



Ludomir Duda

05-552 Magdalenka ul. Polna 15
NIP 123-071-09-29 REGON 141646017
dudalud@gmail.com tel. +48 509 850 255
Autoryzacja KAPE 0001

**Wytyczne w zakresie podniesienia
efektywności energetycznej
w obiektach użyteczności publicznej
na bazie wybranych budynków oświatowych
m.st. Warszawy**

LUDOMIR DUDA

Warszawa, kwiecień 2016 r.

Spis treści

I.	Słowniczek pojęć, wykaz symboli, jednostek i skrótów	4
II.	Wstęp	9
	1. Wybrane akty prawne i normy regulujące zagadnienia efektywności energetycznej	9
	1.1. Metodologia określania zmiany standardu energetycznego	11
	1.2. Założenia	11
III.	Analiza potencjału oszczędności ciepła i jego kosztów w obiektach oświatowych m.st. Warszawy	15
	1. Standard przegród budowlanych	15
	2. Analiza potencjału oszczędności ciepła w wyniku modernizacji przegród	16
	2.1. Ocieplenie ścian zewnętrznych	16
	2.2. Ocieplenie stropodachów i dachów	18
	2.3. Ocieplenie ścian fundamentowych piwnic	19
	2.4. Wymiana okien	20
	3. Analiza potencjału oszczędności w wyniku modernizacji instalacji wentylacyjnych w obiektach oświatowych	21
	4. Analiza potencjału oszczędności energii, wody i kosztów w wyniku modernizacji instalacji ciepłej wody użytkowej (CWU) w obiektach oświatowych	24
	4.1. Potencjał oszczędności energii i kosztów w wyniku modernizacji systemu centralnego ogrzewania	27
	5. Oszacowanie kosztów głębokiej termomodernizacji	28
IV.	Analiza potencjału oszczędności energii elektrycznej i jej kosztów w obiektach oświatowych m.st. Warszawy	30
	1. Potencjał redukcji kosztów energii elektrycznej w wyniku optymalizacji taryfowej, dostosowania mocy zamówionej do potrzeb i likwidacji mocy biernej	30
	2. Potencjał redukcji zużycia i kosztów energii elektrycznej oraz emisji CO ₂ w wyniku inwestycji polegających na wymianie lamp ze źródłami wysokoprężnymi i żarowymi na lampy ze źródłami LED	31
V.	Strategia opłacalnych ekonomicznie inwestycji redukujących emisję CO ₂ w obiektach oświatowych m.st. Warszawy	34
	1. Stan na rok 2014	34
	2. Analiza statystyczna	35
	3. Potencjał techniczny redukcji zapotrzebowania na energię w budynkach oświaty	37
	4. Metodologia określenia potencjału ekonomicznego redukcji zapotrzebowania na ciepło	38
	5. Kryteria wyboru obiektów oświatowych do termomodernizacji i związany z nimi potencjał redukcji zapotrzebowania na ciepło	39

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

5.1. Kryterium ekonomiczne dla budynków zasilanych z sieci ciepłowniczej.....	39
5.2. Kryterium logistyczne.....	40
5.3. Kryterium ekonomiczne dla budynków zasilanych gazem z sieci gazowej	40
5.4. Kryterium ekonomiczne dla budynków zasilanych lekkim olejem opałowym	41
5.5. Kryterium ekonomiczne dla budynków ogrzewanych energią elektryczną	41
VI. Podsumowanie.....	42
1. Ciepło	42
2. Energia elektryczna	42
PRZYPISY KOŃCOWE	44
VII. Szczegółowe wytyczne do SIWZ	45
1. Rekomendacje w sprawie szczegółowych wytycznych do SIWZ dla zamówienia o wykonanie Audytu Energetycznego.....	45
2. Rekomendacje w sprawie SIWZ i kryteriów wyboru projektu w procedurze konkursowej	48
3. Rekomendacje dla SIWZ i kryteriów wyboru wykonawcy w trybie „zaprojektuj i wybuduj”	49
VIII. Załączniki:	52

I. Słowniczek pojęć, wykaz symboli, jednostek i skrótów

DIALUX – czołowa aplikacja do profesjonalnego planowania oświetlenia.

Głęboka termomodernizacja – Inwestycja zmniejszająca zapotrzebowanie budynku na energię, w ramach której realizowane są wszystkie technicznie możliwe i ekonomicznie racjonalne przedsięwzięcia termomodernizacyjne

Kogeneracja także **skojarzona gospodarka energetyczna** lub **CHP** – (*Combined Heat and Power*) – proces technologiczny jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i użytkowego ciepła w elektrociepłowni. Ze względu na mniejsze zużycie paliwa, zastosowanie kogeneracji daje duże oszczędności ekonomiczne i jest korzystne pod względem ekologicznym – w porównaniu z odrębnym wytwarzaniem ciepła w klasycznej ciepłowni i energii elektrycznej w elektrowni kondensacyjnej.

Kwintyl – kwantyl rzędu $\frac{1}{5}$; jedno z pojęć statystyki i rachunku prawdopodobieństwa oznaczające część zbioru danych, która powstała po podzieleniu zbioru na pięć równych części.

OZC – Programy z serii Audytor OZC, w zależności od wersji służą do wspomagania obliczania projektowego obciążenia cieplnego pomieszczeń, określania sezonowego zapotrzebowania na energię cieplną i chłodniczą budynków oraz wykonywania Świadectw Energetycznych budynków i ich części. Programy wykonują również analizę wilgotnościową przegród budowlanych.

