

## **OCENA PARAMETRÓW POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO W BUDYNKU WYŻSZEJ UCZELNI PRZED PRZEWIDYWANĄ MODERNIZACJĄ DO STANDARDU NIEMAL ZERO ENERGETYCZNEGO**

Jerzy SOWA<sup>\*</sup>, Justyna NOGA-ZYGMUNT<sup>2</sup>, Joanna UGOROWSKA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa  
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail: jerzy.sowa@is.pw.edu.pl

<sup>2</sup> SINAP Sp. z o.o. Poland

<sup>3</sup> SIG plc, Poland,

**Streszczenie:** Projekt KODnZEB ma na celu podniesienie poziomu wiedzy polskich ekspertów w dziedzinie modernizacji istniejących budynków użyteczności publicznej do standardu budynków o niemal zerowym zużyciu energii pierwotnej. Jednym z budynków analizowanych, jako studium przypadku jest gmach Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Artykuł opisuje pomiary przeprowadzone w 32 pomieszczeniach o różnym przeznaczeniu (ok. 20% z 163 pomieszczeń, w których realizowany jest proces nauczania). Pomiary prowadzono w ciągu 10 dni w okresie wiosennym, przy zmiennych warunkach atmosferycznych (temperatura powietrza zewnętrznego zmieniała się w zakresie od 6,6 do 18,7°C). Poważne problemy z mikroklimatem zostały zidentyfikowane w pracowniach komputerowych. Ponadto analiza wykazała, że pomieszczenia położone na południowych i zachodnich elewacjach są zdecydowanie częściej przegrzewane. W salach wykładowych i audytoriach obserwowano podwyższone stężenia CO<sub>2</sub> sięgające 2500 ppm. Najwyższe stężenia drobnych frakcji pyłu (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>1</sub>) zaobserwowano w pomieszczeniach laboratoryjnych oraz w magazynie bibliotecznym. Podwyższone stężenia pyłu zaobserwowano także w pomieszczeniach, w których podłogi były pokryte wykładziną dywanową oraz audytoriach, w których intensywnie wykorzystywano czarne tablice i kredę. Przeprowadzone pomiary wykazały, że koncepcja modernizacji analizowanego budynku do standardu nZEB powinna uwzględniać nie tylko technologie zmierzające do oszczędności energii, ale również przedsięwzięcia poprawiające jakość środowiska wewnątrz.

**Słowa kluczowe:** mikroklimat wewnątrz, budynki edukacyjne, modernizacja, nZEB

### **1. WPROWADZENIE**

Od pewnego czasu kraje członkowskie Unii Europejskiej dążą do podniesienia efektywności energetycznej

w budownictwie. Do roku 2020 (w porównaniu do 1990 roku) planuje się redukcję o 20% emisji gazów cieplarnianych, zwiększenie efektywności energetycznej o 20% oraz osiągnięcie 20% udziału energetyki odnawialnej w bilansie energetycznym (tak zwany cel 20/20/20). Równocześnie przewiduje do 2050 r. drastyczną redukcję emisji gazów cieplarnianych w sektorze budowlanym o ok. 90% (w stosunku do roku 1990). Przyjęcie znowelizowanej dyrektywy o charakterystyce energetycznej budynków (EPBD) [1] było jednym z praktycznych sposobów realizacji tych ambitnych celów. W wyniku wdrożenia tej Dyrektywy pojawił się wymóg wznoszenia budynków o niemal zerowym zużyciu energii (od 2020r).

Projekty pilotażowe zrealizowane w wielu krajach wykazały, że możliwe jest nie tylko wznoszenie budynków o zerowym zużyciu energii, lecz nawet modernizowanie istniejących budynków do takiego standardu. Polska niestety nie ma dużych doświadczeń w tej dziedzinie. Dobrze znane technologie stosowane w trakcie programu termomodernizacji budynków są niewystarczające do tego, aby osiągnąć tak ambitne cele. Konieczny jest intensywny transfer wiedzy z krajów o znacznie bogatszych doświadczeniach. Krajem o jednych z największych doświadczeń w dziedzinie budownictwa o zerowym zużyciu energii pierwotnej jest Norwegia. Jednakże, ze względu na duże różnice pomiędzy Norwegią a Polską transfer technologiczny musi być wsparty przez szczegółowe analizy biorące pod uwagę [2]:

