

OBLICZENIOWE PROGNOZOWANIE WZROSTU MIKROGRZYBÓW W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

Jan Radoń, Aleksandra Gryc, Agnieszka Sadłowska

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono obliczeniowy, biohigrotermiczny model wzrostu mikrogrzybów opracowany w Instytucie Fraunhofera Fizyki Budowli w Niemczech oraz program komputerowy o nazwie WUFI+ zbudowany przy udziale autora referatu. Program ten umożliwia obliczenie niestacjonarnego przebiegu temperatury i wilgotności na powierzchni przegród oraz oszacowanie na tej podstawie zagrożenia porażenia mikrogrzybami. Wykonano przykładowe obliczenia dla typowego budynku jednorodzinnego z wymaganą i ograniczoną, w celu zaoszczędzenia energii, wentylacją. Porównano przewidywany stopień zagrożenia mikrogrzybami dla obydwu tych przypadków.

Słowa kluczowe: mikrogrzyby, program komputerowy, budynek, prognozowanie

WSTĘP

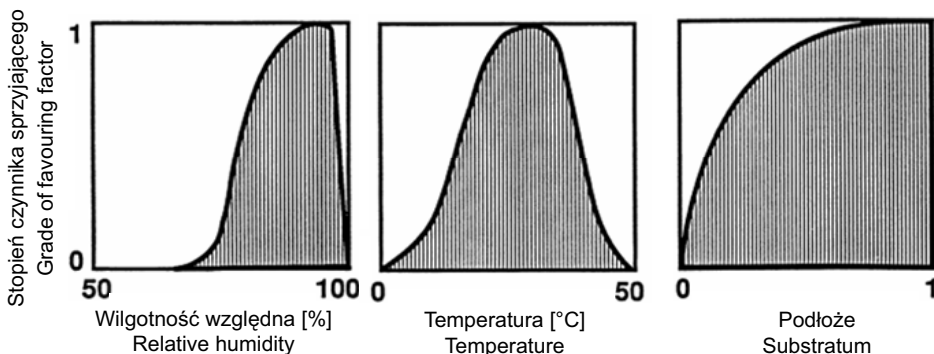
Termomodernizacja budynków mieszkalnych, polegająca na wymianie okien na bardziej energooszczędne i zarazem szczelne dla infiltracji powietrza, oraz oszczędzanie energii poprzez ograniczanie wentylacji prowadzi do podwyższenia wilgotności powietrza w pomieszczeniach. Działania te podnoszą prawdopodobieństwo porażenia przegród budowlanych mikrogrzybami, co często znajduje potwierdzenie w praktyce.

Pojawienie się i rozwój grzybów następuje w ściśle określonych warunkach środowiskowych. Ich analiza w połączeniu z mikrobiologicznymi badaniami laboratoryjnymi pozwoliła na zaobserwowanie wielu prawidłowości i w konsekwencji zbudowanie biohigrotermicznego modelu matematycznego wzrostu mikrogrzybów na powierzchni przegród budowlanych [Sedlbauer 2001]. Prognozowanie następuje na podstawie znajomości przebiegu temperatury i wilgotności. Do ich wyznaczenia może posłużyć program WUFIplus. Program ten zbudowano w Instytucie Fraunhofera Fizyki Budowli w Niemczech przy udziale pracowników Katedry Budownictwa Wiejskiego Uniwersytetu Rolni-

czego w Krakowie. W pracy przedstawiono ogólnie opis modelu obliczeniowego, programu komputerowego i przykładowe wyniki obliczeń. Celem pracy jest obliczeniowe potwierdzenie występowania warunków fizycznych, sprzyjających wzrostowi mikrogrzybów w typowych budynkach jednorodzinnych, użytkowanych obecnie.

