

**INSTYTUT KLIMATYZACJI I OGRZEWNICTWA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA**

**EFEKTYWNOŚĆ
UKŁADÓW
GRZEWCZYCH
I
KLIMATYZACYJNYCH**

Pod redakcją naukową

Sergeya Anisimova

2009



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

**INSTYTUT KLIMATYZACJI I OGRZEWNICTWA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA**

**EFEKTYWNOŚĆ
UKŁADÓW
GRZEWczyCH
I KLIMATYZACYJNYCH**

**Pod redakcją naukową
Sergeya Anisimova**



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

Wrocław 2009

Recenzenci:

Jan Danielewicz
Janusz Jeżowiecki

Redakcja techniczna:

Piotr Kowalski
Paweł Szałański

Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska,
Politechnika Wroclawska, ul. C. K. Norwida 4/6, 50-373 Wrocław

© Copyright by Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii
Środowiska Politechniki Wroclawskiej, Wrocław 2009

Wszelkie prawa zastrzeżone.

Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości, jak i we fragmentach,
nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny
i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

ISBN 978-83-7493-497-8

Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wroclawskiej. Zam. nr 1073/2009.

SŁOWO WSTĘPNE

Książka, którą Państwo otrzymują stanowi zbiór opracowań podsumowujących wybrane prace naukowo-badawcze, prowadzone obecnie na Politechnice Wrocławskiej w dziedzinie Inżynierii Środowiska. Autorzy to głównie młodzi naukowcy Instytutu Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, którzy pod kierunkiem promotorów pracują nad przygotowaniem swoich rozpraw doktorskich.

W kolejnych rozdziałach, autorzy prezentują analizy, będące efektem badań zjawisk fizycznych, rozwiązań technicznych lub też podejmują próbę ich opisanie za pomocą modeli matematycznych. Omawiają między innymi kierunki rozwoju oraz nowoczesne rozwiązania ogrzewnictwa i wentylacji, problemy efektywnego wykorzystywania ciepła i chłodu w klimatyzacji, wymagania i środki stosowane dla zapewnienia odpowiedniej jakości środowiska wewnętrznego. Opisane zostały również sposoby wykorzystania nowych metod obliczeniowych w Inżynierii Środowiska. Tematyka książki jest zatem bardzo szeroka i zróżnicowana. Wyróżnić można w niej jednak sześć zasadniczych grup zagadnień. Są to:

- mikroklimat w budynkach, jakość powietrza wewnętrznego;
- nowoczesne urządzenia grzewcze i wentylacyjne;
- pomiary, sterowanie, monitoring parametrów powietrza i szkodliwych domieszek powietrza;
- odnawialne źródła energii, odzysk ciepła;
- techniczne i ekonomiczne aspekty przedsięwzięć modernizacyjnych;
- optymalizacja procesów wentylacyjnych i cieplnych w budynkach.

W ramach tak określonych grup tematycznych podjęte zostały takie zagadnienia, jak:

- metody oceny jakości powietrza wewnętrznego;
- problemy projektowe, wpływ czynników zewnętrznych na pracę urządzeń;
- metody wielokryterialnej optymalizacji procesów w instalacjach grzewczych i wentylacyjnych;
- symulacja numeryczna rozdziału powietrza w pomieszczeniach wentylowanych;
- matematyczne modelowanie procesów wymiany ciepła i masy w układach grzewczych i klimatyzacyjnych;
- centrale wentylacyjne, nawiewniki, kotły, armatura i inne elementy;
- urządzenia kontrolno-pomiarowe;
- gromadzenie, przetwarzanie i transmisja danych;
- odzysk ciepła;
- kolektory słoneczne, pompy ciepła;
- budynek energooszczędny, praktyka wykonywania audytu.

Mam nadzieję, że w ten sposób zredagowana książka pozwoli, by każdy z jej czytelników znalazł w niej interesujący dla siebie materiał przydatny w swojej pracy zawodowej. Niniejsza pozycja nie wyczerpuje całej złożoności dziedziny naukowej jaką jest Inżynieria Środowiska. Przedstawia jednak, wyzwania stojące przed tą dziedziną nauki w obecnych czasach. Z jednej strony stawiane są coraz większe oczekiwania w zakresie zapewnienia odpowiednich warunków dla życia i prowadzenia działalności gospodarczej, z drugiej, widoczny jest wpływ człowieka na otaczające go środowisko, przyrodę oraz szybko wyczerpujące się zasoby Ziemi.

