

WARUNKI AERODYNAMICZNE STYMULATOREM
ROZWOJU GRZYBÓW PLEŚNIOWYCH
W OBIEKTACH BUDOWLANYCH

BARBARA JANIŃSKA

Politechnika Poznańska, Instytut Konstrukcji Budowlanych, ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań

Keywords: environment, building, mould fungi, biodeterioration.

THE AIRCONDITIONS AS STIMULATOR OF FUNGAL GROWTH
IN BUILDINGS

Considering the problem of fungal growth in living quarters, and especially after the buildings have been thermally insulated, learning more about mechanisms determining fungal growth in the conditions of day-to-day usage of such buildings seems to be a necessity.

The research on indoor microclimate influence on fungal growth was carried out for two years in two pavilion type living quarters on a residential estate in built Wrocław – Brochów.

A microclimate fostering fungal growth was modelled in the pavilions.

Samples of different building materials were exposed to and infected by fungi, and fungal growth was observed and analysed, with regard to the indoor environment. The paper presents the results of the first stage of the research (30 weeks).

Streszczenie

Ze względu na narastający problem zagrzybienia budynków mieszkalnych, w szczególności po wykonaniu ich termomodernizacji, konieczne jest poznanie mechanizmów determinujących rozwój grzybów pleśniowych w warunkach eksploatacyjnych.

W tym celu, przez dwa lata prowadzono badania wpływu mikroklimatu wewnątrz na rozwój grzybów pleśniowych w pawilonach osiedla mieszkaniowego zbudowanego we Wrocławiu – Brochowie, w których utrzymywano mikroklimat sprzyjający rozwojowi grzybów.

Zakazano grzybami pleśniowymi próbki różnych materiałów budowlanych i przeprowadzono na nich badania rozwoju grzybów, w zależności od warunków środowiskowych panujących w pomieszczeniach. W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki uzyskane w trakcie pierwszych trzydziestu tygodni badań.

WPROWADZENIE

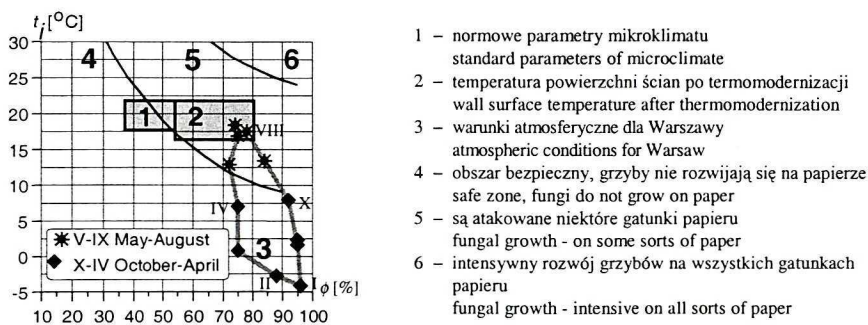
W obiektach budowlanych coraz częściej występują grzyby pleśniowe. Badania ankietowe [3] dotyczące częstości występowania grzybów pleśniowych w budynkach mieszkalnych potwierdziły nasilanie się, w ostatnich latach, problemu porażenia pleśniowego. Zjawisko zagrzybienia kojarzone dotychczas z zaniedbanymi lub niedo-

grzаныmi obiektami, coraz częściej występuje w budynkach o zwiększonej szczelności lub termoizolacyjności.

Porównanie warunków, w jakich rozwijają się grzyby pleśniowe w obiektach budowlanych, z tymi, w jakich prowadzone są badania mikrobiologiczne w laboratoriach, wskazuje na znaczne różnice pomiędzy czynnikami determinującymi rozwój grzybów w środowisku wewnątrz budowlanych, a warunkami wymaganymi podczas badań laboratoryjnych [2].

W laboratoriach grzyby są hodowane na pożywkach organicznych w stabilnych warunkach termiczno-wilgotnościowych. W obiektach budowlanych grzyby rozwijają się na powierzchni przegród, które mogą być wykonane z różnych materiałów, często pochodzenia nieorganicznego, pokrytych zanieczyszczeniami organicznymi. Ponadto, w budynkach występują bardzo zróżnicowane warunki termiczne, wilgotnościowe i aerodynamiczne. Na przykład, mogą występować okresowe ochłodzenia, ze spadkiem temperatury powietrza i powierzchni przegród poniżej 0°C , przeciągi lub lokalny brak cyrkulacji powietrza oraz zawilgocenie przegród odbiegające znacznie od wilgotności sorpcyjnej, adekwatnej do wilgotności wyrażonej wskaźnikiem aktywności wodnej a_w .

Zmianie ulegają także wymagania użytkowników mieszkań w zakresie preferowanych przez nich warunków mikroklimatycznych. Na rysunku 1 pokazano, w funkcji temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego, obszary mikroklimatu charakterystyczne dla normowych wymagań projektowych oraz dla budynków poddanych zabiegom termomodernizacji. Zaznaczono także obszary podatności papieru na pleśnienie [8] oraz warunki termiczno-wilgotnościowe typowe dla powietrza atmosferycznego dla obszaru Warszawy [5].



Rys. 1. Mikroklimat wewnątrz i warunki środowiskowe determinujące rozwój grzybów pleśniowych
Indoor microclimate and environmental conditions determining the growth of mould fungi

Jak widać na rysunku 1 warunki mikroklimatyczne, panujące w sezonie grzewczym w budynkach poddanych termomodernizacji, są zbliżone do warunków atmosferycznych typowych dla miesięcy letnich. Warunki mikroklimatyczne występujące zimą w pomieszczeniach, duża wilgotność powietrza $\phi > 60\%$ oraz temperatura około $t_i = 18 \div 22^{\circ}\text{C}$, nie są jednak wystarczającą przyczyną intensywnego rozwoju grzybów pleśniowych. W pomieszczeniach jest on notowany głównie w okresie jesienno-zimowym, natomiast w środowisku naturalnym, poza budynkami, występuje w miesiącach letnich [10].

