

ANALIZA RZECZYWISTYCH WARTOŚCI WILGOTNOŚCI POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

Maciej MIJAKOWSKI

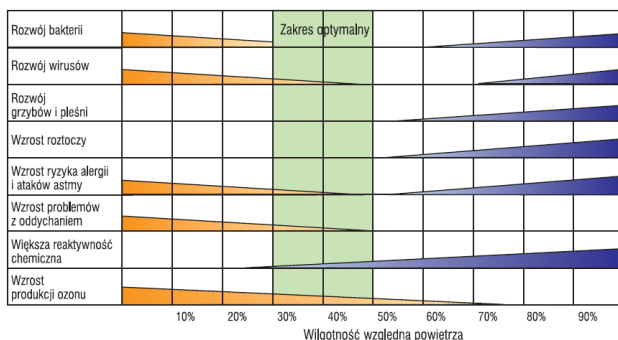
Politechnika Warszawska, Instytut Ogrzewnictwa i Wentylacji
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail: maciej.majakowski@is.pw.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę wieloletnich pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego. Szczegółowo przeanalizowano wilgotność powietrza wewnętrznego. Przedstawiono statystyki wilgotności względnej dla różnych typów pomieszczeń, korelację pomiędzy zawartością wilgoci w powietrzu zewnętrznym i wewnętrznym oraz ryzyko rozwoju pleśni na wewnętrznych powierzchniach przegród zewnętrznych o różnych współczynnikach przenikania ciepła. Przy określaniu ryzyka wzrostu pleśni posłużono się modelem LIM (Lowest Isoleth for Mould [3]). Ponadto przedstawione wyniki badań nad wilgotnością powietrza wewnętrznego, mogą stanowić dane wejściowe do różnorodnych obliczeń symulacyjnych.

Słowa kluczowe: wilgotność, mikroklimat, pomiary, powietrze wewnętrzne, rozwój pleśni

1. WPROWADZENIE

W praktyce w wentylowanych w sposób naturalny budynkach mieszkalnych bezpośrednio kształtowana jest tylko temperatura powietrza. Inne parametry np. wilgotność względna regulowane są w sposób pośredni



Rys. 1. Ilustracja intensywności oddziaływania poszczególnych czynników w zależności od wartości wilgotności względnej powietrza [4]

Fig. 1. Illustration of impact of relative humidity for several factors corresponding with indoor air quality [4]

lub nie jest regulowana wcale. Mimo, że człowiek jest w stanie zaakceptować zmiany wilgotności względnej powietrza w stosunkowo szerokim zakresie, to jednak jej wartość nie może być dowolna.

Intensywność oddziaływania różnych czynników, w zależności od wilgotności względnej powietrza przedstawia rys. 1, [4], na którym zakres optymalny, zgodnie z wieloma obecnymi wytycznymi (np. [1, 2, 5]) został przesunięty w kierunku niższych wartości i wynosi 30-50%.

Wartości niższe (wilgotność względna ok. 30%) należy uznać za bardziej właściwe dla okresu zimowego, a wyższe (wilgotność względna ok. 50%) dla okresu letniego.

Jednym z najpoważniejszych następstw nieprawidłowej wilgotności powietrza jest rozwój grzybów i pleśni oraz związana z tym emisja toksyn.

W artykule przeanalizowano spotykane wartości wilgotności powietrza wewnętrznego oraz określono ryzyko wystąpienia warunków sprzyjających rozwojowi mikroorganizmów na wewnętrznych powierzchniach przegród budowlanych. Przy określaniu ryzyka wzrostu pleśni wykorzystano model LIM (Lowest Isoleth for Mould [3]).

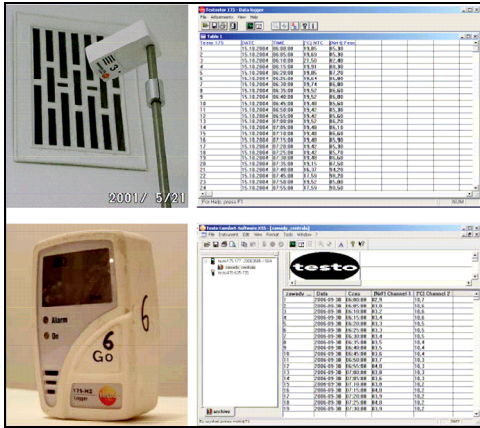
2. POMIARY

Analiza bazuje na wynikach pomiarów parametrów powietrza wewnętrznego: temperatury i wilgotności względnej oraz obliczonej na tej podstawie zawartości wilgoci w powietrzu.

