

Tadeusz Grzeczyński, Janusz Surmiński

Z BADAŃ NAD SKŁADEM CHEMICZNYM
I WYTRZYMAŁOŚCIĄ DREWNA WYKOPALISKOWEGO

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ
И СОПРОТИВЛЕНИЮ ИСКОПАЕМОЙ ДРЕВЕСИНЫ

STUDY ON CHEMICAL COMPOSITION AND STRENGTH PROPERTIES OF
EXCAVATED WOOD

WSTĘP

Wytrzymałość drewna wiąże się z całym szeregiem czynników. O ile w drewnie świeżo pozyskanym i zdrowym zależy ona przede wszystkim od gatunku oraz od strefy anatomicznej, o tyle w drewnie starym, przez które rozumie się również i drewno wykopaliskowe, zależy ona przede wszystkim od warunków, w jakich się to drewno znajdowało od chwili badania. Można więc przyjąć, że środowisko, w którym się drewno znajdowało, wywiera w przybliżeniu analogiczny wpływ na wytrzymałość drewna, jak i na jego trwałość.

Wiadomo, że najdogodniejsze warunki dla trwałości drewna stwarza powietrze suche, w którym może ono zachowywać swoje pierwotne własności przez okres nawet kilku tysięcy lat. Bardzo korzystnie na trwałość niektórych gatunków drewna oddziałuje również całkowite pokrycie wodą lub piaskiem. Wskazują na to liczne przykłady drewna wykopaliskowego, pochodzącego ze starych budowli ziemnych lub wodnych sprzed kilkuset, a nawet ponad tysiąca lat. Najgorsze natomiast warunki przechowywania znajduje drewno w powietrzu o zmiennej wilgotności oraz drewno przebywające częściowo w ziemi lub w wodzie, a częściowo w powietrzu.

Analizując wpływ gatunku drewna na jego trwałość, stwierdzić można, że spośród krajowych gatunków liściastych do bardzo trwałych należą dąb, wiąz i aklimatyzowany u nas grochodrzew, a spośród iglastych — modrzew i sosna. W wypadku przechowywania drewna w wodzie dużą trwałość wykazuje również drewno olchowe. Jako zasadę można ponadto przyjąć, że w drewnie gatunków tzw. twardzielowych twardziel naturalna i zabarwiona wykazuje najczęściej wielokrotnie większą trwałość od partii bielastej.

Na temat własności drewna starego w dostępnej literaturze spotyka się jedynie nieliczne prace (1, 4, 7, 9, 10, 12, 15, 17, 19, 20, 21). Prace te jednak przeważnie nie określają bliżej stopnia zmian, jakie zaszły w omawianym drewnie lub ograniczają się tylko do określenia zmian fizyko-mechanicznych lub chemicznych. Brak jest natomiast prac, które by zagadnienie zmian zachodzących w drewnie starym omawiały kompleksowo, określając zależności pomiędzy zmianami poszczególnych własności drewna.

OPIS PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Badania przeprowadzono na drewnie sosny (*Pinus sp.*), dębu (*Quercus sp.*) i wiązu (*Ulmus sp.*)¹, pochodzącym z wykopalisk na Ostrowie Tumskim w Poznaniu. Według danych Instytutu Historii Kultury Materialnej PAN w Poznaniu wspomniane drewno pochodzi w konstrukcji wału wzniesionego w X i XI wieku.

Próbki do badań pozyskano z wyrzynków o średnicę od 20 do 25 cm po odrzuceniu zewnętrznej warstwy drewna silnie rozłożonego. Badania własności fizycznych, które przeprowadzono na wspomnianym drewnie, obejmowały tylko oznaczenia ciężaru właściwego, natomiast z własności mechanicznych określono wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien i zginanie statyczne.

Z uwagi na niebezpieczeństwo powstawania pęknięć w drewnie w czasie jego suszenia, badania wytrzymałościowe przeprowadzono w stanie mokrym przy wilgotności około 80%. Za wykonaniem badań drewna w stanie mokrym przemawiał i ten fakt, że zmiany własności zachodzące w drewnie wskutek jego rozkładu ujawniają się jaskrawiej w stanie mokrym aniżeli w suchym (5, 6).

