



BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Dominik Bekierski*
Halina Deptuła*
Sebastian Wall**

PORÓWNANIE POZIOMU STĘŻENIA FORMALDEHYDU W POMIESZCZENIU, OKREŚLONEGO W WYNIKU SYMULACJI KOMPUTEROWEJ, Z WYNIKAMI POMIARÓW FIZYKALNYCH

W artykule przedstawiono porównanie wyników komputerowej symulacji jakości powietrza w modelu pomieszczenia z rzeczywistymi wynikami pomiarów stężenia formaldehydu w powietrzu wewnętrznym. Zaprezentowano podstawowe elementy budowy modelu cyfrowego odzwierciedlającego fizyczne pomieszczenie, drogi przepływu powietrza, system wentylacji mechanicznej oraz źródło emisji substancji chemicznej. Wyniki symulacji zostały zestawione z wynikami badań jakości powietrza wewnętrznego zawierającymi między innymi oznaczenie zanieczyszczeń chemicznych.

Wstęp

Ocena jakości powietrza wewnętrznego w rzeczywistych pomieszczeniach (*in situ*) z wykorzystaniem metod pomiarowych stanowi rozwiązanie pozwalające na analizę zarówno działania zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych i architektonicznych, funkcjonowania systemów wentylacji, emisyjności zastosowanych wyrobów budowlanych, jak i wydzielania substancji chemicznych powodowanego przez użytkowników oraz elementy wyposażenia wnętrza. Kompleksowa analiza IAQ (*Indoor Air Quality*) w rzeczywistym pomieszczeniu wymaga jednak często zastosowania czasochłonnych i kosztownych technik pomiarowych. Ponadto pomiary mające posłużyć do oceny projektu muszą być wykonywane już po rozpoczęciu eksploatacji budynku, co w znacz-

* mgr inż. – Zakład Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska ITB

** dr inż. – Zespół ds. Harmonizacji Technicznej w Budownictwie ITB

nym stopniu ogranicza możliwości późniejszej optymalizacji i korekty przyjętych rozwiązań.

Alternatywą dla badań wykonywanych *in situ* mogą być metody prognozowania jakości powietrza wewnętrznego obejmujące modele analityczne i empiryczne, modele fizyczne w małej i pełnej skali, modele komputerowe jedno- i wielostrefowe, oraz modele CFD (*Computational Fluid Dynamics*). W przypadku zagadnień z zakresu jakości powietrza wewnętrznego charakteryzują się one następującymi właściwościami [1]:

- Modele analityczne wykorzystują podstawowe równania z dziedziny mechaniki płynów i wymiany ciepła, wraz z uproszczeniami związanymi z podobieństwem geometrycznym lub fizycznym. Mogą być wykorzystywane w przypadku analizy nieskomplikowanych problemów technicznych.

- Modele empiryczne oparte są na podstawowych równaniach między innymi prawa zachowania masy i energii. Dane wynikające z badań lub symulacji komputerowych są w nich wykorzystywane w procesie aproksymacji współczynników równań. Zakres ich zastosowania jest bliski modelom analitycznym.

- Modele fizyczne w małej skali wykorzystują teorię podobieństwa w celu zapewnienia możliwości przeniesienia wyników pomiarów na rozwiązanie rzeczywiste. Z uwagi na problemy wynikające z potrzeby uwzględnienia zjawisk wymiany ciepła, są stosowane do walidacji modeli analitycznych i empirycznych.

- Modele fizyczne w pełnej skali (badania laboratoryjne) stosuje się do walidacji modeli numerycznych lub do predykcji warunków w pomieszczeniach rzeczywistych. Wymagają one kosztownych stanowisk badawczych i zaangażowania dużej liczby personelu. Badania laboratoryjne są utrudnione z uwagi na konieczność odwzorowania geometrii pomieszczenia, czy w szczególnych przypadkach na przykład warunków wiatrowych (co wymagałoby umieszczenia komory klimatycznej w tunelu aerodynamicznym). Zastosowanie modelowania fizycznego w pełnej skali jest też problematyczne w przypadku pomieszczeń wielkokubaturowych.