Pomiary prowadzono przy użyciu czujników służących do pomiaru i rejestrowania temperatury i wilgotności względnej powietrza produkcji TESTO typu 175-2 oraz TESTO 175-H2.

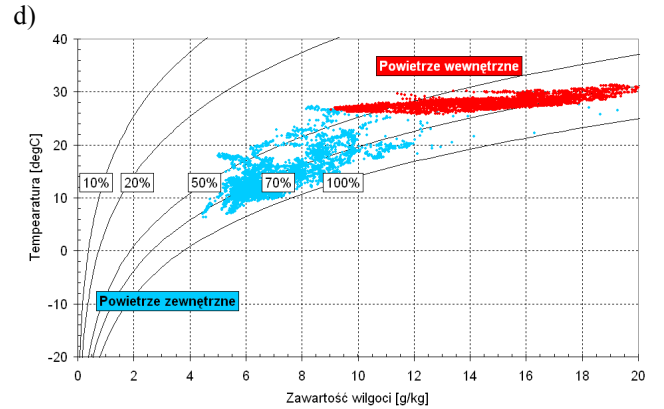
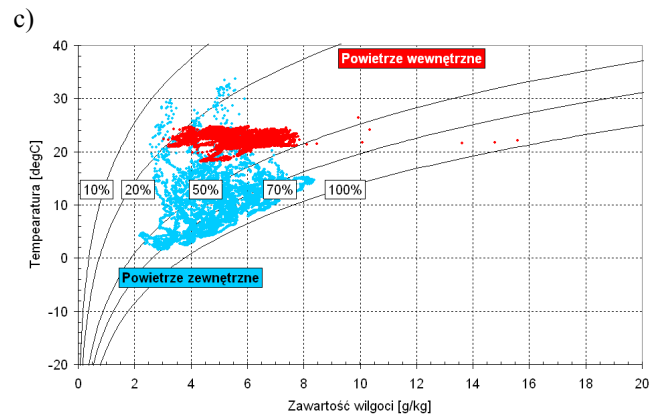
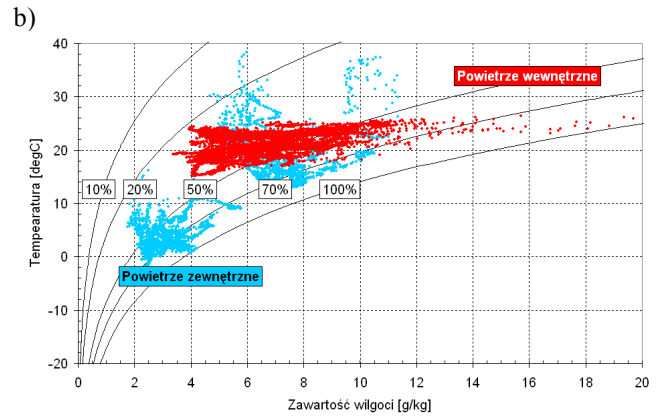
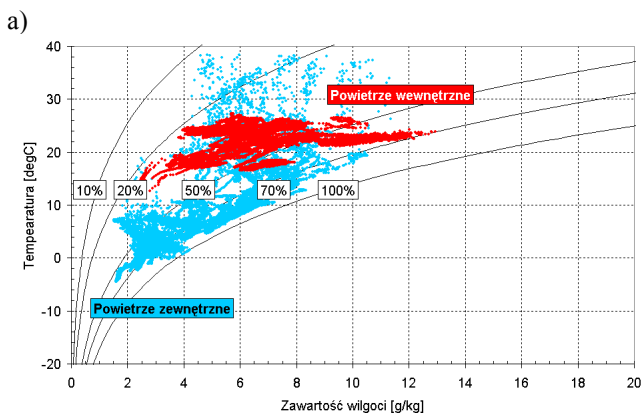
Badania obejmowały około pięćdziesiąt tygodni pomiarów temperatury oraz wilgotności powietrza wewnętrznego, prowadzonych w latach 2000 – 2006 w dwudziestu pięciu różnych budynkach na terenie Warszawy. Poje-

dyncza seria pomiarowa trwała tydzień, pomiaru dokonywano z krokiem pięciominutowym. Całkowita ilość pomiarów w serii wynosiła 2000.



