

KONCEPCJA POPRAWY ŚRODOWISKA WEWNĘTRZNEGO W PRZYKŁADOWYM BUDYNKU UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ MODERNIZOWANYM DO STANDARDU NZEB

Maciej MIJAKOWSKI*, Joanna RUCIŃSKA, Jerzy SOWA, Piotr NAROWSKI

*Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa*

e-mail: maciej.majakowski@is.pw.edu.pl, joanna.rucinska@is.pw.edu.pl, jerzy.sowa@is.pw.edu.pl, piotr.narowski@is.pw.edu.pl,

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.

Budynek wzniesiony w latach 70. XX w. wymaga generalnej modernizacji zarówno fasady, jak i wnętrza. Przeprowadzone pomiary wskazały, że podjęte działania powinny uwzględniać nie tylko zastosowanie technologii zmierzających do oszczędności energii, ale również przedsięwzięcia poprawiające jakość środowiska w pomieszczeniach.

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP analizowanego budynku wynosi około 150 kWh/(m²rok). Celem projektu była redukcja wskaźnika zapotrzebowania energii poniżej 20 kWh/(m²rok) oraz poprawa warunków środowiska wewnętrznego. Planowane działania uwzględniają modernizację elementów budynków (ścian zewnętrznych, dachów, okien) oraz systemów technicznych (wentylacja, ogrzewanie, ciepła woda, oświetlenie i RES). Ponadto koncepcja modernizacji obejmuje pewne ulepszenia w społecznym wykorzystaniu budynku, np. nowe atrium z przestrzeniami do odpoczynku i działalności grupowej. Fasady i planowane atrium zostaną zaprojektowane przy użyciu koncepcji "zielonej architektury".

W artykule omówiono szczegółowo zaplanowane działania wskazując efekt ich zastosowania w dwóch wymiarach: środowiskowym i energetycznym. Przedstawione wyniki są oparte na pomiarach in-situ oraz symulacjach komputerowych wykonanych przy użyciu oprogramowania DesignBuilder.

Słowa kluczowe: budynek nZEB, środowisko wewnętrzne, komfort cieplny

1. WSTĘP

Nowelizacja dyrektywy EU EPD od 2020 r. wprowadza obowiązek projektowania i budowania budynków o niemal zerowym zużyciu energii pierwotnej (nZEB) [1]. Wymaganie to ma również być obligatoryjne dla budynków poddawanych gruntownej modernizacji. Ponieważ w Polsce brak jest doświadczeń, jak można uzyskać tak wysoki standard energetyczny budynków po modernizacji, wniosek o finansowanie projektu KODnZEB (Koncepcja dostosowania dwóch wybranych budynków do standardu niemal zero-energetycznego) zyskał uznanie dysponentów Funduszu Współpracy Dwustronnej na poziomie Programu Operacyjnego PL04 „Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii”.

Projekt realizowany był w Politechnice Warszawskiej we współpracy z Norweskim Uniwersytetem Nauki i Technologii (NTNU) z Trondheim. Jednym z głównych celów projektu było zweryfikowanie, które z technologii stosowanych na świecie w budynkach użyteczności publicznej o ekstremalnie wysokim standardzie energetycznym sprawdziłyby się w warunkach Polski (klimat, stosowane współczynniki nakładów energii pierwotnej, koszty energii, przepisy prawne itp.). Ze względu na udział partnera norweskiego zespół miał możliwość korzystania z ogromnego doświadczenia zespołu ekspertów z the Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB Centre) działającego przy NTNU.