Sergey Anisimov

SPIS TREŚCI

| | |
|--|-----|
| Słowo wstępne | 3 |
| I. METODOLOGIA BADAŃ NAUKOWYCH | |
| Możliwości rozwoju wiedzy – procesy innowacyjne w inżynierii, G. BARTNICKI, B. NOWAK | 11 |
| Wpływ zwilżenia czujnika termometru na pomiar temperatury powietrza, J. BEDNARSKI.... | 21 |
| Czy można ocenić jakość?, A. NAPIÓRKOWSKA, A. ISAŃSKA-ĆWIEK, M. LASKA | 27 |
| Niepewność pomiaru parametrów powietrza wilgotnego, J. PADUCHOWSKA | 35 |
| II. MODELOWANIE MATEMATYCZNE. OPTYMALIZACJA | |
| Modelowanie CFD hydrodynamiki przepływu powietrza w module membranowym, S. ENGLART | 47 |
| Wymiana ciepła w ożebrowanych krzyżowych wymiennikach ciepła w układach wentylacji i klimatyzacji, A. JEDLIKOWSKI | 55 |
| Modele matematyczne procesów wymiany ciepła i masy w przeciwprądowym osuszaczu powietrza, P. KOWALSKI | 65 |
| Analiza procesów wymiany ciepła i masy w układach łącznych wymienników ciepła do pośredniego chłodzenia wyparnego. Budowa, zasada działania. Przedstawienie podstawowych problemów, W. ZATAJ | 73 |
| IDA ICE w praktyce, A. ŻABNIEŃSKA-GÓRA..... | 85 |
| Modelowanie matematyczne rozdziału powietrza w pomieszczeniach wentylowanych, D. DENISIKHINA, V. POLUSHKIN | 93 |
| III. MIKROKLIMAT POMIESZCZEŃ WENTYLOWANYCH. JAKOŚĆ POWIETRZA | |
| Zastosowanie metody chromatografii gazowej w badaniach jakości powietrza wewnętrznego, M. BADURA | 105 |
| Zanieczyszczenia powietrza emitowane podczas spalania biomasy w kotle małej mocy, J. CIOŁEK, A. MUSIALIK-PIOTROWSKA | 117 |
| Chemicznie czułe rezystory w pomiarach jakości powietrza na stanowiskach pracy, B. FLISOWSKA-WIERCIK..... | 129 |
| System ochrony atmosfery dla miejscowości Łęknica, E. SZMIGIELSKA | 137 |

| | |
|---|-----|
| Ocena skuteczności działania wentylacji grawitacyjnej w budynkach wielorodzinnych, M. SOMPOLIŃSKI, A. ZAJĄC, K. JĘDRUSIK | 145 |
| Nawiewniki w przegrodach zewnętrznych w budynkach mieszkalnych w Polsce i Wielkiej Brytanii, P. SZALAŃSKI | 153 |

IV. EFEKTYWNOŚĆ WYKORZYSTANIA ENERGII

| | |
|---|-----|
| Chłodzenie pasywne w układach zasilanych z wieży chłodniczej otwartej, J. DONOČIK, Ł. DONOČIK | 163 |
| Optymalizacja kosztów ogrzewania w systemach biwalentnych z pompą ciepła powietrze – woda, N. FIDORÓW | 171 |
| Idea systemu zacieniająco – izolującego, P. KĘSKIEWICZ | 185 |
| Nawiewniki w systemach ze zmiennym strumieniem powietrza wentylującego, M. KOSTKA, A. ZAJĄC | 195 |
| Wentylacja w budynkach z podwójnymi fasadami szklanymi, A. LEWICKA | 203 |
| Zastosowanie rur ciepłych w wentylacji i klimatyzacji, M. SKRZYCKI | 211 |
| Oczyszczanie powierzchni wymiany ciepła z osadów popiołowych w kotłach energetycznych, B. ŚNIECHOWSKA | 221 |
| Analiza wykorzystania ciepła odpadowego w systemach ciśnieniowych sprężarkowych, A. ZAJĄC, M. SOMPOLIŃSKI, M. KOSTKA | 229 |
| Odzysk ciepła odpadowego z instalacji chłodniczych, A. ZAJĄC, M. SOMPOLIŃSKI, M. KOSTKA | 237 |
| Autorzy | 243 |