Z tego względu podjęto próbę doświadczalnego wykazania wpływu różnych czynników środowiskowych występujących w obiektach budowlanych na rozwój grzybów

(elementów mikroklimatu oraz rodzajów podłoża budowlanego). Przez okres dwóch lat prowadzono hodowlę grzybów w pomieszczeniach doświadczalnych, w których symulowano różne warunki mikroklimatyczne wewnątrz i badano rozwój grzybów na kilkunastu różnych materiałach budowlanych, wstępnie zakażonych grzybami pleśniowymi.

W prezentowanym artykule ograniczono się do omówienia problemu oddziaływania warunków aerodynamicznych na rozwój grzybów pleśniowych, przedstawiając wyniki doświadczenia potwierdzającego tezę o wpływie cyrkulacji powietrza (jego ruchu lub bezruchu), na rozwój grzybów pleśniowych na powierzchni przegród budowlanych.

Prezentowane wyniki badań dotyczą okresu pierwszych trzydziestu tygodni prowadzenia hodowli grzybów na dwóch typach materiałów budowlanych [4, 9, 11–14]:

- materiałach termoizolacyjnych: styropianie i wełnie mineralnej,
- materiałach ściennych-wykończeniowych: płycie gipsowo-kartonowej zwykłej czystszej oraz płycie gipsowo-kartonowej zwykłej pokrytej powłoką farby emulsyjnej.

SKRÓCONY OPIS BADAŃ TERENOWYCH

Badania terenowe przeprowadzono w sześciu pokojach o porównywalnym mikroklimacie wewnątrz, w dwóch wolnostojących pawilonach mieszkalnych, o budowie szkieletowej, lekkiej, zlokalizowanych we Wrocławiu na Brochowie (Rys. 2).

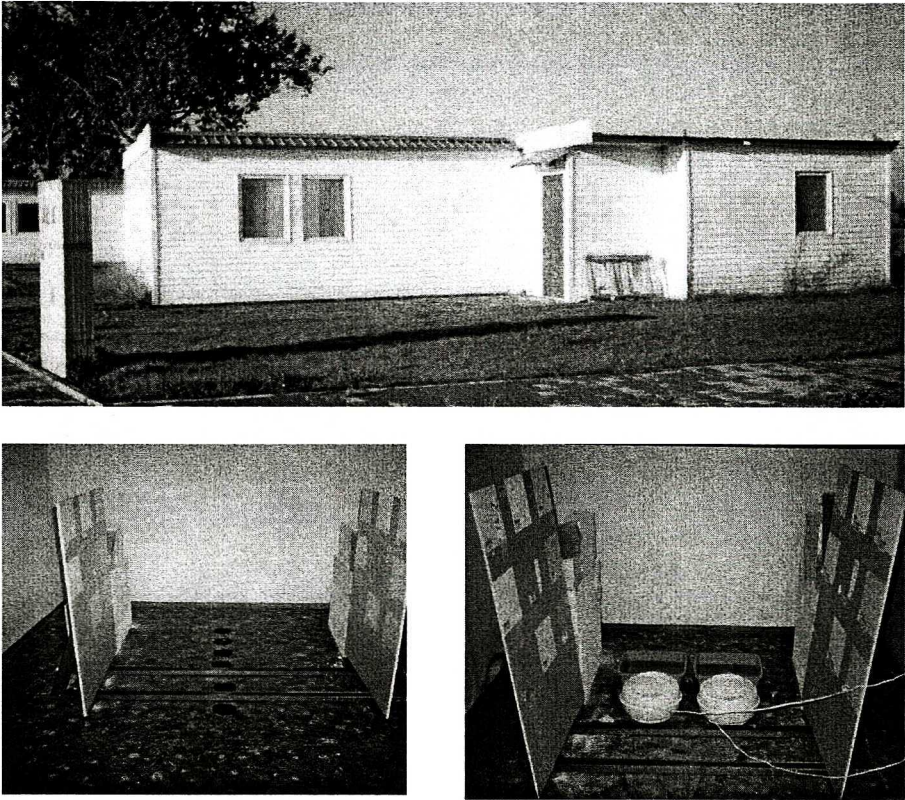
W każdym pokoju ustawiono stanowisko badawcze składające się z dwóch wolnostojących ścianek (L-lewa i P-prawa), wykonanych z płyt gipsowo-kartonowych zwykłych oraz z materiałów termoizolacyjnych: styropianu, wełny mineralnej, pianki poliuretanowej i bloczków z betonu komórkowego. Powierzchnię płyt pokryto różnymi materiałami wykończeniowymi – dwoma rodzajami: farby emulsyjnej, farby z biocydem, farby termoizolacyjnej i tapety papierowej.

W czterech pokojach próbki spryskano zawiesiną grzybów pleśniowych, przy czym próbki na ściankach P pokryto wcześniej cienką warstwą podłoża wzrostowego dla grzybów – Sabouraud'a, próbki na ściankach L pozostały jałowe. Skład podłoża był następujący: woda destylowana – 1000 cm³, pepton – 10 g, glukoza – 40 g, agar – 20 g.

W dwóch pokojach skażenie odbywało się samoczynnie – bioaerozolem, w pomieszczeniach wystawiono płytki Petrie'go z dojrzałą grzybnią obficie uwalniającą zarodniki do powietrza, przy czym wszystkie próbki pokryto pożywką.

Do zakażenia próbek użyto grzybów pleśniowych pochodzących z kolekcji Laboratorium Korozji Mikrobiologicznej Głównego Instytutu Górnictwa z Katowic: *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler, *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud, *Cladosporium sphaerospermum* Penz., *Ulocladium tuberculatum* E. Simmons, *Stachybotrys atra* Corda. Stężenie zastosowanej wielogatunkowej zawiesiny zarodników określono przez posiewy z rozcieńczeń na podłoża wzrostowe dla grzybów. W 1 cm³ zawiesiny stwierdzono występowanie $1,0 \times 10^7$ jednostek tworzących kolonie (jtk) grzybów.

Próbki do laboratoryjnych badań mikologicznych pobrano po upływie: 1, 3, 5, 15 i 30 tygodni od momentu zakażenia materiałów budowlanych.



