

ZAWARTOŚĆ I STRUKTURA CELULOZY W DREWNI ŚWIERKA  
W ZALEŻNOŚCI OD POŁOŻENIA W STRZALE DRZEWA*Donata Krutul, Józef Kocot*Instytut Inżynierii Materiałów Drzewnych  
i Międzywydziałowy Zakład Fizyki SGGW-AR

Synopsis. Badano zawartość substancji ekstrakcyjnych, celulozy i  $\alpha$ -celulozy w drewnie 90-letniego świerka. Zawartość celulozy i  $\alpha$ -celulozy wyraźnie wzrasta w kierunku od rdzenia do obwodu. Analiza rentgenowska wykazała, że micelle celulozy w strefie przyrdzeniowej tworzą teksturę spiralną, a w strefie obwodowej — włóknistą. Między nimi występuje strefa przejściowa o teksturze, którą można nazwać kątową.

## I. GENEZA I CEL PRACY

Zagadnieniem zmian składu chemicznego drewna w zależności od: gatunku drewna, warunków wzrostu drzewa i jego wieku poświęcono szereg prac. Natomiast nieliczne prace traktują o różnicach w składzie chemicznym w zależności od położenia w strzale drzewa.

Harwood [1] badał zawartość ligniny, pentozanów,  $\alpha$ -celulozy oraz rozdzielonych cukrów prostych: galaktozy, glukozy, mannozy, arabinozy i ksylozy w drewnie sosnowym (*Pinus radiata*) w zależności od położenia drewna na wysokości pnia oraz w kierunku od rdzenia do obwodu.

Z przedstawionych danych (tab. 1) wynika, że zawartość ligniny nieznacznie maleje w kierunku od rdzenia do obwodu oraz od odziomka ku wierzchołkowi. Wyraźniejsze różnice obserwuje się w odniesieniu do pentozanów, których zawartość wyraźnie maleje w kierunku od rdzenia do obwodu i wzrasta od odziomka ku wierzchołkowi. Natomiast zawartość  $\alpha$ -celulozy wzrasta w kierunku od rdzenia do obwodu, z wyjątkiem ostatniej, przyobwodowej strefy, w której wystąpił nieznaczny spadek w stosunku do strefy poprzedniej.

Zawartość  $\alpha$ -celulozy oznaczona na wysokości 12,2 m od odziomka wykazuje zróżnicowanie zależne od odległości próbki od rdzenia: w strefie przyrdzeniowej zawartość  $\alpha$ -celulozy jest około 10% niższa niż w strefie przyobwodowej. W strefie przyrdzeniowej (słoje 1-5) zawartość  $\alpha$ -celulozy jest niezależna od odległości ba-

danego drewna od odziomka. Różnice w zawartości  $\alpha$ -celulozy między strefą przyrzeniową a przyobwodową są większe w odległości 12,2 m niż w odległości 31,0 m od odziomka. Zawartość  $\alpha$ -celulozy w części bliższej odziomkowi jest wyraźnie większa niż w części położonej wyżej.

Tabela 1

Zawartość ligniny, pentozanów i  $\alpha$ -celulozy w drewnie sosnowym wg Harwooda [1]

Odległość od odziomka m	Przyrosty roczne liczone od rdze- nia	Lignina %	Pentozany %	$\alpha$ -celuloza %
12,2	1-5	27,2	9,3	46,8
		28,3 <sup>a</sup>	9,7 <sup>a</sup>	47,6 <sup>a</sup>
		28,9	10,1	49,0
	6-10	26,8	8,2	49,0
		27,0	9,0	49,6
		27,2	10,6	50,1
	11-15	25,8	7,3	51,5
		26,8	8,0	52,0
		27,1	8,4	52,5
	16-20	26,0	6,8	51,9
		26,3	7,6	53,0
		26,5	8,4	54,1
21-25	25,3	6,5	50,5	
	26,6	7,0	52,7	
	28,5	7,5	55,5	
31,0	1-5	27,1	10,4	47,4
		27,3	11,7	48,0
		27,6	13,3	48,8
	6-10	26,0	9,1	49,0
		26,5	9,6	49,7
		26,9	10,2	50,5

<sup>a</sup>Dane środkowe są wielkościami średnimi z trzech pomiarów.

Według badań Harwooda zawartość glukozy zwiększa się od rdzenia do obwodu, natomiast ksylozy i arabinozy maleje (niezależnie od odległości badanych próbek od odziomka).

Uprichard [4] badał zawartość substancji chemicznych w zależności od położenia w strzale drzewa sosnowego (*Pinus radiata*). Z badań tych (tab. 2) wynika, że zawartość ligniny zmniejsza się w kierunku od rdzenia do obwodu oraz od odziomka ku wierzchołkowi. Również zawartość substancji ekstrakcyjnych zmniejsza się od rdzenia do obwodu, natomiast nie obserwuje się regularnych zmian zależnych od odległości próbek od odziomka. Zmiany w zawartości  $\alpha$ -celulozy i pentozanów przebiegają analogicznie do podanych przez Harwooda [1].

