

WPLYW STOPNIA ROZKŁADU SZAREGO I BRUNATNEGO DREWNA SOSNY (*Pinus sylvestris* L.) NA JEGO KRUCHOŚĆ

*Lidia Helińska-Raczkowska¹, Kazimierz Lutomski²,
Waldemar Moliński¹ i Dušan Chovanec³*

Katedra Nauki o Drewnie¹ i Instytut Chemicznej Technologii Drewna²
Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu
Katedra Nauki o Drewnie TU Zvolen³

Badano wpływ stopnia szarego i brunatnego rozkładu grzybowego na kruchość i morfologię powierzchni przełomu próbek drewna sosny. Jako kryterium oceny stopnia enzymatycznego rozkładu drewna przyjęto zmiany jego wytrzymałości na zginanie statyczne i udarność. Morfologię przełomów próbek analizowano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego.

Słowa kluczowe: sosna, rozkład szary i brunatny, łamliwość, kruchość, morfologia powierzchni przełomu

WSTĘP

Kruchość drewna naturalnego oraz w różnym stopniu zdegradowanego należy do cech drewna mających istotne znaczenie w licznych procesach przemysłowych, np. w wytwarzaniu wiórów lub włókien drzewnych przy wyrobie materiałów płytowych. Powierzchnia zaś przełomu cząstek drewna wpływa na takie podstawowe właściwości kompozytów drzewnych jak spójność i wytrzymałość (np. Donaldson 1995).

Badaniom nad kruchością i topografią powierzchni przełomu drewna naturalnego poświęcono stosunkowo wiele uwagi (Wardrop i Addo-Ashong 1965, Koran 1967, Dinwoodie 1971, Kucera i Bariska 1982, Côté i Hanna 1983, Zink i in. 1994, Donaldson 1995). W znacznie mniejszym stopniu zaawansowane są badania nad kruchością i morfologią przełomów drewna opawanego przez różne rodzaje zgnilizny (np. Akande 1990, Akande i in. 1990). Badania w tym zakresie zasługują więc na kontynuację. Celem pracy jest zatem przeprowadzenie badań porównawczych nad wpływem grzybów o względnie niskiej (rozkład szary) i wysokiej (rozkład brunatny) aktywności destrukcyjnej na kruchość drewna i topografię powierzchni zniszczenia.

METODYKA

Próbki do badań wyrobiono ze strzały świeżo ściętego drzewa sosny (*Pinus sylvestris* L.) w wieku 43 lata. Wyrzynek doświadczalny wycięto z wysokości ok. 1 m od szczy korzeniowej. Bezpośrednio po ścięciu drzewa (marzec 1995) wilgotność bielastej części przekroju poprzecznego pnia wynosiła 114%. Probki do badań o wymiarach 4(T) x 10(R) x 15(L) mm wyrobiono z bielastej części tych samych stref przyrostów rocznych zawartych w przedziale od 20 do 40 przyrostu. Szerokość przyrostów w badanych strefach mieściła się w granicach od 1 do 2 mm. Gęstość badanego drewna w stanie naturalnym przy wilgotności 12% wynosiła 570 (530-600) kg/m³ przy bardzo niskim współczynniku zmienności ($V=3,4\%$).

Próbki drewna przed zainfekowaniem wyjaławiano w sterylizatorze parowym w temperaturze 110°C przez 30 min. Probki drewna poddawane działaniu grzyba rozkładu szarego umieszczano w kolbach Kollego po 10 sztuk na szklanych podkawkach dystansowych, ułożonych na odpowiedniej pożywce. Pożywkę wraz z próbkami infekowano wodną zawiesiną zarodników grzyba. Następnie kolby umieszczano w higroście w temperaturze 29±1°C i wilgotności względnej powietrza 90-95% (PN-85/89080). Wygląd powierzchni próbek po upływie 3 tyg. od zainfekowania przedstawiono na rys. 1.

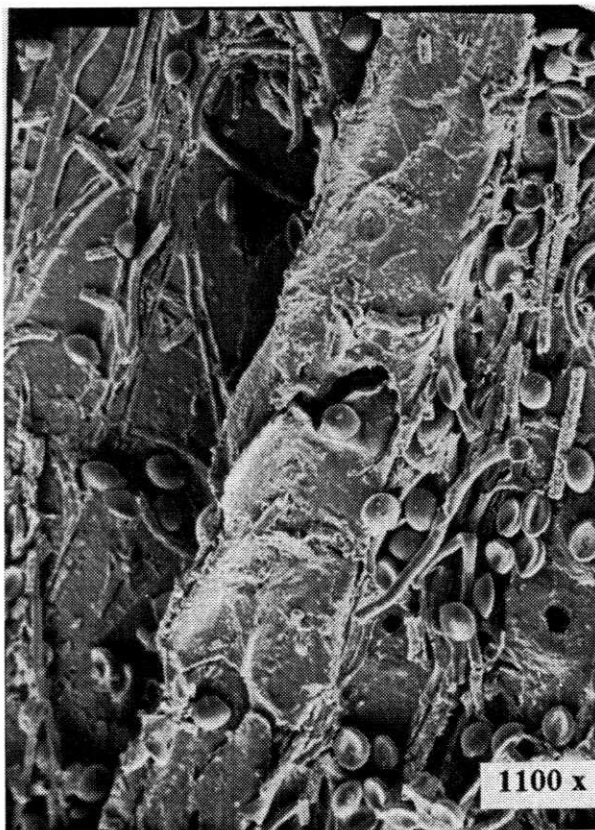
Próbki przeznaczone do zainfekowania grzybem rozkładu brunatnego były również umieszczane po 10 sztuk w kolbach na szklanych podkawkach dystansowych, lecz na już rozwiniętą wcześniej (10 dniową) grzybnię. Kolby umieszczano w klimatyzowanym pokoju w temperaturze 22±1°C i wilgotności względnej powietrza 70±5% (PN-EN 113+A2).

