

OPRACOWANIE I WALIDACJA MODELU OBLICZENIOWEGO MIKROKLIMATU POMIESZCZEŃ W RAMACH PROJEKTU „IEA ANNEX 41”

RADOŃ Jan

Katedra Budownictwa Wiejskiego w Akademii Rolniczej w Krakowie

EVALUATION AND VALIDATION OF COMPUTATIONAL MODEL OF ROOM MICROCLIMATE WITHIN PROJECT “IEA, ANNEX 41”

The new developed computer program called WUFI + for calculation of transient heat and moisture flows in whole buildings is presented in this paper. Computational model, programme performance and some validation calculations made within project “IEA Annex 41” are shortly described.

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono nowy program komputerowy o nazwie WUFI+ służący do obliczeń niestacjonarnych przepływów ciepła i wilgoci w całych budynkach. Opisano w skrócie model obliczeniowy, działanie programu oraz niektóre wyniki obliczeń walidacyjnych wykonanych w ramach projektu „IEA Annex 41”.

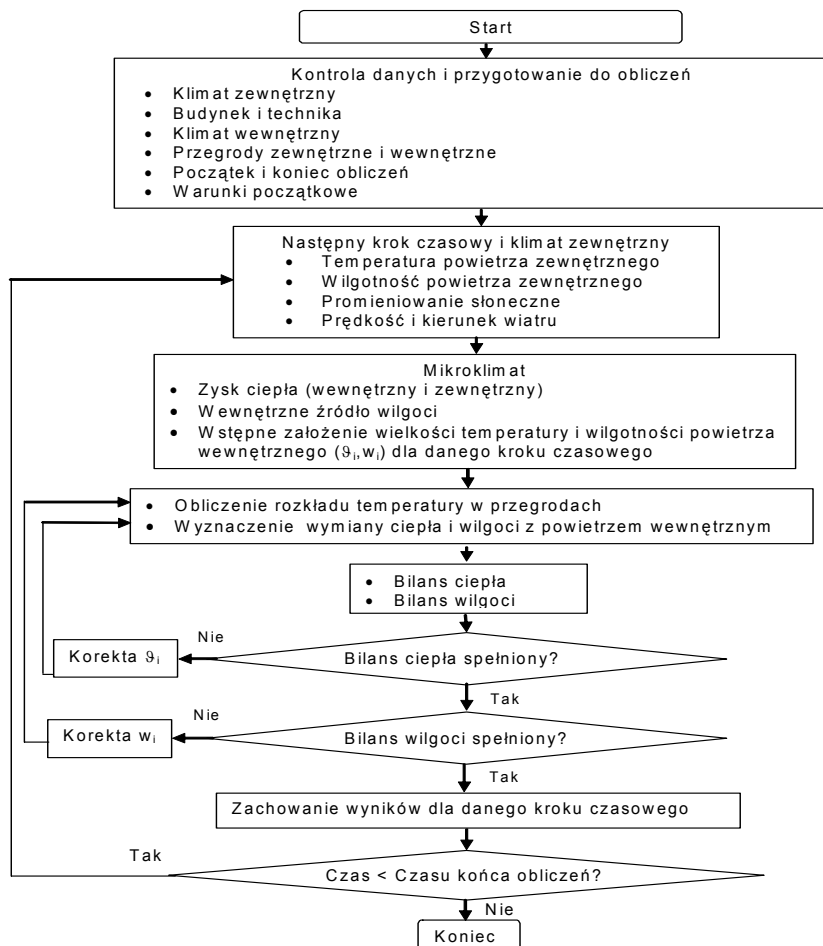
1. WPROWADZENIE

Przedmiotem badań w ramach międzynarodowego projektu badawczego „Annex 41”, któremu patronuje Międzynarodowa Agencja Energii (International Energy Agency), jest analiza ciepłno - wilgotnościowa całych budynków („Whole building heat and moisture analysis”). Celem badań jest określenie kształtowania się mikroklimatu oraz wyznaczenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynków, z uwzględnieniem przepływów ciepła i wilgoci w budynku i jego elementach.