Kocoń [2] przeprowadził szczegółowe badania dotyczące orientacji micel celulozy w drewnie sosny w kierunku od rdzenia do obwodu i od odziomka ku wierzchołkowi. Na podstawie analizy rentgenowskiej stwierdził, że układ micel celulozy zależy od położenia w strzale drzewa. Drewno strefy rdzeniowej charakteryzuje się śrubowym układem micel (rentgenogram spiralny), natomiast drewno strefy obwodowej wykazuje równoległy układ micel (rentgenogram włóknisty). Drewno tego

Tabela 2

Zawartość substancji chemicznych w zależności od położenia w strzale drzewa sosnowego wg Upricharda [4]

Odległość od odziomka m	Przyrosty roczne	Zawartość substancji chemicznych %			
		substancje ekstrakcyjne	lignina	pentozany	$\alpha$ -celuloza
36,6	1-5	3,6	—	10,6	48,8
	1-5	8,9	—	11,0	44,9
31,0	6-10	3,0	—	9,6	48,4
	1-5	9,4	27,6	11,2	45,8
26,5	6-10	4,3	26,5	9,8	50,1
	11-15	6,9	27,1	9,0	49,6
19,8	1-5	3,9	—	9,7	46,2
	6-10	2,8	—	9,5	49,0
	11-15	2,0	—	9,1	50,3
	16-20	2,3	—	7,8	51,9
12,2	1-5	9,1	—	10,5	48,9
	6-10	1,6	—	9,0	49,3
	11-15	1,5	—	8,8	50,5
	16-20	1,3	—	7,8	50,7
	21-25	1,6	—	7,5	51,8
3,7	1-5	5,3	30,0	10,5	46,8
	6-10	1,8	28,1	—	51,3
	11-15	1,8	28,0	7,2	51,9
	16-20	1,1	26,7	7,0	53,4
	21-25	1,4	25,2	7,0	54,1
	26-30	—	25,1	6,9	53,4

samego słoja zarówno w przyroście wiosennym jak i letnim charakteryzuje się równoległym układem micel w części odziomkowej i spiralnym w części wierzchołkowej, jeśli badane drzewo ma odpowiedni wiek (np. 50 lat).

Omówione prace dały podstawę do wykonania badań stwierdzających, czy istnieje różnica w zawartości celulozy i w jej strukturze w zależności od położenia w strzale drzewa świerkowego. W pracy omówiono również zmiany w zawartości substancji ubocznych w kierunku od rdzenia do obwodu i od odziomka ku wierzchołkowi.

## II. MATERIAŁ I METODYKA PRACY

### 1. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁU BADAWCZEGO

Badanie zawartości celulozy i jej struktury w zależności od położenia w strzale drzewa przeprowadzono na próbkach drewna 90-letniego świerka. Świerk rósł w zwarciu w miejscu osłoniętym od jednokierunkowych wiatrów w nadleśnictwie Ujsoły (koło Żywca). Pień drzewa był prosty, smukły, o małej i równomiernej zbieżystości, korona była symetryczna i równomiernie rozłożona. Wysokość drzewa wynosiła 35,5 m. Na wysokości 15 m od odziomka drzewo miało 24 cm średnicy, a na wysokości 2 m — 37 cm (maksymalna 40 cm, minimalna 34 cm). Rdzeń więc był położony prawie wzdłuż osi geometrycznej drzewa. Układ słoju rocznych na poszczególnych przekrojach poprzecznych był równomierny i regularny. Dokonano sześciu poprzecznych przekrojów na wysokości mierzonej od odziomka: 2, 16, 27, 30, 32 i 34 m. Do analizy pobrano próbki drewna z ostatniego przyrostu rocznego.

W strzale badanego świerka prawie nie było drewna reakcyjnego typu twarżnicy. Na pierwszych dwóch przekrojach od odziomka występowały wyraźnie zróżnicowane trzy strefy szerokości słoju rocznych; strefa rdzeniowa szerokosłosta, obwodowa wąskosłosta i strefa średniosłosta między strefą rdzeniową i obwodową. Dlatego z pierwszych dwóch przekrojów wzięto do analizy próbki z trzech stref. Na trzecim i czwartym przekroju poprzecznym można było wyróżnić dwie strefy szerokości słoju — rdzeniową szerokosłostą i obwodową o średniej szerokości słoju. Na piątym i szóstym przekroju poprzecznym występowała już tylko jedna — rdzeniowa, szerokosłosta strefa słoju rocznych. Analizę przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

### 2. METODYKA BADAŃ

W badanych próbkach drewna świerkowego zawartość substancji ekstrakcyjnych oznaczono w aparacie Soxhleta, stosując mieszaninę alkoholowo-benzenową (1:1). Do oznaczenia zawartości celulozy użyto metody Kürschnera-Hoffera. Zawartość  $\alpha$ -celulozy w celulozie oznaczono metodą wagową zgodnie z RN-53/MPDiP-05032.

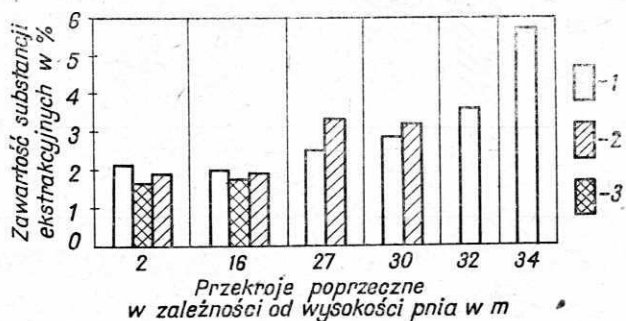
Odpowiednie próbki celulozy i  $\alpha$ -celulozy wkładano na stolik mikroskopu pokryty warstwą pasty srebrnej. Tak przygotowane próbki napyłano w napyłarce próżniowej węglem ze srebrem przy ciśnieniu  $10^{-5}$  Tr. Preparaty przeglądano i zdjęcia wykonywano w skaningowym mikroskopie elektronowym JSM-35, stosując natężenie prądu  $10^{-12}$  A i napięcie 25 kV.