- Komputerowe modele wielostrefowe wykorzystuje się do symulacji przepływów powietrza i zanieczyszczeń w budynkach o wielu pomieszczeniach, stosując podstawowe równania zasady zachowania masy i energii, przy założeniu równomiernego rozkładu temperatury i składników chemicznych oraz braku ruchu powietrza w pomieszczeniu. W przypadku modelu wielostrefowego analiza obejmuje przepływ powietrza i zanieczyszczeń pomiędzy pomieszczeniami budynku oraz pomiędzy pomieszczeniami a otoczeniem zewnętrznym. Z uwagi na założenie idealnego wymieszania zanieczyszczeń w pomieszczeniach nie powinny być stosowane w przypadku przestrzeni wielkokubaturowych.

- Komputerowe modele jednostrefowe wykorzystywane są do modelowania rozkładu prędkości, temperatury i stężenia zanieczyszczeń powietrza w pojedynczych pomieszczeniach. Analiza obejmuje przepływy masy pomiędzy punktami siatki badanej kubatury. Obecnie są zastępowane przez bardziej zaawansowane modele CFD.

- Modele komputerowej mechaniki płynów (CFD) rozwiązują układy równań cząstkowych prawa zachowania masy i momentu, energii, stężenia zanieczyszczeń oraz turbulencji, co pozwala na określenie rozkładu ciśnienia, prędkości powietrza, wilgot-

ności, temperatury oraz stężenia zanieczyszczeń w analizowanym pomieszczeniu. Obecnie dość często wykorzystywane są w symulacjach rozprzestrzeniania się dymu w obiektach o znacznej kubaturze.

1. Opis narzędzia informatycznego CONTAM wykorzystywanego podczas symulacji

Z uwagi na brak konieczności dokładnej analizy rozkładu parametrów powietrza w przestrzeni badanego pomieszczenia zdecydowano się na zastosowanie jednego z najczęściej wykorzystywanych modeli wielostrefowych – CONTAM opracowanego przez National Institute of Standards and Technology (NIST) z USA.

Podstawowy model CONTAM (wersja 3.1), zgodnie ze specyfikacją [2] zakłada równomierny rozkład parametrów powietrza (temperatury, ciśnienia, stężenia zanieczyszczeń) w analizowanych strefach. W odniesieniu do zagadnienia jakości powietrza przyjęcie takiego założenia oznacza, iż parametry będą miały takie same wartości w całej przestrzeni pomieszczenia niezależnie od lokalizacji źródeł emisji zanieczyszczeń i rozmieszczenia elementów systemu wentylacyjnego (przyjmuje się idealne wymieszanie się powietrza w pomieszczeniu). W wersji 3.1 programu możliwe jest wykonanie dodatkowej analizy jednokierunkowej gradientu zmienności danego parametru. W przypadku analizy statycznej zakłada się zachowanie stałej masy powietrza w analizowanej strefie (możliwe jest uwzględnienie akumulacji bądź redukcji masy powietrza przy zmianie ciśnienia powietrza w ramach analizy dynamicznej). Model zakłada występowanie zanieczyszczeń śladowych, niemogących wpływać na gęstość powietrza w pomieszczeniu, oraz pozostałych, które mogą taki wpływ wywierać.

Model dyspersji zanieczyszczeń wykorzystany w CONTAM stanowi wdrożenie metody Axleya [3], opierającej się na wykorzystaniu założeń prawa zachowania masy zarówno przy modelowaniu przestrzeni pomieszczeń, jak i wnętrza kanałów wentylacyjnych. Powietrze w pomieszczeniu jest traktowane w tym przypadku jako gaz idealny, a jego masa stanowi masę wszystkich składników, włącznie z zanieczyszczeniami (poza bezśladowymi). Zanieczyszczenia dostają się do przestrzeni pomieszczenia przez transport z powietrzem z pomieszczeń sąsiadujących lub z przestrzeni zewnętrznej, bądź w wyniku emisji wewnątrz pomieszczenia.

2. Opracowanie uproszczonego modelu pomieszczenia przy wykorzystaniu programu CONTAM, z uwzględnieniem wentylacji, emisji oraz warunków zewnętrznych

Realizacja zadania badawczego w ramach pracy badawczej NF-100/2013 (w toku) ma posłużyć do analizy możliwości wykorzystania narzędzia symulacyjnego CONTAM jako rozwiązania pozwalającego na prognozowanie przepływów powietrza i stężeń zanieczyszczeń w pomieszczeniach i budynkach. W roku 2013 wykonano obliczenia

symulacyjne stężenia w pojedynczym pomieszczeniu testowym wybranego zanieczyszczenia (formaldehyd) występującego w budynkach mieszkalnych i obiektach użyteczności publicznej. Wyniki symulacji zostały porównane z wynikami pomiarów jakości powietrza wewnętrznego wykonanych przez ekspertów Zakładu Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska Instytutu Techniki Budowlanej w ramach pracy badawczej NF-100 w 2012 r. [4].