W Instytucie Fraunhofera Fizyki Budowli w Holzkirchen (Niemcy) zbudowano, przy współpracy autora referatu, model obliczeniowy i program komputerowy o nazwie WUFI+ służący do analizy ciepłno-wilgotnościowej całych budynków. Program poddano walidacji porównawczej w ramach w/w projektu badawczego, w którym także uczestniczy Instytut Fraunhofera. W niniejszym artykule omówiono w skrócie zastosowany model obliczeniowy, program komputerowy i niektóre wyniki obliczeń walidacyjnych.

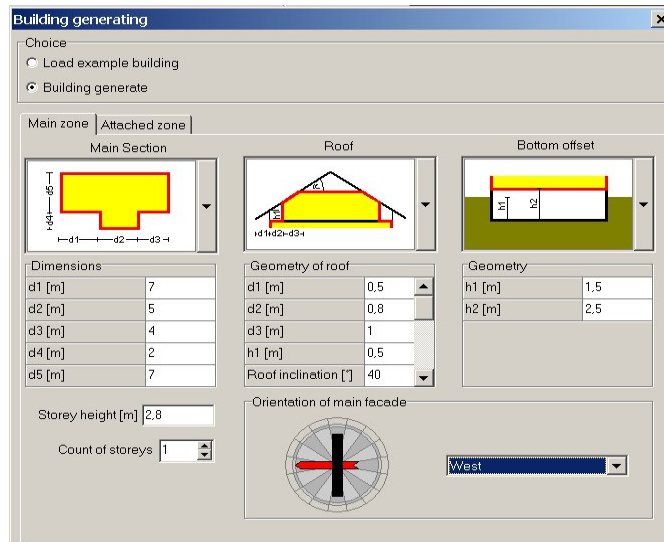
2. OPIS MODELU OBLICZENIOWEGO I PROGRAMU KOMPUTEROWEGO

Model obliczeniowy przepływu ciepła i wilgoci przez przegrody zewnętrzne wykorzystuje metodykę opracowaną przez Künzla [5], zastosowaną w znanym, także w Polsce, programie komputerowym o nazwie WUFI [6,7]. Program ten analizuje sprzężony przepływ ciepła i wilgoci przez przegrody budynku z uwzględnieniem kapilarnego transportu wilgoci w materiałach budowlanych.

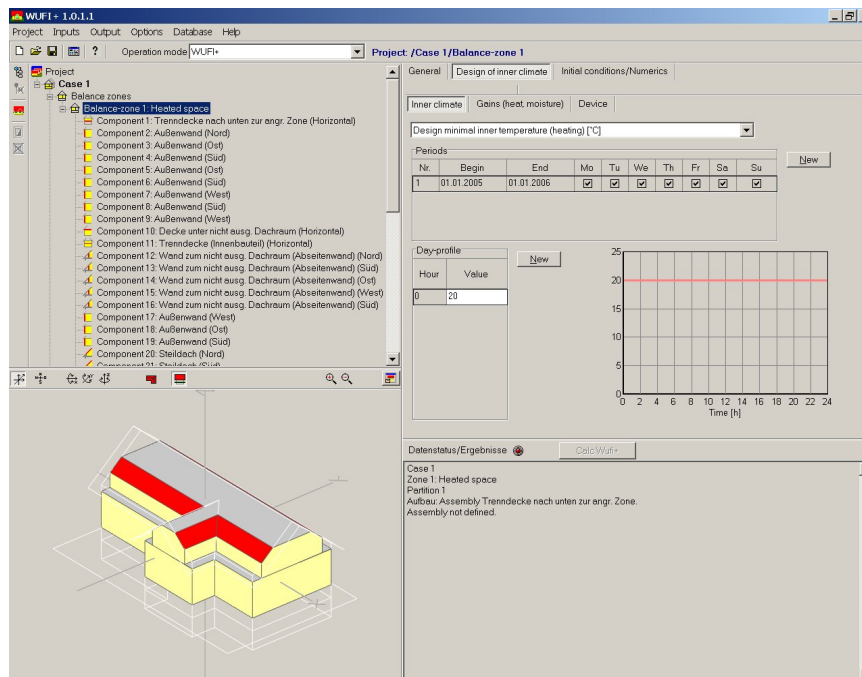


Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy obliczeń programu WUFI+.