- istotne różnice w poziomach dochodu narodowego na głowę mieszkańca,
- wielkość polskiego rynku budowlanego i zły stan techniczny wielu istniejących budynków,

<sup>\*</sup> Autor korespondencyjny, e-mail: jerzy.sowa@is.pw.edu.pl

- niezbyt wysoki poziom akceptacji idei zrównoważonego rozwoju, wyrażonej przez władze i zwykłych obywateli,
- ograniczony dostęp do mechanizmów wspomagających proces budowy i zrównoważonej modernizacji budynków,
- specyfikę bilansu energetycznego Polski (bardzo silna zależność gospodarki od węgla), zwłaszcza biorąc pod uwagę, że Norwegia ma bardzo duży udział energii elektrycznej wytwarzanej przez elektrownie wodne,
- wartości współczynników nakładów energii pierwotnej dla różnych nośników energii.

Projekt KODnZEB realizowany w Politechnice Warszawskiej we współpracy z Norweskim Uniwersytetem Nauki i Technologii ma na celu podniesienie poziomu wiedzy polskich ekspertów w dziedzinie modernizacji istniejących budynków użyteczności publicznej do standardu budynków o niemal zerowym zużyciu energii pierwotnej.

## 2. OPIS BUDYNKU PODDANEGO BADANIU

Jednym z budynków analizowanych, jako studium przypadku w projekcie KODnZEB jest gmach Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej (WIBHIŚ). Obecnie wskaźnik zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej dla tego budynku wynosi 168 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Projekt stawia sobie za cel opracowanie koncepcji jego modernizacji do poziomu 20 kWh/(m<sup>2</sup>rok).

Budynek został wzniesiony w latach siedemdziesiątych XX w. Bryłę budynku tworzą dwa skrzydła ustawione w kształt litery L. Skrzydło zlokalizowane wzdłuż ulicy Nowowiejskiej ma 8 kondygnacji naziemnych. Najwyższa kondygnacja pełni funkcje techniczne. Fasady tej części gmachu WIBHIŚ zorientowane są w kierunkach północnym „N” oraz południowym „S”. Skrzydło gmachu umieszczone prostopadłe do ul. Nowowiejskiej liczy 10 kondygnacji naziemnych, a najwyższa kondygnacja także pełni funkcje techniczne. Całość budynku jest podpiwniczona.

Budynek został oddany do użytku w roku 1977 i od tej pory nie przechodził gruntownego remontu z wyjątkiem wymiany okien oraz zamontowania na dachu oraz na części fasady południowej instalacji paneli fotowoltaicznych.

Całkowita powierzchnia budynku wynosi 19217 m<sup>2</sup>. Wysokość kondygnacji w świetle wynosi 3,4 m. Liczbę użytkowników szacuje się na ponad 2000 osób dziennie.

W budynku znajduje się ok. 335 pomieszczeń, z czego ponad 160 pomieszczeń wykorzystywanych jest w procesie dydaktycznym. Na kondygnacjach naziemnych umieszczone są sale audytoryjne, pokoje pracowników, laboratoria oraz różnego typu pomieszczenia pomocnicze: dziekanat, sekretariaty, biblioteka, punkt gastronomiczny

z salą konsumpcyjną, sklepik papierniczy, hall z szatnią. W piwnicy znajduje się ok. 35 pomieszczeń przeznaczonych na cele techniczne, magazynowe oraz częściowo laboratoryjne.

Budynek wyposażony jest w nietypowy system wentylacji grawitacyjnej. Rolę zbiorczych kanałów wentylacyjnych pełnią pustki powietrzne zlokalizowane w przestrzeni podwójnych ścian pomiędzy korytarzami a pomieszczeniami.

Pierwotnie w salach audytoryjnych przeznaczonych dla ponad 50 studentów przewidziano instalacje wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej. Obecnie w większości te systemy nie są już użytkowane. Pomieszczenia laboratoryjne wyposażone są w różnego rodzaju systemy wentylacji wyciągowej (digestoria, okapy itp.). Instalacje te, jakkolwiek technologicznie przestarzałe, są sprawne.