2.1. Podstawowe dane dotyczące pomieszczenia testowego

Analiza została wykonana dla uproszczonego komputerowego odwzorowania rzeczywistego pomieszczenia testowego – sali konferencyjnej na 1 piętrze w budynku H przy ul. Ksawerów 21 w Warszawie. Przyjęto, że sala konferencyjna ma powierzchnię $20,4 \text{ m}^2$ (długość $5,1 \text{ m}$; szerokość $4,0 \text{ m}$) i wysokość $3,0 \text{ m}$. Przepływ powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniu zapewniany jest przez system mechanicznej wentylacji wywiewnej, o stałym wydatku powietrza równym $123 \text{ m}^3/\text{h}$ (zgodnie z wynikami pomiarów wykonanych 16 października 2012 r.).

Powietrze doprowadzane jest do pomieszczenia przez nawiewnik o powierzchni czynnej około 9 cm^2 zamontowany w górnej części ramy okiennej (przybliżone wymiary okna to: $3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$). Na potrzeby symulacji założono, że w uproszczonym modelu powietrze zewnętrzne dociera do pomieszczenia jedynie przez nawiewnik oraz nieuszczelnności w oknie i przegrodzie zewnętrznej. Kompleksowy model, uwzględniający zjawiska zachodzące w pozostałych pomieszczeniach zlokalizowanych na piętrze budynku oraz przepływy powietrza pomiędzy nimi, będzie potencjalnym przedmiotem przyszłych prac badawczych.

Do obliczeń przyjęto następujące jednostkowe wartości powierzchni nieuszczelnności, zgodnie z ASHRAE Fundamentals Handbook [5] i bazą danych programu CONTAM [6]:

- obramowanie okna: $1,3 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ (powierzchnia $4,5 \text{ m}^2$),
- skrzydło okna: $0,24 \text{ cm}^2/\text{m}$ (długość szczeliny $7,5 \text{ m}$),
- ściana zewnętrzna: $0,96 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ (powierzchnia ściany 12 m^2),
- połączenie ściany zewnętrznej i sufitu: $1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ (długość $4,0 \text{ m}$),
- połączenie ściany zewnętrznej i podłogi: $4,0 \text{ cm}^2/\text{m}$ (długość $4,0 \text{ m}$),
- połączenie ścian zewnętrznych: $0,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ (długość $6,0 \text{ m}$),
- nawiewnik okienny: 9 cm^2 .

W sali konferencyjnej znajduje się stół biurowy, szafki z materiałów drewnopochodnych oraz zestaw krzeseł biurowych. Widok pomieszczenia przedstawia fotografia 1.

Fot. 1. Widok sali konferencyjnej
Foto 1. View of the conference room



2.2. Dane pogodowe i warunki wewnętrzne przyjęte do symulacji:

Symulację komputerową przeprowadzono dla parametrów ustalonych, przyjmując warunki zewnętrzne i wewnętrzne zgodne z warunkami istniejącymi podczas wykonywania badania (16.10.2012) w ramach pracy NF-100/2012 [4] (tabl.1).

Tablica 1. Dane pogodowe jako dane wejściowe do symulacji w stanie ustalonym, wg pracy [4]
Table 1. Real weather data used as the steady state simulation input data, on the basis of [4]

Warunki zewnętrzne	Warunki wewnętrzne (w pomieszczeniu)
temperatura 12,0°C ciśnienie 998 hPa wilgotność względna 91%	temperatura 22,7°C wilgotność względna 46,7%

Założono, że w powietrzu zewnętrznym nie ma formaldehydu.

2.3. Źródła emisji zanieczyszczeń

Na potrzeby pracy badawczej skupiono się na analizie stężenia wybranego pojedynczego zanieczyszczenia emitowanego z wyrobów budowlanych, materiałów wykończeniowych i mebli – formaldehydzie.