Rys. 2. Czujniki i oprogramowanie użyte do zapisywania danych pomiarowych
Fig. 2. Dataloggers and software used for measurements and data recording.

Dla lepszej ilustracji wyników kolejne wartości pomiarowe przedstawiano jako punkty na wykresie $i-x$. Szczególną uwagę zwrócono na pomieszczenia mieszkalne wyposażone w system wentylacji naturalnej lub mechanicznej wywiewnej. Razem 19 pomieszczeń w tym dwie sypialnie, w których zaobserwowano problemy z nadmiernym zawilgoceniem – analizowane oddzielnie. Obok pomieszczeń mieszkalnych, osobno przedstawiono parametry powietrza z sześciu łazienek. Badania prowadzono również w pomieszczeniach biurowych (osiem pomieszczeń wentylowanych w sposób naturalny lub mechaniczny – tylko wywiew).



Rys. 3. Ilustracja pomiarów na wykresie $i-x$ -; a) pomieszczenia mieszkalne; b) łazienki; c) pomieszczenia biurowe; d) baseny.
Fig. 3. Illustration of measurements on psychrometric chart; a) dwellings' rooms; b) bathrooms; c) office space; d) swimming pools.

Dla uzupełnienia pokazano również parametry powietrza na halach krytych pływalni (trzy pomiary), jako przestrzeni o skrajnie wysokich wartościach wilgotności powietrza. Jedynie te ostatnie posiadały regulację wilgotności wewnętrznej.

Pomiarów dokonywano w różnych porach roku. Równoległe do pomiarów temperatury wewnętrznej i wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniach re-

jestrowano parametry powietrza zewnętrznego, które jako punkty również zostały naniesione na wykresy *i-x*.