MATERIAŁ I METODY

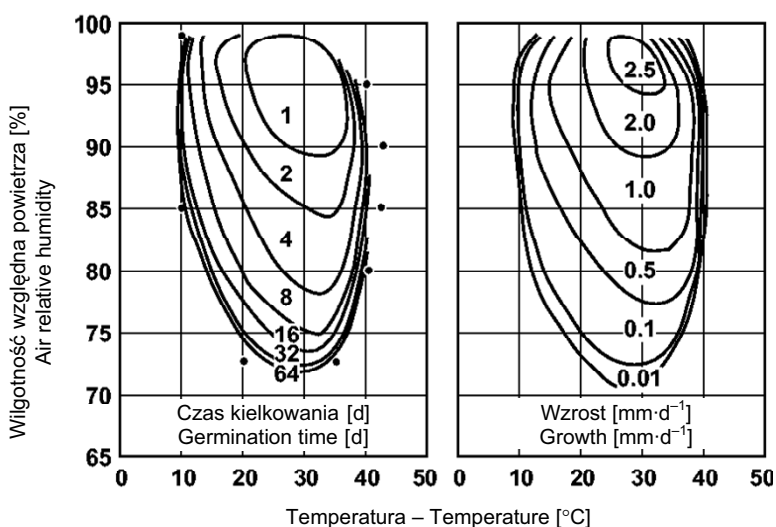
Najważniejszy wpływ na przekształcenie się zarodników w grzybnie i jej wzrost mają temperatura, wilgotność oraz rodzaj podłoża. W zależności od zakresu wartości tych parametrów oraz jakości podłoża można określić umownie stopień ich wpływu na tworzenie się warunków bardziej lub mniej sprzyjających rozwojowi mikrogrzybów. Zależności te zobrazowane są ogólnie na rysunku 1. Wyznaczenie dokładnych, ilościowych zależności między rozwojem grzybów a tymi parametrami możliwe jest poprzez badania laboratoryjne w kontrolowanych warunkach cieplno-wilgotnościowych. Na rysunku 2 pokazano przykładowe wyniki takich badań dla jednego z gatunków mikrogrzybów [Smith i Hill 1982] w formie tzw. izoplei, czyli krzywych, będących funkcjami dwóch zmiennych (w tym przypadku temperatury i wilgotności).



Rys. 1. Czynniki wpływające na rozwój mikrogrzybów [Sedlbauer 2001]
Fig. 1. Factors influencing growth of fungus [Sedlbauer 2001]

Bazując na wynikach badań laboratoryjnych, Sedlbauer i inni [2003] zbudowali tzw. biohigrotermiczny, matematyczny model, pozwalający prognozować rozwój szeregu gatunków mikrogrzybów. Opracowali oni m.in. izoplety graniczne, rozdzielające pole wilgotności i temperaturę na obszar, w którym nie dochodzi do kiełkowania i wzrostu, oraz obszar, w którym rozwój grzybów występuje. Izoplety graniczne określono i uśredniono osobno dla podłoża organicznego (np. drewno) i nieorganicznego (np. tynk mineralny).

Możliwość prognozowania rozwoju mikrogrzybów zależy więc od znajomości przebiegu temperatury i wilgotności względnej na powierzchni elementów budowlanych. Przebiegi te można wyznaczyć za pomocą programu komputerowego WUFI+, stworzonego w Instytucie Fraunhofera w Niemczech, przy współpracy autora referatu. Program ten służy głównie do obliczeń kształtowania się mikroklimatu budynków [Holm i in. 2004]. Implementacja izoplei granicznych umożliwiła dodatkowo jego wykorzystanie



Rys. 2. Izoplety dobowej szybkości kiełkowania i wzrostu zarodników *A. Restrictus* [Smith i Hill 1982]