Bazując na doświadczeniu zdobytym przy tworzeniu programu WUFI starano się opracować, łatwy w obsłudze, program komputerowy do obliczeń umożliwiających wiarygodne prognozowanie kształtowania się mikroklimatu budynków. Wyznaczenie chwilowych wartości temperatury i wilgotności powietrza wewnętrznego bazuje na równaniach bilansu ciepła i wilgoci w poszczególnych krokach czasowych [1,2,3]. Na rys. 1 przedstawiono uproszczony schemat blokowy obliczeń stosowany w programie WUFI+. Istotną grupę danych wejściowych stanowi geometria, nachylenie i orientacja zewnętrznych przegród budynku. Ich zdefiniowanie stanowi zazwyczaj duży nakład pracy i jest obarczone potencjalnymi błędami, które mogą mieć duże znaczenie dla wyników obliczeń. W celu ułatwienia określenia tych parametrów wyposażono program w możliwość wygenerowania danych geometrycznych dla kilku typów budynków (Rys. 2).



Rys. 2. Sposób definiowania budynku w celu wygenerowania przegród zewnętrznych.



Rys. 3. Widok głównego okna programu WUFI+.

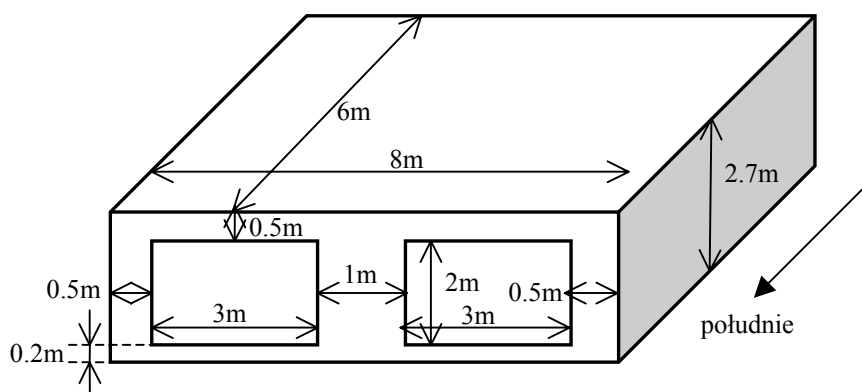
Podczas generowania budynku program może przypisać poszczególnym przegrodom predefiniowaną budowę oraz dane materiałowe. Użytkownikowi pozostaje wprowadzenie geometrii i parametrów okien oraz określenie danych klimatycznych. W obecnej wersji program może odczytywać dane w formatach: TRY (Test Reference Year), TMY2 (Typical Meteorological Year) oraz EPW (Energy Plus Weather – plik wykorzystywany przez program ENERGY+).

Dla ułatwienia wprowadzania i modyfikacji danych program wyposażono w bazę danych materiałowych i konstrukcyjnych oraz typów okien. Starano się również uzyskać możliwość wygodnej prezentacji wyników obliczeń w formie graficznej. Na rys. 3 pokazano widok głównego okna programu po wygenerowaniu przykładowego budynku.

3. WYBRANE WYNIKI OBLICZEŃ

Istotnym elementem wspomnianego na wstępie projektu „IEA Annex 41” jest walidacja narzędzi obliczeniowych dla uzyskania porównywalności wyników dostarczanych przez różne ośrodki naukowe. W procesie tym wykorzystuje się metodologię zwaną „BESTTEST” opracowaną przez Judkoffa i Neymarka [4] dla energetycznych symulacji budynków. Metodyka ta jest poszerzana obecnie o zjawiska wilgotnościowe. Dla zminimalizowania błędów przy definiowaniu obiektu przyjmuje się do obliczeń bardzo prosty budynek z jedną strefą obliczeniową (Rys. 4).

Jednym ze sposobów sprawdzenia poprawności działania programu jest porównanie wyników obliczeń numerycznych, wykonanych przez program, z wynikami obliczeń analitycznych. W tym celu przyjęto izotermalne warunki termiczne zakładając stałą w czasie temperaturę powietrza zewnętrznego. Założono, że ściany budynku wykonane są z betonu komórkowego o grubości 15 cm. Pominięto wpływ promieniowania słonecznego oraz okien. Pozostałe dane przyjęte do obliczeń w I etapie zestawiono w tabeli 1.