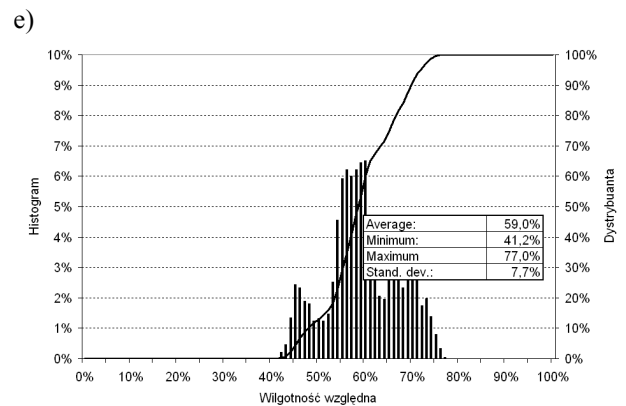
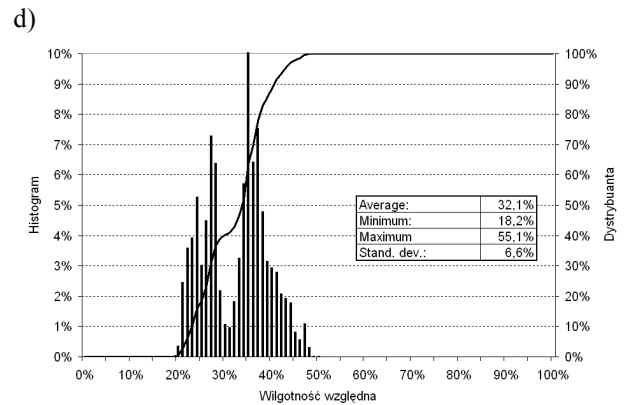
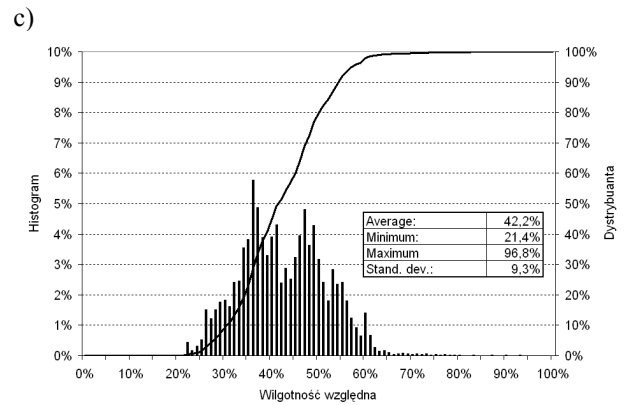
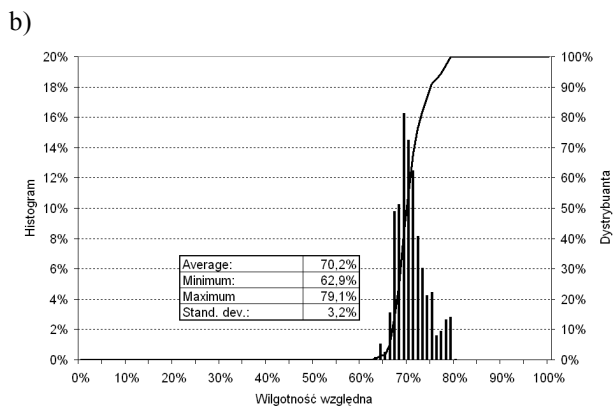
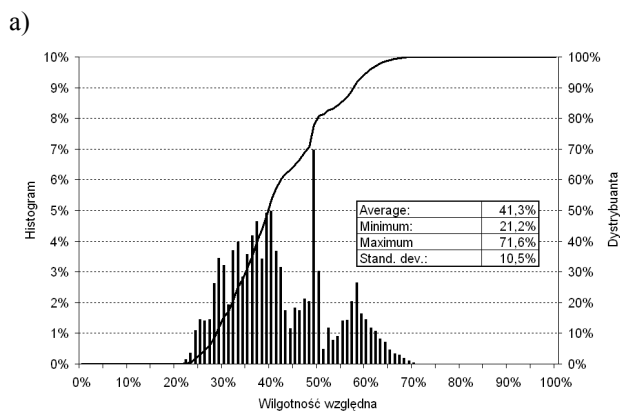
3. STATYSTYKI PARAMETRÓW POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

Jako wyniki przedstawione zostały:

- statystyki temperatury, wilgotności względnej i zawartości wilgoci powietrza wewnętrznego i zewnętrznego (średnia, minimum i maksimum)
- histogram wartości wilgotności względnej powietrza wewnętrznego
- korelacja pomiędzy zawartością wilgoci w powietrzu zewnętrznym i wewnętrznym

Powyższe informacje dla poszczególnych typów pomieszczeń przedstawiono na wykresach (rys. 4 i 5).

Badania wykazały, iż średnia wilgotność względna powietrza w pomieszczeniach (sypialniach i salonach) w budynkach mieszkalnych jedno – i wiele – rodzinnych z wentylacją naturalną lub mechaniczną wywiewną wynosi około 40 – 50%. Wartości maksymalne osiągały wartość do 70%, zaś minimalne były nie niższe niż 20%. Przez około 80% czasu wymagany poziom wilgotności pomiędzy 30 a 60%, został zachowany nawet przy braku możliwości regulacji wilgotności.



Rys. 4. Histogramy rozkładu wilgotności względnej powietrza wewnętrznego dla: a) pomieszczenia mieszkalne; b) pomieszczenia mieszkalne z problemem nadmiernego zawilgocenia; c) łazienki; d) biura; e) baseny.

Fig. 4. Probability distribution of indoor relative humidity for: a) dwellings; b) dwellings with mould problems; c) bathrooms; d) offices; e) swimming pools.