* Autor korespondencyjny, e-mail: maciej.majakowski@is.pw.edu.pl

2. DEFINICJA BUDYNKU O NIEMAL ZEROWYM ZUŻYCIU ENERGII PIERWOTNEJ

Na terenie UE obowiązuje ogólna definicja budynku o niemal zerowym zużyciu energii sformułowana w nowelizacji dyrektywy o charakterystyce energetycznej budynków (EPBD recast, 2010/31/EC) [1]. Zgodnie jednak z jej artykułem dziewiątym, kraje członkowskie są zobowiązane do uszczegółowienia definicji na poziomie krajowym. W Polsce definicja budynku o niskim zużyciu energii została wprowadzona w „Krajowym planie mającym na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii” przyjętym uchwałą Prezesa Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 roku [2]. Zgodnie z zapisami tego dokumentu, jako budynek o niskim zużyciu energii, czyli budynek niemal zeroenergetyczny – uważa się budynek spełniający wymagania ochrony cieplnej budynków obowiązujące od 1 stycznia 2021 roku (dla budynków zajmowanych przez władze publiczne od 1 stycznia 2019 roku) zawarte w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami) [3].

Oznacza to, że wartość wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP) do ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, chłodzenia, oświetlenia oraz przez urządzenia pomocnicze w tych systemach dla budynków użyteczności publicznej nie może przekroczyć 95 kWh/(m²rok) dla budynków bez systemu chłodzenia oraz 120 kWh/(m²rok) dla budynków z systemem chłodzenia.

W dłuższej perspektywie trudno wyobrazić sobie utrzymanie takiej liberalnej definicji, która nie generuje praktycznie żadnego impulsu do wprowadzania nowych technologii do polskiego sektora budownictwa.

The Building Performance Institute Europe (BPIE) [4] na podstawie analiz opartych na metodzie kosztu optymalnego zaleca następujące definicje budynków o niemal zerowym zużyciu energii:

- budynki biurowe, wskaźnik EP ok. 50-60 kWh/(m²rok) przy udziale energii odnawialnej > 40%
- budynki biurowe należące do władz publicznych, wskaźnik EP ok. 40-50 kWh/(m²rok) przy udziale energii odnawialnej > 50% .

Na potrzeby projektu KODnZEB sformułowano własną definicję budynku o niemal zerowym zużyciu energii. Przyjęto, że zapotrzebowanie na energię dla budynku o niemal zerowym zużyciu powinno być rzeczywiście bliskie zeru. Zakładając liniową zmianę wartości wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP do 0 kWh/(m²rok) dla budynku ZEB, nZEB zdefiniowano jako budynek o zapotrzebowaniu na energię pierwotną poniżej 10% aktualnych wymagań sformułowanych dla nowego budynku. W praktyce oznacza to, że budynek

w standardzie nZEB jest budynkiem, dla którego wartość wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP wynosi mniej niż 20 kWh/(m²rok) (około 5 razy mniej niż polska definicja budynku o niskim zużyciu energii).

3. ANALIZOWANY BUDYNEK

Studia przypadku w projekcie KODnZEB przeprowadzono dla dwóch budynków należących do Politechniki Warszawskiej. Jednym z nich jest gmach Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska zlokalizowany na terenie centralnego kampusu Politechniki Warszawskiej (rys. 1). Codziennie budynek jest użytkowany przez ponad 2000 osób, które korzystają z 335 pomieszczeń o różnym charakterze (edukacyjnym, laboratoryjnym, technicznym oraz biurowym). Budynek został wybudowany w latach 70. XX w. Przez 45 lat użytkowania zostały w nim przeprowadzone pewne działania modernizacyjne jednak nie miały one kompleksowego charakteru. Najważniejszą z nich była wymiana okien, docieplenie jednej fasady oraz montaż instalacji fotowoltaicznej (wielkość instalacji to ok. 53,5 kWp). Mimo wykonanych prac wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP jest dosyć wysoki i wynosi około 150 kWh/(m²rok). Budynek wymaga przeprowadzenia kompleksowej modernizacji zarówno fasady, jak i wnętrza.