Przedsięwzięcia termomodernizacyjne – pojedyncze ulepszenie elementu budynku mającego wpływ na jego bilans energetyczny takie jak: ocieplenie zewnętrznej przegrody budowlanej, modernizacja systemu wentylacyjnego, modernizacja instalacji centralnego ogrzewania lub ciepłej wody użytkowej, modernizacja źródła ciepła, modernizacja oświetlenia wbudowanego.

Rekuperacja – wymiana ciepła pomiędzy strumieniem powietrza usuwanego i nawiewanego do pomieszczenia lub budynku wyposażonych w instalację wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej.

Liczba Stopniodni – miara ostrości sezonu grzewczego dana wzorem

$$Sd = \sum (t_i - t_e(m)) * Ld(m)$$

gdzie:

Sd liczba stopniodni [K*doła]

Ld(m) liczba dni ogrzewania w m-tym miesiącu,

t_i temperatura wewnętrzna eksploatacyjna [°C]

t_e(m) średnia wieloletnia temperatura powietrza zewnętrznego w m-tym miesiącu [°C]

Systemy klimatyzacyjne VRF – ze zmiennym przepływem czynnika chłodniczego umożliwia regulację przepływu tego czynnika w zależności od zapotrzebowania

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

klimatyzowanego obiektu na chłód lub ciepło. Innymi słowy, układ dopasowuje wydajność chłodniczą lub grzewczą do rzeczywistych, wymaganych w danej chwili warunków eksploatacji. Dopasowanie wydajności chłodniczej i grzewczej możliwe jest dzięki zastosowaniu w jednostce zewnętrznej inwertera, który steruje napięciem, prądem i częstotliwością zasilania sprężarki – serca klimatyzatora, przez co umożliwia gładką, liniową zmianę prędkości obrotowej i wydajności tego urządzenia.

Wentylacja nawiewno-wywiewna – najskuteczniejszy system wentylacji, powszechny w budownictwie, charakteryzuje się kontrolowanymi ilościami powietrza nawiewanego oraz wywiewanego, zapewniając komfort w całym budynku.

Wydawnictwo Sekocenbud – Firma Ośrodek Wdrożeń Ekonomiczno-Organizacyjnych Promocja Sp. z o.o. zajmujące się gromadzeniem, przetwarzaniem i publikowaniem informacji o cenach i wskaźnikach w budownictwie, przeznaczonych do sporządzania wszelkiego typu kalkulacji, opracowań i analiz.

XPS (ekstrudowana pianka polistyrenowa) - nowoczesny materiał powszechnie stosowany na całym świecie w budownictwie do termoizolacji fundamentów, piwnic, dachów odwróconych i miejsc narażonych na stały kontakt z wilgocią, posiada także wiele zastosowań w sektorze reklamy. Materiał cechuje się zamknięto-komórkową, jednorodną strukturą w całej swojej masie, co gwarantuje utrzymanie jego właściwości izolacyjnych w długim okresie. XPS posiada doskonały współczynnik przenikania ciepła ' λ ' i bardzo wysoką wytrzymałość na ściskanie, zależną od jego klasy. Płyty te spieniane są dwutlenkiem węgla, w związku z czym są ekologiczne i przyjazne dla środowiska naturalnego. Produkowane w Europie płyty mają nazwę między innymi Styrodur.

Powierzchnia ogrzewana obiektu – powierzchnia o regulowanej temperaturze w rozumieniu Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz.U. 2015.376

A/V [1/m] współczynnik zwartości bryły budynku

gdzie:

A [m²] suma pól powierzchni wszystkich przegród oddzielających część ogrzewaną budynku od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych liczona po obrysie zewnętrznym

V [m³] kubatura ogrzewanej części budynku pomniejszona o podcienie, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym.

dżul [J] jednostka strumienia energii w układzie SI

EP [kWh/m²/rok] wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną

EK [kWh/m²/rok] wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową

EU [kWh/m²/rok] wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową

H_{tr}[W/K] współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

H_{ve} [W/K]	współczynnik strat mocy cieplnej na wentylację
M_{CO₂}[Mg]	masa dwutlenku węgla – potencjał redukcji emisji
N_u [zł/m²]	nakłady na jednostkę powierzchni
N [zł]	nakłady
n [1/h]	ilość wymian powietrza na godzinę
R [(m² *K) /W]	opór cieplny - stosunek grubości warstwy materiału do współczynnika przewodnictwa cieplnego rozpatrywanej warstwy materiału
Q_p [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla ogrzewania i wentylacji, przygotowania ciepłej wody
Q_p = Q_{pH} + Q_{pw} + Q_{pve}	
gdzie:	
Q_{pH} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla ogrzewania
Q_{pw} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla przygotowania ciepłej wody
Q_{pve} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla wentylacji
Q_k [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla ogrzewania i wentylacji, przygotowania ciepłej wody
Q_k = Q_{kH} + Q_{kw} + Q_{kve}	
gdzie:	
Q_{kH} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla ogrzewania
Q_{kw} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla przygotowania ciepłej wody
Q_{kve} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię końcową dla wentylacji
Q_u [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię użytkową dla ogrzewania, przygotowania ciepłej wody i wentylacji,
Q_u = Q_{uH} + Q_{uw} + Q_{uve}	
gdzie:	
Q_{uH} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię użytkową dla ogrzewania
Q_{uw} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię użytkową dla przygotowania ciepłej wody
Q_{uve} [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię użytkową dla wentylacji
Q₀ [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię przed termomodernizacją
Q₁ [kWh/rok]	roczne zapotrzebowanie na energię po termomodernizacji
ΔO_r [zł]	oszczędność kosztów energii
R_{em} [Mg CO₂]	redukcja emisji CO ₂
U [W/(m² *K)]	współczynnik przenikania ciepła
U_K [W/(m² *K)]	współczynnik przenikania ciepła uwzględniający mostki cieplne