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| Foreword | 3 |
| I. SCIENTIFIC RESEARCH METHODOLOGY | |
| Possibilities for development of knowledge – innovative processes in environmental engineering, G. BARTNICKI, B. NOWAK | 11 |
| Effect on wet sensor thermometer meter air temperature, J. BEDNARSKI | 21 |
| If the quality can be assessed?, A. NAPIÓRKOWSKA, A. ISAŃSKA-ĆWIEK, M. LASKA | 27 |
| Measuring error of humid air parameters, J. PADUCHOWSKA | 35 |
| II. MATHEMATICAL MODELLING. OPTIMIZATION | |
| CFD modelling of the air flow hydrodynamics in the membrane contactor, S. ENGLART | 47 |
| Heat transfer in the crossflow plate–fin heat exchangers in air–conditioning systems, A. JEDLIKOWSKI | 55 |
| Models of heat and mass transfer in rotary desiccant wheel, P. KOWALSKI | 65 |
| The analysis of processes of heat and mass exchange in joint systems of heat exchangers to indirect evaporative cooling. Construction, functioning . Presentation of basic problems, W. ZATAJ | 73 |
| IDA ICE in practice, A. ŻABNIEŃSKA-GÓRA | 85 |
| Mathematical modelling of air distribution in ventilated rooms, D. DENISIKHINA, V. POLUSHKIN | 93 |
| III. VENTILATED ROOMS MIKROCLIMATE. AIR QUALITY | |
| Application of gas chromatography method for indoor air quality determination, M. BADURA | 105 |
| Characteristics of air pollutants emitted from biomass combustion in small retort boiler, J. CIOLEK, A. MUSIALIK-PIOTROWSKA | 117 |
| Resistive gas sensors for measurement quality of air in workplaces, B. FLISOWSKA-WIERCIK | 129 |
| Atmosphere protection system for the city of Leknica, E. SZMIGIELSKA | 137 |
| Effectiveness evaluation of gravitational ventilation operation in multifamily buildings, M. SOMPOLIŃSKI, A. ZAJĄC, K. JEĐRUSIK | 145 |
| Background ventilators in residential buildings in Poland and Great Britain, P. SZALAŃSKI | 153 |

IV. ENERGY UTILIZATION EFFICIENCY

| | |
|---|-----|
| Passive cooling systems supplied by open circuit cooling tower, J. DONOCIK, Ł. DONOCIK | 163 |
| Optimisation of the heating costs in bivalent systems with an air-to-water heat pump, N. FIDORÓW | 171 |
| Idea of shading/insulation system, P. KĘSKIEWICZ | 185 |
| Air diffusers in variable air volume systems, M. KOSTKA, A. ZAJĄC | 195 |
| Ventilation in buildings with double glazed elevation, A. LEWICKA | 203 |
| Application of heat pipes in ventilation and air conditioning systems, M. SKRZYCKI | 211 |
| Soot cleaning methods from heating surfaces in power boilers, B. ŚNIECHOWSKA | 221 |
| Analysis for use of waste heat in the vapor compression refrigeration systems, A. ZAJĄC, M. SOMPOLIŃSKI, M. KOSTKA | 229 |
| Waste heat recovery from the refrigeration installations, A. ZAJĄC, M. SOMPOLIŃSKI, M. KOSTKA | 237 |
| Authors | 243 |