Rys. 2. Pawilon doświadczalny
Investigative pavilion

MIKROKLIMAT POMIESZCZEŃ DOŚWIADCZALNYCH

W pawilonach stworzono warunki sprzyjające rozwojowi grzybów pleśniowych:

- zaślepiono otwory wentylacyjne, ograniczając w ten sposób wymianę powietrza z otoczeniem,
- wstępnie podwyższono wilgotność powietrza wewnętrznego, tak aby w temperaturze powietrza $t_i = 20 \div 25^\circ\text{C}$ wilgotność względna powietrza była nie niższa niż 70%, po upływie 15 tygodni w części pomieszczeń wilgotność powietrza uległa obniżeniu do poziomu $\varphi = 30 \div 40\%$,
- w wybranych pomieszczeniach uruchomiono mieszacze powietrza, w pomieszczeniach z wymuszoną cyrkulacją powietrza uzyskano prędkość przepływu powietrza $v_i = 0,2 \div 1,0 \text{ m/s}$, w pozostałych pomieszczeniach powietrze pozostawało praktycznie w bezruchu ($v_i \leq 0,2 \text{ m/s}$).

W pawilonach prowadzono ciągłą rejestrację temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz kontrolowano, w sposób wyrywkowy, poziom stężenia CO_2 i prędkość przepływu powietrza. Skrócony opis warunków cieplno-wilgotnościowych panujących w pomieszczeniach doświadczalnych w kolejnych etapach badań podano w tabeli 1.

Tabela 1. Warunki mikroklimatyczne w trakcie kolejnych etapów badań
Environmental conditions in the research stages

Etap Stage	Opis warunków ciepłno-wilgotnościowych panujących w pawilonach Description of environmental conditions in pavilions	Czas trwania [tygodnie] Duration [weeks]		
Inicjacji Initiation	Faza I - warunki naturalne; temperatura powietrza wewnętrznego uzależniona była od warunków atmosferycznych, pomieszczeń nie ogrzewano, $t_i = 10 \pm 25^\circ\text{C}$, $\varphi = 70 \pm 80\%$, Phase I - natural conditions ; temperature of internal air depending on atmospheric conditions, rooms were not heated, air temperature $t_i = 10 \pm 25^\circ\text{C}$, relative humidity $\varphi = 70 \pm 80\%$,	5		
Hodowli Farming	Faza II - przechłodzenie; nie stosowano ogrzewania i nawilżania pomieszczeń, okresowo temperatura powietrza wewnętrznego spadała poniżej $t_i = 0^\circ\text{C}$, wilgotność względna utrzymywała się na poziomie $\varphi = 70 \pm 80\%$, Phase II - over-cooling; rooms were not heated and wetted, periodically temperature of internal air came down below $t_i = 0^\circ\text{C}$, relative humidity stayed on level $\varphi = 70 \pm 80\%$,	10		
	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Faza IIIa - grzanie i nawilżanie pawilon „M”- mokry; próbki bez pożywki organicznej, temperatura powietrza była na poziomie $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, wilgotność względną powietrza była na poziomie $\varphi = 70 \pm 80\%$, Phase IIIA - warming and wetting pavilion "M"-wet; samples without organic mediums, air temperature $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, relative humidity $\varphi = 70 \pm 80\%$. </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Faza IIIb - grzanie i wysychanie, pawilon „S”- suchy; próbki pokryte pożywką organiczną, temperatura powietrza była na poziomie $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, wilgotność względną powietrza była na poziomie $\varphi = 30 \pm 40\%$, Phase IIIB - warming and drying pavilion "S"-dry; samples covered with organic medium, air temperature $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, relative humidity $\varphi = 30 \pm 40\%$. </td> </tr> </table>	Faza IIIa - grzanie i nawilżanie pawilon „M”- mokry; próbki bez pożywki organicznej, temperatura powietrza była na poziomie $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, wilgotność względną powietrza była na poziomie $\varphi = 70 \pm 80\%$, Phase IIIA - warming and wetting pavilion "M"-wet; samples without organic mediums, air temperature $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, relative humidity $\varphi = 70 \pm 80\%$.	Faza IIIb - grzanie i wysychanie, pawilon „S”- suchy; próbki pokryte pożywką organiczną, temperatura powietrza była na poziomie $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, wilgotność względną powietrza była na poziomie $\varphi = 30 \pm 40\%$, Phase IIIB - warming and drying pavilion "S"-dry; samples covered with organic medium, air temperature $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, relative humidity $\varphi = 30 \pm 40\%$.	15
Faza IIIa - grzanie i nawilżanie pawilon „M”- mokry; próbki bez pożywki organicznej, temperatura powietrza była na poziomie $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, wilgotność względną powietrza była na poziomie $\varphi = 70 \pm 80\%$, Phase IIIA - warming and wetting pavilion "M"-wet; samples without organic mediums, air temperature $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, relative humidity $\varphi = 70 \pm 80\%$.	Faza IIIb - grzanie i wysychanie, pawilon „S”- suchy; próbki pokryte pożywką organiczną, temperatura powietrza była na poziomie $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, wilgotność względną powietrza była na poziomie $\varphi = 30 \pm 40\%$, Phase IIIB - warming and drying pavilion "S"-dry; samples covered with organic medium, air temperature $t_i = 22 \pm 25^\circ\text{C}$, relative humidity $\varphi = 30 \pm 40\%$.			

Wilgotność masowa badanych materiałów budowlanych odpowiadała poziomowi wilgotności sorpcyjnej, ponieważ ścianki doświadczalne nie ulegały procesom typowym dla ścian zewnętrznych – zjawisku dyfuzji i kondensacji pary wodnej. Rozdzielenie procesów sorpcji i dyfuzji pozwoliło na przeprowadzenie analizy wrażliwości grzybów pleśniowych na warunki aerodynamiczne w możliwie stabilnych warunkach termiczno-wilgotnościowych (jak dla ścian wewnętrznych), panujących wewnątrz pomieszczeń doświadczalnych.

BADANIA MIKOLOGICZNE

ZAKRES BADAŃ

Dynamika rozwoju grzybów pleśniowych była oceniana przez dwa niezależne zespoły: z Katowic i Łodzi.