Dla obydwu grzybów przygotowano taką samą pożywkę, która składała się z ekstraktu słodowego - 30g, agaru - 20g i wody 1dm³. Do pożywki dla grzyba rozkładu szarego dodawano sole mineralne według Czapek-Doxa. Partię próbek kontrolnych przechowywano w takich samych warunkach jak próbki zainfekowane z tym, że do pożywki dodawano 2 cm³ 10% wodnego roztworu fenolu, w celu uniemożliwienia rozwoju grzybów pleśniowych.

Grzyb rozkładu szarego (*Chaetomium globosum* Kunze) pochodził z kolekcji czystych kultur Instytutu Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej. Grzyb natomiast rozkładu brunatnego (*Coniophora puteana* (Schum. ex Fr.) Karst.-szczep Eberswalde) pochodził z kolekcji czystych kultur Katedry Ochrony Drewna SGGW w Warszawie.

Jako kryterium oceny stopnia rozkładu drewna przyjęto cechy określające jego kruchość, a mianowicie wytrzymałość na zginanie statyczne i udarność. Kruchość, a ponadto ubytek masy próbek oznaczono po upływie 3, 6 i 12 tygodni działania grzybów. Przed wykonaniem prób mechanicznych próbki drewna klimatyzowano łagodnie do wilgotności równowagowej 12%.

Próbie zginania i udarności przeprowadzono na urządzeniu probierczym "Dynstat" (Kollmann 1951). Zastosowana metoda była dotychczas z powodzeniem wielokrotnie użyta w badaniach drewna (np. Göhre 1955, Raczkowski 1963, 1964). Czas trwania



Rys. 1. Wygląd powierzchni próbek drewna sosny po upływie trzech tygodni działania *Chaetomium globosum*

Fig. 1. Surface appearance of pine wood specimens after three weeks of *Chaetomium globosum* action

próby zginania był stały i wynosi ok. 2,5 min. Łamiący moment odczytywano na skali przyrządu w przedziale od 0,1 do 0,01 Nm z dokładnością odwrotnie proporcjonalną do wartości mierzonego momentu łamiącego. Próbę udarności wykonano przy użyciu młota udarowego, będącego częścią składową urządzenia probierczego "Dynstat". Próba ta przebiega na zasadzie zbliżonej do metody Izod'a. Prędkość młota w chwili uderzenia w próbkę wynosiła 2,2 m/s. Energię zużytą na złamanie próbki odczytywano również ze zróżnicowaną dokładnością, tym większą im mniejsza była zmierzona wartość energii złamania (od 0,02 do 0,005J). W każdej serii zbadano po 30 próbek. Łącznie zbadano 600 próbek^{*}.

* W realizacji doświadczeń mikologicznych oraz w przeprowadzeniu prób mechanicznych uczestniczył mgr Robert Woś.

W aspekcie wybranej metody pomiaru łamliwości drewna warto zauważyć, że dążenie do miniaturyzacji próbek w badaniach nad rozkładem grzybowym drewna budzi ostatnio znaczne zainteresowanie (np. Ważny i Krajewski 1994). Niedawno Sexton i in. (1993) do oceny stopnia destrukcji biotycznej drewna posłużyli się metodą zbliżoną do metody "Dynstat".

Morfologię przełomów próbek analizowano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (Tesla - Brno). Wykorzystano do tego celu próbki złamane w próbie zginania. Obserwacje mikroskopowe przeprowadzono na tych częściach zginanych próbek, które uległy zniszczeniu pod działaniem naprężeń rozciągających. Podobnie postępowano już wcześniej w badaniach nad morfologią przełomów drewna (np. Zink i in. 1994, Zimmermann i in. 1994, Schmitt i in. 1996).

WYNIKI BADAŃ

Wpływ czasu działania grzybów rozkładu szarego i brunatnego na średnią wytrzymałość na zginanie i średnią udarność próbek drewna sosny przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Table 1

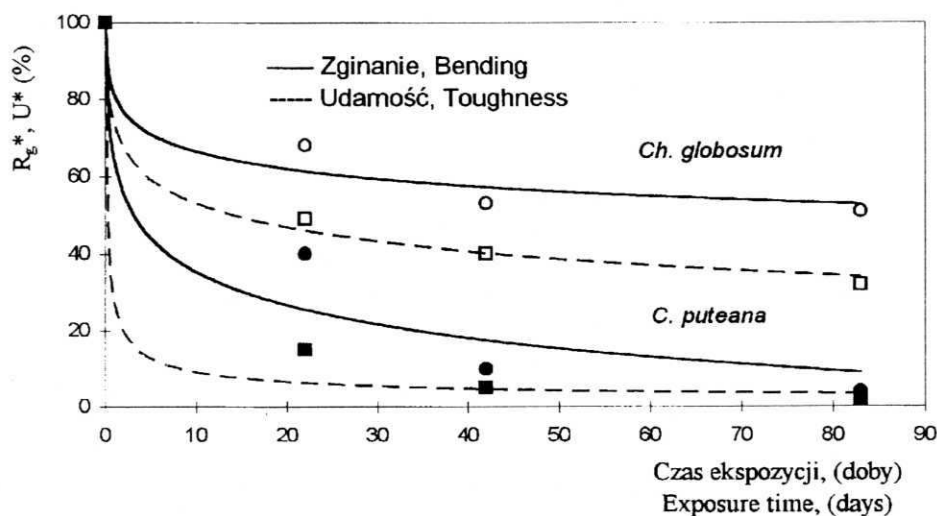
Średnia wytrzymałość na zginanie statyczne i średnia udarność drewna sosny ($W = 12\%$) w zależności od czasu działania grzybów rozkładu szarego (*Chaetomium globosum*) i brunatnego (*Coniophora puteana*)