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

U_0 [W/(m²*K)]	współczynnik przenikania ciepła przed termomodernizacją
U_1 [W/(m²*K)]	współczynnik przenikania ciepła po termomodernizacji
P_{REel} [kWh]	potencjał redukcji energii elektrycznej
W [wat]	jednostka mocy w układzie SI
λ [W/(m*K)]	współczynnik przewodzenia ciepła; wyraża wielkość przepływu ciepła przez jednostkową powierzchnię z materiału o danej grubości, jeśli różnica temperatur między dwiema jego stronami wynosi 1 Kelwin
η [%]	sprawność średnio sezonowa urządzeń wentylacyjnych
η_{totw}	sprawność całkowita systemu ciepłej wody użytkowej
K	stopnie Kelwina - jednostka temperatury
GWh	gigawatogodziny - jednostka energii = 10 ⁹ Wh
ppm	(ang. <i>parts per million</i>) – sposób wyrażania stężenia bardzo rozcieńczonych roztworów związków chemicznych. W przypadku mieszanin gazów stężenie wyrażone w ppm może być łatwo przeliczone ze stężenia molowego poprzez pomnożenie tego ostatniego przez milion oraz objętość 1 mola gazu w warunkach normalnych (22,4 dm ³).

Skróty

BDBOBIN_C	Baza Danych Budynków Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy z danymi budynków zaopatrywanych w ciepło z różnych źródeł
BDBOBIN_E	Baza Danych Budynków Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy z danymi budynków o zużyciu energii elektrycznej
BREEAM	brytyjski, wielokryterialny system certyfikacji budynków stworzony przez organizację BRE. System wielokryterialnej oceny budynków BREEAM pozwala na certyfikację obiektów biurowych, handlowych i przemysłowych
CWU	ciepła woda użytkowa
DGNB	niemiecki certyfikat DGNB jest najmłodszym systemem certyfikacji. Jest opracowany przez Niemieckie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego i jest najbardziej przejrzystym z wielokryterialnych systemów oceny budynków.
LED	dioda elektroluminescencyjna, dioda świecąca (ang. <i>light-emitting diode</i> , LED) – dioda zaliczana do półprzewodnikowych przyrządów optoelektronicznych, emitujących promieniowanie w zakresie światła widzialnego, podczerwieni i ultrafioletu
LEED	Leadership in Energy and Enviromental Design – jeden z najbardziej rozpowszechnionych na świecie systemów wielokryterialnej oceny budynków, powstał w Stanach Zjednoczonych
NPV	różnica pomiędzy zdyskontowanymi przepływami pieniężnymi a nakładami początkowymi
OZE	odnawialne źródła energii
SCOP	współczynnik Sezonowej Efektywności – oznacza sezonową wydajność w trybie grzania
SEER	sezonowy Współczynnik Efektywności Energetycznej – oznacza sezonową ocenę efektywności energetycznej w trybie chłodzenia
SPBT [lata]	prosty czas zwrotu nakładów

II. Wstęp

1. Wybrane akty prawne i normy regulujące zagadnienia efektywności energetycznej

Problematyka efektywności energetycznej jest kluczowym elementem polityki klimatyczno-energetycznej, zarówno na szczeblu krajowym, jak i unijnym. Obecne regulacje w tym zakresie wynikają z podjętej przez Radę Europejską w 2007 r. decyzji dotyczącej przeciwdziałania zmianom klimatu. Znalazła ona wyraz w przedstawionym przez Komisję Europejską w 2008 r. pakiecie dokumentów, głównie legislacyjnych, stanowiących tzw. Pakiet klimatyczno-energetyczny. Poniżej przedstawiono zestaw najważniejszych aktów prawnych i norm mających bezpośredni związek, z problematyką efektywności energetycznej będącej przedmiotem niniejszej ekspertyzy.

Dyrektywy:

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/72/WE z dnia 13 lipca 2009 r. dotycząca wspólnych zasad rynku wewnętrznego energii elektrycznej i uchylająca dyrektywę 2003/54/WE (Dz. U. UE L 09.211.55)

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 10 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz. U. UE L 153)

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Dz. U. UE L 153/1)

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dz. U. UE L 315/1)

Ustawy:

Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane Dz.U.2013.1409. Brzmienie od dnia 8 marca 2016 r.

Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów – Dz.U. Nr 223, poz.1459

Ustawa z dnia 15 kwietnia 2011 r. o efektywności energetycznej – Dz.U.Nr 94, poz. 551

Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii – Dz.U.2015.478

Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków – Dz.U.2014.1200

Ustawa z dnia 12 września 2002 r. o oświetleniu miejsc pracy we wnętrzach – Dz.U.Nr.169, poz. 1386

Rozporządzenia:

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Dz.U. 2009 nr 43 poz. 346

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii. Dz.U. 2012.962

Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz.U. 2015.376

Normy:

PN-EN 16247:2014 Audity energetyczne część 1: wymagania ogólne

PN-EN 16247:2014 Audity energetyczne część 2: budynki

PN-EN 12464-1-2012 Światło i oświetlenie

PN-EN 50001:2009 System Zarządzania energią

PN-EN ISO 13790:2008 Obliczanie zapotrzebowania na energię na potrzeby ogrzewania, wentylacji i chłodzenia metodą bilansów miesięcznych.

PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Stabelaryzowane wartości obliczeniowe

PN-EN ISO 6946:2004 Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania

PN-EN ISO 10211-1:2005 Mostki cieplne w budynkach – Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni – Część 1: Metody ogólne

PN-EN ISO 10211-2:2002 Mostki cieplne w budynkach – Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni – Część 2: Liniowe mostki cieplne

PN-EN ISO 13370:2001 Ciepłne właściwości użytkowe budynków – Wymiana ciepła przez grunt – Metoda obliczania

PN-EN ISO 10077:2002 Ciepłne właściwości użytkowe okien, drzwi i okiennic – Obliczanie współczynnika przenikania ciepła – Część 1: Metoda uproszczona

PN-EN ISO 13789:2001 Ciepłne właściwości użytkowe budynków – Współczynnik strat ciepła przez przenikanie – Metoda obliczania

PN-EN ISO 14683:2001 Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne

PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – wymagania

ASHRAE 62-1989 Ventilation for acceptable Indoor Air Quality

1.1. Metodologia określania zmiany standardu energetycznego

Podniesienie efektywności energetycznej w budynkach użyteczności publicznej wymaga podjęcia inwestycji polegających na: podniesieniu oporu cieplnego przegród budowlanych i likwidacji mostków cieplnych, modernizacji systemu wentylacyjnego w tym uszczelnienia budynku, poprawienia sprawności źródeł ciepła oraz systemów: grzewczego, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia wbudowanego. Wybór każdego z wymienionych wyżej przedsięwzięć termomodernizacyjnych i ich optymalizacja dla konkretnego obiektu są przedmiotem znormalizowanej procedury Audytu Energetycznego (*Norma PN EN 16 247*).

Wyżej wymieniona Norma ma uniwersalny charakter. Oprócz niej w polskim prawie obowiązuje, na mocy rozporządzeń wykonawczych do kilku ustaw, szereg szczegółowych wytycznych co do formy Audytu Energetycznego. Ponieważ zakres niniejszego opracowania nie odpowiada literalnie żadnej z tych ustaw a zawarte w rozporządzeniach do nich formaty Audytu nie są sprzeczne z zapisami *Normy PN EN 16 247*, przyjęto procedurę z tej Normy.

1.2. Założenia

Na potrzeby oszacowania potencjału oszczędności energii w budynkach oświaty m.st. Warszawy umieszczonych w Bazie Danych Budynków Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy **BDBOBIN_C** załącznik (1), konieczne było przyjęcie szeregu założeń.

Pierwszym z nich był wybór docelowego standardu energetycznego każdego z elementów obiektu mogącego podlegać termomodernizacji tak, by w sposób optymalny pod względem kosztów, spełniał wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej.

Przyjęto, że minimalny standard energetyczny przegród budowlanych po termomodernizacji, powinien spełniać wymagania stawiane przez *Rozporządzenie o warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* po roku 2021 lub wyższe jeśli podwyższenie tych wymagań będzie się charakteryzować dodatnią wartością różnicy pomiędzy zdyskontowanymi przepływami pieniężnymi, a nakładami ($NPV > 0$). Wyliczenie efektywności zwiększenia oporu cieplnego przegród budowlanych i kosztów inwestycyjnych zostało przeprowadzone dla potencjalnie najgorszej przegrody występującej w budynkach oświaty, o współczynniku przenikania ciepła $U = 1,9$ [$W/(m^2K)$] oraz wartości współczynnika przenikania ciepła $U = 0,5$ [$W/(m^2K)$] jaki obowiązywał dla ścian jednorodnych do roku 2008, kiedy to zmiana *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, wprowadziła jedną wartość współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych $U = 0,3$ [$W/(m^2K)$].

Dla systemów wentylacji przyjęto, że docelowa jakość powietrza w budynkach oświaty, mierzona stężeniem CO_2 , będzie odpowiadała **stężeniu 800 ppm** zgodnie z wymaganiami normy *ASHRAE 62-1989 Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*. Normę tę przyjęto wobec braku polskich wymagań dla stężenia CO_2 w pomieszczeniach. **Utrzymanie takiego stężenia CO_2 wymaga zapewnienia strumienia powietrza wentylacyjnego na poziomie 40 [$m^3/h/osobę$]** i jest dwukrotnie wyższe od minimalnych wymagań zawartych w *Normie*

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania. Taki też strumień powietrza wentylacyjnego przyjęto przy wyliczeniu efektywności energetycznej termomodernizacji i nakładów inwestycyjnych.

Dla instalacji ciepłej wody użytkowej (CWU) przyjęto, z braku jakichkolwiek danych w tym zakresie w Bazie Danych Budynków Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy, jako wyjściowy aktualny wskaźnik zużycia ciepłej wody w budynkach oświatowych określony w *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.* Jest to niewątpliwie założenie bardzo ostrożne i dla takiego zużycia wyliczono oszczędności i nakłady na modernizację instalacji CWU.