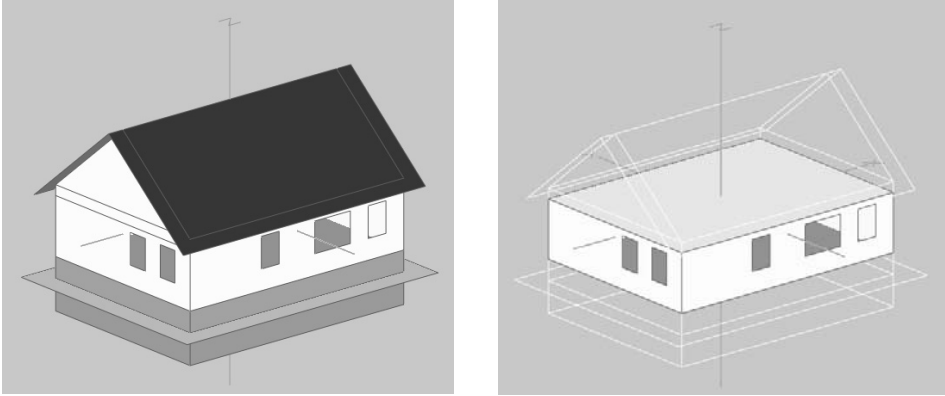
Fig. 2. Isopleths of daily germination and growth of *A. Restrictus* [Smith i Hill 1982]

do określenia stopnia zagrożenia porażenia grzybami pleśniowymi. Istotnym elementem programu WUFI+ jest wyznaczenie sprzężonego przepływu ciepła i wilgoci przez przegrody budynku. Metodyka tych obliczeń oparta jest na modelu matematycznym opracowanym przez Künzla [2003], który znalazł zastosowanie w znanym również w Polsce programie o nazwie WUFI-POL [Künzel i in. 2003, Gawin i in. 2007]. Wyniki obliczeń za pomocą programu WUFI+ były poddane wszechstronnej walidacji w zakresie wyznaczenia parametrów mikroklimatu budynków w warunkach niestacjonarnych, zarówno na podstawie badań eksperymentalnych, jak i poprzez porównywanie z innymi programami i normami [Radoń 2005].

PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

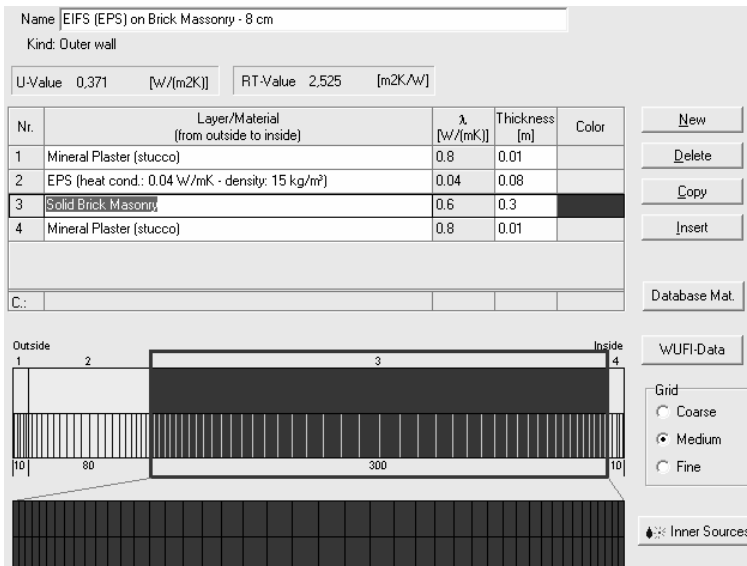
Przykładowe obliczenia wykonano dla budynku jednorodzinny o powierzchni użytkowej 108 m², zamieszkałego przez rodzinę 5-osobową (rodzice + troje dzieci). Założono typowe dla przyjętego budynku i sposobu jego użytkowania emisje ciepła i wilgoci, zawarte w bazie danych programu WUFI+. W okresie zimowym założono wyłączenie nocne ogrzewania między godziną 23.00 a 6.00 rano. Przyjęto, że rodzina udaje się na urlop (przebywa poza budynkiem) w okresach 1–15 maja oraz 1–31 sierpnia. Na podstawie obowiązującej normy dotyczącej wentylacji [PN-83/B-03430 1983] z późniejszymi zmianami [PN-83/B-03430/Az3 2000] określono wymaganą wymianę powietrza dla tego budynku na 120 m³ powietrza w ciągu godziny. Przyjęto, że w okresie urlopowym wentylacja odbywa się tylko poprzez infiltrację (okna zamknięte), która wynosi 0,1·h⁻¹. Ściany budynku zbudowane są z pustaków ceramicznych, ocieplonych 8-centymetrową warstwą styropianu. Stropy żelbetowe, podłoga tzw. pływająca (wylewka betonowa 5 cm, na war-

twie styropianu o grubości 5 cm) z parkietem dębowym. Na rysunku 3 pokazano wizualizację przedmiotowego budynku w programie WUFI+, natomiast na rysunku 4 edycję przegród zewnętrznych, z podziałem na obliczeniowe elementy różnicowo-bilansowe.