Average bending strength and average toughness of pine wood specimens ($MC=12\%$) related to time exposure on soft-rot (*Chaetomium globosum*) and brown-rot (*Coniophora puteana*) fungi action

Rodzaj grzybów Kind of fungi	Czas ekspozycji Exposure time (tyg.) (weeks)	Wytrzymałość na zginanie Bending strength $R_g \pm s$ (MPa)	Udarność Toughness $U \pm s$ (kJ/m ²)
<i>Chaetomium globosum</i>	3	56 ± 12	$1,7 \pm 0,5$
	6	45 ± 11	$1,4 \pm 0,6$
	12	42 ± 13	$1,1 \pm 0,5$
<i>Coniophora puteana</i>	3	34 ± 16	$0,4 \pm 0,3$
	6	8 ± 3	$0,2 \pm 0,2$
	12	1 ± 1	$0,04 \pm 0,04$
Próby kontrolne Control tests	0	84 ± 7	$3,7 \pm 0,6$
	3	82 ± 9	$3,8 \pm 0,4$
	6	86 ± 6	$3,9 \pm 0,6$
	12	87 ± 7	$3,6 \pm 0,5$

Wraz ze wzrostem czasu ekspozycji próbek zwiększa się współczynnik zmienności (V) wytrzymałości na zginanie statyczne i udarności, zwłaszcza w wypadku rozkładu szarego. Dla próbek kontrolnych średni współczynnik zmienności wytrzymałości na zginanie nie przekracza 10%, a dla udarności 15%. Z upływem zaś czasu działania rozkładu szarego do 12 tygodni współczynnik zmienności na zginanie wzrasta do 30%, a udarności - do 50%. W wypadku zaś rozkładu brunatnego w tym samym czasie współczynnik zmienności jest już od początku wysoki i wynosi 50%, a w wypadku udarności jest on bardzo wysoki i osiąga nawet 100%. Powodem tego jest zapewne gradient destrukcji tkanki drzewnej wskutek niejednorodnej kolonizacji nawet bardzo małych próbek.

Wpływ czasu działania grzybów rozkładu szarego i brunatnego na resztkową wytrzymałość na zginanie i resztkową udarność przedstawiono na rys. 2. Resztkową wytrzymałość lub udarność określono w procentach wytrzymałości lub udarności próbek kontrolnych (drewno naturalne zdrowe). Parametry zaś potęgowych równań regresji dobrze opisujących wspomniane zależności zestawiono w tabeli 2. Z danych rys. 2 wynika, zgodnie z oczekiwaniem, że aktywność rozkładowa badanych grzybów jest zróżnicowana. W wyniku działalności *Chaetomium globosum* przez 12 tygodni średni ubytek masy próbek wynosi 15%, w porównaniu z ubytkiem masy po upływie tego samego czasu wynoszącym 60% w wypadku działania *Coniophora puteana*. Z porównania wykładnika potęgi w równaniach regresji (tab. 2) wynika, że aktywność rozkładowa *C. puteana* w porównaniu z *Ch. globosum* jest przeciętnie od 4 do 5 razy



Rys. 2. Wpływ czasu ekspozycji próbek drewna sosny na działanie grzybów rozkładu szarego (*Chaetomium globosum*) i rozkładu brunatnego (*Coniophora puteana*) na resztkową wytrzymałość na zginanie (R_g^*) i resztkową udarność (U^*)

Fig. 2. Effect of pine wood specimens exposure to soft-rot fungus (*Chaetomium globosum*) and brown-rot fungus (*Coniophora puteana*) on the residual bending strength (R_g^*) and residual toughness (U^*)

Tabela 2

Table 2

Parametry równań regresji typu $y = ax^b$ opisujących zależność między względną wytrzymałością (y , MPa) i względną udarnością (y , kJ/m²) a czasem ekspozycji (x , dni) próbek drewna sosny na działanie rozkładu szarego (*Chaetomium globosum*) i brunatnego (*Coniophora puteana*)

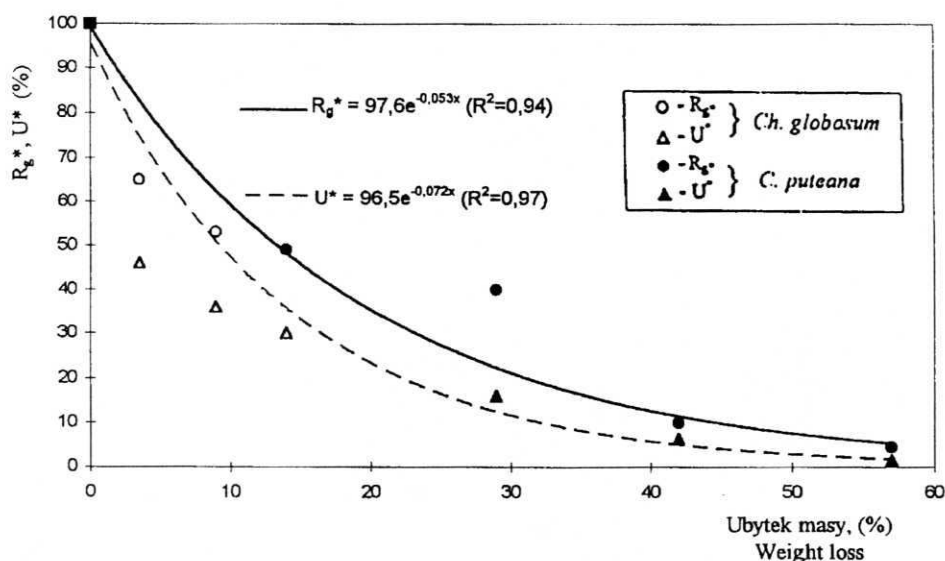
Parameters of the regression equation given by formula $y = ax^b$ for the relationship between residual bending strength (y , MPa) and residual toughness (y , kJ/m²) and exposure of pine wood specimens on the action of soft-rot (*Chaetomium globosum*) and brown-rot (*Coniophora puteana*) fungi