Z próbek drewna świerkowego pobranych w kierunku od rdzenia do obwodu oraz od odziomka ku wierzchołkowi wykonywano rentgenogramy na płaskich błonach fotograficznych (zastosowano kamery rentgenowskie z płaskimi kasetami). Monochromatyczną wiązkę promieniowania rentgenowskiego otrzymano z lampy Coolidge'a z anodą miedzianą. Kamerę wykonano z blachy mosiężnej w postaci prostopadłościanu z tylną ścianą ołowianą. W przedniej ścianie kamery znaj-

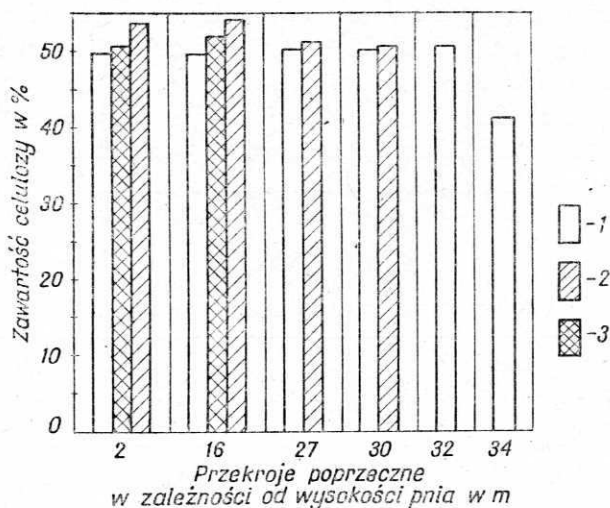
dował się kolimator 0,8 mm średnicy. Próbki drewna grubości 0,5 do 3 mm pochodzące z przekroju stycznego naklejano bezpośrednio na kolimator. Lampa pracowała pod napięciem 45 000 V i przy natężeniu prądu anodowego 12 mA. Czas ekspozycji wynosił 5 h.

### III. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

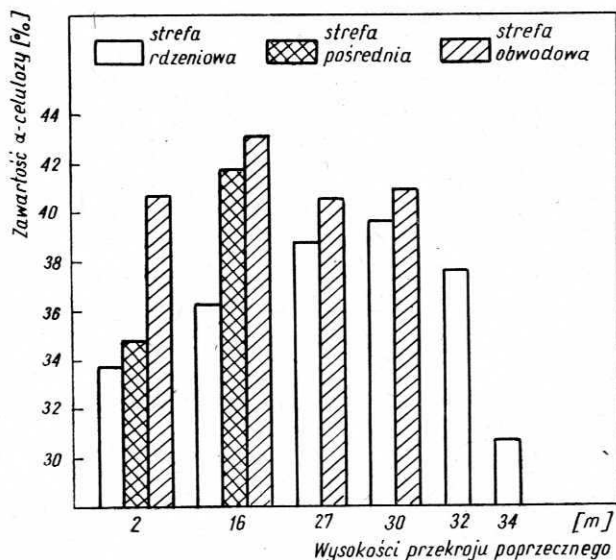
Wyniki badań, charakteryzujące zmiany w zawartości substancji ekstrakcyjnych, celulozy i  $\alpha$ -celulozy w zależności od odległości od odziomka oraz w kierunku od rdzenia do obwodu, przedstawiono na rysunkach 1-3.



Rys. 1. Zawartość substancji ekstrakcyjnych w zależności od położenia w strzale drzewa: 1 – strefa rdzeniowa, 2 – strefa obwodowa, 3 – strefa pośrednia



Rys. 2. Zawartość celulozy w zależności od położenia w strzale drzewa. Objasnienia 1-3 jak na rysunku 1



Rys. 3. Zawartość  $\alpha$ -celulozy w zależności od położenia w strzale drzewa. Objaśnienia 1-3 jak na rysunku 1

Zawartość substancji ekstrakcyjnych jest najmniejsza w strefie pośredniej zarówno na wysokości 2 m, jak i 16 m wzwyż (rys. 1). Na wysokości 34 m ilość substancji ekstrakcyjnych jest ponad dwukrotnie większa w porównaniu z ilością na wysokości 2 m (2,15 i 5,60%).

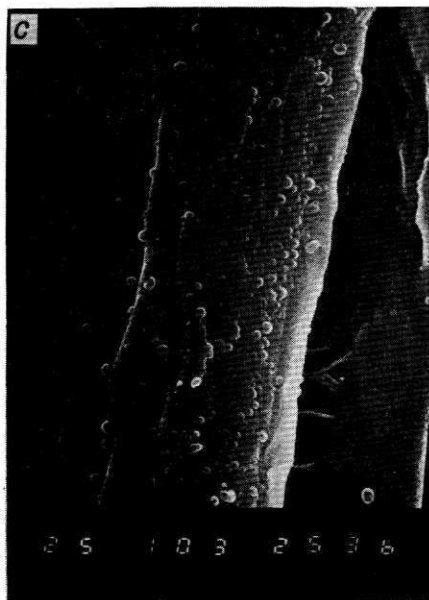
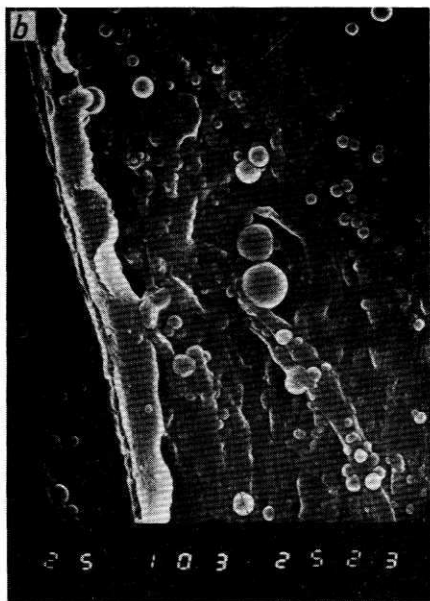
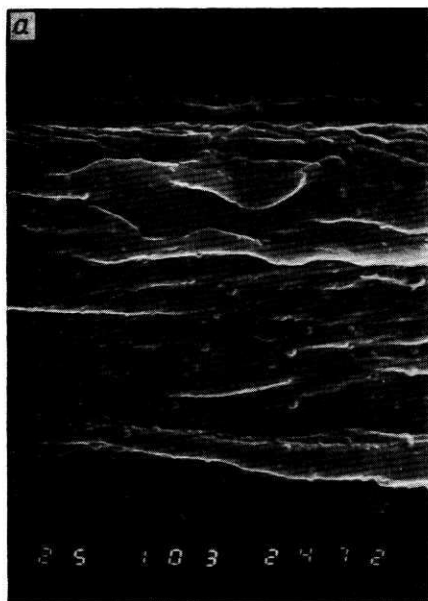
Zawartość celulozy (rys. 2) w strefie obwodowej zwiększa się nieco do wysokości 16 m od odziomka, a następnie wraz ze wzrostem wysokości nieznacznie maleje. W strefie rdzeniowej nie obserwuje się istotnych różnic w zawartości celulozy do wysokości 32 m, natomiast na wysokości 34 m następuje gwałtowny spadek ilości celulozy. Zawartość celulozy zwiększa się w kierunku od rdzenia do obwodu niezależnie od wysokości: do 16 m znacznie, potem — nieznacznie. Dane charakteryzujące wzrost zawartości celulozy w kierunku od rdzenia do obwodu przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