Rys. 1. Gmach Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, stan istniejący
Fig. 1. Building of the Faculty of Building Services, Hydro and Environmental Engineering, Warsaw University of Technology, existing state

Przeprowadzone pomiary parametrów w pomieszczeniach dydaktycznych [5] wskazały silne przegrzewanie pomieszczeń zlokalizowanych od strony południowej i zachodniej, niedostateczną wentylację, niekontrolowane przepływy powietrza pomiędzy pomieszczeniami, podwyższone stężenia respirabilnych frakcji pyłu oraz

problemy z zawartością tlenu w wybranych pomieszczeniach. Dodatkowym problemem jest duży natężenie hałasu związane z ruchem ulicznym (samochody i tramwaje) występującym na ul. Nowowiejskiej.

Koncepcja modernizacji analizowanego budynku do standardu nZEB powinna uwzględniać nie tylko technologie zmierzające do oszczędności energii, ale również przedsięwzięcia poprawiające jakość środowiska w pomieszczeniach.

W celu oceny zapotrzebowania na energię oraz komfortu cieplnego stworzono model budynku, przy pomocy którego wykonano symulacje stosując godzinowy krok czasowy. Do obliczeń użyto programu DesignBuilder. Model został zweryfikowany przy użyciu pomiarów zużycia energii oraz temperatury w wybranych pomieszczeniach.

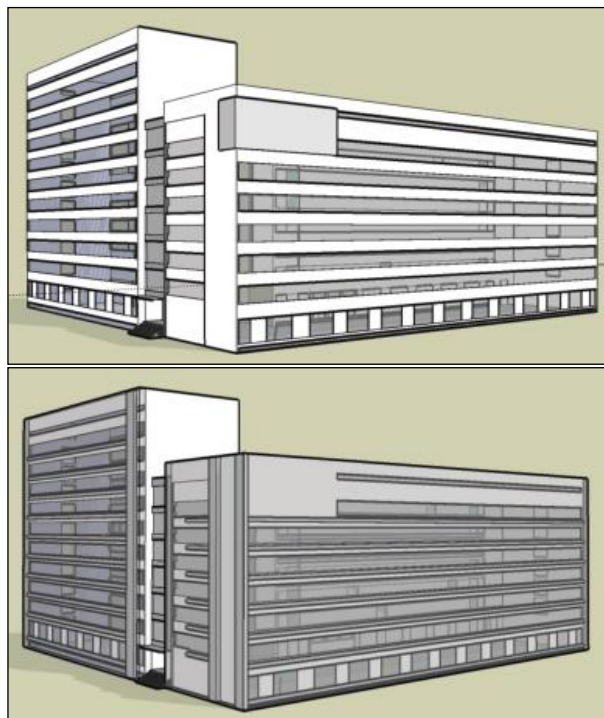
4. PRZEDSIĘWZIĘCIA MODERNIZACYJNE

Analiza architektonicznych uwarunkowań procesu modernizacji analizowanego budynku wykazała brak możliwości istotnej zmiany niezbyt atrakcyjnej bryły. Zdecydowano się jedynie na podwójne fasady na elewacjach południowej i zachodniej [6] (rys. 2). Jednocześnie założono, że proces modernizacji powinien, w jak najmniejszym stopniu, zakłócać normalny proces dydaktyczny. Preferowano rozwiązania zdecentralizowane, prefabrykowane, wymagające pracy przede wszystkim na zewnątrz gmachu.

W procesie zintegrowanego projektowania spośród wielu rozważanych opcji wybrano warianty modernizacyjne, które nie tylko w znaczący sposób pozwalały na ograniczenie zapotrzebowania na energię, ale także pozytywnie wpływały na poprawę jakości środowiska w analizowanych pomieszczeniach. Ostateczna koncepcja projektowa przewiduje następujące przedsięwzięcia modernizacyjne:

- docieplenie ścian zewnętrznych 21 cm wełny mineralnej o współczynniku przewodzenia ciepła 0,031 W/(mK),
- ocieplenie dachu 23 cm wełny mineralnej o współczynniku przewodzenia ciepła 0,035 W/(mK),
- zainstalowanie od strony południowej i zachodniej podwójnych fasad (poprawiających właściwości cieplne oraz akustyczne a także pełniących funkcje elementów zaciemniających),
- dobudowanie atrium od strony dziedzińca,
- wymiana okien na charakteryzujące się współczynnikiem przenikania ciepła 0,9 W/(m²K), współczynnikiem przepuszczalności promieniowania 0,21 oraz współczynnikiem przepuszczalności światła 0,55,
- wyposażenie budynku w wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła (przyjęta sprawność temperaturowa odzysku ciepła wynosi 85%),

- wymianę systemu oświetlenia na diody LED,
- zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii (w przyjętym wariantcie modernizacji powierzchnia ogniw fotowoltaicznych zainstalowanych na fasadzie i dachu budynku została zwiększona do ok. 600 m², a ich moc znamionowa to 489 kWp, przewidziano także gruntową pompę ciepła).



Rys. 2. Widok budynku od strony południowo zachodniej na górze przed modernizacją na dole po modernizacji

Fig. 2. View of building from south west side before (top) and after (down) modernization

Ze względów funkcjonalnych (inne czasy użytkowania w ciągu doby i w ciągu roku) przyjęto zróżnicowanie założeń dla systemu wentylacji zgodnie podziałem na cztery grupy pomieszczeń:

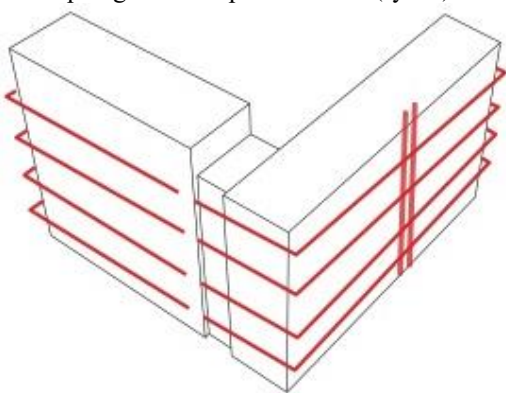
- pomieszczenia dydaktyczne,
- pomieszczenia biurowe,
- laboratoria,
- komunikacja i toalety.

Na potrzeby pomieszczeń dydaktycznych przyjęto centrale wentylacyjne o wydajności nominalnej zależnej od liczby miejsc dla studentów. Założono nominalny strumień powietrza zewnętrznego 30 m³/h osobę. W zależności od wielkości, przewiduje się jedną lub dwie centrale nawiewno-wywiewne z odzyskiem ciepła w każdym pomieszczeniu dydaktycznym. Centrala pobiera powietrze z czerpni zlokalizowanej wewnątrz podwójnej fasady i po podgrzaniu w urządzeniu do odzysku ciepła (ew. podgrzaniu w zintegrowanej nagrzewnicy zastępującej grzejniki c.o.) powietrze będzie wprowadzane do

pomieszczeń przez sieć przewodów i nawiewników lub przez zintegrowany nawiewnik typu wyporowego. W celu unikania pobierania powietrza o zbyt wysokiej temperaturze konstrukcja podwójnej fasady zapewnia przepływ powietrza pomiędzy zewnętrzną taflą szkła a ścianą wewnętrzną.