Gatunek grzybów Fungi species	Właściwości Properties	Parametry równań Regression equation parameters		R ²
		a	b	
<i>Chaetomium globosum</i>	Wytrzymałość na zginanie Bending strength	101,32	-0,16	0,974
	Udarność Toughness	109,94	-0,26	0,997
<i>Coniophora puteana</i>	Wytrzymałość na zginanie Bending strength	104,52	-0,72	0,804
	Udarność Toughness	102,56	-0,93	0,923

większa. Zróżnicowanie w dynamice rozkładowej badanych grzybów jest zbliżone do wcześniejszych danych znanych z literatury przy uwzględnieniu międzygatunkowych różnic drewna i zróżnicowania stosunku powierzchni do objętości badanych próbek (Ważny 1958, 1959, Cowling 1961, Zycha 1964, Seifert 1966, Smith i Gjovik 1972, Wilcox 1978, Anagnost i Smith 1997).

Wpływ ubytku masy na resztkową wytrzymałość na zginanie i resztkową udarność próbek drewna sosny w wyniku działania grzybów rozkładu szarego i brunatnego zobrazowano na rys. 3. Z przebiegu krzywych przedstawionych na tym rysunku wynika, że wpływ ubytku masy próbek na resztkową wytrzymałość i resztkową udarność dobrze aproksymuje funkcja typu $y = ae^{bx}$ (np. Fujihara i in. 1997).

Przy danym ubytku masy próbek spadek udarności jest, zgodnie z oczekiwaniami, większy od spadku wytrzymałości na zginanie. Obniżeniu udarności np. o 50% odpowiada ubytek masy o 8%, a spadkowi wytrzymałości na zginanie o 50% odpowiada ubytek masy o 12%. Uzyskane relacje między czułością próby udarności i próby zginania jako kryteriów destrukcji biologicznej drewna są zbliżone do znanych z wcześniejszych badań (np. Wilcox 1978).



Rys. 3. Resztkowa wytrzymałość na zginanie (R_g^*) i resztkowa uduerność (U^*) próbek drewna sosny odniesiona do ubytku masy wskutek działania grzybów rozkładu szarego (*Chaetomium globosum*) i rozkładu brunatnego (*Coniophora puteana*)

Fig. 3. Residual bending strength (R_g^*) and residual toughness (U^*) of pine wood specimens related to weight loss from attack by the soft-rot fungus (*Chaetomium globosum*) and brown-rot fungus (*Coniophora puteana*)

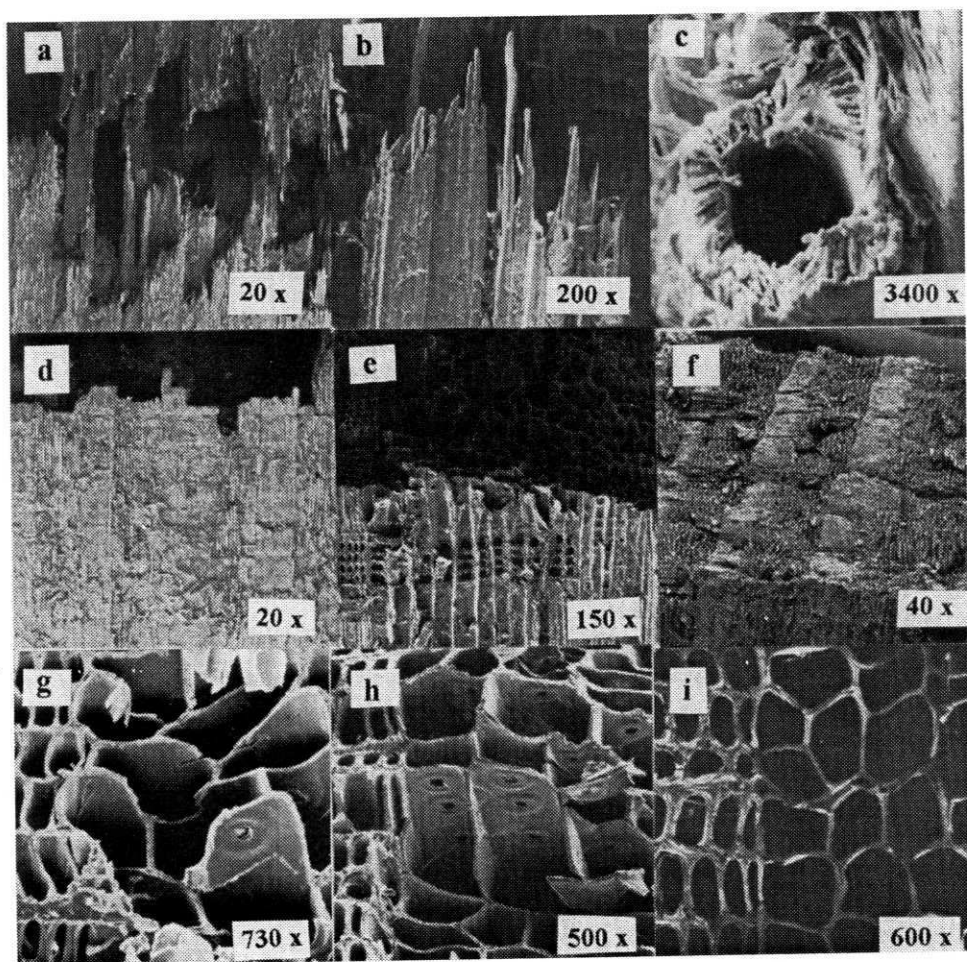
Wyniki przeprowadzonych doświadczeń potwierdzają wysoką pozytywną korelację między ubytkiem masy a wytrzymałością i uduernością (np. Toole 1969). Ubytek masy często już poniżej 2% (Akande 1980) wskutek enzymatycznej destrukcji ścian komórkowych jest powodem niskoenergetycznego, a więc kruchego złomu próbek (Panshin i de Zeeuw 1980, Akande 1990).