Korzystając z wyników przeglądu literatury [7–10] oraz wyników prac badawczych prowadzonych w ITB, założono wielkości emisji formaldehydu z materiałów i wyrobów stosowanych w pomieszczeniu testowym. Należy jednak zauważyć, że wartości emisji spotykane w literaturze zależą od rozwiązań materiałowych danego wyrobu, jego wieku itp. i z tego powodu ustalenie wartości referencyjnych jest utrudnione. Dla symulacji odzwierciedlającej warunki badania w ramach tematu [4] przyjęto wartości z przedziałów zidentyfikowanych w ramach przeglądu literatury, a następnie poddano je weryfikacji przez pracowników Zakładu Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska ITB. Uwzględniając przybliżone powierzchnie wyrobów emitujących, dokonano obliczenia emisji sumarycznej, a wyniki obliczeń zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2. Emisja formaldehydu z materiałów zastosowanych w pomieszczeniu testowym
Table 2. Formaldehyde emission from the materials used in the test room

Źródło emisji	Emisja jednostkowa $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Powierzchnia m^2	Emisja $\mu\text{g}/\text{h}$
Farba na ścianie	10	48,3	483
Sufit podwieszony	30	20,5	615
Drzwi	60	1,8	108
Meble (stół, szafki)	60	12	720
suma			1926

2.4. Model pomieszczenia testowego

W ramach zadania opracowano uproszczony cyfrowy model sali konferencyjnej, zawierający elementy niezbędne do przeprowadzenia symulacji.

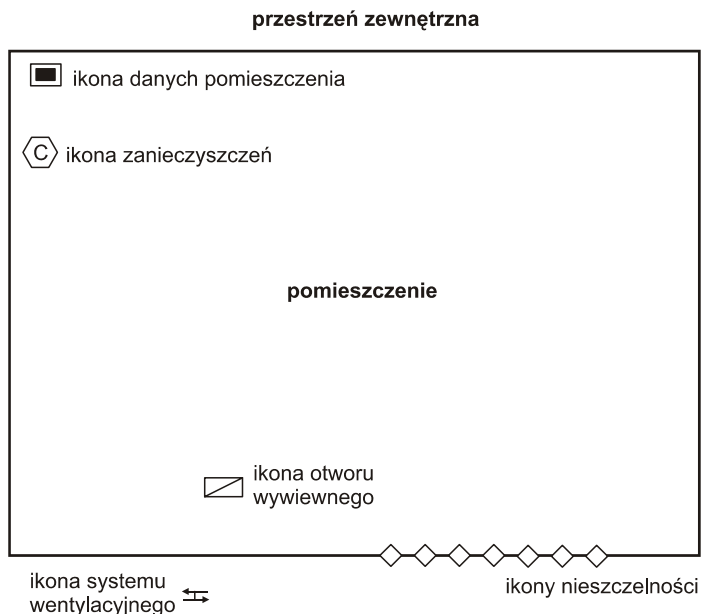
Model cyfrowy składa się ze:

- zdefiniowanej przestrzeni zewnętrznej, w której panują warunki atmosferyczne określone na podstawie pomiarów,
- pomieszczenia testowego (sala konferencyjna), ograniczonego ścianą zewnętrzną, o zadanej powierzchni i kubaturze, w której panują warunki cieplno-wilgotnościowe określone na podstawie pomiarów.

W ramach przestrzeni pomieszczenia testowego zdefiniowano:

- źródło zanieczyszczenia (emisja formaldehydu),
- system wentylacji wyciągowej o wydajności określonej na podstawie pomiarów,
- szczelności obudowy, o założonej powierzchni i współczynnikach oporu przepływu.