Wymiary próbek do badań przyjęto zgodnie z obowiązującymi normami.

Analiza chemiczna, której poddano badane drewno, obejmowała oznaczenie celulozy metodą Kürschnera-Hoffera, ligniny metodą Komarowa, pentozanów metodą Tollensa oraz α -celulozy i substancji mineralnych (16). W przytoczonych tabelach podano średnie wyniki uzyskane na podstawie dziesięciu oznaczeń.

WYNIKI I ANALIZA BADAŃ

Wyniki określania wytrzymałości dla wszystkich gatunków badanego drewna zestawiono w tabeli 1, podając obok wartości średnich najważniejsze wskaźniki statystyczne. Z tabeli tej wynika, że współczynniki

¹ W tekście pracy pojęcie gatunku drewna zastosowano w znaczeniu botanicznym, mimo że faktycznie badano nie gatunki, lecz rodzaje. Pojęcia rodzaju drewna użyto natomiast dla określenia jego jakości, jak np. drewno wykopaliskowe, drewno zdrowe.

Tabela 1

**Własności drewna wykopaliskowego pochodzącego z konstrukcji wału
wzniesionego w X i XI wieku na Ostrowie Tumskim w Poznaniu**

Rodzaj własności	Wskaźnik statystyczny	Gatunek drewna		
		sosna	dąb	wiąz
Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien	średnia arytmetyczna w kG/cm ²	175	112	101
	średnie kwadratowe odchylenie w kG/cm ²	±22	±21	±13
	współczynnik zmienności w proc.	13	19	13
	średnie odchylenie średniej arytmetycznej w kG/cm ²	±5	±4	±2
	liczba oznaczeń	20	28	47
Wytrzymałość na zginanie statyczne	średnia arytmetyczna w kG/cm ²	344	268	199
	średnie kwadratowe odchylenie w kG/cm ²	±24	±92	±15
	współczynnik zmienności w proc.	7	34	8
	średnie odchylenie średniej arytmetycznej w kG/cm ²	±24	±35	±3
	liczba oznaczeń	2	7	9

zmienności dla drewna sosny i wiązu nie przekraczają wartości przeciętnych, określonych przez N. L. Lontiewa dla drewna zdrowego (14). Dla drewna dębu natomiast współczynniki te są wyższe, co spowodowane jest prawdopodobnie tym, że drewno to zawierało szereg pęknięć wewnętrznych, które ujawniły się dopiero w chwili badania.

Dla obiektywnej oceny zmian, jakie zaszły w drewnie wykopaliskowym, zestawiono w tabeli 2 wytrzymałość tego ostatniego z wytrzymałością

Tabela 2

**Porównanie wytrzymałości drewna wykopaliskowego pochodzącego z konstrukcji
wału wzniesionego w X i XI wieku na Ostrowie Tumskim w Poznaniu
z wytrzymałością współczesnego drewna zdrowego**

Gatunek drewna	Ciężar właściwy drewna w stanie całkowicie suchym		Wytrzymałość drewna na							
			ściskanie wzdłuż włókien				zginanie statyczne			
	wykopaliskowego	zdrowego	wykopaliskowego o wilgotności powyżej 30%	zdrowego o wilgotności		wykopaliskowego o wilgotności powyżej 30%	zdrowego o wilgotności	zdrowego o wilgotności		wykopaliskowego o wilgotności powyżej 30%
				15% ²	powyżej 30% ³			15% ²	powyżej 30% ³	
g/cm ³	g/cm ³	kG/cm ²	kG/cm ²	%	kG/cm	kG/cm	%			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sosna	0,49	0,49	173	470	248	70	344	870	576	60
Dąb	0,66	0,65	112	520	324	35	268	910	663	40
Wiąz	0,41	0,64	101	410	262	39	199	720	515	39

¹ Wg F. Kollmanna (8), ² wg F. Krzysika (11), ³ wg N. L. Lontiewa (13).