Rys. 3. Wizualizacja przykładowego budynku (z lewej) oraz wyodrębnionej strefy ogrzewanej (z prawej) w programie WUFI+

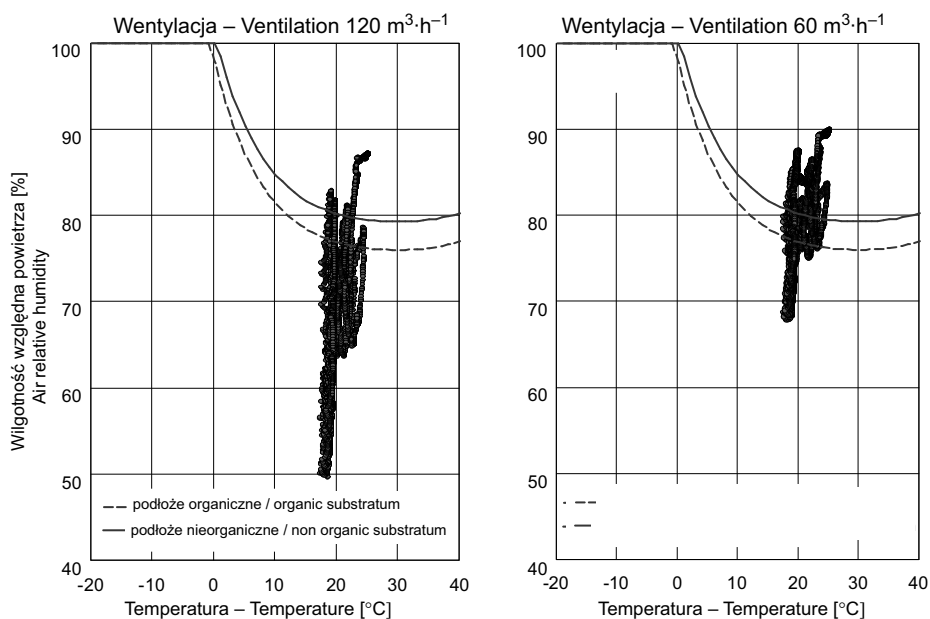
Fig. 3. Visualization of exemplary building (left) and separated heated zone (right) in WUFI+ software



Rys. 4. Edycja budowy przegród zewnętrznych z podziałem na elementy różnicowo-bilansowe w programie WUFI+

Fig. 4. Editing of external partitions with division into balance-differential elements in WUFI+ software

Zarówno sposób użytkowania, jak i konstrukcja budynku mogą uchodzić w swojej klasie za typowe. Dla porównania przyjęto wariant tzw. oszczędnościowy ze zmniejszoną do połowy wentylacją w celu ograniczenia kosztów ogrzewania. Wyniki obliczeń kształtowania się temperatury i wilgotności względnej na wewnętrznej powierzchni ścian o orientacji północnej pokazano na rysunku 5. Jak można zauważyć, w każdym przypadku istnieje zagrożenie porażeniem mikrogrzybami (część wartości znajduje się ponad izoplektami granicznymi). Jednakże zmniejszenie wentylacji o połowę znacznie podwyższyło to ryzyko i spowodowało, że obszar par wartości temperatury i wilgotności w przeważającej większości znalazł się powyżej krzywych granicznych.