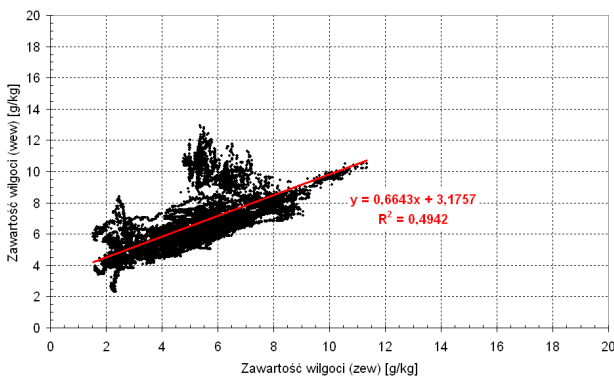
Średnia wilgotność względna w łazienkach w budynkach mieszkaniowych jedno i wielorodzinnych z wentylacją naturalną jest zbliżona do wartości pomierzonych w sypialniach i wynosi około 40%. Jednak wartości maksymalne osiągają poziom 100%, chociaż jedynie, w krótkich odcinkach czasu. Silniejsza niż w innych pomieszczeniach jest tu korelacja pomiędzy wilgotnością powietrza

wewnętrznego i zewnętrznego. Na wykresach można również zaobserwować wpływ użytkowania łazienki na wielkość emisji wilgoci. Minimalna wilgotność względna wynosi nie mniej niż 20%.

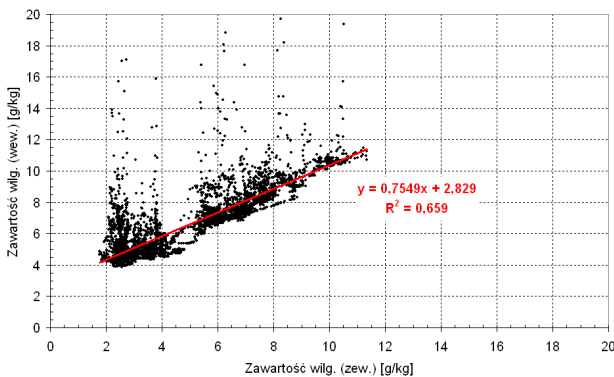
W budynkach „z problemem wilgoci” średnia wilgotność względna wynosi około 70%, zatem o 30%RH więcej niż w pomieszczeniach innych budynków. Jednak wyniki te nie są reprezentatywne dla wszystkich budynków o podobnych problemach ponieważ pomiary dotyczyły jedynie dwóch przypadków.

Średnia wilgotność względna powietrza w pomieszczeniach biurowych wynosi około 30%, zatem o około 10%RH mniej niż w pomieszczeniach budynków mieszkalnych, gdzie zachodzi wyższa emisja wilgoci podczas różnych czynności. Bardzo słaba jest korelacja pomiędzy wilgotnością powietrza zewnętrznego i wewnętrznego. Minimalna wilgotność względna wynosi mniej niż 20%, zatem nie spełnia wymagań komfortu cieplnego. Widoczny jest wpływ użytkowania tych pomieszczeń na poziom wilgotności (niższą wartość około 25% możemy obserwować nocą, wyższą około 35% jest związana z użytkowaniem biura w ciągu dnia). Średnia wilgotność względna na pływalniach wynosi około 60%, co przy temperaturze około 28°C, odpowiada średniej zawartości wilgoci około 14g/kg (o 7,5 g/kg więcej niż w pomieszczeniach budynków mieszkalnych).

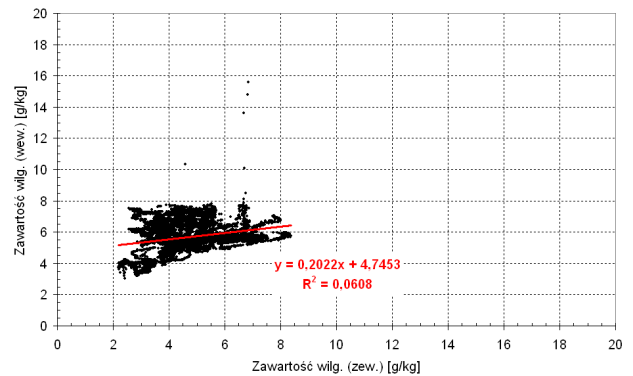
a)