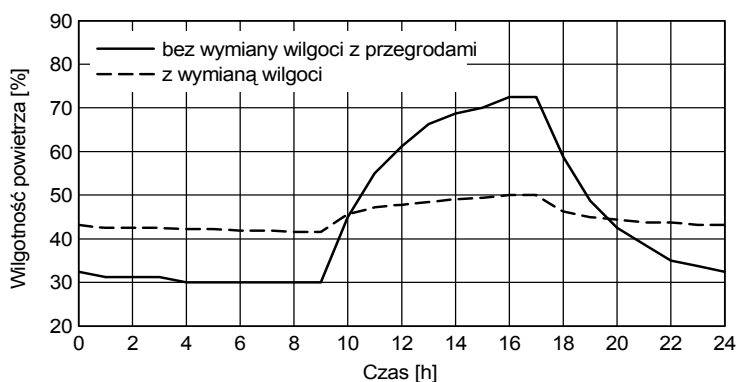


Rys. 4. Budynek przyjmowany do obliczeń w ramach „BESTCASE” (wymiary wewnętrzne).

TABELA 1. Dane przyjęte do obliczeń w I etapie.

<i>Warunki zewnętrzne</i>	
Wysokość nad poziomem morza	0 m
Temperatura powietrza zewnętrznego (stała w czasie)	20°C
Wilgotność powietrza zewnętrznego (stała w czasie)	30 %
Opór przejmowania ciepła na wew. powierzchniach przegród	0.121 (m ² K)/W
Opór przejmowania ciepła na zew. powierzchniach przegród	0.034 (m ² K)/W
Opór dyfuzyjny na powierzchniach przegród	5·10 ⁷ (Pa·m ² ·s)/kg
<i>Materiał ścian (beton komórkowy, gr. 15 cm)</i>	
Współczynnik przewodzenia ciepła	0.18 W/(m·K)
Współczynnik dyfuzji pary wodnej	3·10 ⁻¹¹ kg/(m·s·Pa)
Izoterma sorpcji (liniowa zależność od wilgotności φ)	0.0661·φ [kg/kg]
Porowatość	76 %
Gęstość	650 kg/m ³
Ciepło właściwe	840 J/(kg·K)
<i>Warunki wewnętrzne</i>	
Emisja ciepła	0 W
Emisja wilgoci, codziennie w godzinach 9 ⁰⁰ - 17 ⁰⁰	0.5 kg/h
Krotność wymiany powietrza	0.5/h

Obliczenia należało przeprowadzić dla 2 wariantów; bez i z wymianą pary wodnej z przegrodami, uwzględniając (w drugim wypadku) tylko dyfuzyjny przepływ wilgoci w przegrodach. Obliczenia należało prowadzić tak długo aż zostaną uzyskane powtarzalne wyniki w ciągu kolejnych dni. Dobowy przebieg wilgotności powietrza uzyskany za pomocą programu WUFI+ pokazano na rys. 5. Uzyskane wyniki obliczeń odpowiadają wynikom rozwiązania analitycznego z założoną dokładnością (1% wilg. względnej). Z uwagi na ograniczoną objętość referatu nie przedstawiono rozwiązania analitycznego.



Rys. 5. Dobowy przebieg wilgotności względnej powietrza uzyskany za pomocą programu WUFI+ w I etapie obliczeń.

W drugim etapie postanowiono wprowadzić bardziej realistyczne warunki klimatyczne. Jako warunek brzegowy przyjęto klimat (w formacie EPW) dla miasta Kopenhagi. Tym razem należało uwzględnić absorpcję promieniowania słonecznego na zewnętrznych powierzchniach przegród oraz zyski ciepła przez okna. Aby wyeliminować różne modele przenikania promieniowania przez okna należało założyć, że padające na powierzchnię okna promieniowanie słoneczne w całości jest wewnętrznym zyskiem ciepła. Podobnie jak w poprzednim przypadku ściany zewnętrzne zbudowane są z betonu komórkowego gr. 15 cm. Pozostałe dane zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2. Dane przyjęte do obliczeń w II etapie.