Dla oświetlenia wbudowanego przyjęto, że dla oświetlenia z zastosowaniem lamp wyładowczych **zapotrzebowanie na moc dla oświetlenia wbudowanego wynosi minimum 15 [W/m²]**. Na podstawie symulacji w programie DIALUX, wyliczono, że maksymalne zapotrzebowanie na moc elektryczną dla oświetlenia LED w klasach ma wartość 5 [W/m²]. Zatem **minimalna redukcja mocy lamp** w przypadku wymiany lamp wyładowczych na lampy LED **to 10 [W/m²]**. **Dla takiego założenia wyliczono oszczędności i nakłady na modernizację oświetlenia.**

Na bazie takich założeń zostały wyliczone średnie koszty dla głębokiej termomodernizacji przeliczone na jednostkową powierzchnię ogrzewaną budynków oświatowych zasilanych z miejskiej sieci ciepłowniczej. Dla wykonania tych obliczeń przyjęto, że dla budynków oświatowych średni współczynnik kształtu $A/V=0,4 \text{ m}^{-1}$.

Dla obiektów zasilanych gazem, olejem opalowym i energią elektryczną koszty te zostały powiększone o koszt zainstalowania pomp ciepła powietrze-powietrze systemu VRF. Jednostkowy koszt modernizacji systemu VRF szacowany jest na 95 [zł/m²] powierzchni ogrzewanej. Wskaźnik ten, podobnie jak pozostałe wskaźniki w opracowaniu, przyjęto na podstawie wykonanego przez autora, Audytu Energetycznego Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych Nr 1 w Końskich. Zespół Szkół wybudowano w roku 1974, a w roku 2016 przystąpiono do realizacji inwestycji głębokiej termomodernizacji, finansowanej przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej – Fundusz Norweski. Inwestycja obejmuje ocieplenie ścian zewnętrznych i dachów, wymianę stolarki okiennej, instalację wentylacji mechanicznej z rekuperacją, wymianę źródeł światła na LED i instalację systemu grzewczego na bazie pomp ciepła systemu VRF. Zawarte w Audycie wyliczenia przewidują redukcję emisji w wyniku inwestycji o 89% i redukcję zapotrzebowania na energię w wysokości 95%.

Uwaga:

Po przeanalizowaniu Bazy Danych Budynków Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy nie znaleziono istotnych statystycznie różnic w zapotrzebowaniu na energię dla poszczególnych typów placówek. Dlatego nie dokonano, jak wymagało zamówienie, podziału placówek na co najmniej 3 podgrupy i nie określono dla każdej z nich wartości współczynnika zapotrzebowania na energię.

W to miejsce dokonano podziału placówek ze względu na rodzaj energii służącej do wytwarzania ciepła w budynku. Dla rodzajów energii innych niż sieć ciepłownicza, zakres termomodernizacji powiększono o instalacje pomp ciepła systemu VRF.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Analiza potencjału oszczędności energii na potrzeby ogrzewania została wykonana w następujący sposób:

Wyjściowa Baza Danych Budynków Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy poddana analizie, obejmująca dane o zużyciu energii w roku 2014, została uszeregowana ze względu na rosnące zużycie ciepła na jednostkę powierzchni ogrzewanej obiektu. Z bazy usunięto obiekty o zapotrzebowaniu na energię (do ogrzewania, wentylacji i przygotowania CWU) mniejszym niż 80 [kWh/m²/rok]. Taki poziom zapotrzebowania na Energię Końcową jest w istniejących budynkach niepoddanych głębokiej termomodernizacji praktycznie niemożliwy. Prawdopodobnie baza danych zawiera błędne dane o wielkości ogrzewanej powierzchni.

Z nich została utworzona nowa baza danych **BDBOBIN_C** załącznik (1), licząca 583 obiekty, uszeregowane od najwyższego do najniższego potencjału oszczędności energii.

Potencjał oszczędności energii dla danego obiektu został określony jako różnica pomiędzy dotychczasowym wskaźnikiem zapotrzebowania na energię na jednostkę powierzchni, a wartością 35 [kWh/m²/rok] – wskaźnikiem zapotrzebowania na energię końcową (do ogrzewania, wentylacji i przygotowania CWU) wyliczonym w Audycie Energetycznym dla Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych Nr 1 w Końskich.

Jako techniczny potencjał redukcji zapotrzebowania na energię (do ogrzewania, wentylacji i przygotowania CWU) przyjęto sumę oszczędności energii wszystkich obiektów o zapotrzebowaniu ≥ 80 [kWh/m²/rok]:

$$\Delta Q \left[\frac{kWh}{rok} \right] = \sum_{583}^1 A_i [m^2] * \left(Q_{0i} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot rok} \right] - 35 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot rok} \right] \right) \quad (1)$$

gdzie:

ΔQ – oszczędność energii

n = 583 – liczba analizowanych budynków oświatowych

A_i – powierzchnia i-tego budynku z „n” budynków

Q_{0i} – jednostkowa energochłonność i-tego budynku

Nakłady na termomodernizację określono jako sumę iloczynów powierzchni ogrzewanej danego obiektu i sumy kosztów wszystkich przedsięwzięć termomodernizacyjnych przeliczonych na jednostkę powierzchni.

$$N = \sum_n^1 A_i [m^2] * C \left[\frac{zł}{m^2} \right] \quad (2)$$

gdzie:

n = 583 – liczba analizowanych budynków oświatowych

A_i – powierzchnia i-tego budynku z „n” budynków

C = 500 zł – suma kosztów; jednostkowy koszt głębokiej termomodernizacji i 595 zł dla obiektów, w których źródło energii zostało zmienione na VRF (Tab.9) *

***Uwaga:** W zakres niniejszego opracowania nie wchodzi analiza cen na rynku inwestycji energooszczędnych. Przywoływane ceny są arbitralną oceną autora opracowania wynikającą z doświadczenia, informacji zwartych na stronach internetowych, informacji z SEKOCENBUDU i własnych szacunków. Przy czym szacowane ceny należy traktować

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

jako maksymalne biorąc pod uwagę możliwości wykorzystania skali inwestycji organizowanych przez poszczególne Dzielnice lub m.st. Warszawę.