Ubytek masy w wyniku rozkładu brunatnego jest przede wszystkim skutkiem destrukcji celulozy w pokładzie S2 ścian komórkowych (Cowling 1961, Kirk i Cowling 1984, Worall i in. 1997). Wkrótce po zasiedleniu drewna przez grzyby rozkładu brunatnego następuje bardzo szybka depolimeryzacja łańcuchów celulozy do krótkich fragmentów. Początkowo prawdopodobnie w wyniku oksydatywnej destrukcji celulozy (Kirk i Cowling 1984), wskutek czego wytrzymałe i wiązkie włókna drzewne stają się słabe i kruche. W miarę postępowania zgnilizny celuloza i hemicelulozy ulegają rozkładowi z jednakową mniej więcej prędkością (Winandy i Morrell 1993). Zawartość ligniny zaś zmniejsza się jedynie nieznacznie, ulegając tylko pewnej modyfikacji (Rayner i Boddy 1988, Winandy i Morrell 1993).

Chemizm rozkładu szarego jest generalnie zbliżony do rozkładu białego z tą różnicą, że lignina ulega rozkładowi znacznie wolniej i w mniejszym stopniu niż celuloza i hemicelulozy (Kirk i Cowling 1984). Przejawia się w tym podobieństwo rozkładu szarego do rozkładu brunatnego, którego grzyby są słabymi destruktorami ligniny.

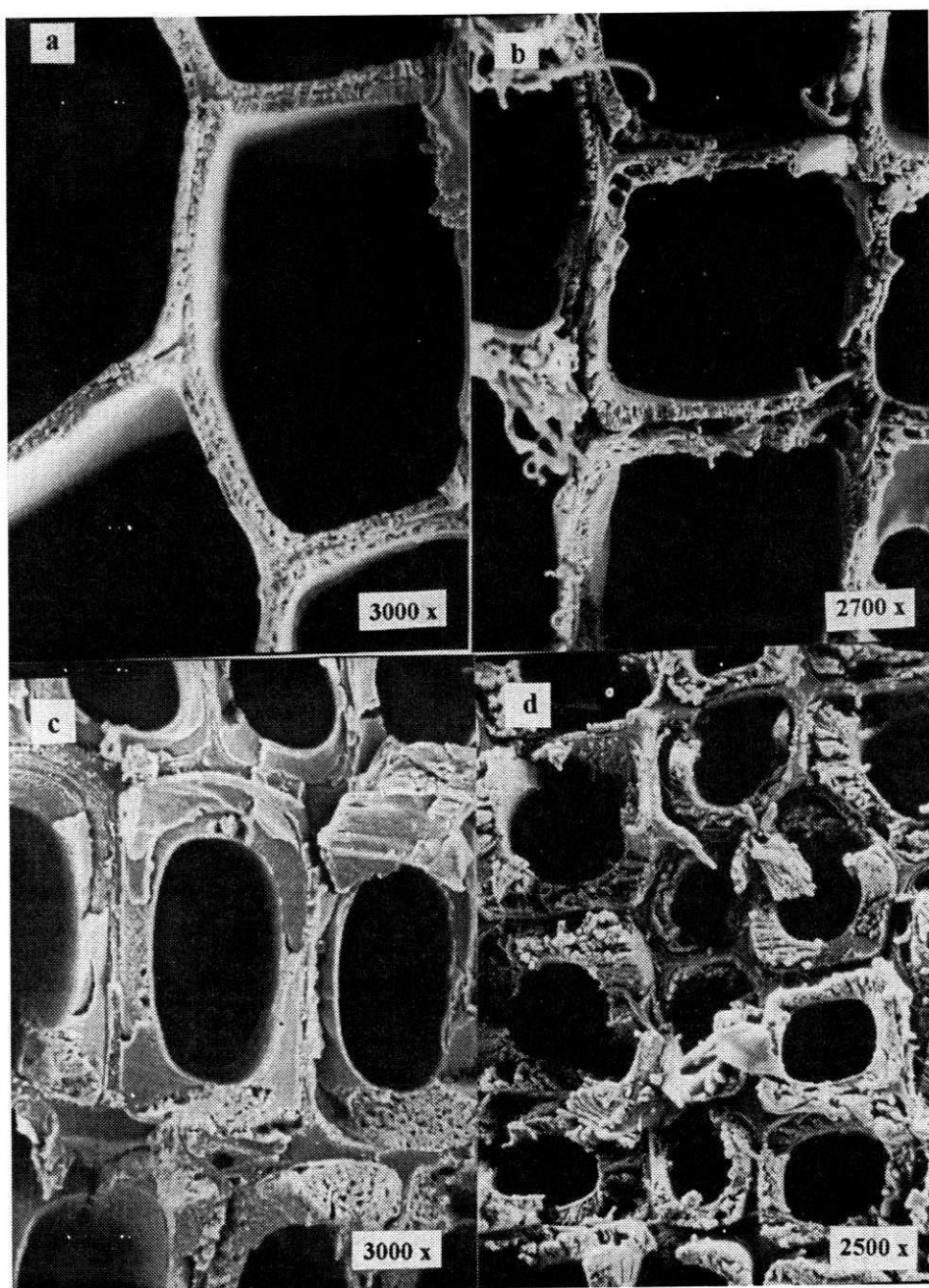
Mechanizm natomiast ataku drewna przez grzyby rozkładu szarego różni się zasadniczo od rozkładu białego i brunatnego. Strzępki grzybów rozkładu szarego penetrują pokład S2 ścian komórkowych wzdłuż osi komórek wytwarzając charakterystyczne stożkowate wgłębienia. Żaden inny mikroorganizm atakujący drewno nie wytwarza podobnych wgłębień (Wilcox i in. 1991). Rozkład szary ogranicza się głównie do miejsc ściany komórkowej, w których powstają owe wgłębienia, reszta ścian komórkowych pozostaje względnie nie zaatakowana (Anagnost i Smith 1997a).