Powszechna opinia na temat mikroklimatu i jakości powietrza w gmachu WIBHIŚ nie jest zbyt wysoka. Celem niniejszego badania było zobjektywizowanie ocen i określenie skali problemów w trakcie typowego użytkowania pomieszczeń. Zrezygnowano zatem z jakiegokolwiek ingerencji w działanie systemu wentylacji (we wszystkich przypadkach stare instalacje wentylacji mechanicznej były wyłączone) ani z sugerowania stosowanych technik przewietrzania pomieszczeń przed zajęciami. W zdecydowanej większości przypadków okna (pomimo braku nawiewników powietrza) pozostawały zamknięte przez cały czas pomiarów. By wyniki pomiarów nie wpływały na zachowania użytkowników do chwili ich zakończenia nie informowano zainteresowanych o zmierzonych parametrach.

Artykuł opisuje pomiary przeprowadzone w 32 pomieszczeniach o różnym przeznaczeniu (ok. 20% z 163 pomieszczeń, w których realizowany jest proces nauczania):

- sale audytoryjne - 13 pomieszczeń,
- pracownie komputerowe - 6 pomieszczeń,
- laboratoria - 5 pomieszczeń (laboratorium chemiczne, biotechnologii, technologii betonów, technologii oczyszczania ścieków, automatyki)
- pomieszczenia techniczne - 2 pomieszczenia (warsztaty wykorzystywane do pokazów)
- pomieszczenia administracyjne - 1 pomieszczenie
- inne - 5 pomieszczeń (m. in. biblioteka, magazyn biblioteczny, hall, punkt gastronomiczny).

Pomieszczenia poddane analizie zlokalizowane są na wszystkich kondygnacjach oraz na wszystkich fasadach budynku.

Badanie zrealizowano w okresie wiosennym, przy zmiennych warunkach atmosferycznych. Temperatura powietrza zewnętrznego zmieniała się w zakresie od 6,6 do 18,7°C. W trakcie cyklu pomiarowego występowały zarówno dni pochmurne z deszczem jak i dni słoneczne.

### 3. BADANIE PARAMETRÓW POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

#### 3.1. Metodyka badań

W celu oceny podstawionych parametrów mikroklimatycznych w budynku w wybranych pomieszczeniach dokonano pomiarów: temperatury powietrza, wilgotności względnej, temperatury punktu rosy, objętościowej zawartości pary wodnej w powietrzu, stężenia dwutlenku węgla, stężeń pyłu frakcji PM10, PM2,5, PM1 oraz udziału procentowego tlenu. Do pomiarów wykorzystano następujący sprzęt pomiarowy:

- Termohigrometr LB-706  
Pomiar temperatury (błąd pomiaru  $< 0,2^{\circ}\text{C}$ )  
Pomiar wilgotność względna powietrza (błąd pomiaru  $< 2\%$  w zakresie 10-90% i 4% poza tym zakresem).
- Czujnik CO<sub>2</sub> IAQ-CLAC model 8732, Telaire  
Pomiar stężenia CO<sub>2</sub> w zakresie 0-5000 ppm (błąd pomiaru  $\pm 3\%$  odczytu lub  $\pm 50$  ppm)
- Pyłomierz Dust TRAK, TSI  
Zakres pomiarowy 0,001-100 mg/m<sup>3</sup> (kalibracja z frakcją respirabilną zgodnie z ISO 12103, A1)
- Miernik tlenu GOX-100  
Zakres pomiarowy 0,100% O<sub>2</sub>  
Dokładność pomiarów  $\pm 0,1\%$  O<sub>2</sub>.

Parametry powietrza zewnętrznego (temperatura powietrza, wilgotność względna ciśnienie atmosferyczne były pobierane ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Gmachu Fizyki PW (sąsiedni budynek do analizowanego).

Pomiarów dokonywano w trakcie normalnego użytkowania pomieszczeń. By nie zakłócać procesu dydaktycznego przeprowadzono je w jednym punkcie pomieszczenia na wysokości ławek i stołów laboratoryjnych. Domyślnie, punkt pomiarowy zlokalizowany był centralnie w pomieszczeniu, lecz w przypadku, gdy występowały silne nierównomierności rozmieszczenia użytkowników, sprzęt pomiarowy był umieszczany w pobliżu osób.

Pełna procedura pomiarowa dla jednego pomieszczenia trwała ok. 45 min (czas trwania 1 godziny lekcyjnej). Temperatura powietrza, wilgotność względna temperatura punktu rosy i zawartość pary wodnej były rejestrowane w ciągu całego cyklu. Pomiar CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> dokonywany był w kilku okresach 5 min.