drewna zdrowego. Ze względu na to, że wytrzymałość drewna wykopaliskowego była określana w stanie mokrym, przeto i wytrzymałość drewna zdrowego przy wilgotności 15% (kolumna 5 i 9) przeliczono na wytrzymałość przy wilgotności powyżej 30% według wzoru podanego przez N. L. Leontiewa (13) i zestawiono w kolumnie 6 i 10.

$$R_{30} = R_{15} \times k,$$

gdzie

R_{30} — wytrzymałość drewna przy wilgotności 30%,

R_{15} — wytrzymałość drewna przy wilgotności 15%,

k — współczynnik zależny od rodzaju wytrzymałości i gatunku drewna wynoszący:

	przy ściskaniu	przy zginaniu
dla sosny	0,528	0,662
dla dębu	0,623	0,729
dla wiązu	0,640	0,715

W kolumnie 7 i 11 podano względne wytrzymałości drewna wykopaliskowego w stosunku do wytrzymałości drewna zdrowego o tej samej wilgotności. Z kolumn tych wynika, że wytrzymałość drewna wykopaliskowego uległa znacznemu obniżeniu, a mianowicie w granicach od 30 do 61%. Spadek wytrzymałości obserwowany w drewnie sosny był jednak wyraźnie mniejszy aniżeli analogiczny spadek w drewnie gatunków liściastych.

W tabeli 2 zestawiono również ciężar właściwy drewna wykopaliskowego oraz drewna zdrowego (kolumna 2 i 3). Z zestawienia tego wynika, że ciężar obu rodzajów drewna sosny i dębu, praktycznie biorąc, jest jednakowy. Drewno wiązu wykopaliskowego wykazuje natomiast ciężar właściwy mniejszy od ciężaru właściwego drewna zdrowego.

Stwierdzenie jednakowego ciężaru właściwego sosny i dębu można interpretować dwojako: albo w drewnie wykopaliskowym istotnie nie zaszły żadne zmiany, które by obniżały jego ciężar właściwy, albo że zaistniały zmiany tak w ciężarze drewna, jak i w jego objętości, jednak stosunek ciężaru drewna do jego objętości zachował wartość stałą. Za przyjęciem drugiej interpretacji przemawia fakt, że w drewnie wykopaliskowym zachodzą istotnie zmiany w jego składzie chemicznym wpływające na zmianę ciężaru, o których będzie mowa w dalszej części pracy.

Własności chemiczne drewna wykopaliskowego oraz drewna zdrowego zestawiono w tabeli 3, z której wynika, co następuje.

Zawartość celulozy w drewnie dębu i wiązu wykopaliskowego jest praktycznie identyczna jak w drewnie zdrowym tych gatunków, natomiast w drewnie sosny obserwuje się zawartość niższą. Zawartość ligniny w drewnie wykopaliskowym i drewnie zdrowym sosny i dębu kształtuje

Tabela 3

**Porównanie składu chemicznego drewna wykopaliskowego
pochodzącego z konstrukcji wału wzniesionego w X i XI wieku
na Ostrowie Tumskim w Poznaniu oraz współczesnego drewna zdrowego**

Składniki drewna	Zawartość głównych składników drewna i substancji mineralnych wyrażona w % całkowitej suchej masy drewna					
	sosny		dębu		wiązu	
	wykopaliskowej	zdrowej ¹	wykopaliskowego	zdrowego ¹	wykopaliskowego	zdrowego ¹
Celuloza	42	54	46	43	44	43
Lignina	28	26	29	25	37	27
Pentozany	11	11	13	25	11	22
Substancje rozpuszczalne w gorącej wodzie	0,7	2,0—4,0	3,0	7,0	0,8	1,6
Substancje mineralne	0,6	0,4	2,2	0,3	1,9	0,7
Razem	82,3	93,0—95,0	93,2	100,3²	94,7	94,3
Inne substancje nieoznaczone	17,7	5,0—7,0	6,8	—	5,3	5,7

¹ Wg W. Galewskiego i A. Korzeniowskiego (3), F. Krzysika (11) oraz L. E. Wise i E. C. Jahna (21).