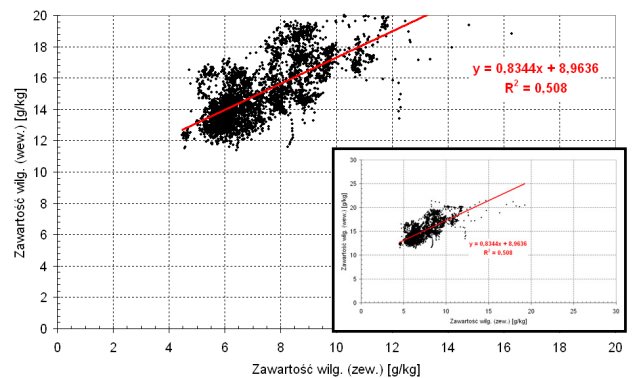
b)



c)



d)



Rys. 5. Korelacja pomiędzy zawartością wilgoci w powietrzu zewnętrznym i wewnętrznym; a) pomieszczenia mieszkalne; b) łazienki; c) biura; d) baseny.

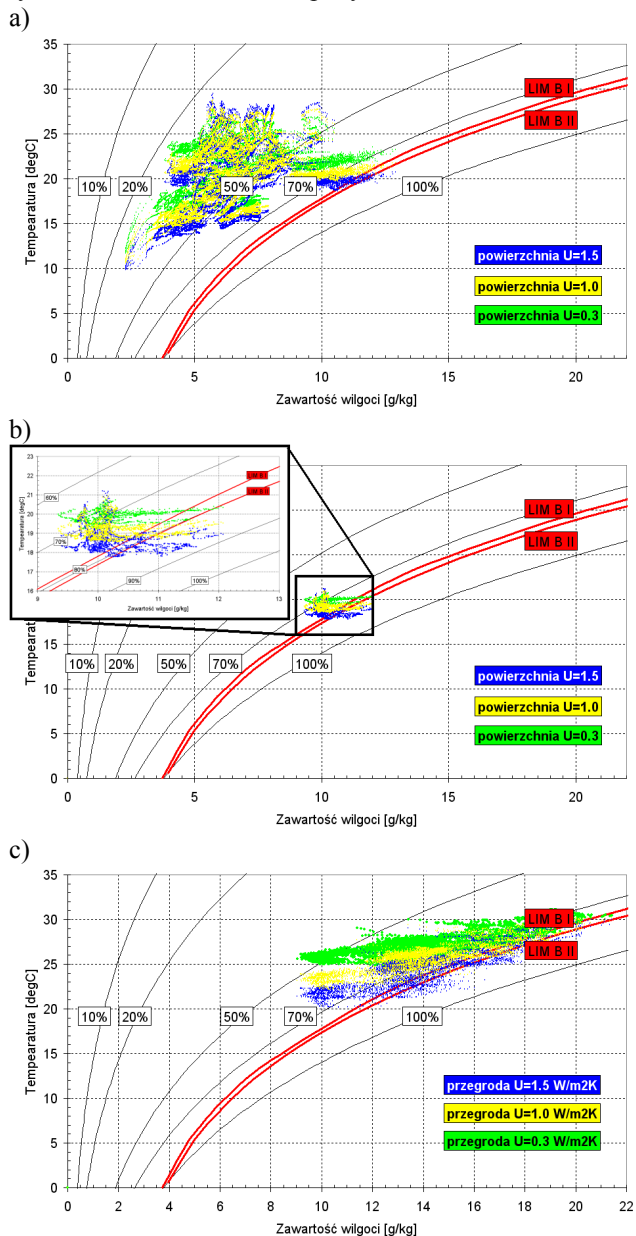
Fig. 5. Correlation between outdoor and indoor moisture content a) dwellings; b) bathrooms; c) offices; d) swimming pools.

Korelacja pomiędzy zawartością wilgoci w powietrzu zewnętrznym i wewnętrznym jest całkiem duża. Wynika to jednak z krótkiego czasu pomiarów oraz prostego systemu wentylacji, który do osuszania hali basenu wykorzystywał w głównej mierze podgrzane powietrze zewnętrzne. Minimalna wilgotność względna wynosi w tym przypadku nie mniej niż 40%.