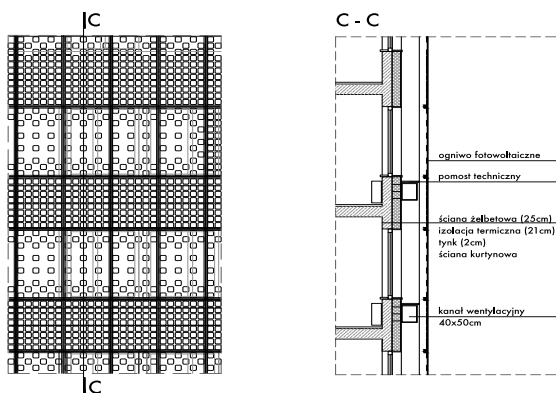
Powietrze wywiewane z pomieszczenia oddając ciepło w wymienniku do odzysku ciepła będzie usuwane systemem poziomych przewodów wentylacyjnych do zbiorczych szachtów wyprowadzających je ponad dach budynku (rys. 3). Ograniczy to ryzyko niekontrolowanego przepływu zanieczyszczeń powietrza pomiędzy wyrzutniami i czerpniami wentylacyjnymi.

Ponieważ pomieszczenia dydaktyczne nie są wykorzystywane w miesiącach letnich (od końca czerwca do połowy września) nie zdecydowano się na wprowadzenie systemu ich chłodzenia, ograniczając się do pasywnych metod ograniczania przegrzewania pomieszczeń (rys. 4).



Rys. 3. Schemat prowadzenia przewodów wentylacji wywiewnej na zewnątrz budynku w przestrzeni podwójnej fasady

Fig. 3. Scheme of arrangement of exhaust ventilation ducts outside the building within double facade space



Rys. 4. Podwójna fasada; jeden z rozpatrywanych wariantów, w którym panele fotowoltaiczne umieszczone na zewnętrznej powierzchni wykorzystywane są jako elementy zacieniające

Fig. 4. Double façade; one of the considered variants in which photovoltaic panels located on the outside surface are used as shading elements

Wszystkie pomieszczenia biurowe zaprojektowano, jako odrębne strefy. W każdym pomieszczeniu biurowym przewidziano indywidualną centralę nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła (sprawność ok 85%). Założono nominalny strumień powietrza zewnętrznego 50 m³/h osobę. Centrala pobiera powietrze z czerpni zlokalizowanej za podwójną fasadą i po podgrzaniu w urządzeniu do odzysku ciepła (ew. podgrzaniu w zintegrowanej nagrzewnicy zastępującej grzejniki c.o.) powietrze wprowadzane jest do pomieszczeń przez sieć przewodów i nawiewników.

W każdym z przypadków bieżąca wartość strumienia powietrza wynika z aktualnego stężenia CO₂, relacji temperatury wewnętrznej i zewnętrznej, programu tygodniowego lub czujnika obecności osób. Ze względu na korzystanie w tych pomieszczeń także w okresie letnim przewidziano możliwość ich chłodzenia.

Obecnie w budynku wykorzystuje się dwa typy źródeł światła: żarowe (udział ok 25%) oraz fluorescencyjne starego typu (udział ok 75%). Propozycja modernizacji obejmuje wprowadzenie oświetlenia przy pomocy diod LED. Jednostkową moc oświetlenia LED przyjęto 5,3-6,3 W/m² dla pomieszczeń gdzie średnie natężenie oświetlenia wynosi 500 lx oraz 3,6-4,2 W/m² we wnętrzach, gdzie średnie natężenie oświetlenia wynosi 300 lx [7].

Ponadto koncepcja modernizacji zawiera ulepszenia w zakresie architektonicznym i użytkowym, np. nowe atrium z przestrzeniami do odpoczynku i miejscami przeznaczonymi do pracy w grupach (rys. 5). Fasady i atrium zostały zaprojektowane z wykorzystaniem elementów "zielonej architektury".