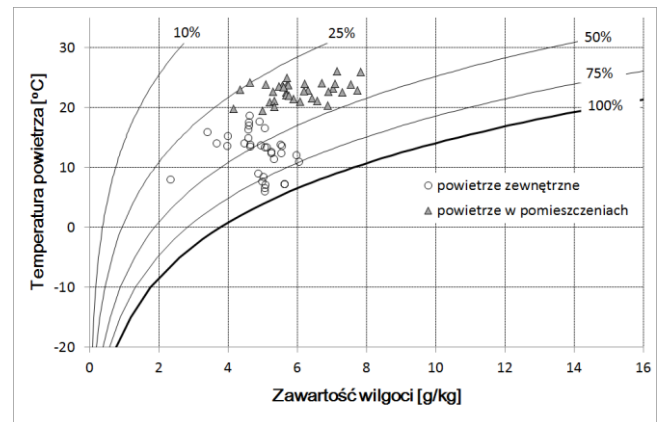
Pomiary zapylenia przeprowadzono naprzemiennie wymieniając trzy głowice frakcjonujące. Czas pojedynczego pomiaru wyniósł 2 min.

#### 3.2. Wyniki badań

W trakcie pomiarów temperatura powietrza w analizowanych pomieszczeniach zmieniała się w zakresie od 19,5 do 26,1°C. Jednocześnie wilgotność względna powietrza zmieniała się w zakresie od 24,6 do 45,1%. Rysunek 1 przedstawia cieplno-wilgotnościowe parametry

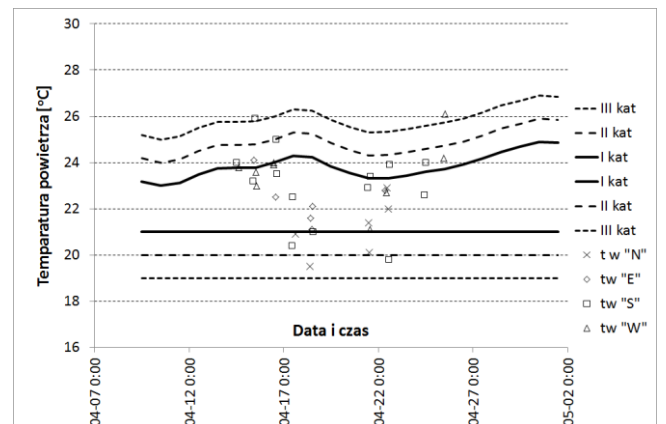
powietrza zewnętrznego i wewnętrznego na tle wykresu Molliera.

Ponieważ budynek pozbawiony jest instalacji chłodzenia powietrza ocenę stopnia spełnienia wymagań dokonano stosując model komfortu adaptacyjnego zgodny z PN-EN:152151:2012 [3]. Zmierzone wartości temperatury powietrza w pomieszczeniach (stosując różne oznaczenia punktów dla pomieszczeń zlokalizowanych na różnych fasadach) przedstawiono na rysunku 2. Na wykresie umieszczono także linie odpowiadające dotrzymaniu wymagań kategorii I, II i III (zgodnie z [3]). Wartości temperatury powietrza w pomieszczeniach skierowanych na różne strony świata zaznaczono różnymi znacznikami.



Rys. 1. Parametry cieplno-wilgotnościowe powietrza zewnętrznego oraz powietrza w analizowanych pomieszczeniach na tle wykresu Molliera.

Fig. 1. Thermo-humidity parameters of outdoor air and air in the analysed rooms on the Mollier chart.

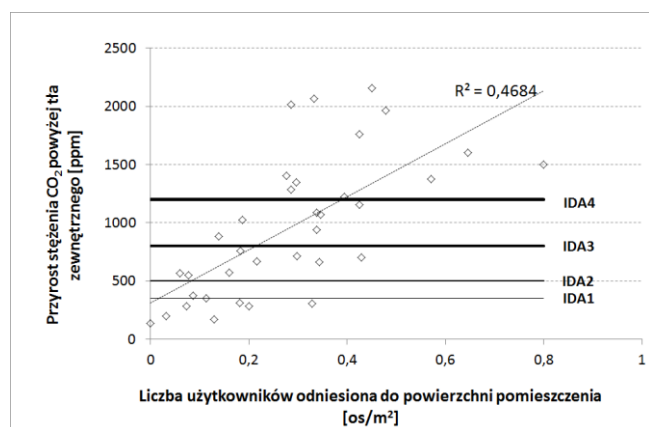


Rys. 2. Temperatura powietrza w analizowanych pomieszczeniach na tle zakresów dopuszczalnych dla różnych kategorii oczekiwań wg modelu komfortu adaptacyjnego.