Topografia powierzchni przełomu drewna jest w dużej mierze uzależniona od struktury ścian komórkowych i od stopnia ich biotycznej destrukcji (Wardrop i Addo-As-

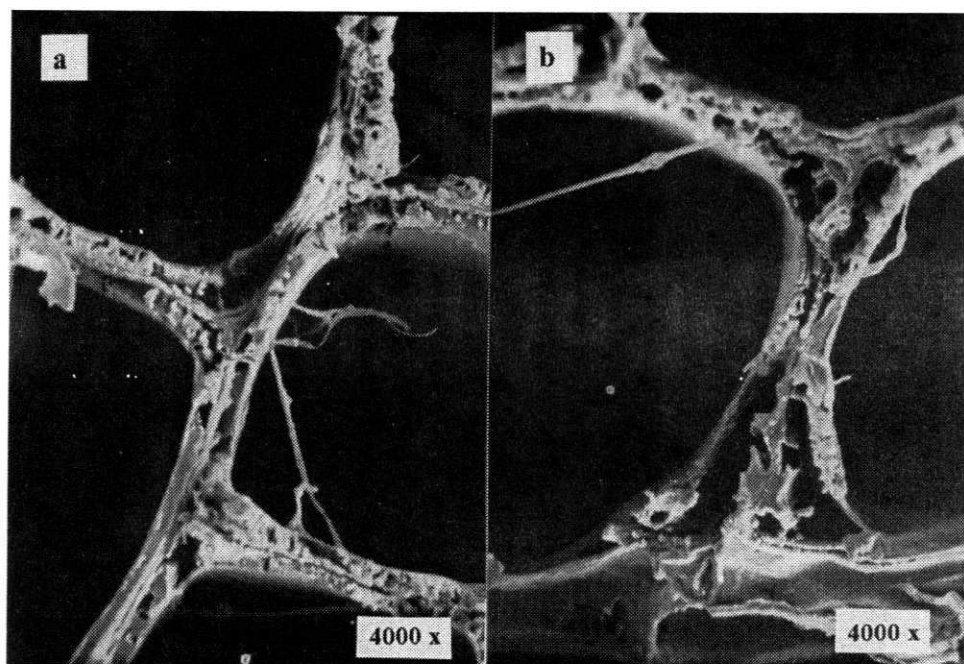


Rys. 4. Wygląd powierzchni przełomów próbek drewna zdrowego (próbki kontrolne) (a, b, c) oraz próbek po działaniu *Coniophora puteana* przez 3 tyg. (d, g), 6 tyg. (e, h) i 12 tyg. (f, i)

Fig. 4. Appearance of the fracture surfaces of sound pine wood specimens (control) (a, b, c) and post-decayed by *Coniophora puteana* at 3 weeks (d, g), at 6 weeks (e, h) and at 12 weeks (f, i)



Rys. 5. Wygląd powierzchni przełomu ścian cewek wczesnych (a, b) i późnych (c, d) w próbkach drewna sosny po upływie 3 tyg. i 6 tyg. (b, d) działania *Coniophora puteana*
 Fig. 5. Appearance of the fracture surfaces of the early-wood (a, b) and late-wood (c, d) tracheids cell-wall in pine wood specimens post-decayed by *Coniophora puteana* at 3 weeks (a, c) and at 6 weeks (b, d)



Rys. 6. Wygląd powierzchni przełomu ścian cewek wczesnych w próbkach drewna sosny poddanych działaniu *Chaetomium globosum* przez 3 tyg. (a) i 6 tyg. (b)

Fig. 6. Appearance of the fracture surfaces of the early-wood tracheids cell-wall in pine wood specimens post-decayed by *Chaetomium globosum* at 3 weeks (a) and at 6 weeks (b)

hong 1965, Dinwoodie 1971, Woodward 1980, Kucera i Bariska 1982, Côté i Hanna 1983, Akande 1990, Worrall i in. 1991, Donaldson 1995). Charakter powierzchni złomu określa stopień destrukcji ścian komórkowych.

W wypadku wysokoenergetycznego zniszczenia drewna naturalnego (próbki kontrolne) przełom próbek ma wybitnie strzępiasty charakter (rys. 4a i 4b). Z rys. 4c wynika, że kąt nachylenia mikrofibryli w pokładzie S2 ściany komórkowej wpływa na charakter zniszczenia, jak to już stwierdzono wcześniej (Mark i Gills 1970, Akande 1990). Ze wspomnianego rysunku zdaje się ponadto wynikać, że w pokładzie S2 cewek późnych sosny mikrofibryle tworzą aglomeracje zorientowane promieniście (Sell i Zimmermann 1993).