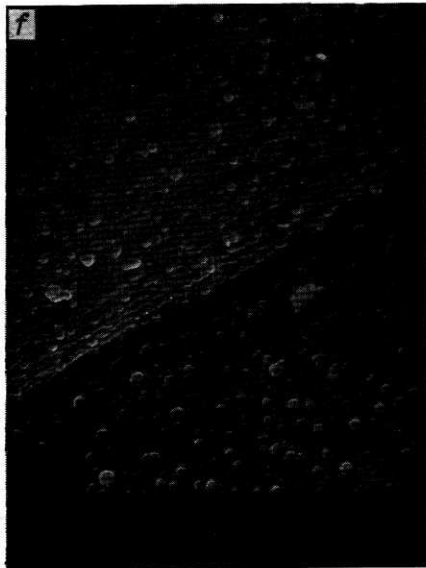
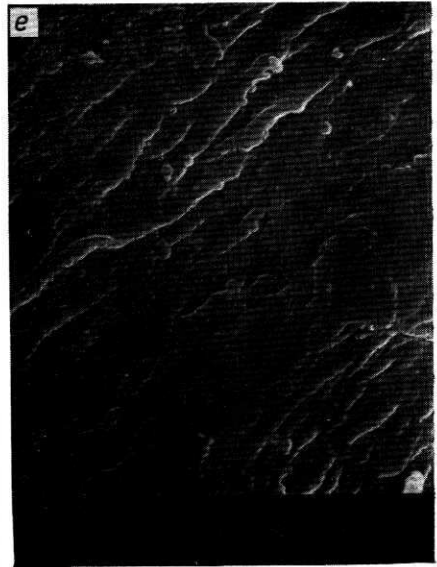
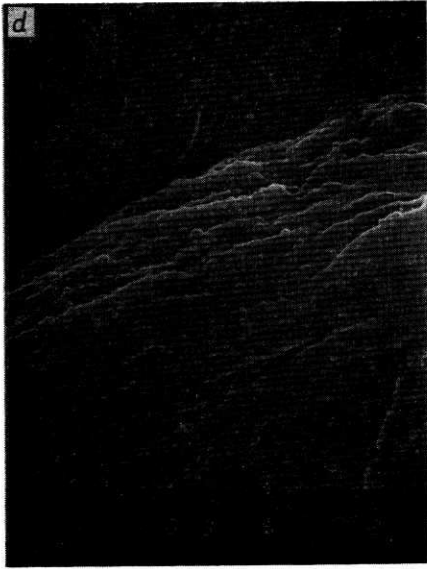
Zawartość celulozy w drewnie świerka w %

Przekrój poprzeczny na dwóch wysokościach w m (licząc od odziomka)	Strefa rdzeniowa	Strefa pośrednia	Strefa obwodowa
2	49,60	50,60	53,75
16	49,75	52,90	54,35