² Przekroczenie łącznej zawartości składników w drewnie dębu o 0,3% wynika z tego, że wartości dla drewna zdrowego przytoczono z kilku źródeł.

się prawie identycznie, natomiast w drewnie wiązu wykopaliskowego jest wyższa aniżeli w drewnie zdrowym.

Zawartość pentozanów w wykopaliskowym drewnie liściastym jest znacznie niższa aniżeli w drewnie obydwu rodzajów na jednakowym poziomie. Ilość substancji rozpuszczalnych w gorącej wodzie zmniejszyła się w drewnie wykopaliskowym w porównaniu ze współczesnym drewnem zdrowym tych gatunków. Zawartość substancji mineralnych we wszystkich gatunkach drewna wykopaliskowego jest wyższa aniżeli w drewnie zdrowym, jednak w drewnie gatunków liściastych różnice w zawartości są większe.

Zawartość α -celulozy w celulozie wyodrębnionej z drewna wykopaliskowego oraz z drewna zdrowego zestawiono w tabeli 4, przy tym wyrażono ją w stosunku do suchej masy drewna oraz w stosunku do masy uzyskanej celulozy. Z zestawienia tego wynika, że w drewnie wykopaliskowym zawartość α -celulozy bardzo wyraźnie maleje, przy czym największy spadek jej zawartości obserwuje się w drewnie sosny i wiązu.

Analizując ogólnie skład chemiczny drewna wykopaliskowego należy stwierdzić, że zawartość pięciu oznaczonych w tym drewnie składników stanowi od 82 do 95% masy, natomiast w drewnie zdrowym wynosi ona od 93 do 100%. O ile w drewnie zdrowym na pozostałą nie oznaczoną masę składają się przede wszystkim substancje pektynowe, żywice, garb-

Tabela 4

Porównanie zawartości α -celulozy w drewnie wykopaliskowym pochodzącym z konstrukcji wału wzniesionego w X i XI wieku na Ostrowie Tumskim w Poznaniu oraz we współczesnym drewnie zdrowym

Drewno	Zawartość α — celulozy w drewnie					
	sosny		dębu		wiązu	
	wyrażona w %					
	suchej masy drewna	ilości uzyskanej celulozy	suchej masy drewna	ilości uzyskanej celulozy	suchej masy drewna	ilości uzyskanej celulozy
Wykopaliskowe	23	54	33	68	26	61
Zdrowe	61 ¹	73 ²	47 ¹	92 ²	55 ¹	92 ²

¹ Wg W. Galewskiego i A. Korzeniowskiego (3), ² wg L. E. Wise i E. C. Jahna (21).

niki, tłuszcze i heksozany, o tyle w drewnie wykopaliskowym pozostała, nie oznaczoną masę drewna w ilości od 5 do 18% stanowią prawdopodobnie głównie substancje huminowe powstałe z rozkładu wchodzących w skład drewna węglowodanów (2, 10). O rozkładzie tym świadczy zresztą daleko posunięta depolimeryzacja celulozy w drewnie wykopaliskowym zaobserwowana u wszystkich gatunków, a objawiająca się znacznym spadkiem zawartości α -celulozy.

Z depolimeryzacją celulozy, która najjaskrawiej występuje w drewnie sosny, wiąże się też niewątpliwie sprawa ilości określonych w tym drewnie pentozanów. Mimo że zawartość pentozanów w drewnie sosny wykopaliskowej jest identyczna jak sosny zdrowej, należy wyrazić pogląd, że miejsce pierwotnie zawartych w drewnie pentozanów, które uległy rozkładowi, zajęły pentozany powstałe prawdopodobnie w wyniku depolimeryzacji i dekarboksylacji celulozy (18).

O ile spadek zawartości poszczególnych składników w drewnie wykopaliskowym w stosunku do ich zawartości w drewnie zdrowym uważać można za zrozumiałą i uzasadnioną, o tyle wzrost ich zawartości, jak np. ligniny w drewnie wiązu czy substancji mineralnych, uważać należy za pozorny, wynikający niewątpliwie ze spadku ogólnej masy drewna wykopaliskowego.