Rys. 5. Kształtowanie się wilgotności i temperatury na powierzchni ścian północnych przy różnym stopniu wentylacji w porównaniu z krzywymi granicznymi wzrostu mikrogrzybów (izoplekt)

Fig. 5. Shaping of surface humidity and temperature on north-oriented walls by different ventilation in comparison with boundary curves (isopleths) for fungus growth

PODSUMOWANIE

Mikrobiologiczne badania laboratoryjne doprowadziły w ostatnich latach do zbudowania w Instytucie Fraunhofera Fizyki Budowli w Niemczech modelu matematycznego rozwoju mikrogrzybów, możliwego do wykorzystania w budownictwie. Prognozowanie porażenia i wzrostu grzybów jest możliwe poprzez monitoring warunków ciepło-wilgotnościowych w elementach budynku.

Warunki ciepło-wilgotnościowe można określić poprzez symulacje komputerowe kształtowania się wilgotności i temperatury w budynkach i ich elementach za pomocą

programu WUFI+. Analiza kształtowania się wartości tych parametrów na powierzchni przegród w relacji do izoplek granicznych pozwala określić stopień zagrożenia zagrzybieniem.

Przykładowe obliczenia pokazały, że nawet w budynku użytkowanym w sposób typowy okresowo pojawiają się warunki sprzyjające wzrastaniu mikrogrzybów. Warunki te ulegają znacznemu pogorszeniu przy „oszczędnej” wentylacji budynku.

Możliwość określenia zagrożenia już na etapie projektowania budynku pozwala m.in. na przyjęcie odpowiednich założeń eksploatacyjnych (np. minimalnej wymiany powietrza), tak aby zminimalizować ryzyko porażenia mikrogrzybami.

PIŚMIENNICTWO

- Gawin D., Künzl H., Radoń J., Więckowska A., Witczak K., Zirkelbach D., 2007. Program komputerowy WUFI i jego zastosowanie w analizach cieplno-wilgotnościowych przegród budowlanych. Komputerowa fizyka budowli. Tom 3, Wydaw. Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- Holm A., Radoń J., Künzl H., Sedlbauer K., 2004. Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Räumen, WTA-Schriftenreihe – Simulationsmethoden bei der Planung von Neubauten und Instandsetzungen. H. 24. München, 81–94.
- Künzel H., 2003. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. IRB Verlag, Stuttgart.
- Künzel H., Holm A., Radoń J., Gawin D., 2003. „WUFI-POL“ – program do cieplno-wilgotnościowego projektowania przegród budowlanych w Polsce. Mat. IX Konf. Nauk.-Tech. „Fizyka budowy w teorii i praktyce”. Część I. Łódź, 388–396.
- PN-83/B-03430, 1983. Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania.
- PN-83/B-03430/Az3, 2000. Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania (Zmiana Az3).
- Radoń J., 2005. Opracowanie i walidacja modelu obliczeniowego mikroklimatu pomieszczeń w ramach projektu „IEA Annex 41”. Fizyka budowy w teorii i praktyce. Tom I. Sekcja Fiz. Bud. KILiW PAN, 281–289.
- Sedlbauer K., 2001. Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation. Universität Stuttgart.
- Sedlbauer K., Krus M., Breuer K., 2003. Mould growth prediction with a new biohygrothermal method and its application in practice. Mat. IX Konf. Nauk.-Tech. „Fizyka budowy w teorii i praktyce”. Tom 2. Łódź, 594–601.
- Smith S., Hill S., 1982. Influence of temperature and water activity on germination and growth of *Aspergillus restrictus* and *Aspergillus versicolor*. Transactions of the British Mycological Society 79/3, 558–560.

COMPUTATIONAL FUNGUS GROWTH PREDICTION IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Summary. A biohygrothermal, calculation model of fungus growth, elaborated at Fraunhofer Institute for Building Physics in Germany and computer program WUFI+, built by contribution of the author, are presented in this paper. The software enables calculation of transient heat and moisture courses on building component's surfaces and estimation, on this base, the threat with fungus growth. Exemplary calculations for typical dwelling house

were carried out. A required and diminished, to economize energy consumption, ventilation was assumed. A predicted level of fungus growth threat was compared between these two cases.

Key words: fungus, computer program, building, prediction

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.08.2009