III. Analiza potencjału oszczędności ciepła i jego kosztów w obiektach oświatowych m.st. Warszawy

1. Standard przegród budowlanych

Budynki oświatowe w Warszawie powstawały w bardzo w różnym czasie. Budynki wybudowane przed wojną miały ściany z cegły czerwonej grubości od 0,28 m do 0,55 m lub więcej na najniższej kondygnacji. Taki sposób budowania panował do roku 1966. W latach 1967–1976 obowiązywała dla ścian zewnętrznych $U_k \leq 1,16$ [W/(m²K)] co odpowiada grubości muru na dwie cegły 55 cm z tynkami i dla dachów $U \leq 0,87$ [W/(m²K)]. W latach 1976–1983 nowa norma podniosła wymagania dotyczące dachów do $U \leq 0,7$ [W/(m²K)]. Kolejne zaostwienie norm miało miejsce w roku 1983 i obowiązywało do roku 1992. Ściany zewnętrzne wg tej regulacji miały mieć $U_k \leq 0,75$ [W/(m²K)] i stropodachy $U \leq 0,45$ [W/(m²K)]. Od roku 1992 do 1997 odpowiednie wartości współczynników przenikania ciepła wynosiły $U_k \leq 0,55$ [W/(m²K)] i $U \leq 0,3$ [W/(m²K)]. Kolejna zmiana norm dokonana została w roku 1998 i obowiązywała do 2008 roku. Odpowiednio wymagania dla ścian zewnętrznych jednorodnych $U_k \leq 0,5$ [W/(m²K)] i dla ścian wielowarstwowych $U_k \leq 0,3$ [W/(m²K)], stropodachów $U \leq 0,3$ [W/(m²K)].

W roku 2008 podniesiono wymagania dla stropodachów do $U \leq 0,25$ [W/(m²K)] i zlikwidowano rozróżnienie między ścianami wielo- i jednowarstwowymi, łągając wymagania dla ścian niejednorodnych przez usunięcie indeksu „k”, który oznaczał konieczność uwzględniania wpływu mostków ciepła.

Jak wynika z powyższego przeglądu norm, występują budynki oświatowe o ścianach zewnętrznych o wartościach współczynników od $U = 1,9$ [W/(m²K)] do $U = 0,3$ [W/(m²K)] z dachami od $U = 1,4$ [W/(m²K)] do $U = 0,25$ [W/(m²K)].

Praktycznie nie ociepla się podłóg na gruncie głównie ze względów technicznych – zmniejszenie wysokości pomieszczeń – i ekonomicznych ze względu na wysokie koszty wykończenia podłóg.

W przypadkach występowania nieogrzewanych piwnic ociepla się stropy nad piwnicą, przy czym często grubość warstwy ocieplającej jest limitowana wysokością piwnicy.

Nieco innymi prawami rządzi się podnoszenie izolacyjności przegród przezroczystych, czyli wymiana okien. Związane jest to ze znacznie rozbudowaną funkcją okien, które przede wszystkim mają zapewnić kontakt wzrokowy z otoczeniem i dostarczać do pomieszczenia światło dzienne, a w przypadku wentylacji grawitacyjnej, dostarczać szczelinami świeże powietrze do pomieszczeń. Realizacja tych funkcji ogranicza własności ciepłochronne okien, skutkiem czego ich własności izolacyjne są kilkakrotnie gorsze niż przegród nieprzezroczystych.

Tabela 1. Standard energetyczny ścian i dachów w latach 1967–2021

Lata	Ściana zewnętrzna U [$W/(m^2K)$]	Dachy i stropodachy U [$W/(m^2K)$]
1967–1976	$U_k \leq 1,16$	$U_k \leq 0,87$
1976–1983	$U_k \leq 1,16$	$U_k \leq 0,70$
1983–1992	$U_k \leq 0,75$	$U_k \leq 0,45$
1992–1998	$U_k \leq 0,55$	$U_k \leq 0,30$
1998–2008	$U_k \leq 0,50$ ściana jednorodna $U_k \leq 0,30$ ściana wielowarstwowa	$U_k \leq 0,25$
2008–2014	$U \leq 0,30$	$U \leq 0,25$
2014–2017	$U \leq 0,25$	$U \leq 0,20$
2017–2021	$U \leq 0,23$	$U \leq 0,18$
2021–	$U \leq 0,20$	$U \leq 0,15$

2. Analiza potencjału oszczędności ciepła w wyniku modernizacji przegród

2.1. Ocieplenie ścian zewnętrznych

Poprawa standardu energetycznego ścian zewnętrznych polega na ich ociepleniu, czyli pokryciu dodatkową warstwą materiału izolacyjnego. **Obecnie najefektywniejszym ekonomicznie materiałem izolacyjnym jest styropian.**

Uwaga: Umowy realizacyjne na wykonanie ocieplenia muszą także zawierać klauzule umożliwiające pobranie próbek materiałów na placu budowy i przebadanie ich na zgodność z deklarowanymi parametrami technicznymi, w certyfikowanej placówce badawczej. Jest to wskazane wobec powszechnych praktyk niedotrzymywania przez producentów gwarantowanych parametrów izolacyjności.