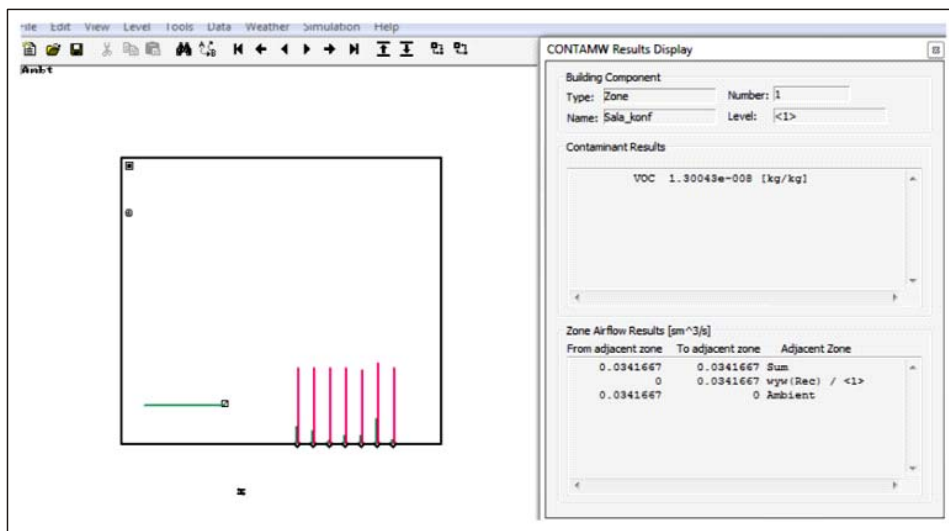
Wygenerowaną przez program CONTAM wizualizację modelu sali konferencyjnej przedstawiono na rysunku 1.



*Rys. 1. Komputerowa wizualizacja pomieszczenia testowego
Fig. 1. Image of the test room computer model*

3. Wyniki symulacji

Symulacja w warunkach ustalonych obejmuje przeprowadzenie pojedynczego kroku obliczeniowego. Wyniki zawierają określone stężenie zanieczyszczenia w pomieszczeniu (skrót VOC odnosi się w tym przypadku do formaldehydu) oraz strumienie objętości powietrza przepływającego przez poszczególne szczelności. Program generuje wizualizację wyników obliczeń przedstawioną na rysunku 2.



Rys. 2. Prezentacja wyników symulacji komputerowej
 Fig 2. Presentation of the simulation results

Wyniki symulacji komputerowej

Stężenie formaldehydu w powietrzu wewnętrznym wyniosło $1,300 \times 10^{-8}$ kg/kg, co po przeliczeniu daje wartość $11,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Obliczone przepływy przez nieszczelności w obudowie:

ściana zewnętrzna: $0,0073 \text{ m}^3/\text{s}$,

nawiewnik powietrza: $0,0057 \text{ m}^3/\text{s}$,

okno (skrzydło): $0,0011 \text{ m}^3/\text{s}$,

okno (rama): $0,0037 \text{ m}^3/\text{s}$,

połączenia ściany z sufitem: $0,0038 \text{ m}^3/\text{s}$,

połączenie ściany z podłogą: $0,0106 \text{ m}^3/\text{s}$,

połączenie ścian zewnętrznych: $0,0019 \text{ m}^3/\text{s}$.

Suma przepływu przez nieszczelności: $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$ (ok. $123 \text{ m}^3/\text{h}$ – równe strumieniowi objętości powietrza wyciąganemu przez system wentylacyjny).

3.1. Porównanie wyników symulacji z wynikiem pomiarów wykonanych w ramach pracy NF-100 w 2012 r.

Badania jakości powietrza wewnętrznego wykonane w 2012 r. obejmowały oznaczenie zanieczyszczeń chemicznych w powietrzu w sali konferencyjnej, znajdującej się na I piętrze w budynku H i zostały kompleksowo opisane w opracowaniu [4].

Podczas pomiarów wykorzystano następujące normy i procedury badawcze:

- ISO 16000-6:2004 Indoor air. Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor air and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID,
- PB LS-002/2/09-1999 Oznaczanie par rozpuszczalników i monomerów nienasyconych w powietrzu metodą chromatografii gazowej z wzbogaceniem próbki,
- ISO 16000-3:2001 Indoor air. Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds – Active sampling metod,
- PB LS-002/4/09-1999 Oznaczanie par rozpuszczalników i monomerów nienasyconych w powietrzu metodą chromatografii gazowej z wzbogaceniem próbki.

Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy 3.