Fig. 2. Air temperature in analysed rooms presented on the background of borders for different categories of rooms according to adaptive model of thermal comfort.

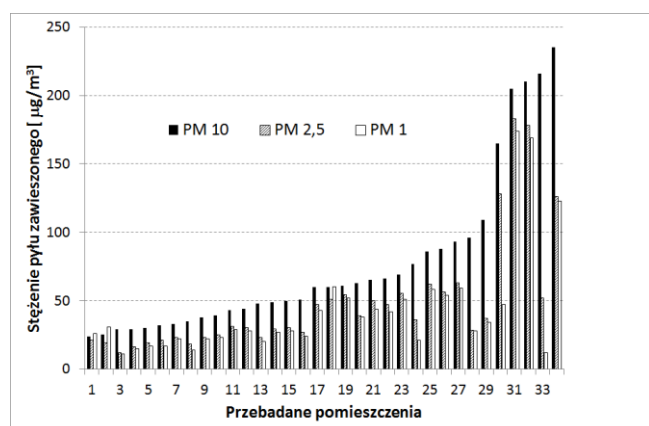
Można zaobserwować, że temperatury w pomieszczeniach skierowanych na południe i zachód są wyższe od temperatur powietrza w pomieszczeniach skierowanych na północ i wschód.

Pomiary stężenia dwutlenku węgla wykazały stężenia sięgające powyżej 2500 ppm (pomimo jedynie częściowego wykorzystania dostępnych miejsc). Stężenia CO<sub>2</sub> wykazały spodziewaną korelację z liczbą użytkowników przypadającą na 1 m<sup>2</sup> pomieszczenia. Rysunek 4 przedstawia uzyskaną zależność, przy czym stężenia zostały przedstawione, jako przyrosty powyżej tła zewnętrznego. Umożliwiło to zaznaczenie na rysunku sugerowanych wartości tych przyrostów odpowiadających kategoriom od IDA1 do IDA4 zgodnie z PN-EN 13779:2008 [4].



Rys. 4. Przyrost stężenia CO<sub>2</sub> powyżej tła zewnętrznego w funkcji zagęszczenia użytkowników.

Fig. 4. CO<sub>2</sub> concentration above outdoor as a function of occupancy density.

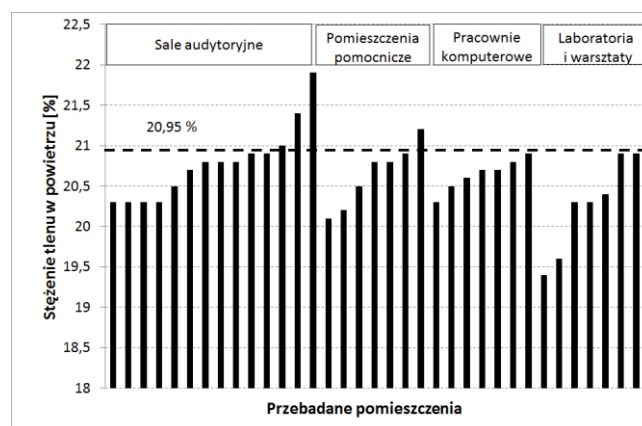


Rys. 5. Stężenia frakcji pyłu PM10, PM2,5 oraz PM1 w badanych pomieszczeniach (uporządkowane względem PM10).

Fig. 5. Concentrations of PM10, PM2,5 oraz PM1 in analysed rooms (sorted according to PM10).

Pomiary zapylenia wykazały bardzo duże zróżnicowanie pomiędzy pomieszczeniami. W grupie przebadanych pomieszczeń zidentyfikowano 5 pomieszczeń o stężeniach pyłu PM10 powyżej 150 µg/m<sup>3</sup>. Były to laboratorium biotechnologii, laboratorium betonu, warsztat, pomieszczenia księgozbioru bibliotecznego oraz gabinet z bardzo dużą ilością dokumentów.

Podwyższone stężenia pyłu zaobserwowano także w pomieszczeniach, w których podłogi były pokryte wykładziną dywanową oraz audytoriach, w których intensywnie wykorzystywano czarne tablice i kredę.