Zespół z Laboratorium Korozji Mikrobiologicznej Głównego Instytutu Górnictwa z Katowic wykonał prace w zakresie:

- badania stopnia zasiedlenia powierzchni próbek materiałów przez grzyby pleśniowe,

- identyfikacji składu gatunkowego grzybów pleśniowych pokrywających próbki,
- identyfikacji składu gatunkowego grzybów pleśniowych w powietrzu,
- badania liczebności grzybów pleśniowych (jtk) w powietrzu.

Zespół z Instytutu Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej prowadził badania zawartości ergosterolu:

- na powierzchni wybranych materiałów budowlanych,
- w powietrzu.

Tak szerokiego spektrum badań laboratoryjnych, ze względów finansowych, nie można było prowadzić w pełnym zakresie, przez dwuletni okres trwania doświadczenia. Z tego względu badania prowadzone przez zespół Głównego Instytutu Górnictwa były skoncentrowane na ocenie dynamiki rozwoju grzybów na wszystkich rodzajach materiałów, ale tylko w etapie inicjacji.

Natomiast zespół z Politechniki Łódzkiej badał próbki pobierane przez cały okres trwania doświadczenia, w zakresie ograniczonym do kilku rodzajów materiałów.

METODY BADAŃ

Metody tradycyjne

Metodami tradycyjnymi: metodą wizualną oraz metodą posiewowo-wzrostową prowadzono badania w etapie inicjacji.

Do badania dynamiki rozwoju grzybów pleśniowych na powierzchni materiałów budowlanych wykorzystano metodę wizualnej oceny procentowego udziału powierzchni próbki porośniętej grzybnią w stosunku do całej jej powierzchni. Przeprowadzono także identyfikację gatunków grzybów zasiedlających próbki. W tym celu, z każdej próbki o widocznym wzroście grzybni, pobrano wymazy z trzech różnych fragmentów tej próbki. W laboratorium posiewano otrzymany materiał na podłoża odżywcze metodą odcisków oraz metodą rozcieńczeń.

Mikologiczne skażenie powietrza w pomieszczeniach doświadczalnych oceniano ilościowo oraz jakościowo. Ocena ilościowa polegała na określaniu liczby jtk w określonej objętości powietrza. W celu oceny jakościowej (identyfikacji gatunków grzybów) prowadzono hodowlę na paskach agarowych.

Analizę składu gatunkowego grzybów identyfikowanych w próbkach pobranych z powietrza i z powierzchni materiałów budowlanych, przeprowadzono posługując się kluczami powszechnie stosowanymi w laboratoriach mikrobiologicznych.

Metoda ergosterolowa

Ergosterol, jest to lipid budujący błony komórkowe wszystkich grzybów pleśniowych oraz drożdży, nie występuje w materiałach czystych oraz w powietrzu jałowym. Związek ten jest tworzony w grzybni bardzo wcześnie, występuje w sporach i w grzybni, we wszystkich fazach jej rozwoju.

Metoda oznaczenia zawartości ergosterolu jest stosowana do szybkiej oceny stanu zanieczyszczenia pleśniami, głównie produktów roślinnych oraz w pomiarach zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza, np. w USA, Kanadzie i Japonii. W Polsce badania nad wykorzystaniem ergosterolu, jako miernika zapleśnienia, prowadzone są przez zespół Instytutu Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki

Łódzkiej [1, 12]. W omawianym doświadczeniu podjęto próbę aplikacji tej metody do oceny skażenia mikologicznego obiektów budowlanych.

Badania polegały na pomiarze, metodą spektrofotometryczną, zawartości ergosterolu w powietrzu oraz na powierzchni materiałów eksponowanych w pawilonach doświadczalnych. Pomiar ergosterolu na powierzchni materiałów polegał na oszacowaniu sumarycznej ilości ergosterolu zawartego w zarodnikach grzybów, grzybni wegetatywnej na różnym etapie jej rozwoju oraz grzybni już nieaktywnej – niezdolnej do wzrostu. Natomiast ocenę ilości ergosterolu w powietrzu przeprowadzono oznaczając ilość tego związku w zarodnikach grzybów zatrzymanych na filtrach, po odfiltrowaniu próby powietrza.

W przeprowadzonym doświadczeniu wykazano korelację pomiędzy wynikami uzyskanymi metodą hodowlaną i ergosterolową, co pozwoliło na ograniczenie, w następnych etapach doświadczenia, zakresu badań wykonywanych metodami tradycyjnymi.

WYNIKI BADAŃ MIKOLOGICZNYCH

OCENA SKAŻENIA POWIERZCHNI MATERIAŁÓW

Wyniki wizualnej oceny dynamiki rozwoju grzybów pleśniowych na powierzchni materiałów budowlanych zaprezentowano na przykładzie dwóch grup materiałów:

- termoizolacyjnych, w tabeli 2,
- ściennych-wykończeniowych, w tabeli 3,

natomiast wynik identyfikacji gatunków grzybów zasiedlających materiały przedstawiono w tabeli 4.

Analiza powyższych wyników badań, uzyskanych w ciągu trzydziestu tygodni prowadzenia hodowli grzybów w warunkach podwyższonej wilgotności względnej powietrza wewnątrz pomieszczeń doświadczalnych, pozwala na sformułowanie następujących spostrzeżeń:

- badane materiały nie stanowiły pożywki dla grzybów pleśniowych, gdyż rozwinęły się one tylko na powierzchni materiałów pokrytych pożywką organiczną,
- dynamika rozwoju grzybów była uzależniona od sposobu zakażenia i rodzaju powierzchni materiału; grzyby rozwijały się szybciej na powierzchniach zakażonych zawiesiną niż bioaerozolem oraz intensywniej na powierzchni materiałów termoizolacyjnych niż na powierzchni płyt gipsowo-kartonowych.

Analizując warunki aerodynamiczne stwierdzono, że wpływają one w różny sposób na rozwój grzybów, w zależności od: obecności pożywki, rodzaju powierzchni oraz sposobu zakażenia próbki.

W wypadku próbek bez pożywki organicznej warunki aerodynamiczne nie odgrywały istotnej roli – ocena wizualna nie wykazała rozwoju grzybów na żadnym materiale.