W wypadku zaś próbek poddanych rozkładowej działalności grzybów zniszczenie ma niskoenergetyczny, wybitnie kruchy charakter już po 3 tyg. działania *C. puteana* (rys. 4d). Ze wzrostem czasu ekspozycji gładkość powierzchni przełomu powiększa się (rys. 4e i 4f). Płaszczyzna złomu w tym wypadku przebiega poprzez ściany komórkowe cewek mniej więcej prostopadle do ich osi podłużnej (rys. 4g, 4h, 4i).

Przytoczone przykłady wskazują, że w wypadku próbek w zaawansowanym stadium rozkładu enzymatycznego kąt nachylenia mikrofibryli w pokładzie S2 ścian komórkowych nie kontroluje przebiegu powierzchni złomu w uległych destrukcji

biotycznej ścianach komórkowych. Znajduje to potwierdzenie w wysokiej korelacji między ubytkiem masy i wytrzymałością oraz udarnością badanych próbek (rys 2).

Gładkie, kruche przełomy ścian komórkowych są szczególnie dobrze widoczne na zwiększonych powierzchniach zarówno cewek wczesnych (rys. 5a i 5b) jak i późnych (rys. 5c i 5d).

Na powierzchniach zniszczenia biegnących w poprzek osi podłużnej cewek widoczne są charakterystyczne dla rozkładu szarego (*Ch. globosum*) zagłębienia (kawerny) (np. Rayner i Boddy 1988, Wilcox i in. 1991) stanowiące miejsca pełnego rozkładu ścian komórkowych w pokładzie S2 (rys. 6a i 6b).

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań porównawczych nad szarym i brunatnym rozkładem drewna sosny wynika, że kruchość drewna porażonego przez *Chaetomium globosum* a zwłaszcza przez *Coniophora puteana* drastycznie wzrasta - zgodnie z oczekiwaniem - wraz z wydłużaniem się czasu ekspozycji próbek. Po 12 tygodniach działalności rozkładowej grzybów, udarność próbek porażonych rozkładem szarym wynosi w porównaniu z próbkami kontrolnymi 30%, a udarność próbek porażonych rozkładem brunatnym tylko 1%. Wraz ze wzrostem czasu ekspozycji próbek na działalność rozkładową badanych grzybów gwałtownie zwiększa się kruchość drewna i obniża się energia potrzebna do jego zniszczenia. Powierzchnia przełomu próbek staje się coraz bardziej gładka i przebiega mniej więcej prostopadle do podłużnej osi cewek.

Praca wpłynęła do Redakcji w styczniu 1998

LITERATURA

- Akande J. A., (1990): Failure in wood related to decay weight losses. *Forest Prod. J.*, 40(7/8):47-53.
- Akande J. A., Kyanka G. H., Hanna R. B., (1990): Development of longitudinal split failure in white-rotted aspen wood (*Populus tremuloides* Michx). *Wood and Fiber Sci.* 22(4):429-440.
- Anagnost S., Smith W. B., (1997): Comparative decay of heartwood and sapwood of red maple. *Wood and Fiber Sci.*, 29(2):189-194.
- Anagnost S. E., Smith W. B., (1997a): Hygroscopicity of decayed wood: Implication for weight loss determinations. *Wood and Fiber Sci.* 29(3):299-305.
- Côté W. A., Hanna R. B., (1983): Ultrastructural characteristics of wood fracture surfaces. *Wood and Fiber Sci.*, 15(2):135-163.
- Cowling E. B., (1961): Comparative biochemistry of the decay of sweetgum sapwood by white-rot and brown-rot fungi. USDA Forest Service Techn. Bull. No. 1258, Madison, WJ, pp 79.
- Dinwoodie J. M., (1971): Brashness in timber and its significance. *J. Inst. Wood Sci.*, 5(4):3-11.
- Donaldson L. A., (1995): Cell wall fracture properties in relation to lignin distribution and cell dimensions among three genetic groups of radiata pine. *Wood Sci. and Technol.* 29(1):51-63.