Rys. 6. Stężenia tlenu w analizowanych pomieszczeniach (wyniki uporządkowane dla różnych typów pomieszczeń).

Fig. 6. Oxygen concentration in analysed rooms (data sorted for different types of rooms).

W całym budynku zidentyfikowano wiele pomieszczeń o stężeniach tlenu obniżonych na tyle, iż nie da się ich wyjaśnić metabolizmem użytkowników. W przypadku laboratorium betonu, pomieszczeń przechowywania księgozbioru oraz w jednym z warsztatów zaobserwowano stężenia O<sub>2</sub> poniżej 20%. Z drugiej strony w 2 salach audytoryjnych położonych na 5 piętrze stwierdzono zawartość tlenu znacznie przekraczającą 21%. Okazało się, że przyczyną tego zjawiska mogą być ćwiczenia polegające na ozonowaniu wody przeprowadzane w sąsiednim Laboratorium Zakładu Zaopatrzenia w Wodę i Unieszkodliwiania Ścieków.

#### 4. PARAMETRY POWIETRZA W BUDYNKACH SZKOLNICTWA WYŻSZEGO NA ŚWIECIE

W strefie klimatu umiarkowanego unika się chłodzenia pomieszczeń dydaktycznych w szkołach wyższych. Z jednej strony jest to podyktowane chęcią oszczędzania energii, a z drugiej strony faktem, iż w okresie największych upałów pomieszczenia te nie są wykorzystywane. Ponadto w większości szkół wyższych

nie stosuje się kodu ubraniowego i studenci mogą dość swobodnie korzystać z technik adaptacji behawioralnej, takich jak: zmiana ubioru, intensyfikacja prędkości powietrza wewnątrz pomieszczeń, przyjmowanie gorących/zimnych napojów oraz dość znacznej adaptacji psychologicznej do środowiska cieplnego [5]. Należy się także liczyć z możliwością zmian preferencji termicznych przez studentów. Przykładowo, w badaniach [6], [7] zaobserwowano zmianę preferencji z „lekko ciepło” i „ciepło” w okresie ogrzewania do preferencji „neutralnie” w okresie przejściowym.

W porównaniu z budynkami szkolnymi liczba badań dotyczących stężenia CO<sub>2</sub> w uczelniach wyższych jest niewielka. Można jednak znaleźć zarówno prace wykazujące, że w audytoriach i salach lekcyjnych przy sprawnie działającej wentylacji mechanicznej (USA) stężenia CO<sub>2</sub> sięgają poziomu ok 1000-1200 ppm [8] jak i prace [9] wykazujące, że w bezokiennej sali audytorijnej przy celowo wyłączonej wentylacji mechanicznej (Polska) stężenia CO<sub>2</sub> osiągnęły wartości 6000-7000 ppm.

Szczególną uwagę warto zwrócić na badanie przeprowadzone w pracowniach komputerowych Uniwersytetu Technicznego w Lund [10], w którym bez wiedzy użytkowników zmieniano intensywność wentylacji pomiędzy wartościami 10-13 l/(s osobę) i 7 l/(s osobę). Odpowiadał temu zarówno wzrost stężenia CO<sub>2</sub> w pomieszczeniach jak i wzrost średniego stężenia pyłu PM10 z 15 µg/m<sup>3</sup> do 20 µg/m<sup>3</sup>. W przypadku zmniejszonej wentylacji zaobserwowano wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia bólu głowy (iloraz szans - OR = 1,19 na 100 ppm przyrostu CO<sub>2</sub>). Większy wpływ na występowanie symptomów SBS okazała się mieć podwyższona temperatura powietrza: podrażnienie oczu (OR = 1,52 na 1°C), błony śluzowej nosa (OR = 1,62 na 1°C), gardła (OR = 1,53 na 1°C), ból głowy (OR = 1,51 na 1°C) i zmęczenie (OR = 1,54 na 1°C). Zakres obserwowanych zmienności temperatury wynosił w tym badaniu 20÷25°C, a obserwowanych wartości wilgotności względnej 19÷35%. Pomiarów w 40 różnych pomieszczeniach (głównie pokoje pracowników, pomieszczenia łączące funkcje biura i laboratorium oraz pomieszczenia kopiarek) zlokalizowanych na terenie uniwersytetu w Salonikach wykazały średnie stężenia pyłu PM10 wynoszące 118 µg/m<sup>3</sup> przy odchyleniu standardowym 68 µg/m<sup>3</sup> (wartości ekstremalne mieściły się w zakresie 25÷370 µg/m<sup>3</sup>). Stężenia frakcji PM2,5 wynosiły odpowiednio 91±56 µg/m<sup>3</sup> (wartości ekstremalne 11÷250 µg/m<sup>3</sup>) [11].