AUTORZY

| | |
|--|-----|
| <p>mgr inż. Marek BADURA 105 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław marek.badura@pwr.wroc.pl, tel.: +48 71 320 20 38</p> | 105 |
| <p>dr inż. Grzegorz BARTNICKI 11 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław grzegorz.bartnicki@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 33 33</p> | 11 |
| <p>dr hab. inż. Józef BEDNARSKI 21 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław jozef.bednarski@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 26 68</p> | 21 |
| <p>mgr inż. Joanna CIOŁEK 117 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław joanna.ciolek@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 20 38</p> | 117 |
| <p>dr inż. Daria DENISIKHINA 93 Katedra Ogrzewnictwa Wentylacji i Klimatyzacji, Wydział Inżynierii Środowiska, Sankt-Petersburski Państwowy Uniwersytet Budownictwa i Architektury, ul. 2ga Krasnoarmejskaja 4, 190005, Sankt-Petersburg, Federacja Rosyjska denisikhina@mail.ru, +7 812 575 05 31</p> | 93 |
| <p>mgr inż. Julita DONOCIK 163 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław julita.grabowska@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 45 09</p> | 163 |
| <p>mgr inż. Łukasz DONOCIK 163 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław lukasz.donocik@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 45 09</p> | 163 |
| <p>dr inż. Sebastian ENGLART 47 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław sebastian.englart@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 25 89</p> | 47 |

| | |
|--|---------------|
| mgr inż. Natalia FIDORÓW..... | 171 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław natalia.fidorow@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 30 97 | |
| mgr inż. Barbara FLISOWSKA-WIERCIK | 129 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław barbara.flisowska@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 20 38 | |
| dr inż. Agnieszka ISAŃSKA-ĆWIEK..... | 27 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław agnieszka.isanska-cwiek@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 31 09 | |
| mgr inż. Andrzej JEDLIKOWSKI | 55 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław andrzej.jedlikowski@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 20 38 | |
| mgr inż. Kamil JEDRUSIK..... | 145 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław kamil.jedrusik@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 45 09 | |
| mgr inż. Piotr KEŚKIEWICZ..... | 185 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław piotr.keskiewicz@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 45 09 | |
| mgr inż. Maria KOSTKA..... | 195, 229, 237 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław maria.kostka@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 45 09 | |
| mgr inż. Piotr KOWALSKI..... | 65 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław piotr.kowalski@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 20 38 | |
| dr inż. Marta LASKA..... | 27 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław marta.laska@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 31 09 | |
| mgr inż. Anna LEWICKA..... | 203 |
| Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław a.lewicka@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 45 09 | |

- dr hab. inż. Anna MUSIALIK-PIOTROWSKA 117
 Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
 anna.musialik-piotrowska@pwr.wroc.pl, tel. 71 320 38 04
- dr inż. Anna NAPIÓRKOWSKA 27
 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
 anna.napiorkowska@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 31 09
- dr inż. Bogdan NOWAK 11
 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
 bogdan.nowak@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 43 86
- dr inż. Joanna PADUCHOWSKA 35
 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
 joanna.paduchowska@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 30 97
- prof. dr hab. inż. Vitaly POLUSHKIN 93
 Katedra Ogrzewnictwa Wentylacji i Klimatyzacji, Wydział Inżynierii Środowiska,
 Sankt-Petersburski Państwowy Uniwersytet Budownictwa i Architektury, ul. 2ga Krasnoarmejskaja
 4, 190005, Sankt-Petersburg, Federacja Rosyjska
 vitalij-polushkin@yandex.ru, +7 812 575 05 31
- mgr inż. Maciej SKRZYCKI 211
 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
 maciej.skrzycki@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 20 38
- dr inż. Marcin SOMPOLIŃSKI 145, 229, 237
 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
 marcin.sompolinski@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 32 64
- mgr inż. Paweł SZALAŃSKI 153
 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
 pawel.szalanski@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 20 38
- mgr inż. Elżbieta SZMIGIELSKA 137
 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
 elzbieta.szmigielska@pwr.wroc.pl,
- mgr inż. Beata ŚNIECHOWSKA 221
 Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
 Politechnika Wroclawska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
 beata.sniechowska@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 20 38

- dr inż. Agnieszka ZAJĄC 145, 229, 237
Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
agnieszka.zajac@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 31 09
- mgr inż. Wojciech ZATAJ 73
Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
wojciech.zataj@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 45 09
- mgr inż. Alina ŻABNIĘSKA-GÓRA 85
Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Wrocławska, ul. C.K. Nowida 4/6, 50-373 Wrocław
alina.zabnienska@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 21 13



Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej
są do nabycia w księgarni „Tech”
plac Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław
budynek D-1 PWr., tel. 071 320 29 35
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową
zamawianie.ksiazek@pwr.wroc.pl

ISBN 978-83-7493-497-8