Rys. 5. Wizualizacja aranżacji korytarza w pobliżu dobudowanego atrium. Widoczne elementy zielonej architektury

Fig. 5. Visualization of the corridor arrangement near the added atrium. The elements of green architecture are visible

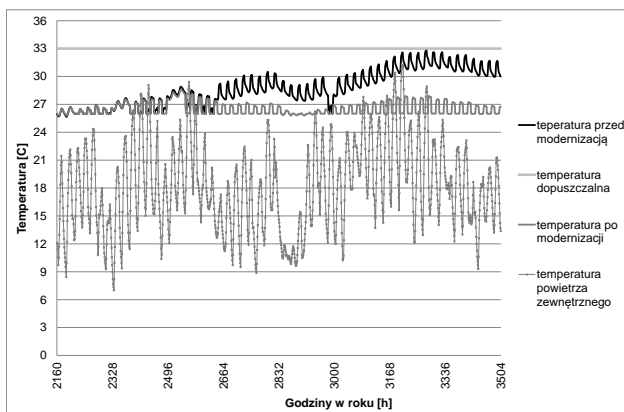
5. WYNIKI ANALIZ

W stanie istniejącym pomieszczenia edukacyjne, laboratoryjne oraz biurowe znajdujące się od strony południowej i zachodniej są w okresie przejściowym oraz letnim silnie przegrzewane. Zaproponowane rozwiązania systemów wentylacji oraz wymiana okien, a przede wszystkim dodatnie od strony południowej i zachodniej podwójnej fasady wpłynie pozytywnie na komfort cieplny w pomieszczeniach. Po wprowadzeniu opisanych modernizacji, liczba godzin, w których temperatura powietrza nie spełnia wymagań komfortu cieplnego dla kategorii II zgodnie z normą PN-EN 15251 [8], powinna zmniejszyć się znacząco. W części biurowej gmachu (pokoje pracowników i administracji) przewidziano opcję chłodzenia, co pozwoli na całkowite zlikwidowanie przegrzewania pomieszczeń. Na rysunku 6 pokazano wykres przebiegu temperatury w okresie letnim przed i po modernizacji w wybranym pokoju biurowym. Wyniki analiz dla reprezentatywnych pomieszczeń przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Liczba godzin w roku poza kategorią II dla wymagań komfortu cieplnego zgodnie z PN-EN 15251 [8]

Table 1. Number of hours per year outside the criteria for the category II for thermal comfort according to PN-EN 15251 [8]

Numer pomieszczenia	przed modernizacją	po modernizacji
202	975	0
230	1740	0
415	18	10
627+629	65	12



Rys. 6. Wykres przebiegu temperatury powietrza w pomieszczeniu 202 (przed i po modernizacji) oraz temperatury powietrza zewnętrznego

Fig. 6. Variations of air temperature in room 202 (before and after modernization) and external air temperature

Przeprowadzono także analizę optymalizacyjną źródeł ciepła dla budynku. Ostatecznie, dla przyjętego

kaskadowego układu zasilania 6% potrzeb grzewczych realizowanych jest za pośrednictwem gruntowej pompy ciepła, 73,9% za pośrednictwem układu mikro kogeneracji, natomiast pozostałe 20,1% za pośrednictwem ciepła z miejskiej sieci ciepłowniczej. Pozwoliło to uzyskać bardzo atrakcyjną wartość wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną budynku po modernizacji (tabela 2).

Tabela 2. Wskaźnik zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną kWh/(m²rok)

Table 2. Specific annual primary energy consumption kWh/(m²year)

Składowa zapotrzebowania	Przed modernizacją	Po modernizacji
- ogrzewanie i wentylacja	72,2	3,50
- urządzenia pomocnicze w systemie ogrzewania i wentylacji	12,1	11,7
- ciepła woda użytkowa	8,8	2,6
- urządzenia pomocnicze w systemie ciepłej wody użytkowej	0,7	0,5
- chłodzenie	0,9	4,9
- oświetlenie	60,6	10,5
- ogniwa PV	-6,5	-27,5
SUMA	148,9	6,2



Rys. 7. Wizualizacja gmachu Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska po planowanej modernizacji

Fig. 7. Visualization of building of the Faculty of Building Services, Hydro and Environmental Engineering after planned modernization

