГО СГОРАНИЯ

Резюме

Разработана линейная зависимость между теплотой сгорания и химическим составом древесины.

В экспериментальной части экстрагированные образцы древесины сосны и бука были подвергнуты процессам: щелочной варки NaOH, кислотного гидролиза H₂SO₄, разложению грибом *Coniophora puteana* и разложению грибом *Polystictus versicolor*. В так разложенной древесине был обозначен химический состав (вещества растворимые в 0,1 N NaOH, лигнин, голоцеллюлоза) а также измерена теплота сгорания.

В результате сравнения теплоты сгорания, вычисленной из выведенного уравнения, с экспериментальной теплотой сгорания заключено, что существующие разницы (по-средни $\pm 2,0\%$) находятся в пределах экспериментальных ошибок. Разницы больше экспериментальных ошибок ($-7,0\%$) наблюдаются только в случае древесины сильно разложенной грибом *Coniophora puteana*.

Aleksander Dziurzyński

RELATIONSHIP BETWEEN THE CHEMICAL COMPOSITION OF WOOD AND ITS COMBUSTION HEAT

Summary

A linear relationship between the heat of combustion and chemical composition of wood was elaborated.

In the experimental part, extracted samples of pine and beech wood were treated in following processes: pulping in NaOH, acid hydrolysis in H_2SO_4 , decay by *Polystictus versicolor* fungus and decay by *Coniophora puteana* fungus. In the decomposed wood, the chemical composition (substances soluble in 0,1n NaOH, lignine, holocellulose) and heat of combustion were determined.

The calculated and experimental heats of combustion were compared. It was confirmed that the obtained differences (mean $\pm 2\%$) are contained within the range of errors of experimental determinations. The greater differences ($-7,0\%$) were observed only in the case of strongly decayed wood by *Coniophora puteana* fungus.