Badanie opisujące zapylenie w przestrzeniach publicznych w Pekinie [12] zawiera także dane dotyczące pomieszczeń zlokalizowanych na uczelniach. Średnie stężenie pyłu w 5 pracowniach komputerowych wyniosło: pył całkowity 125,1 µg/m<sup>3</sup>, frakcja PM10 68,0 µg/m<sup>3</sup>, frakcja PM2,5 16,7 µg/m<sup>3</sup> a frakcja PM1 7,5 µg/m<sup>3</sup>.

W pekińskich bibliotekach (5 obiektów) stężenia pyłu były znacznie niższe i wynosiły: pył całkowity 72,1 µg/m<sup>3</sup>, frakcja PM10 33,8 µg/m<sup>3</sup>, frakcja PM2,5 5,6 µg/m<sup>3</sup>, a frakcja PM1 1,9 µg/m<sup>3</sup>.

W bibliotekach uniwersyteckich we Włoszech mierzono znacznie większe zróżnicowanie pyłu całkowitego (40÷450) µg/m<sup>3</sup> [13], [14].

## 5. WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych pomiarów, jakkolwiek wskazują na niedotrzymanie wielu współczesnych wymagań i rekomendacji, nie odbiegają radykalnie od stanu jakości środowiska wewnątrz na uczelniach w innych krajach.

Przeprowadzone pomiary bezsprzecznie wykazały jednak, że koncepcja modernizacji analizowanego budynku do standardu nZEB powinna uwzględniać nie tylko technologie zmierzające do oszczędności energii, ale również przedsięwzięcia poprawiające jakość środowiska w pomieszczeniach.

Decyzji o rezygnacji z mechanicznego chłodzenia pomieszczeń dydaktycznych bezwzględnie powinno towarzyszyć zastosowanie rozwiązań architektonicznych ograniczających przegrzewanie pomieszczeń zlokalizowanych od strony południowej i zachodniej.

Przeprowadzone badania dowiodły, że w wielu pomieszczeniach gmachu WIBHIŚ realizowane są procesy wpływające zarówno na obniżanie jak i podwyższanie poziomu tlenu, a nietypowy system wentylacji grawitacyjnej powoduje przenoszenie problemów do sąsiednich pomieszczeń. Zlikwidowanie niekontrolowanych przepływów powietrza pomiędzy pomieszczeniami wydaje się zatem koniecznością.

W pomieszczeniach dydaktycznych należy zaprojektować zdecentralizowaną wentylację mechaniczną o zmiennej wydajności. Niezbędne jest także dostosowanie do współczesnych wymagań instalacji wentylacji technologicznych w laboratoriach i warsztatach.

Planowaną modernizację warto wykorzystać także do wprowadzenia na teren gmachu WIBHIŚ dużej ilości roślin ozdobnych, które oprócz produkcji tlenu bardzo dobrze wpływają na poziom satysfakcji użytkowników i korzystnie wpływają na wyniki uczenia się [15].

Aby sprawdzić skuteczność podjętych działań zmodernizowany budynek powinien zostać wyposażony w sensory monitorujące parametry mikroklimatu oraz jakość powietrza, co najmniej w wybranych pomieszczeniach. Znane są udane przykłady wykorzystania bezprzewodowych sieci pomiarowych dla dużych pomieszczeń audytorijnych (np. [16]).