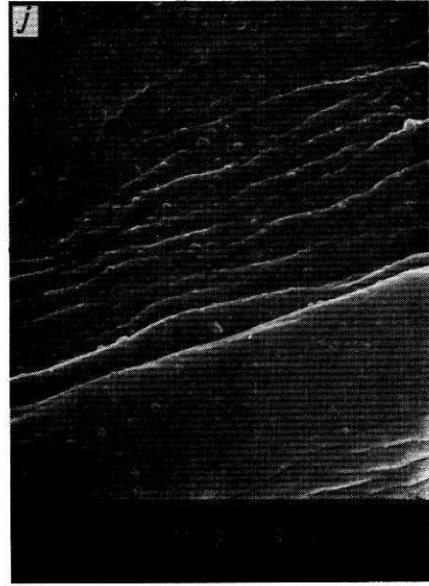
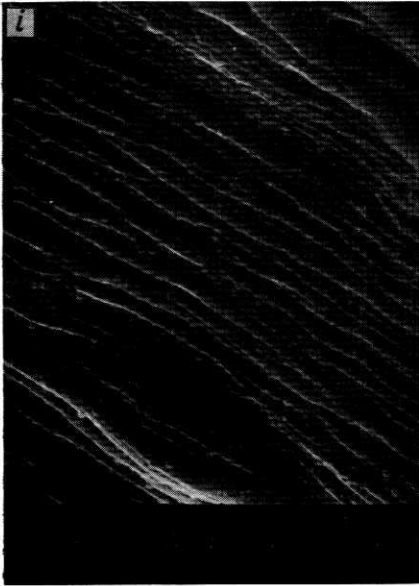
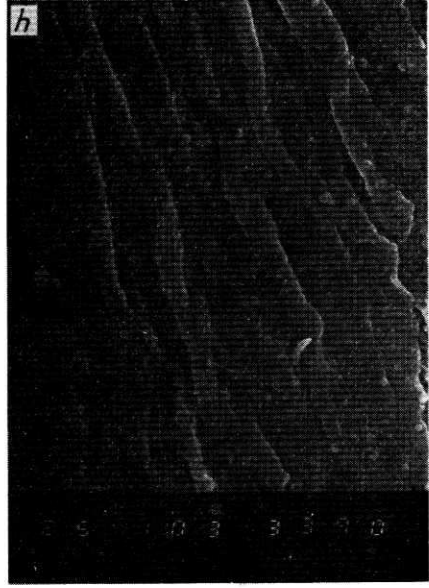
Ilość  $\alpha$ -celulozy w przeliczeniu na drewno absolutnie suche (rys. 3) zwiększa się do wysokości 16 m od odziomka w strefie pośredniej i obwodowej oraz nieznacznie

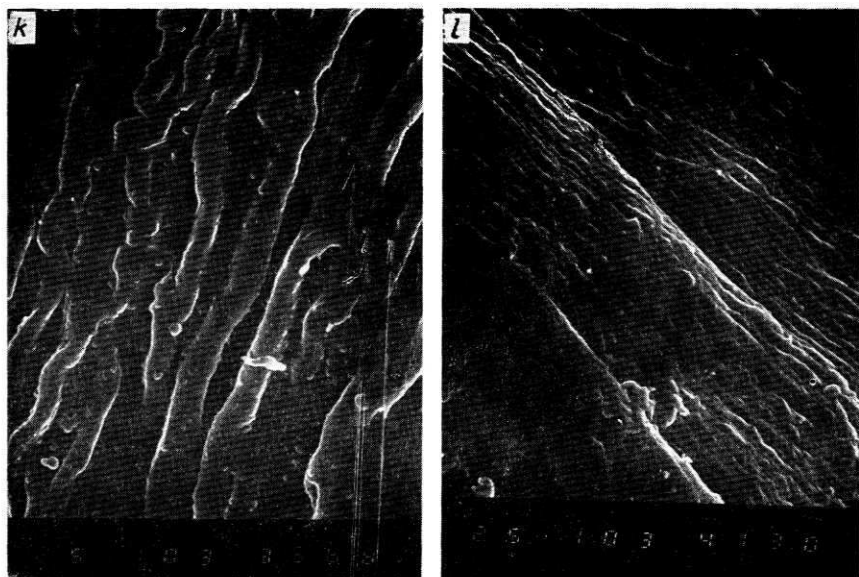




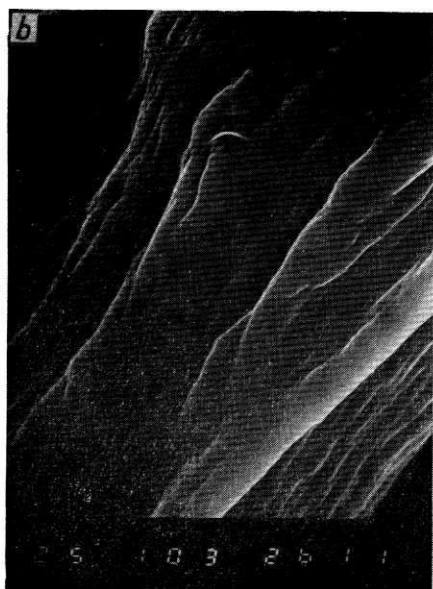
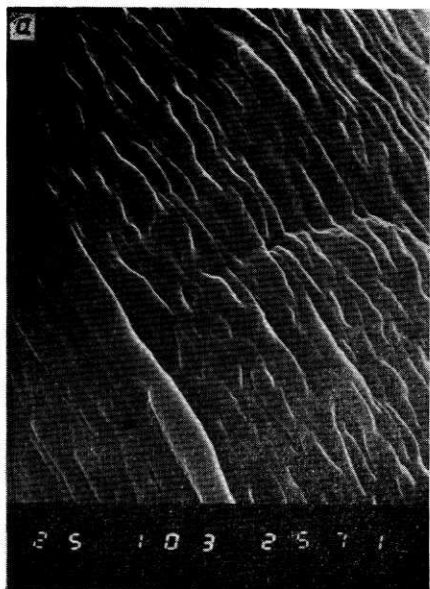


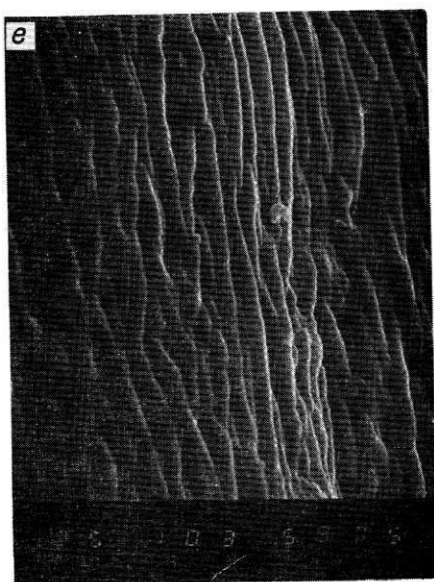
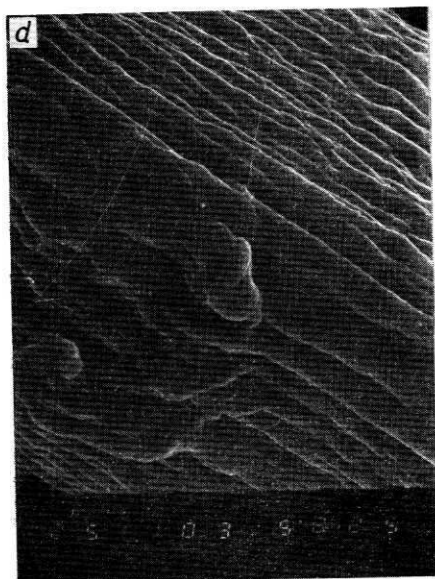