Dla zrozumienia przyczyn spadku wytrzymałości drewna wykopaliskowego, wykazanego w tabelach 1 i 2, w tabeli 5 zestawiono obok własności fizyko-mechanicznych tego drewna jego własności chemiczne, przy czym zawartość obserwowanych składników drewna wyrażono w procentach analogicznej zawartości w drewnie zdrowym, (na podstawie danych zawartych w tabeli 3 i 4).

Z tabeli 5 wynika, że w drewnie sosny spadek wytrzymałości idzie w parze ze spadkiem zawartości celulozy w drewnie, a przede wszystkim ze spadkiem decydującej o wytrzymałości α -celulozy, natomiast w drev-

Tabela 5

Własności fizyko-mechaniczne oraz chemiczne drewna wykopaliskowego pochodzącego z konstrukcji wału wzniesionego w X i XI wieku na Ostrowie Tumskim w Poznaniu

Gatunek drewna	Ciężar właściwy	Wytrzymałość na		Zawartość składników drewna			
		ściskanie	zginanie	celuloza	α -celuloza	lignina	pentozy
Sosna	100	70	60	78	50	107	100
Dąb	101	35	40	107	70	116	52
Wiąz	64	39	39	102	47	137	50

nie obydwu gatunków liściastych, tj. dębu i wiązu, obserwuje się zależność między spadkiem wytrzymałości i zmniejszeniem się zawartości α -celulozy oraz pentozanów.

WYNIKI

W wyniku przeprowadzonych badań wyciągnąć można następujące wnioski końcowe.

1. Procesy rozkładowe zachodzące w drewnie wykopaliskowym powodują zmiany tak w jego własnościach chemicznych, jak też fizyko-mechanicznych.

2. W drewnie sosny wykopaliskowej zaznacza się zależność między obniżeniem wytrzymałości a spadkiem zawartości celulozy, a zwłaszcza α -celulozy. W drewnie zaś dębu i wiązu w parze z obniżeniem wytrzymałości drewna obserwuje się oprócz zmniejszenia zawartości α -celulozy również i zmniejszenie zawartości pentozanów.

3. Spośród trzech badanych gatunków drewna wykopaliskowego — sosny, dębu i wiązu, które znajdowało się w ziemi w praktycznie jednokowych warunkach przez okres około 1000 lat, obniżenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie drewna sosny wynosiło $\frac{1}{3}$, a drewna dębu i wiązu $\frac{2}{3}$ wytrzymałości współczesnego zdrowego drewna tych samych gatunków.

Z Katedr Mechanicznej Technologii Drewna i Chemicznej Technologii Drewna Wyższej Szkoły Rolniczej w Poznaniu

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 7 marca 1961 r.

LITERATURA

1. Cartwright K. St. G., Fin-dlay W. P. K.: Rozkład i konserwacja drewna. Warszawa 1951.

2. Enders C.: „Angew. Chemie“ 1943; 56, s. 281.

3. Galewski W., Korzeniow-

ski A.: Atlas najważniejszych gatunków drewna. Warszawa 1958.

4. Graczev I.: Techniczeskije swojstwa toplakowej drierwiesiny. „Miechaniczeskaja obrabotka drierwiesiny“ 1959; 9.

5. Graczyński T.: Wpływ ogrzewania świeżego drewna bukowego w wodzie na jego przejściowe i trwałe odkształcenia. Katedra Mechanicznej Technologii Drewna WSR Poznań (maszynopis).

6. Graczyński T.: Z badań nad wpływem ogrzewania świeżego drewna bukowego w wodzie na wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien „Sylwan“ — w druku.

7. Kohara J.: Studies on the permanence of wood. The influence of age on the components of wood. „Biul. Univ. of Saikyo“ 1955; 1, s. 21—24.

8. Kollmann F.: Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe. Berlin 1951; tom I.

9. Konopelko-Bielecki H.: Badania nad korozją biskupińskiego drewna wykopaliskowego oraz jego własnościami mechanicznymi i strukturalnymi. Katedra Inżynierii i Budownictwa WSR w Poznaniu (maszynopis).