Próbki pokryte wstępnie pożywką uległy zapeśnieniu z różną intensywnością w zależności od struktury powierzchni próbek oraz sposobu ich zakażenia. Gładka powierzchnia płyt gipsowo-kartonowych była porośnięta grzybami znacznie później niż chropowata powierzchnia materiałów termoizolacyjnych.

Tabela 2. Wyniki badań mikologicznych materiałów termoizolacyjnych
The results of the mycological research – on the heat insulating materials

Pożywka Organic medium	Sposób zaka- żenia Means of contamination	Materiał Material	Cyrkulacja powietrza Air circula- tion	Ocena wizualna [% powierzchni próbki pokrytej grzybnia] Visual estimation [% area of samples covered area with mould fungal growth]					
				Faza badań			Research phase		
				I		II	IIIa	IIIb	
				Nr badania			Test No.		
				1	2	3	4	5a	5b
obecna present	zawiesina suspension	styropian polystyrene EPS	brak absent	50	100	100	100*	-	100*
			wymuszona extorted	100	100	100	100	-	100
				100	100	100	100	-	100
		wełna mineralna mineral wool	brak absent	40	100	100	100*	-	100*
			wymuszona extorted	100	100	100	100	-	100*
				75	100	100	100	-	100*
	bioaerazol bioaerosol	styropian polystyrene EPS	brak absent	30	100	100	100	100	-
			wymuszona extorted	50	100	100	100	-	100*
				0	2	5	60	-	100
		wełna mineralna mineral wool	brak absent	0	4	10	30	30	-
			wymuszona extorted	40	100	100	100	100	-
				30	100	100	100	-	100*
	wymuszona extorted	0	5	30	30	-	30		
		0	10	30	60	60	-		
bez pożywki absent	zawiesina suspension	styropian polystyrene EPS	brak absent	0	0	0	0	0	-
			wymuszona extorted	0	0	0	0	0	-
				0	0	0	0	0	-
		wełna mineralna mineral wool	brak absent	0	0	0	0	0	-
			wymuszona extorted	0	0	0	0	0	-
				0	0	0	0	0	-

*) – grzybnia wizualnie wyschnięta

*) – spawn of fungi visual dry

Wpływ warunków aerodynamicznych na rozwój grzybów najintensywniej zaznaczył się w zależności od sposobu zakażenia powierzchni. Próbki zakażone zawiesiną zostały pokryte nalotem grzybni bardzo szybko i na dużej części powierzchni (np. materiały termoizolacyjne były pokryte grzybnia w 100% już po trzech tygodniach). Natomiast na próbkach zakażanych bioaerozolem grzyby rozwijały się wolniej (opóźnieniu ulegał moment zakażenia), a grzybnia pokrywała tylko fragment powierzchni próbek. Stwierdzono także, że w fazie IIIb, w której uległa obniżeniu wilgotność względna powietrza wewnątrz pomieszczeń doświadczalnych, grzybnia wysychała wolniej w pomieszczeniach w warunkach bezruchu niż w pomieszczeniach z wymuszoną cyrkulacją powietrza.

Tabela 3. Wyniki badań mikologicznych materiałów ściennych
The results of the mycological research – on the wall materials

Pożywka Organic medium	Sposób zaka- żenia Means of contamination	Materiał: plyta gipso- wo- kartonowa Material	Cyrkulacja powietrza Air circu- lation	Ocena wizualna [% powierzchni próbki pokrytej grzybnia] Visual estimation [% area of samples covered area with mould fungal growth]						
				Faza badań			Research phase			
				I		II	IIIa	IIIb		
				Nr badania			Test No.			
				1	2	3	4	5a	5b	
obecna present	zawiesina suspension	czysta clean	brak absent	0	0	0	0	-	0	
			wymuszona extorted	0	100	100	100	-	100	
		pokryta farbą emulsyjną covered with emulsion paint	brak absent	0	0	0	0	-	0	
			wymuszona extorted	0	0	0	0	-	0	
		bioaerosol	czysta clean	brak absent	0	0	0	30	30	-
				wymuszona extorted	0	0	0	0	-	80*
	pokryta farbą emulsyjną covered with emulsion paint		brak absent	0	0	0	0	0	-	
			wymuszona extorted	0	0	0	0	-	0	
	czysta clean		brak absent	0	0	0	0	0	-	
			wymuszona extorted	0	0	0	0	0	-	
	pokryta farbą emulsyjną covered with emulsion paint	brak absent	0	0	0	10	-	10*		
		wymuszona extorted	0	0	0	0	0	-		
bez pożywki absent	zawiesina suspension	czysta clean	brak absent	0	0	0	0	0	-	
			wymuszona extorted	0	0	0	0	0	-	
		pokryta farbą emulsyjną covered with emulsion paint	brak absent	0	0	0	0	0	-	
			wymuszona extorted	0	0	0	0	0	-	
		czysta clean	brak absent	0	0	0	0	0	-	
			wymuszona extorted	0	0	0	0	0	-	

*) – grzybnia wizualnie wyschnięta

*) – spawn of fungi visual dry

Fotograficzną prezentację wpływu warunków aerodynamicznych na rozwój grzybów pleśniowych pokazano na rysunku 3, na którym zestawiono cztery próbki styropianu. Na próbce jałowej A, nie pokrytej wcześniej pożywką organiczną, nie nastąpił rozwój grzybów pleśniowych. Na powierzchni trzech próbek, które pokryto wcześniej pożywką organiczną (próbki B, C i D) jest widoczny rozwój grzybów. Przy czym bardzo intensywny rozwój występuje na próbce C, która była zakażona bioaerozolem i była przechowywana w pomieszczeniu bez wymuszonej cyrkulacji powietrza wewnętrznego (wyraźnie są widoczne poszczególne kolonie grzybów różnych rodza-

Tabela 4. Jakościowa ocena skażenia mikologicznego materiałów budowlanych
Quality assessment of mycological investigations on the building materials