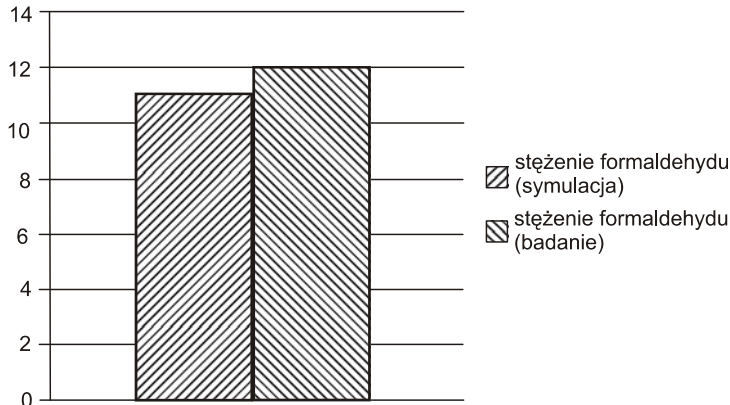
Tablica 3. Wyniki uzyskane podczas badania w ramach pracy NF-100 w roku 2012 [4]
Table 3. Real test results obtained in the framework of NF 100/2012 research project [4]

Związek chemiczny	Numer CAS	Stężenie w powietrzu sali konferencyjnej $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
		próbka 1	próbka 2	wartość średnia
Pentan	109-66-0	2	2	2
Alkohol butylowy	78-83-1	4	5	5
Toluen	108-88-3	3	4	4
Etylobenzen	100-41-4	1	1	1
Ksylen	95-47-6	4	5	5
Styren		3	3	3
Węglowodory terpenowe (α -pinen, 3-karen)	80-56-8; 13466-78-9	10	11	11
Heksanal	66-25-1	1	<1	1
Węglowodory alifatyczne (2,6,7- -trimetylodekkan, 6-etylo-2-mety- lodekkan)	62108-25-2 62108-21-8	1	2	2
Nonanal	124-19-6	2	3	3
Dekanal		<1	1	1
Izomaślan 3-hydroksy-2,4,4- -trimetylopentylu	74367-34-3	<1	<1	<1
Eter metylowo-oktylowy	900130-68-7	8	11	9
Formaldehyd	50-00-0	12	12	12

Porównanie stężenia formaldehydu uzyskanego w wyniku symulacji komputerowej z wynikami badania rzeczywistego wskazuje na wysoką dokładność metody numerycznej. Błąd symulacji wyniósł około 8%, a różnica w wynikach może być spowodowana

wana między innymi uproszczeniami przyjętymi podczas opracowywania modelu pomieszczenia oraz przy określaniu jednostkowej emisji z materiałów zastosowanych w pomieszczeniu. Jest to dokładność porównywalna z wynikami uzyskanymi przez innych autorów, na przykład przedstawionymi w pracy [11].

Na rysunku 3 zestawiono wyniki symulacji komputerowej z wynikami badania rzeczywistego wykonanego w ramach pracy [4].



Rys. 3. Porównanie wyników badania i symulacji stężenia formaldehydu w pomieszczeniu testowym

Fig. 3: Comparison between test and simulation results as regards formaldehyde concentration in the test room

4. Podsumowanie

1. Wyniki przeprowadzonej symulacji komputerowej charakteryzują się niewielkim błędem (około 8%) dotyczącym wyznaczenia stężenia formaldehydu w powietrzu wewnętrznym w stosunku do wartości zmierzonej 16 października 2012 r. Trzeba jednak zauważyć, że kluczowym czynnikiem wpływającym na wyniki obliczeń jest właściwe określenie emisyjności wyrobów budowlanych, materiałów wykończeniowych i mebli znajdujących się w pomieszczeniu. Wobec braku informacji dotyczących wydzielania się formaldehydu z tych źródeł, symulację wykonano z wykorzystaniem dostępnych danych z literatury. W związku z tym, że dane te stanowią materiał o charakterze badawczym, wskazującym jedynie przedziały zarejestrowanych wartości emisji dla różnych wyrobów, o różnym wieku i odmiennych parametrach technicznych, konieczne było przyjęcie wartości liczbowych z tych przedziałów. Przyjęte emisje jednostkowe zostały zweryfikowane przez ekspertów ITB.

2. Wobec faktu, iż w obliczeniach wykonywanych dla stanu ustalonego uwzględniono zadany strumień powietrza wentylacyjnego (określony podczas wykonywania pomiaru rzeczywistego), dokładność odzwierciedlenia rzeczywistej powierzchni, lokaliza-

cji i charakteru nieszczelności w przegrodzie zewnętrznej nie wpłynęła zasadniczo na dokładność wyznaczenia stężenia zanieczyszczenia wydzielanego w pomieszczeniu.