10. Krevelen D. W. van, Schuyre J.: Coal Science. Amsterdam 1957.

11. Krzysik F.: Nauka o drewnie. Warszawa 1957.

12. Laet S. J. de: Archeologia i jej problemy. Warszawa 1960.

13. Leontiew N. L.: Procznost' syroj drierwiesiny. „Dieriewoobratywuuszczaja promyszlennost'“ 1959; 10.

14. Leontiew N. L.: Ugrupije deformacji drierwiesiny. Moskwa 1952.

15. Ługa A. A., Sołnczewa A. S.: Issledowanije drierwiesiny 700-letnich swaji. „Dokłady Akadiemii Nauk SSSR“ 1954; 5, tom XCVI.

16. Materiały analityczne Centralnego Laboratorium Celulozowo-Papierniczego. Łódź 1954.

17. Narayanamurti D., Gosh S. S., Prasad B. N., Verma G. M.: Untersuchungen an alten Holz aus dem Fdussbet des Gange bei Mokameh, Bihar. „Holz als Roh- und Werkstoff“ 1960; 2.

18. Nikitin W.: Chemia drewna i celulozy. Warszawa 1955.

19. Panek St.: Z badań nad składem chemicznym drewna wykopaliskowego z Biskupina. Katedra Chemicznej Technologii Drewna WSR w Poznaniu (maszynopis).

20. Prosiński St., Surmiński J., Czechowski Z.: Zmiany ilościowe składników chemicznych w drewnie sosny wykopaliskowej spowodowane rozkładem beztlenowym. „Roczniki WSR w Poznaniu“ 1961; tom XI, s. 9—15.

21. Wise L. E., Jahn E. C.: Wood chemistry. New York 1952; tom II.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И СОПРОТИВЛЕНИЮ ИСКОПАЕМОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Краткое содержание

Были проведены исследования по некоторым химическим, физическим и механическим свойствам ископаемой древесины сосны, дуба и вяза, происходящей из конструкции вала сооруженного в X и XI столетии на Тумском Острове в Poznани. Из химических свойств определено содержание целлюлозы методом Кюршнера-Гоффера, лигнина — методом Комарова, пентозанов — методом Толленса, минеральных и раствори-

мых в горячей воде веществ, а также количество α -целлюлозы в выделенной целлюлозе. Из физических свойств определено удельный вес древесины, из механических — сопротивление сжатию вдоль волокон и статический изгиб.

В результате исследований констатировано, что снижение сопротивления сосновой влажной древесины составляло $1/3$, а дубовой и вязовой древесины $2/3$ сопротивления современной, здоровой древесины тех же пород с такой же влажностью. В древесине сосны обозначается зависимость между снижением сопротивления и уменьшением содержания целлюлозы и α -целлюлозы, зато в древесине дуба и вяза совместно со снижением сопротивления наблюдается кроме уменьшения содержания α -целлюлозы также уменьшение содержания пентозанов. Удельный вес ископаемой древесины дуба и сосны не изменился по сравнению с удельным весом современной здоровой древесины исследуемых пород.

STUDY ON CHEMICAL COMPOSITION AND STRENGTH PROPERTIES OF EXCAVATED WOOD

Summary

Some chemical, physical, and mechanical properties of pine, oak and elm wood, derived from rampart construction built in X and XI century on the site of Ostrów Tumski Poznań, were investigated.

Regarding chemical properties the following ones were determined: cellulose content — using Kürschner-Hoffer method, lignin content — using Komarow method, pentosanes content — using Tolles method, mineral and hot water soluble substances content, and α -cellulose content in separated cellulose.

As far as physical and mechanical properties of wood are concerned, specific gravity, compression strength along the fibre, and static bending strength were determined.

Investigation results showed that the decrease in strength properties of wet excavated pine wood amounted to $1/3$, while that of oak and elm wood to $2/3$ of the strength properties of sound contemporary wood of the same species.

In pine wood, a relationship between the decrease of strength properties and the decrease of cellulose and α -cellulose content was found.

In oak and elm wood, along with decreasing strength properties, a decrease of pentosans content beside the decrease of α -cellulose content was observed.

No changes in specific gravity of excavated pine and oak wood, in comparison with that of sound wood of these species, were found.