		Gatunki grzybów pleśniowych zidentyfikowane na próbkach materiałów Mould fungi found on the building materials										
Cyrkulacja powietrza Air circulation	Sposób zakażenia Means of contamination	Materiał: -termoizolacyjny -ścienny Material: -heat-insulating -wall materials	Pawilon Pavilion	Termin badania Research term	Użyte do zakażenia Contamination fungi					Szczyepy „dzikie” “Wild” mould		
					<i>Ullotidium tubercultum</i>	<i>Aureobasidium pullulans</i>	<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	<i>Stachybotrys atra</i>	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Aspergillus sp.</i>	<i>Rhizopus nigricans</i>	<i>Penicillium sp.</i>
brak absent	zawiesina suspension	termoizolacyjny type of insulation	S	1	-	-	+	-	+	-	-	+
				3	-	-	+	-	+	-	-	+
				5	-	-	+	-	+	-	+	+
		ścienny wall materials	M	1	+	+	+	-	-	-	-	+
				3	+	+	+	-	-	-	-	+
				5	+	+	+	-	-	-	-	+
	bioaerozol bioaerosol	termoizolacyjny type of insulation	M	1	-	-	+	-	-	-	-	+
				3	-	-	+	-	-	+	-	+
				5	-	-	+	-	-	+	+	+
		ścienny wall materials	M	1	-	-	-	-	-	-	-	-
				3	-	-	-	-	-	-	-	-
				5	-	-	-	-	-	-	-	-
wymuszona extorted	zawiesina suspension	termoizolacyjny type of insulation	S	1	+	+	+	-	-	-	-	+
				3	+	+	+	-	-	-	-	+
				5	+	+	+	-	-	-	+	+
		ścienny wall materials	M	1	-	-	+	-	-	-	-	+
				3	-	-	+	-	-	-	-	+
				5	-	-	+	-	-	-	-	+
	bioaerozol bioaerosol	termoizolacyjny type of insulation	S	1	-	-	-	-	-	-	-	-
				3	-	-	-	-	-	-	-	+
				5	-	-	+	-	+	-	-	+
		ścienny wall materials	S	1	-	-	-	-	-	-	-	-
				3	-	-	-	-	-	-	-	-
				5	-	-	-	-	-	-	-	-

Termin badania:

1, 3, 5 – 1, 3, 5 tygodni od momentu zakażenia,

- nie stwierdzono obecności grzybów

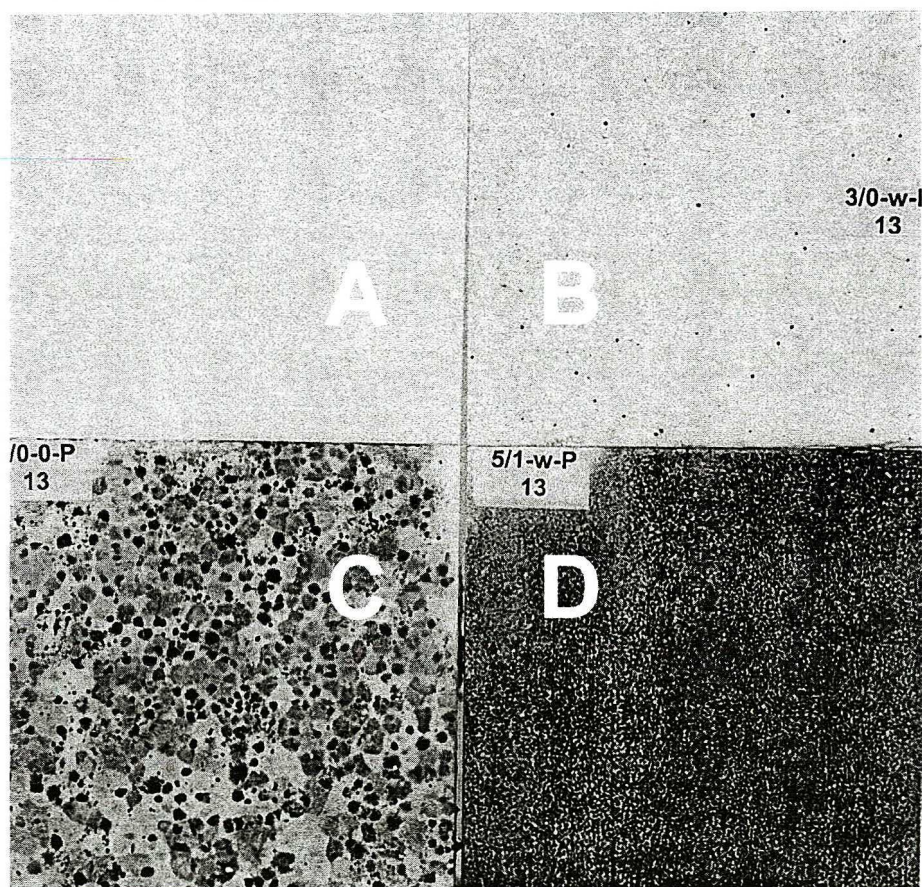
+ stwierdzono obecność grzybów danego gatunku

Research term:

1, 3, 5 – 1, 3, 5 weeks after contamination

- mould fungi not found

+ mould fungi present



Rys. 3. Wpływ warunków środowiskowych na rozwój grzybów pleśniowych na powierzchni styropianu
The influence of environmental conditions on mould fungal growth on surfaces of polystyrene EPS

jów). Podobnie była zakażona próbka B (bioaerozolem), lecz przechowywanie jej w pomieszczeniu z wymuszoną cyrkulacją powietrza wyraźnie opóźniło moment zasiedlenia próbki przez grzyby. Próbka D – bardzo intensywnie porośnięta równomierną szaro-czarną grzybnią, to próbka skażona zawiesiną i przechowywana w warunkach wymuszonej cyrkulacji powietrza.

Ocena jakościowa (Tab. 4) wykazała, że skład gatunkowy grzybów zasiedlających próbki materiałów był podobny we wszystkich pomieszczeniach, niezależnie od tego, czy panowała w nich wymuszona cyrkulacja, czy bezruch powietrza. Rozwinęły się tylko niektóre gatunki grzybów użytych do zakażenia oraz kilka gatunków „szczepów dzikich”. Gatunkami przeważającymi były: *Cladosporium sphaerospermum* (po jednym tygodniu identyfikowano ten gatunek na próbkach w pięciu pomieszczeniach, a po pięciu tygodniach w dziewięciu) oraz *Penicillium sp.* (po jednym tygodniu identyfikowano ten gatunek na próbkach w pięciu pomieszczeniach, a po pięciu tygodniach w jedenastu). Na żadnej próbce nie stwierdzono występowania grzybów z toksycznego gatunku *Stachybotrys atra*. Większa liczba gatunków była identyfikowana na powierzchni materiałów termoizolacyjnych niż na powierzchni materiałów ściennowo-wykończeniowych.