4. RYZYKO ROZWOJU GRZYBÓW I PLEŚNI

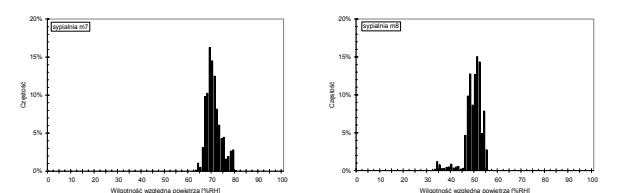
Wykonane pomiary mogły posłużyć jako podstawa do określenia ryzyka rozwoju pleśni na wewnętrznych powierzchniach przegród budowlanych. Jako graniczne parametry rozwoju pleśni przyjęto temperaturę i wilgotność określoną według modelu LIM (Lowest Isoleth for Mould [3]) odpowiednio LIM B I dla materiałów podatnych na zagrożenia biologiczne i LIM B II dla materiałów o strukturze porowatej o zwiększonej odporności na uszkodzenia biologiczne. Parametry linii LIM określono na podstawie biblioteki programu WUFI Pro 4.01, [6] Parametry temperatury i wilgotności dla linii LIM dotyczą powierzchni przegrody budowlanej. Bazując na po-

miarach temperatury wewnętrznej i zewnętrznej można określić temperaturę powierzchni przegrody. Natomiast wilgotność względna przy powierzchni przegrody wynika z obliczonej wcześniej temperatury i zawartości wilgoci w powietrzu wewnętrznym. Wyniki obliczeń parametrów powietrza przy powierzchni przegrody o założonym współczynniku U zilustrowano na wykresach $i-x$ na których naniesiono również izoplety LIM B I i LIM B II.



Rys. 6 Ryzyko wzrostu pleśni dla przegród budowlanych; a) pomieszczenia mieszkalne; b) pomieszczenia mieszkalne z problemem nadmiernego zawilgocenia; c) baseny.
Fig. 6. Mould growth risk for walls surface: a) dwellings; b) dwellings with mould problems; c) swimming pools.

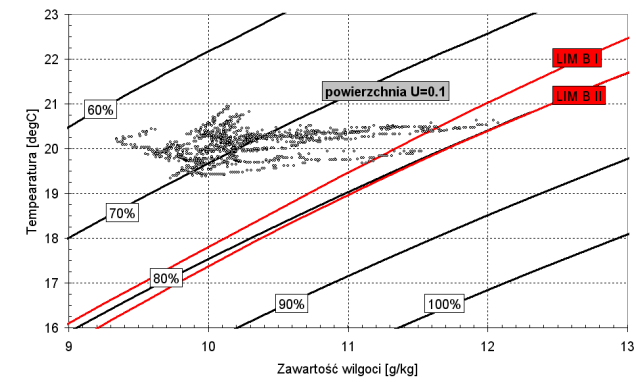
Zgodnie z przedstawionymi wynikami według modelu LIM [3] nie ma ryzyka wzrostu pleśni dla przegrody o współczynniku U poniżej $1.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ wykończoną dowolnym materiałem i eksploatowanej w typowych dla budynków mieszkalnych parametrach powietrza. Model LIM potwierdził zagrożenie rozwojem pleśni w sypialniach z faktycznie występującym problemem zawilgocenia – w tym przypadku nawet współczynnik U na poziomie $0.10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nie gwarantuje ochrony przed zagrożeniem mikrobiologicznym.



Rys. 7 Porównanie rozkładu wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu z zaobserwowanym rozwojem grzybów pleśniowych (lewa strona) i pozbawionego tego problemu (prawa strona)
Fig. 7. Comparison of indoor relative humidity distribution for room with mould growth (left) and without mould (right)

W przypadku hal krytych pływalni nie ma ryzyka wzrostu pleśni dla przegrody o współczynniku U poniżej $0.30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ wykończoną materiałem o zwiększonej odporności na uszkodzenia biologiczne – co najczęściej ma miejsce w praktyce.