6. WNIOSKI

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP analizowanego budynku wynosi około 150 kWh/(m²rok). Celem projektu była redukcja wskaźnika zapotrzebowania energii poniżej 20 kWh/(m²rok) oraz poprawa warunków komfortu cieplnego. Koncepcja modernizacji budynku obejmuje działania zwiększające

izolacyjność cieplną przegród zewnętrznych (ścian zewnętrznych, okien, dachu) oraz działania w obszarze systemów technicznych budynku (HVAC, ciepłej wody użytkowej, oświetlenia, odnawialnych źródeł energii). Pomieszczenia biurowe wyposażono w system chłodzenia. Dla przyjętego zestawu przedsięwzięć modernizacyjnych uzyskano wartość wskaźnika EP 6,2 kWh/(m²rok). Jednocześnie radykalnie ograniczono zjawisko przegrzewania pomieszczeń zlokalizowanych na elewacjach południowej i zachodniej. Dzięki zastosowaniu procesu zintegrowanego projektowania osiągnięto nie tylko znaczącą redukcję zapotrzebowania na energię pierwotną, ale także poprawę jakości środowiska we wnętrzach, a także funkcjonalności i architektury budynku (rys. 7).

THE CONCEPT OF IMPROVING INDOOR ENVIRONMENT IN AN EXEMPLARY PUBLIC UTILITY BUILDING MODERNIZED TO THE NZEB STANDARD

Summary: The project KOD nZEB 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.

Building needs general modernization of the both façade and the interior. The performed measurements indicated that undertaken actions should take into account not only energy saving innovations, but also should substantially improve unsatisfactory indoor environment quality.

The annual energy use for current building, presented as energy performance indicator EP, is about 150 kWh/m². The goal of the project is to reduce it to the level < 20 kWh/m². The planned actions include modernization of building elements (external walls, roofs, windows) as well as technical systems (ventilation, heating, hot water, lighting and RES). Moreover, modernization concept includes some improvements in social use of the building e.g. new atrium with spaces for rest and group activities. Façades and planned atrium will be designed using "green architecture" concept.

The paper discusses in details planned actions showing their effect in two dimensions: environmental and energetic. Presented results are based on the in-situ measurements and computer simulation performed using DesignBuilder software.

Literatura

- [1] Recast Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [2] Krajowy plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii wprowadzony uchwałą Prezesa Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 roku
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać

budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690 z późn. zmianami)

[4] The Building Performance Institute Europe (BPIE) *Implementing Nearly Zero-Energy Buildings (Nzeb) In Poland – Towards a Definition And Roadmap*. Executive Summary. 2012

[5] Sowa J., Noga-Zygmunt J., Ugorowska J., *Ocena parametrów powietrza wewnętrznego w budynku wyższej uczelni przed przewidywaną modernizacją do standardu niemal zero energetycznego*, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, 9 (3) (2017) 41-46

[6] Ryńska, E., Kozmińska, U., Oniszk-Poplawska, A., Szubert-Klinowska, D., Tofiluk, A., *Sustainable Interdisciplinary Transformation of Warsaw University of Technology Buildings. KODnZEB Case Study*. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(4) (2017) 763-771.

[7] Pracki, P., Błaszczak, U. J. *The issues of interior lighting on the example of an educational building adjustment to nZEB standard*. In *Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen)*, (2016, September). IEEE (pp. 1-6). IEEE.

[8] PN-EN 15251 Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas

Niniejszy artykuł powstał w ramach projektu KODnZEB pt: „Koncepcja dostosowania dwóch wybranych budynków do standardu niemal zero-energetycznego” dofinansowanego ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2009-2014 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.

This paper was performed with the financial support of EEA Financial Mechanism 2009-2014 in the framework of the Bilateral Cooperation Fund at the level of the Operational Program PL04 “Saving energy and promoting renewable energy source” within the framework of the project KODnZEB: “Thermo-modernization of two chosen Public Buildings according to nZEB Standards”. The project is realized in cooperation with Norwegian University of Science and Technology.