OCENA SKAŻENIA POWIETRZA

Wyniki badania powietrza przedstawiono w formie tabelarycznej, osobno dla metody tradycyjnej stosowanej w etapie inicjacji i dla metody ergosterolowej użytej w etapie hodowlanym.

Dla etapu inicjacji stopień skażenia zaprezentowano w tabeli 5 (wyrażono go liczbą jednostek tworzących kolonie w przeliczeniu na 1 m³ powietrza) oraz w tabeli 6, w której podano gatunki grzybów zidentyfikowanych w próbkach powietrza atmosferycznego oraz próbkach pobranych w pomieszczeniach pawilonów. Badania powietrza wykonano przed zakażeniem oraz po upływie 1, 3 i 5 tygodni od momentu zakażenia próbek.

Tabela 5. Skażenie powietrza przez grzyby pleśniowe – etap inicjacji
The results of mycological investigations of the air – initiation stage

Ilość grzybów w powietrzu [jtk/m ³] – etap inicjacji Mycological pollution [CFU/m ³] – initiation stage						
Sposób zakażenia Means of contamination	Cyrkulacja powietrza Air circulation	Pawilon Pavilion	przed zakażeniem before contamination	po 1 tygodniu after 1 week	po 3 tygodniach after 3 weeks	po 5 tygodniach after 5 weeks
zawiesina suspension	brak absent	S	325	7975	3659	6625
		M	1812	100	1875	23800
	wymuszona extorted	S	525	2875	2675	3500
		M	437	62	1687	21250
bioaerazol bioaerosol	brak absent	M	700	162	2787	9450
		S	850	362	700	4350
Powietrze atmosferyczne Atmospheric air			4287	6437	2662	4250
Wartość średnia Average	Pawilon S Pavilion S		567	3737	2345	4825
	Pawilon M Pavilion M		983	108	2116	18167
	cyrkulacja wymuszona circulation extorted		604	1100	1687	9700
	brak cyrkulacji circulation absent		946	2756	2774	13292

Wyniki badania skażenia próbek powietrza pobranych na zakończenie faz badań w etapie inicjacji i hodowlanym, wyrażone zawartością ergosterolu, zaprezentowano w tabeli 7.

Przez cały okres prowadzenia doświadczenia poziom mikologicznego skażenia powietrza był bardzo wysoki, zdecydowanie wyższy od przyjętych zwyczajowo norm, np. normy Krzystofika, która dla pomieszczeń mieszkalnych dopuszcza skażenie wyrażone liczbą 300 jtk/m³ powietrza. W początkowym okresie doświadczenia skażenie wewnątrz pawilonów (ok. 300 ÷ 1800 jtk/m³) było niższe od skażenia powietrza atmosferycznego (ok. 4300 jtk/m³). Wraz z rozwojem grzybów na próbkach materiałów oraz

Tabela 7. Skazenie powietrza przez grzyby pleśniowe – faza I + III
The results of mycological investigations of the air – phase I + III

Zawartość ergosterolu w powietrzu [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] Ergosterol in air [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]						
Sposób zakażenia Means of contamination	Cyrkulacja powietrza Air circulation	Pawilon Pavilion	Faza I Phase I	Faza II Phase II	Faza IIIa Phase IIIa	Faza IIIb Phase IIIb
			po 5 tyg. after 5 weeks	po 15 tyg. after 15 weeks	po 30 tygodniach after 30 weeks	
zawiesina suspension	brak absent	S	3,76	2,22	-	4,17
		M	3,89	2,43	2,56	-
	wymuszona extorted	S	3,12	1,79	-	2,76
		M	3,81	2,01	2,48	-
bioaerazol bioaerosol	brak absent	M	2,91	2,16	2,18	-
		S	3,13	1,80	-	3,79
Powietrze atmosferyczne Atmospheric air			0,95	1,35	1,6	
Wartość średnia Average	Pawilon S Pavilion S		3,33	1,94	-	3,57
	Pawilon M Pavilion M		3,54	2,20	2,41	-
	cyrkulacja wymuszona circulation extorted		3,35	1,86	3,01	
	brak cyrkulacji circulation absent		3,52	2,27	2,97	

na ścianach pawilonów, poziom skażenia był coraz wyższy i już po pięciu tygodniach w pomieszczeniach znajdowało się od 3500 do 23800 jtk/m³. Odnotowano niestabilność poziomu skażenia powietrza atmosferycznego i wewnątrz pawilonów, co może wynikać zarówno z błędów metod pomiarowych jak i z warunków quasi eksploatacyjnych panujących w czasie pobierania próbek powietrza. Pomimo wyraźnych wahań poziomu skażenia wykazano ogólną tendencję wzrostową, o większej dynamice w wypadku pomieszczeń bez wymuszonej cyrkulacji powietrza.

Wyniki badania zawartości ergosterolu potwierdzają bardzo wysokie skażenie powietrza wewnątrz pawilonów oraz wpływ warunków aerodynamicznych na intensywność rozwoju grzybów pleśniowych na powierzchni materiałów. Nieznacznie wyższy poziom skażenia stwierdzono w pomieszczeniach, w których panował bezruch – niższy w tych, w których zastosowano wymuszoną cyrkulację powietrza. Zaobserwowano także wyraźny spadek zawartości ergosterolu w próbkach pobranych na zakończenie fazy II, a więc po okresie zimowego przechłodzenia pawilonów (Tab. 1). Wyniki uzyskane na zakończenie piętnastotygodniowej fazy III wskazują, że o poziomie skażenia powietrza decyduje przede wszystkim rozwój grzybów na powierzchni przegród. W pomieszczeniach o obniżonej wilgotności powietrza, w których próbki ulegały naturalnemu wysychaniu (faza IIIb) poziom skażenia był wyższy niż w pomieszczeniach o podwyższonej wilgotności, w których po okresie zimowym ustawiono próbki bez widocznych nalotów grzybni (faza IIIa).