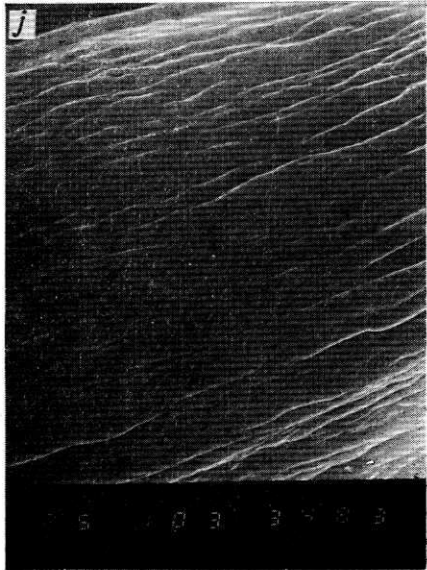
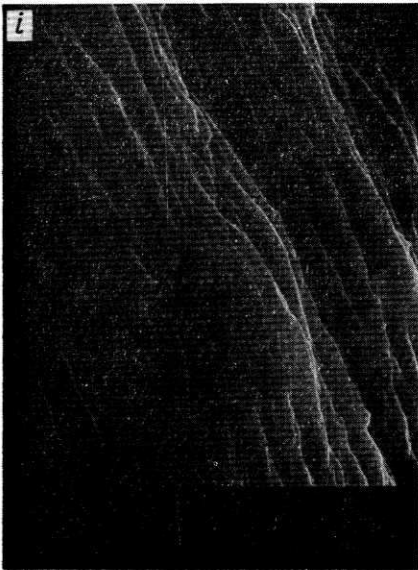
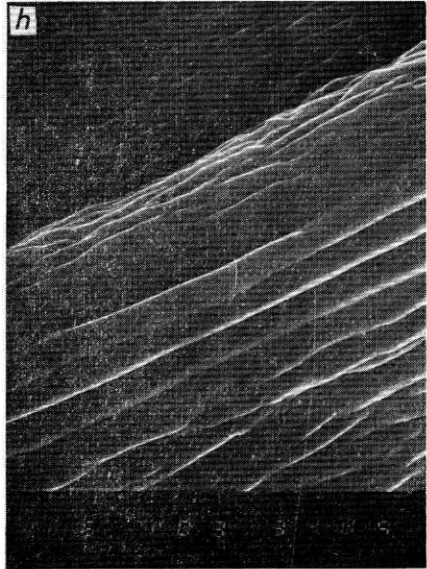
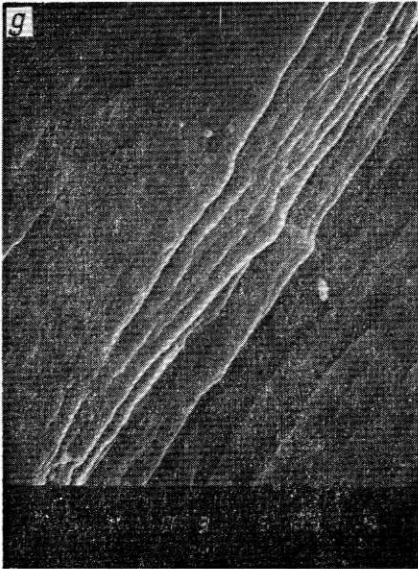


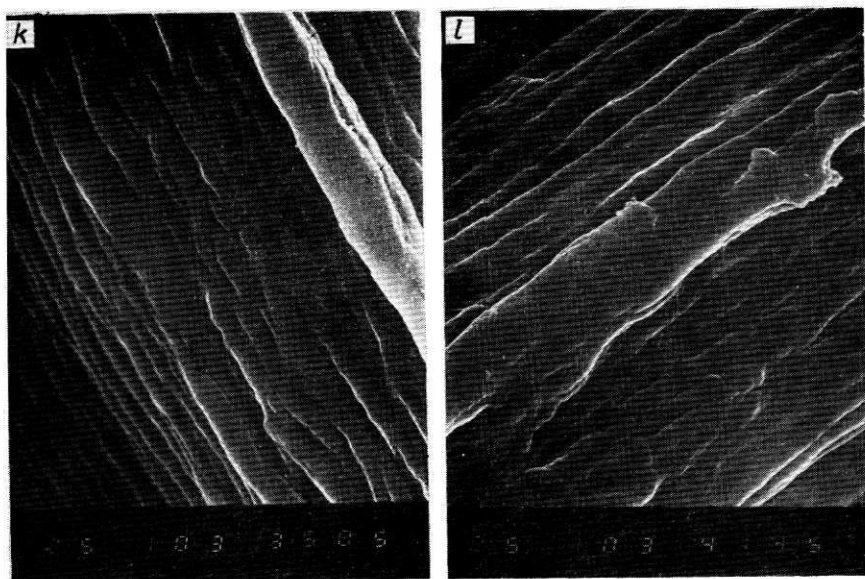


Rys. 4. Struktura powierzchni celulozy (powiększenie 10 000  $\times$ ) otrzymana ze strefy: *a* – rdzeniowej z wys. 2 m, *b* – pośredniej z wys. 2 m, *c* – obwodowej z wys. 2 m, *d* – rdzeniowej z wys. 16 m, *e* – pośredniej z wys. 16 m, *f* – obwodowej z wys. 16 m, *g* – rdzeniowej z wys. 27 m, *h* – obwodowej z wys. 27 m, *i* – rdzeniowej z wys. 30 m, *j* – obwodowej z wys. 30 m, *k* – rdzeniowej z wys. 32 m, *l* – rdzeniowej z wys. 34 m