Uwaga: Każdorazowe zastosowanie styropianu do ocieplenia ścian zewnętrznych wymaga wykonania analizy przepływu wilgoci w przegrodzie. Wynika to z faktu większego niż w materiale ściany oporu dyfuzyjnego styropianu, co może prowadzić w niektórych przypadkach, do zawilgocenia przegrody budowlanej i znacznego pogorszenia własności izolacyjnych.

Technologia ocieplania ścian zewnętrznych styropianem polega na przygotowaniu powierzchni ocieplanej, przyklejenia i zakołkowania warstwy styropianu, a następnie nałożenie na tę warstwę kleju, siatki zbrojącej i tynku cienkowarstwowego.

Uwaga: Biorąc pod uwagę negatywny wpływ na budynek zbyt grubych ścian zewnętrznych, chociażby ze względu na zmniejszenia strumienia światła dziennego dopływającego do pomieszczeń, należy stosować styropiany o najniższym współczynniku przewodzenia ciepła λ [$W/(mK)$].

Standard energetyczny ścian zewnętrznych, których termomodernizacja ma uzasadnienie ekonomiczne, zawiera się w granicach od $U=1,9$ [$W/(m^2K)$] do $U \leq 0,5$ [$W/(m^2K)$].

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Docelowy poziom standardu energetycznego ścian zewnętrznych przyjęto dla niniejszego opracowania na poziomie współczynnika przenikania ciepła $U \leq 0,1$ [W/(m²K)]. Jest to zgodne z standardem wprowadzonym przez *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, dla budynków budowanych i remontowanych po roku 2021.

Ocieplenie ścian zewnętrznych do tego poziomu charakteryzuje się rosnącą wartością wskaźnika NPV. Jednakże przyjęcie wyższej wartości współczynnika przewodzenia wydaje się być nieracjonalne z punktu widzenia grubości ściany zewnętrznej po termomodernizacji.

Średni koszt ocieplenia ściany zewnętrznej o granicznej wartości współczynnika przenikania ciepła $U=1,9$ [W/(m²K)] do poziomu $U=0,1$ [W/(m²K)], wymaga ocieplenia 30 cm styropianem o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda=0,031$ [W/(mK)]. Szacowany koszt ocieplenia, na który składa się koszt systemu, czyli wszystkie koszty związane z ociepleniem ~130 [zł/m²] plus koszt materiału izolacyjnego, który dla 30 cm styropianu wyniesie ~45 [zł/m²]. Razem dla ściany o wartości współczynnika przenikania ciepła $U=1,9$ [W/(m²K)], w cenach z IV kwartału 2015 roku, koszt ocieplenia wyniesie 175 zł/m², a dla ściany $U \leq 0,5$ [W/(m²K)] 158 zł/m² (120 zł/m² + 38 zł/m²). Podane koszty są szacunkiem własnym autora ekspertyzy. Zatem różnica w koszcie ocieplenia między najlepszą a najgorszą z punktu widzenia izolacyjności ścianą zewnętrzną, wynosi 9 zł/m², czyli 6% wartości nakładów. Jak z tego wynika **standard wyjściowy ściany zewnętrznej ma niewielki wpływ na wysokość nakładów na doprowadzenie ściany zewnętrznej do zakładanego standardu energetycznego**. Co innego, jeśli będziemy analizowali oszczędności. Tu różnica będzie istotna. Od 8 [zł/m²/rok] dla lepszej ściany do 35 [zł/m²/rok] dla gorszej, przy cenie ciepła 0,22 [zł/kWh].

Analiza kosztów ciepła przenikającego przez 1 [m²] ściany zewnętrznej w zależności od współczynnika przenikania ciepła.

Dla ściany zewnętrznej o współczynniku przenikania ciepła $U=1,9$ [W/(m²K)] zgodnie z metodyką opisaną w *Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego* ilość ciepła przenikającego przez 1 [m²] ściany dla budynku położonego w Warszawie wyniesie:

$$Q_0 = A \text{ [m}^2\text{]} * U \text{ [W/(m}^2\text{K)]} * S_d \text{ [K*doba]} * 24 \text{ [h/doba]} \quad (3)$$

gdzie:

A – powierzchnia ściany zewnętrznej

U – współczynnik przenikania ciepła

$S_d = 3772$ [K*doba] – liczba stopniodni dla Warszawy

Zatem dla Warszawy i 1 [m²] ściany o $U=1,9$ [W/(m²K)]:

$$Q_0 = 1 \text{ [m}^2\text{]} * 1,9 \text{ [W/(m}^2\text{K)]} * 3772 \text{ [K*doba]} * 24 \text{ [h/doba]} / 1000 = \mathbf{172 \text{ kWh}}$$

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Po ociepleniu:

$$Q_1 = 1 \text{ [m}^2\text{]} * 0,1 \text{ [W/(m}^2\text{K)]} * 3772 \text{ [K*doła]} * 24 \text{ [h/doła]} / 1000 = \mathbf{9 \text{ kWh}}$$

Oszczędność kosztów energii wyniesie zatem:

$$O_u = (Q_0 - Q_1) * O_z \quad (4)$$

gdzie:

$(Q_0 - Q_1)$ – oszczędność ciepła

O_z – cena kWh energii cieplnej

Zatem przyjmując, jako średnią dla obiektów oświatowych zaopatrywanych w ciepło z sieci ciepłowniczej, wartość $O_z = 0,22 \text{ [zł/kWh]}$