Ocena jakościowa próbek powietrza (Tab. 6) wykazała, że obok gatunków użytych do zakażenia identyfikowano gatunki „szczepów dzikich”, które zasiedliły pawilony w

sposób naturalny. Początkowo odnotowano dużą różnorodność występujących gatunków, przed rozpoczęciem doświadczenia zidentyfikowano dziesięć gatunków, dwa gatunki zastosowano w mieszaninie zakażającej. Po pięciu tygodniach badań w pawilonach identyfikowano już tylko kilka gatunków. W powietrzu dominowały: *Cladosporium sphaerospermum* (gatunek użyty do zakażenia oraz identyfikowany na próbkach materiałów), gatunki występujące rzadko na próbkach materiałów: *Alternaria alternata* (gatunek zakażający) oraz *Rhizopus nigricans* (gatunek „dziki”). Licznie występujące na próbkach materiałów grzyby z rodzaju *Penicillium* w powietrzu były identyfikowane rzadko, natomiast we wszystkich pomieszczeniach były obecne grzyby z rodzaju *Aspergillus*, które identyfikowano przede wszystkim na powierzchni materiałów termozolacyjnych.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Analizując uzyskane wyniki badań stwierdzono, że warunki aerodynamiczne panujące w pomieszczeniach wpływają – obok innych czynników środowiskowych np. takich jak ciepno-wilgotnościowe, materiałowe i powierzchniowe – na dynamikę rozwoju grzybów pleśniowych na powierzchni materiałów budowlanych.

Sposób przejmowania przez powierzchnię przegrody zarówno wilgoci, zarodników, jak i mikro zanieczyszczeń zawartych w powietrzu zależy od tego, czy w pomieszczeniu panuje ruch czy bezruch powietrza.

Wymuszona cyrkulacja utrudnia przejmowanie wilgoci oraz opóźnia moment zakażenia powierzchni, tym samym ogranicza zakres zagrzybienia przegród.

W wypadku pomieszczeń silnie zagrzybionych, wymuszona cyrkulacja powietrza sprzyja rozsiewaniu zarodników uwalniających się z powierzchni porośniętych grzybnia, co może być przyczyną zwiększenia mikologicznego skażenia powietrza i wtórnego zakażenia powierzchni.

Zjawisko wymuszonej cyrkulacji powietrza powinno znaleźć zastosowanie w profilaktyce zwalczania porażenia pleśniowego. Obok dbałości o utrzymywanie prawidłowej wilgotności i czystości higienicznej powietrza, należy zwracać uwagę na konieczność unikania warunków bezruchu powietrza w pomieszczeniach. Natomiast w pomieszczeniach mocno zagrzybionych, należy pamiętać o możliwości zwiększenia mikologicznego skażenia powietrza, w wyniku uruchomienia cyrkulacji powietrza pozostającego dotychczas w bezruchu.

Pracę wykonano w ramach programu badawczego BW-11-166/2002 Politechniki Poznańskiej.

LITERATURA

1. Gutarowska B., Z. Żakowska, J. Bogusławska-Kozłowska: *Zależność pomiędzy ilością ergosterolu oznaczonego metodą spektrofotometryczną oraz metodą GC, a stopniem zanieczyszczenia pleśniami określonym metodą hodowlaną*, [w] materiały seminarium naukowego nt. Nowoczesne techniki analityczne w biotechnologii żywności i środowiska, Łódź 1999, 90.
2. Janińska B.: *Wymagania środowiskowe grzybów pleśniowych występujących w budynkach mieszkalnych*, VII Konferencja Naukowo-Techniczna Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce'99, 1999, 195–202.
3. Janińska B.: *Zmiany mikroklimatu wewnątrz budynków poddanych termomodernizacji a zagrożenie mikologiczne*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, 44/1999, 25–43.

4. Janińska B.: *Wpływ cyrkulacji powietrza na rozwój grzybów pleśniowych*, XLVI Konferencji Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN Krynica'2000, Krynica 2000, 3, 123–130.
5. Jones W.P.: *Klimatyzacja "Arkady"*, 1981.
6. Krzysztofik B.: *Mikrobiologia powietrza*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.
7. Krzysztofik B., K. Ossowska-Cypryk: *Ćwiczenia laboratoryjne z mikrobiologii powietrza*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
8. Nyuksha Yu. P.: *Biodeterioration of Paper and Books*, The Library of the Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg 1994.
9. Matkowski Z.: *Raport – Badania wilgotności powierzchni próbek znajdujących się w kontenerach mieszkalnych na Brochowie*, raport nr 42/99, maszynopis, Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, 1999.
10. Mędreła-Kuder E.: *Mykoflora powietrza i jej znaczenie dla kształtowania warunków higienicznych niektórych obiektów i pomieszczeń szkolnych AWF Kraków-Czyżyny*, praca doktorska, Kraków 1985.
11. *Ocena wpływu wybranych elementów mikroklimatu na rozwój porażen pleśniowych*, dokumentacja pracy badawczo-rozwojowej nr 490 5547 9–163, maszynopis, Laboratorium Korozji Mikrobiologicznej, Główny Instytut Górnicztwa, Katowice 1999.
12. *Ocena wpływu wybranych elementów mikroklimatu na rozwój porażen pleśniowych*, dokumentacja pracy nr 490 09270-163, maszynopis, Laboratorium Korozji Mikrobiologicznej, Główny Instytut Górnicztwa, Katowice 2000.
13. *Ocena wpływu wybranych elementów mikroklimatu na rozwój porażen pleśniowych*, sprawozdanie z badań, maszynopis, Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej, 1999.
14. *Ocena wpływu wybranych elementów mikroklimatu na rozwój porażen pleśniowych na podstawie pomiaru zawartości ergosterolu cz. II*, sprawozdanie z badań, maszynopis, Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej 2000.

Wpłynęło: 3 grudnia 2001, zaakceptowano do druku: 3 kwietnia 2002.