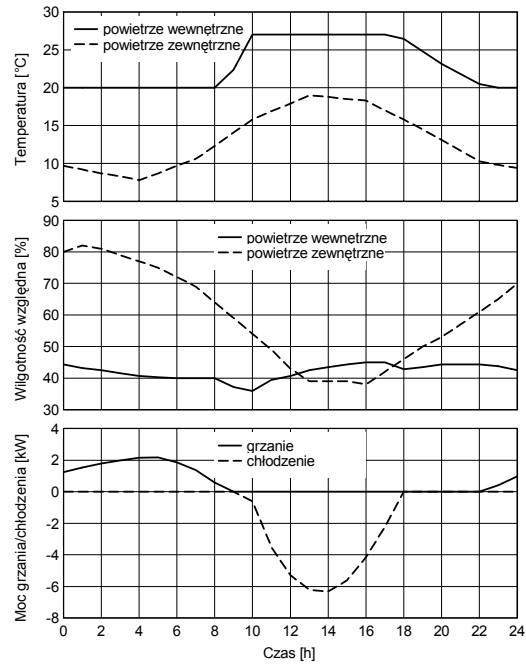
<i>Warunki zewnętrzne</i>	
Klimat statystyczny dla Kopenhagi, długość, szerokość geograficzna	12°40', 55°37'
Współczynniki absorpcji i emisji promieniowania na pow. zewnętrznych	0.6, 0.9
<i>Materiał ścian (beton komórkowy gr. 15 cm)</i>	
Współczynnik dyfuzji pary wodnej	zob. wzór 1
Izoterma sorpcji	zob. wzór 2
Porowatość	70 %
Gęstość	600 kg/m ³
<i>Okna</i>	
Współczynnik U	3.0 W/(m ² ·K)
Przenikanie promieniowania słonecznego (niezależnie od kąta padania)	1.0
<i>Warunki wewnętrzne</i>	
Emisja ciepła, codziennie w godzinach 9 ⁰⁰ - 17 ⁰⁰	800 W
Emisja wilgoci, codziennie w godzinach 9 ⁰⁰ - 17 ⁰⁰	0.5 kg/h
Minimalna temperatura powietrza	20°C
Maksymalna temperatura powietrza	27°C

Budynek wyposażony jest w urządzenie grzewcze i chłodnicze o wystarczającej mocy dla utrzymania założonego przedziału temperatur. Pozostałe parametry jak w tabeli 1. Współczynnik dyfuzji pary wodnej (δ) oraz sorpcję (w) należało określić (w zależności od wilg. względnej (φ) wg wzorów:

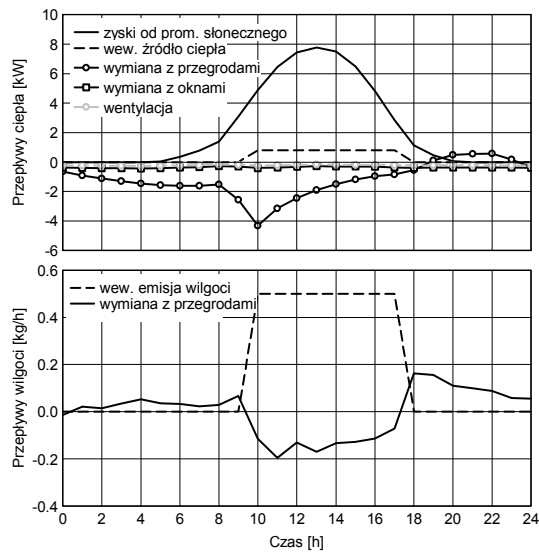
$$\delta = 0.176 \cdot 10^{-9} (0.116 + 0.00628 \cdot \exp(4.19 \cdot \varphi)) \quad [\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})] \quad (1)$$

$$w = 300 \cdot \left(1 - \frac{\ln \varphi}{0.0011}\right)^{\frac{1}{1.99}} \quad [\text{kg}/\text{m}^3] \quad (2)$$

Wyniki obliczeń w wybranym dniu (3 maja) przedstawiają rys. 6 i 7.



Rys. 6. Przebiegi temperatury i wilgotności powietrza oraz mocy grzania i chłodzenia w dniu 3 maja uzyskane za pomocą programu WUFI+ (II etap).