Zgodnie z powyższym można stwierdzić, że decydująca dla rozwoju grzybów i pleśni jest podwyższona wilgotność powietrza wewnętrznego, której nie da się zrekomensować polepszeniem izolacyjności cieplnej przegrody, w rozpatrywanym przypadku nawet do $0.10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ – (rys. 8).



Rys. 8 Ryzyko wzrostu pleśni dla przegród budowlanych w pomieszczeniach mieszkalnych z problemem nadmiernego zawilgocenia
Fig. 8. Mould growth risk for walls surface of dwellings with mould problems.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie zebranych danych można wnioskować, iż w dłuższym okresie czasu średnia wilgotność względna w pomieszczeniach (również w łazienkach) typowych budynków mieszkalnych, jak również budynkach biurowych jest nie większa niż 60%. Nie dotyczy to jednak budynków w których występują problemy z nadmiernym zawilgoceniem, gdzie wilgotność względna powietrza wewnętrznego wynosi często ponad 70%. Wartość graniczna 60% jest również aktualna dla basenów, jednak jedynie przy założeniu temperatury wewnętrznej około 28°C, co odpowiada zawartości wilgoci wynoszącej około 14 g/kg. Najwyższe pomierzone wartości wilgotności względnej wynoszą powyżej 90%. Dotyczy to łazienek oraz basenów. Jeśli zachowana jest właściwa strategia wentylacji pomieszczeń to tak wysoka wartość wilgotności względnej powietrza może wystąpić jedynie przez krótki czas.

Wartość minimalna we wszystkich przypadkach wynosi powyżej 30% (pomijając okresy nocne w pomieszczeniach biurowych). Wynika z tego że w większości przypadków przez zdecydowaną większość czasu wymagania odnośnie wilgotności względnej są spełnione.

Analiza ryzyka rozwoju grzybów i pleśni na wewnętrznej powierzchni przegród budowlanych potwierdziła trafność modelu LIM. Model ten wykazał ryzyko dla pomieszczeń faktycznie narażonych na zagrożenie mikrobiologiczne, potwierdził brak ryzyka dla typowo eksploatowanych pomieszczeń mieszkalnych i hal basenowych.

Decydująca dla wzrostu ryzyka rozwoju grzybów i pleśni jest podwyższona wilgotność powietrza wewnętrznego, której nie da się zrekomensować polepszeniem izolacyjności cieplnej przegrody.

W chwili obecnej baza danych obejmuje około pięćdziesiąt tygodni pomiarów w różnych typach budynków zlokalizowanych w Warszawie. Pomiary są kontynuowane, co umożliwiłoby formułowanie bardziej ogólnych twierdzeń na temat środowiska wewnętrznego.

ANALYSIS OF RESULTS OF INDOOR HUMIDITY MEASUREMENTS

Summary: Long period measurements results of indoor parameters are presented. The paper focus on indoor humidity. The following analysis were presented: illustration of indoor thermal environment on psychrometric chart, histogram of indoor relative humidity, correlation between outdoor and indoor moisture content, and risk of mould growth on inside surface of building partitions with different U-value. The model of LIM (Lowest Isoleth for Mould [3] for risk of mould growth was implemented. Presented statistics may be used as an input for building simulation.

Literatura

- [1] *ASHRAE Handbook, Fundamentals*, SI Editions, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, 2001
- [2] Fang L., Wyon D.P., Clausen G., Fanger P.O., *Sick building syndrome symptoms and performance in a field laboratory study at different levels of temperature and humidity*, Proceedings of Indoor Air 2002, Monterey, California, 2000
- [3] Sedlbauer K., *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*, Fraunhofer Institute for Building Physics, 2001
- [4] Sterling E.M., Arundel A., Sterling T.D., *Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings*, ASHRAE Transactions 91 (1B), 1985
- [5] Toftum J., Jorgensen A.S., Fanger P.O., *Upper limits for air humidity for preventing warm respiratory discomfort*, Energy and Buildings 28 (3), 15-23, 1998
- [6] *WUFI Pro 4.01*, Program do analizy dla inżynierów i architektów, Fraunhofer Institut Bauphysik.

Artykuł powstał w ramach realizacji projektu VI programu ramowego Komisji Europejskiej „European performance requirements and guidance for ACTIVE ROOFers – Collective Research Project 012478”