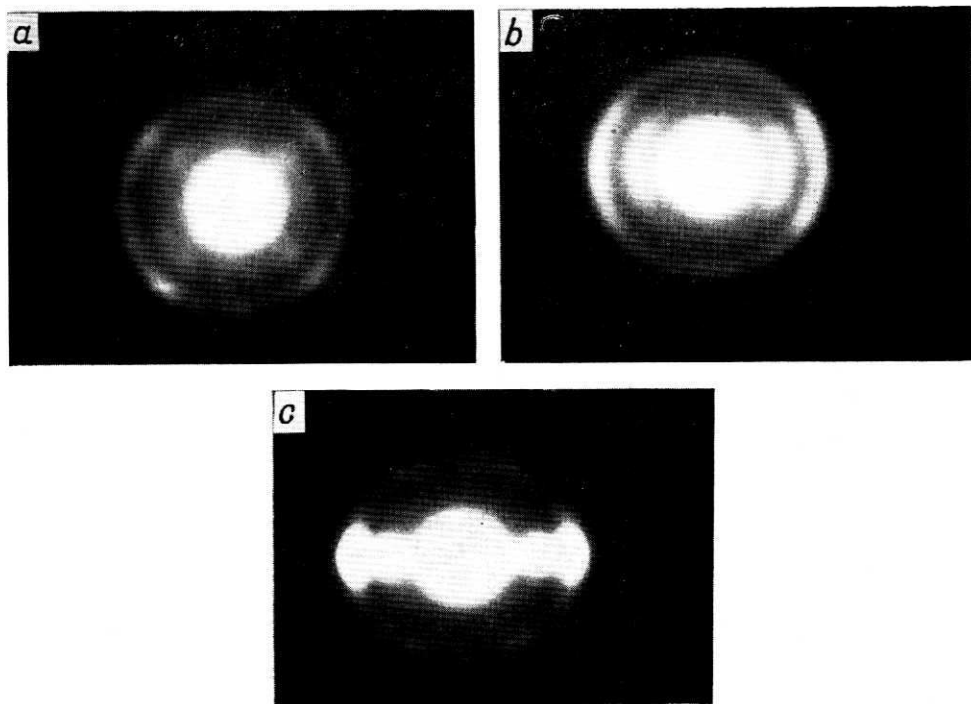








Rys. 5. Struktura powierzchni  $\alpha$ -celulozy (powiększenie 10 000  $\times$ ) otrzymana ze strefy: *a* – rdzeniowej z wys. 2 m, *b* – pośredniej z wys. 2 m, *c* – obwodowej z wys. 2 m, *d* – rdzeniowej z wys. 16 m, *e* – pośredniej z wys. 16 m, *f* – obwodowej z wys. 16 m, *g* – rdzeniowej z wys. 27 m, *h* – obwodowej z wys. 27 m, *i* – rdzeniowej z wys. 30 m, *j* – obwodowej z wys. 30 m, *k* – rdzeniowej, z wys. 32 m, *l* – rdzeniowej z wys. 34 m



Rys. 6. Rentgenogramy drewna świerkowego: *a* – strefa rdzeniowa, *b* – strefa pośrednia, *c* – strefa obwodowa

występuje wzrost jej zawartości do wysokości 30 m w strefie rdzeniowej. Największą zawartością  $\alpha$ -celulozy charakteryzuje się drewno ze strefy obwodowej z przekroju poprzecznego na wysokości 16 m (43,0%).

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono strukturę celulozy i  $\alpha$ -celulozy w zależności od położenia w strzale drzewa. Z przedstawionych rysunków wynika, że przy zastosowaniu do badań mikroskopu skaningowego trudno byłoby stwierdzić istnienie wyraźnych różnic w strukturze celulozy i  $\alpha$ -celulozy związanych z tym położeniem.

Niezależnie od położenia w strzale drzewa celuloza (powiększenie 10 000  $\times$ ) charakteryzuje się występowaniem struktur kulistych o zróżnicowanej wielkości. Struktur tych nie ma w  $\alpha$ -celulozie, uzyskanej z uprzednio badanych mas celulozowych. Autorzy pracy sądzą, że wymienione struktury powstają w wyniku degradacji polisacharydów i są rozpuszczalne w środowisku alkalicznym.

Z rysunku 5a-5c wynika, że strukturę  $\alpha$ -celulozy ze strefy obwodowej charakteryzuje bardziej równoległy i mniej falisty układ mikrofibryl niż w strefie rdzeniowej. Badania rentgenowskie umożliwiają dokładne sprecyzowanie różnic w strukturze celulozy w zależności od położenia w strzale drzewa. Na rysunku 6a-6c zamieszczono rentgenogramy otrzymane na próbkach drewna świerkowego z odziomkowego przekroju poprzecznego. Rysunek 6a przedstawia rentgenogram spiralny dotyczący drewna strefy przyrdzeniowej, rysunek 6c — rentgenogram włóknisty, otrzymany w wyniku dyfrakcji promieni X na próbkach drewna strefy obwodowej, a rysunek 6b — rentgenogram sierpowy ze strefy przejściowej.