Rys. 7. Przebiegi ciepła i wilgoci w budynku w dniu 3 maja uzyskane za pomocą programu WUFI+ (II etap).

Wyniki uzyskane przez inne ośrodki naukowe zostaną opublikowane na kolejnym spotkaniu grupy „Annex 41” planowanym na maj 2005. Wtedy też można będzie zweryfikować obliczenia w II etapie i wprowadzić ewentualne poprawki do programu WUFI+.

4. PODSUMOWANIE

Dotychczasowy rozwój oprogramowania komputerowego do dynamicznej analizy wpływu oddziaływania środowiska naturalnego na budynki koncentrował się głównie wokół zagadnień cieplnych. Badania eksperymentalne oraz rozwój modeli teoretycznych dotyczących obliczeń niestacjonarnego przepływu ciepła i wilgoci przez przegrody budowlane umożliwił w ostatnim czasie efektywne uwzględnienie również procesów wilgotnościowych. W opracowaniu nowego programu wykorzystano wszechstronnie zweryfikowany model obliczeniowy WUFI.

Obliczenia cieplno-wilgotnościowe całych budynków, bazujące na dyskretnym rozwiązywaniu procesów dynamicznych, jest zagadnieniem bardzo złożonym. W obliczeniach uwzględnia się wiele różnych danych z których każda ma określony wpływ na dokładność obliczeń. Program komputerowy WUFI+ jest tak zbudowany aby maksymalnie ułatwić jego obsługę i zminimalizować potencjalne błędy, które może użytkownik popełnić. Temu celowi służy m.in. generowanie geometrii przegród budynków oraz rozbudowana bazy danych.

Program komputerowy WUFI+ jest obecnie tworzony oraz poddawany walidacji w ramach projektu „IEA Annex 41”. Walidacja polega na wykonywaniu obliczeń dla bardzo prostych budynków oraz selektywnym dobieraniu wpływu różnych czynników tak aby móc je kolejno poddać testom i sprawdzić poprawność obliczeń. Dotychczas przetestowano częściowo tylko wpływ dyfuzyjnego przepływu wilgoci w przegrodach zewnętrznych. Choć jeszcze daleko do zakończenia wszystkich testów, zbudowanie programu komputerowego umożliwiającego wiarygodne obliczenia cieplno-wilgotnościowe całych budynków wydaje się realne.

5. LITERATURA

- [1] HOLM A., RADOŃ J., KÜNZEL H., SEDLBAUER K.: Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Räumen, WTA-Schriftenreihe – Simulationmethoden bei der Planung von Neubauten und Instandsetzungen, H. 24, München, 81-94, 2004.
- [2] HOLM A., SEDLBAUER K., KÜNZEL H., RADOŃ J.: Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Räumen – Einfluss des Lüftungsverhaltens auf die Raumluftheuchte, 11 Symposium for Building Physics, Dresden, Band 2, 562–575, 2002.
- [3] HOLM A., SEDLBAUER K., RADOŃ J., KÜNZEL H.: Einfluß der Baufeuchte auf das hygrothermische Verhalten von Gebäuden, IBP-Mitteilung 398, 29, Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, 2002.
- [4] JUDKOFF R., NEYMARK J.: International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTTEST) and Diagnostic Method, U.S. Dept. of Energy, 1995.

- [5] KÜNZEL H.: Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Stuttgart, 1995.
- [6] KÜNZEL H., HOLM A., RADOŃ J., GAWIN D.: „WUFI-POL“ - program do ciepłno-wilgotnościowego projektowania przegród budowlanych w Polsce, Materiały konferencyjne IX Polskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce”, Część 1, 388-396, Łódź, 2003.
- [7] KÜNZEL H., RADOŃ J., HOLM A., SCHMIDT T., ZIRKELBACH D.: WUFI-pro, Handbuch, IBP Holzkirchen, 2003.



Dr inż. Jan Radoń

Adiunkt w Katedrze Budownictwa Wiejskiego w Akademii Rolniczej w Krakowie.

Tematyka zainteresowań: modelowanie i komputerowa symulacja wymiany masy i energii w budynku oraz jego elementach, kształtowanie mikroklimatu pomieszczeń.

*e-mail: rmradon@cyf-kr.edu.pl
jradon@ar.krakow.pl*