3. W przypadku symulacji dokonywanej w trybie dynamicznym możliwe jest dokonanie analizy zmienności przepływów przez poszczególne nieszczelności przegrody zewnętrznej i elementy systemu wentylacyjnego. Narzędzie może być też wykorzystywane do analizy układów wielostrefowych, w których opracowuje się model układów pomieszczeń bądź też całych budynków. Możliwe jest zatem wykonanie symulacji działania systemów wentylacyjnych, także wentylacji naturalnej, uwzględnienie zmiennej charakterystyki źródeł emisji, także ludzi, oraz ustalenie ekspozycji użytkowników na emitowane substancje.

4. Narzędzie symulacyjne pozwala na przeprowadzenie symulacji całego roku obliczeniowego, z wykorzystaniem pełnego pakietu danych pogodowych uzyskanych w stacjach meteorologicznych.

5. Uzyskane dotychczas wyniki wskazują na wysoką użyteczność programów komputerowych przy prognozowaniu jakości powietrza wewnętrznego, dokonywanym w ramach działalności badawczej Instytutu Techniki Budowlanej. Planuje się kontynuację prac analitycznych w zakresie dotyczącym symulacji uwzględniających zmienność emisji zanieczyszczenia w pomieszczeniu oraz zmiany strumienia powietrza wentylacyjnego, również z uwzględnieniem przepływów z pomieszczeń sąsiadujących, a także porównania wyników obliczeń z rezultatami badań rzeczywistych. Potencjalnym polem przyszłej analizy jest również prognozowanie czasu osiągnięcia dopuszczalnego poziomu stężenia zanieczyszczenia chemicznego emitowanego przez materiały zastosowane w pomieszczeniu, przy doświadczalnym określeniu zmienności wskaźników emisji powierzchniowej.

Bibliografia

- [1] Chen Q.: Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. *Building and Environment*, 2009, 4 (44), pp. 848–858
- [2] Walton George N., Dols W. Stuart: NISTIR 7251 CONTAM User Guide and Program Documentation. National Institute of Standards and Technology, 2013
- [3] Axley J. W.: New Mass Transport Elements and Components for the NIST IAQ Model. Yale Univ., New Haven, CT. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. NIST GCR 95-676; 33 p. July 1995. PB95-255899
- [4] Bekierski D.: Wdrożenie PN-EN 15251 w zakresie oceny jakości środowiska w budynkach. Sprawozdanie roczne z wnioskami. Praca Instytutu Techniki Budowlanej, Biblioteka ITB, maszyn., 2012
- [5] ASHRAE Handbook 1997. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA. Chapter 25 Table 3
- [6] Persily Andrew K., Ivy Elizabeth M.: NISTIR 6585 Input Data for Multizone Airflow and IAQ Analysis. National Institute of Standards and Technology, 2001
- [7] Järnström H.: Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings, VTT 2007

- [8] Hodgson A. T., Beal D, McIlvaine J. E. R.: Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. *Indoor Air*, 2002, 12, pp. 235–242
- [9] Kelly T.J., Smith D.L., Satola J.: Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California Homes, *Environmental Science and Technology*, 1999, 33, pp. 81–88
- [10] Yu Y., Nakagawa M., Honda J., Kobayashi Y.: Determination of formaldehyde emission from home furniture using a full-scale chamber. The 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Proceedings of Indoor Air 1999; Vol. 5, pp. 173–178
- [11] Liang W., Gao P., Guan J., Yang X.: Modeling volatile organic compound (VOC) concentrations due to material emissions in a real residential unit. Part I: Methodology and a preliminary case study. *Building Simulation*, 2012, 5, pp. 351–357

THE COMPARISON OF INDOOR FORMALDEHYDE CONCENTRATION DETERMINED AS A RESULT OF THE COMPUTER SIMULATION AND THE PHYSICAL TEST RESULTS

Summary

The paper presents the comparison between the results of model room' indoor air quality computer simulation and the real test results of formaldehyde concentration in indoor air. The essential elements of computer model reflecting the physical properties of the space, infiltration paths, mechanical ventilation system and the contamination sources are described. The simulation results were confronted with the IAQ test results, that included indication of chemical contaminants.

Praca wpłynęła do Redakcji 22 X 2013 r.