Z analizy przedstawionych rentgenogramów wynika, że micelle celulozy w strefie przyrdzeniowej tworzą teksturę spiralną, a w strefie obwodowej — włóknistą. Między strukturą spiralną (strefy rdzeniowej) a teksturą włóknistą (strefy obwodowej) rozciąga się tekstura kątowa (przejściowa), co potwierdza rentgenogram przedstawiony na rysunku 6b. Omawianych tekstur nie można było przedstawić na zdjęciach ze skaningowego mikroskopu elektronowego ze względu na jego ograniczoną zdolność rozdzielczą (około 100 Å). Zakres stref drewna o teksturze włóknistej maleje wraz z wysokością drzewa. Na odpowiedniej wysokości występuje już tylko drewno o teksturze spiralnej (strefa drewna przyrdzeniowa).

#### IV. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań można odnośnie do drewna świerkowego stwierdzić co następuje:

1. Zawartość substancji ekstrakcyjnych jest najmniejsza w strefie pośredniej zarówno na wysokości 2 m, jak i 16 m. Zwiększanie się zawartości tych substancji następuje od 16 m wzwyż.

2. Zawartość celulozy w strefie obwodowej zwiększa się do 16 m wysokości, natomiast w strefie rdzeniowej nie obserwuje się istotnych różnic do wysokości 32 m.



3. Największą zawartością  $\alpha$ -celulozy charakteryzuje się drewno z przekroju poprzecznego ze strefy obwodowej na wysokości 16 m.

4. Przy zastosowaniu do badań mikroskopu skaningowego trudno jest uchwycić występowanie wyraźnych różnic w strukturze celulozy i  $\alpha$ -celulozy w zależności od położenia w strzale drzewa. Niezależnie od położenia w strzale drzewa celuloza (powiększenie 10 000  $\times$ ) charakteryzuje się występowaniem struktur kulistych o zróżnicowanej wielkości. Struktur tych nie ma w  $\alpha$ -celulozie uzyskanej z uprzednio badanych mas celulozowych.

5. Stosując do badań rentgenowską analizę strukturalną stwierdzono, że micelle celulozy w strefie przyrdzeniowej tworzą teksturę spiralną, a w strefie obwodowej — włóknistą. Między nimi występuje strefa przejściowa, w której układ micel celulozy można nazwać teksturą kątową.

#### LITERATURA

1. Harwood V. D.: Variation in Carbohydrate Analyses in Relation to Wood Age in *Pinus radiata*. „Holzforschung” 1971; Bd. 25. H. 3.
2. Kocoń J.: Rentgenowska analiza orientacji micel celulozy w drewnie sosny w zależności od położenia w strzale drzewa. „Sylwan” 1974; nr 4.
3. Kocoń J.: Rentgenograficzna analiza orientacji mikrofibryl celulozy w drewnie świerka i sosny w zależności od położenia w strzale drzewa. Dział Wyd. SGGW, Warszawa 1967.
4. Uprichard J. M.: Cellulose and Lignin Content in *Pinus radiata* D. Don. Within — Tree Variation in Chemical Composition, Density, and Tracheid Length. „Holzforschung” 1971; Bd. 25. H. 4.

*Доната Крутуль, Юзеф Коцонь*

#### СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ДРЕВЕСИНЕ ЕЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ В СТВОЛЕ ДЕРЕВА

##### Краткое содержание

Исследование содержания экстрактивных веществ, целлюлозы и  $\alpha$ -целлюлозы, в зависимости от положения в стволе, проводилось с древесиной 90-летней ели. Изменения в структуре целлюлозы исследовано с помощью растрового электронного микроскопа JSM-35. Исследования субмикроскопной структуры целлюлозы произведено с помощью рентгеновского аппарата VEM.

Наблюдались изменения по содержанию исследованных веществ в направлении от сердцевины до обхвата на любой высоте ствола дерева. Самый большой рост содержания  $\alpha$ -целлюлозы в древесине наблюдался до высоты 16 м от комеля. Независимо от положения в стволе дерева целлюлоза характеризуется (увеличение 10 000 раз) появлением шаровых структур дифференцированной величины. Этих структур нет у  $\alpha$ -целлюлозы полученной из раньше исследованных целлюлозных масс.

Пользуясь для исследований рентгеновским структурным анализом констатировано, что мицеллы целлюлозы в сердцевинной зоне образуют спиральную текстуру, а в зоне обхвата — волокнистую. Между ними появляется зона с угловой текстурой.

*Donata Krutul, Józef Kocoń*

## CONTENT AND STRUCTURE OF CELLULOSE IN RELATION TO THE LOCATION ON A TREE STEM

### Summary

Examination of the content of extractive substances, cellulose and  $\alpha$ -cellulose in relation to the location on stem was carried out for the wood of 90 years old spruce. Changes in cellulose structure have been studied with the aid of scanning electronic microscope JSM-35. Studies on the submicroscopic structure of cellulose were done with the aid of X-ray apparatus VEM.

There were recorded alterations of the content of substances studied from the pith to perimeter at any height of the stem of a tree. The greatest increase in  $\alpha$ -cellulose content in wood was noted at the height of 16 m from the butt-end. Cellulose (magnification 10 000  $\times$ ) characterizes itself with the occurrence of sphaerical structures with varying size irrespectively of the location on tree stem. These structures are lacking in  $\alpha$ -cellulose obtained from previously studied cellulose mass.

While applying the X-ray structural analysis it was found that cellulose micelles in close-to-pith zone form a spiral texture, and fibrous one — in the peripheral zone. Between these two there occurs the zone with an angular texture.