- Fujihara M., Nakamura Y., Isoda N., Hikita Y., (1997): Relationship between decay resistance and changes of bending strength of structural lumber of wood-framing construction by fungal attack. *Mokkuzai Gakk.*, 43(7):589-594.
- Göhre K., (1955): Holzschutz mittel kurz Prüfung mit Hilfe der statischen Biegefestigkeit. *Archiv für Forstwiss.* 4(4):293-301
- Kirk T.K., Cowling E.B. (1984): Biological decomposition of solid wood. In: Rowell R.(Ed): The chemistry of solid wood. *Advances in Chemistry Series 207*. Am. Chem. Soc., Washington D.C. pp 455-487.
- Kollmann F., (1951): *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Springer-Verlag. Berlin etc., 861.862.
- Koran Z. (1967): Electron microscopy of radial tracheid surfaces of black spruce separated by tensile failure at various temperatures. *TAPPI*, 50(2):60-67.
- Kucera L.A., Bariska M., (1982): On the fracture morphology in wood. *Wood Sci. and Technol.*, 16(4):241-259.
- Mark R.E., Gillis P.P. (1970): New model in cell-wall mechanics. *Wood and Fiber*, 1(2):79-95.
- Panshin A.J., de Zeeuw C., (1980): *Textbook of wood technology*. Mc Graw Hill Book Co., N.Y.
- Raczkowski J., (1963): The toughness of earlywood and latewood from Douglas fir of Polish origin. *Holzforschung*, 17(6):189-190.
- Raczkowski J., (1964): Zur Bruchschlagarbeit bei in Benzol-Äthanol Gemisch extahierten Hölzern. *Holzforsch. und Holzverwert.*, 20(4):73-76.
- Rayner A.D.M., Boddy L., (1988): Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. John Wiley and Sons, Chichester etc, pp 263-265.
- Schmitt U., Richter H.G., Wittke B. (1996): Fracture morphology of hickory (*Carya* spp., *Juglandaceae*) under single-blow impact loading. *IWA J.*, 17(2):151-160.
- Seifert K. (1966): Die chemische Veränderungen der Buchenholz-Zellwand durch Moderfäule (*Chaetomium globosum* Kunze). *Holz als Roh- und Werkst.*, 24(5):185-189.
- Sell J., Zimmermann T., (1993): Radial fibril agglomerations of the S2 on transverse fracture surfaces of tracheids of tension-loaded spruce and white fir. *Holz als Roh- und Werkst.*, 51(6):384.
- Sexton C.M., Corden M.E., Morrell J.J., (1993): Assessing fungal decay of wood by small-scale toughness tests. *Wood and Fiber Sci.*, 25(4):375-383.
- Smith R.S., Gjovik L.R., (1972): Interlaboratory testing of wood preservatives using ASTM D1413-61. *Wood and Fiber* 3(4):170-178.
- Toole E.R., (1969): Effect of decay on crushing strength. *Forest Prod. J.*, 19(10):36-37.
- Wardrop A.B., Addo-Ashong F.W., (1965): The anatomy and fine structure of wood in relation to its mechanical fracture. *Proc. First Tewksbury Symp.*, Melbourne pp 169-199.
- Ważny J., (1958): Studien über die Einwirkungen von *Merulius lacrymans* Wulf. Fr. und *Coniophora cerebella* Pers. auf die mechanischen Eigenschaften befallenen Holzes. *Holz als Roh- und Werkst.*, 16(8):285-288
- Ważny J. (1959): Untersuchungen über Einwirkungen von *Merulius lacrymans* Wulf. Fr. und *Coniophora cerebella* Pers. auf einige physikalische Eigenschaften befallenen Holzes. *Holz als Roh- und Werkst.* 17(11):427-432.
- Ważny J., Krajewski K.J., (1994): Matematyczne podstawy miniaturyzacji próbek w badaniach wartości grzybobójczej środków ochrony drewna. *Folia Forest. Polon.*, Seria B, 25:83-90.
- Wilcox W.W., (1978): Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. *Wood and Fiber*, 9(4):252-257.
- Wilcox W.W., Botsai E.E., Kubler H., (1991): *Wood as a building material: A guide for designers and builders*. John Wiley and Sons Inc., New York etc.: 126-128.
- Winandy J.E., Morrell J.J., (1993): Relationship between incipient decay, strength and chemical composition of douglas-fir heartwood. *Wood and Fiber Sci.*, 25(3):278-288.
- Woodward C., (1980): Fractured surfaces as indicators of cell wall behaviour at elevated temperatures. *Wood Sci.* 13(2):83-86.
- Worrall J.J., Anagnost S.E., Wang C.J.K., (1991): Conditions for soft rot of wood. *Can. J. Microbiol.* 39: 869-874.

- Worral J.J., Anagnost S.E., Zabel R.A., (1997): Comparison of wood decay among diverse lignicolous fungi. *Mycologia*, 89(2):199-219.
- Zimmermann T., Sell J., Eckstein D., (1994): Rasterelektron-mikroskopischer Untersuchungen an Zugbruchflächen von Fichtenholz. *Holz als Roh- und Werkst.*, 52(4):223-229.
- Zink A.G., Pellikane P.J., Shuler C.E., (1994): Ultrastructural analysis of softwood fracture surfaces. *Wood Sci. and Technol.*, 28(5):329-338.
- Zycha H., (1964): Einwirkung einiger Moderfäule Pilze auf Buchenholz. *Holz als Roh- und Werkst.*, 22(2):37-42.
- PN-85/C-89080, (1985): Oznaczanie odporności na działanie grzybów pleśniowych. PKNMiJ. Warszawa.
- PN-EN 113+A2, (1995): Środki ochrony drewna. Oznaczanie wartości grzybobójczej wobec rozkładających drewno grzybów *Basidiomycetes* hodowanych na pożywce agarowej. PKNMiJ Warszawa.

EFFECT OF PINE WOOD (*Pinus sylvestris* L.) DEGREE OF DECAY BY SOFT-ROT AND BROWN-ROT ON ITS BREAKING

Summary

Relation between degree of decay by soft-rot (*Chaetomium globosum*) and brown-rot (*Coniophora puteana*) and resistance to breaking strength of pine wood were investigated. Fracture surfaces morphology was inspected using scanning electron microscopy. It was found that increase in wood exposure to the action of investigated fungi caused on abrupt increase of wood brashness and decrease of its fracture energy. Fracture planes are smooth and oriented along the transverse direction. Most of the tracheids failed in an abrupt transwall manner.

Adresy autorów:

Prof. dr hab. Lidia Helińska-Raczkowska
Dr inż. Waldemar Moliński

Katedra Nauki o Drewnie
Prof. dr hab. Kazimierz Lutowski

Instytut Chemicznej Technologii Drewna
Akademia Rolnicza im A. Cieszkowskiego w Poznaniu
60-627 Poznań, ul. Wojska Polskiego 38/42 POLAND

Prof. Ing. Dušan Chovanec, Dr Sc.
Technická Univerzita vo Zvolene

Katedra Nauky o Dreve
960-53 Zvolen
SLOVAK REPUBLIC