## INDOOR AIR PARAMETERS IN HIGHER EDUCATION BUILDING BEFORE PLANNED MODERNIZATION TO NZEB STANDARD

**Summary:** The project KODnZEB aims to improve knowledge of Polish experts in the field of technologies used during modernization of public buildings to nearly zero-energy standard. One of the case study buildings is Faculty of Building Services, Hydro and Environmental Engineering at Warsaw University of Technology. The paper describes measurements carried out in 32 rooms of different character (approx. 20% of 163 rooms where the teaching process is realized). The measurements were performed during 10 days in spring when weather was variable (the range of outdoor temperature from 6.6 to 18.7°C). Serious problems with microclimate were identified in computer rooms. Moreover, the analysis indicated that rooms located at southern and western façades are more extensively overheated. CO<sub>2</sub> concentrations up to 2500 ppm were measured in teaching auditoria. The highest concentrations of fine dust (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub>) were observed in laboratories. Increased concentrations of dust were monitored in rooms with carpets as well as in rooms with extensive use of black boards and chalk. The performed measurements indicated that modernization concept should take into account not only energy saving innovations, but also should substantially improve indoor air parameters.

### Literatura

- [1] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 *on the energy performance of buildings (recast)*. Official Journal of the European Union, 18(06), 2010
- [2] Sowa J., Wiszniewski A., *Opportunities and limitations of transfer of know-how on sustainable buildings between countries, experiences from cooperation between Norway and Poland*, CESB16 Central Europe towards Sustainable Building 2016, 22–24 June 2016 Prague, ISBN 978-80-271-0248-8, printed version pp.95-96, electronic version pp 291-298
- [3] Norma PN-EN 15251:2012. *Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę*
- [4] Norma PN-EN 13779:2008. *Wentylacja budynków niemieszkalnych - Wymagane właściwości systemów wentylacji i klimatyzacji*
- [5] Yao R., Liu J., Li B. *Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university*. Applied Energy 87(3) (2010) 1015-1022
- [6] Corgnati S. P., Ansaldi R., & Filippi M. *Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: assessment through objective and subjective approaches*. Building and Environment 44(4) (2009) 785-792
- [7] Corgnati S. P., Filippi M., & Viazzo S. *Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort*. Building and Environment 42(2) (2007) 951-959
- [8] Luu I., Brown G. *Indoor Air Quality Assessment of Campus Spaces with Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) as a Measure of Adverse Health Effects*. (2015). www.overleaf.com
- [9] Cichowicz R., Gawron-Skarbek A., Godala M., Zimna-Walendzik E., Sabiniak H., & Szatko F. *Ocena stężenia dwutlenku węgla w powietrzu wybranych pomieszczeń uczelni wyższej*. Probl Hig Epidemiol 95(2) (2014) 287-291
- [10] Norbäck D., Nordström K. *Sick Building Syndrome in Relation to Air Exchange rate, CO<sub>2</sub>, room temperature and relative air humidity in university computer classrooms: an experimental study*. International Archives of Occupational and Environmental Health 82(1) (2008) 21-30
- [11] Gemenetzi P., Moussas P., Arditoglou A., & Samara C. *Mass concentration and elemental composition of indoor PM 2.5 and PM 10 in University rooms in Thessaloniki, northern Greece*. Atmospheric Environment 40(17) (2006) 3195-3206
- [12] Liu Y., Chen R., Shen X., & Mao X. *Wintertime indoor air levels of PM 10, PM 2.5 and PM 1 at public places and their contributions to TSP*. Environment International 30(2) (2004) 189-197
- [13] Fantuzzi G., Aggazzotti G., Righi E., Cavazzuti L., Predieri G., & Franceschelli A. *Indoor air quality in the university libraries of Modena (Italy)*. Science of the Total Environment 193(1) (1996) 49-56
- [14] Righi E., Aggazzotti G., Fantuzzi G., Ciccarese V., & Predieri G. *Air quality and well-being perception in subjects attending university libraries in Modena (Italy)*. Science of the Total Environment 286(1) (2002) 41-50
- [15] Doxey J. S., Waliczek T. M., & Zajicek J. M. *The impact of interior plants in university classrooms on student course performance and on student perceptions of the course and instructor*. HortScience 44(2) (2009) 384-391
- [16] Leavey A., Fu Y., Sha M., Kutta A., Lu C., Wang W., ... & Biswas P. *Air quality metrics and wireless technology to maximize the energy efficiency of HVAC in a working auditorium*. Building and Environment 85 (2015) 287-297

---

Niniejszy artykuł powstał w ramach projektu KODnZEB pn: "Koncepcja dostosowania dwóch wybranych budynków do standardu niemal zero-energetycznego" dofinansowanego ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2009-2014 w ramach w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej na poziomie Programu Operacyjnego PL04 "Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii". Projekt realizowany we współpracy z Norweskim Uniwersytetem Nauki i Technologii.