Oszczędności wyniosą:

$$O_u = (Q_0 - Q_1) * O_z = (172 \text{ [kWh]} - 9 \text{ [kWh]}) * 0,22 \text{ [zł/kWh]} = 35,86 \text{ [zł]} \sim \mathbf{36 \text{ zł}}$$

Dla 1 m^2 ściany zewnętrznej o współczynniku przenikania ciepła $U = 0,5 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ odpowiednie rachunki przedstawiają się następująco:

$$Q_0 = 1 \text{ [m}^2\text{]} * 0,5 \text{ [W/(m}^2\text{K)]} * 3772 \text{ [K*doła]} * 24 \text{ [h/doła]} / 1000 = 45 \text{ kWh}$$

$$Q_1 = 1 \text{ [m}^2\text{]} * 0,1 \text{ [W/(m}^2\text{K)]} * 3772 \text{ [K*doła]} * 24 \text{ [h/doła]} / 1000 = 9 \text{ kWh}$$

$$O_u = (Q_0 - Q_1) * O_z = (45 \text{ [kWh]} - 9 \text{ [kWh]}) * 0,22 \text{ [zł/kWh]} = 7,9 \text{ [zł]} \sim \mathbf{8 \text{ zł}}$$

Tabela 2. Efektywność termomodernizacji ścian zewnętrznych.

Lp	U_0 [W/(m ² *K)]	U_1 [W/(m ² *K)]	ΔO_r [zł]	N_u [zł/m ²]	SPBT [lata]
1	1,9	0,1	36	175	5
2	0,5	0,1	8	158	20

2.2. Ocieplenie stropodachów i dachów

Wybór technologii poprawy standardu energetycznego dachów i stropodachów zależy od ich konstrukcji.

Dla dachów niewentylowanych najefektywniejszą ekonomicznie jest technologia pokrycia dachu styropapą po uprzednim usunięciu starego pokrycia papowego.

Dla stropodachów wentylowanych korzystna jest technologia mieszana polegające na wdmuchnięciu izolacji celulozowej w przestrzeń pomiędzy między stropem, a dachem i pokryciem dachu, w tym przypadku cieńszą warstwą styropapy.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Ponieważ grubość warstwy styropapy nie wpływa na parametry użytkowe budynku nie ma konieczności wyboru styropianu o najniższym parametrze przewodności cieplnej λ [W/(mK)]. Należy dobrać styropian o najniższym koszcie jednostki oporu cieplnego R [(m²K)/W].

Standard energetyczny dachów i stropodachów, których termomodernizacja ma uzasadnienie ekonomiczne zawiera się, w analogicznych jak dla ścian zewnętrznych granicach, od $U=1,9$ [W/(m²K)] do $U\leq 0,5$ [W/(m²K)]. Docelowy poziom standardu energetycznego dachów i stropodachów przyjęto na poziomie $U\leq 0,1$ [W/(m²K)] analogiczny jak dla ścian zewnętrznych.

Średni koszt ocieplenia dachu o granicznej wartości współczynnika przenikania ciepła $U=1,9$ [W/(m²K)] do poziomu $U=0,1$ [W/(m²K)], wyniesie 168 [zł/m²], a dla dachu $U\leq 0,5$ [W/(m²K)] 157 [zł/m²]. Podane **koszty są szacunkiem własnym autora ekspertyzy**. Różnica w koszcie ocieplenia między najlepszym, a najgorszym z punktu widzenia izolacyjności, dachem wynosi 11 [zł/m²] czyli 6,5% wartości nakładów. Jak z tego wynika **standard wyjściowy dachu ma niewielki wpływ na wysokość nakładów na doprowadzenie go do zakładanego standardu energetycznego**. Co innego jeśli będziemy analizowali oszczędności. Tu różnica będzie duża. Od 3 [zł/m²/rok] dla lepszego dachu do 16 [zł/m²/rok] dla gorszego, przy cenie ciepła 0,22 zł/kWh. Powyższe wyniki uzyskano na bazie identycznych obliczeń, jak w przypadku ściany zewnętrznej.

Tabela 3. Efektywność termomodernizacji dachu lub stropodachu

Lp	U _o [W/(m ² *K)]	U ₁ [W/(m ² *K)]	ΔOr [zł]	Nu [zł/m ²]	SPBT [lata]
1	1,9	0,1	16	168	11
2	0,5	0,1	3	157	52

2.3. Ocieplenie ścian fundamentowych piwnic

Poprawa standardu energetycznego ścian zewnętrznych graniczących z gruntem, czyli ścian fundamentowych, polega na ich ociepleniu, czyli pokryciu dodatkową warstwą materiału izolacyjnego. Oczywiście dotyczy to przypadku, kiedy piwnica jest ogrzewana, jak ma to bardzo często miejsce w budynkach oświatowych np. w piwnicy są szatnie.

Ściany fundamentowe mają zróżnicowaną budowę od cegły ceramicznej o grubości 25 i 50 cm po ściany z żelbetu o grubości 20, 25 i 30 cm. Biorąc pod uwagę równoważny opór gruntu wraz z oporami przejmowania, współczynnik przenikania ciepła ścian fundamentowych, zawiera się w granicach od $U=0,8$ [W/(m²K)] do $U=0,5$ [W/(m²K)].

Ze względu na warunki pracy izolacji, a w szczególności możliwość zawilgocenia, materiałem izolacyjnym dla tego typu przegród, jest styropian ekstrudowany XPS o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda=0,032$ [W/(mK)], występujący między innymi pod nazwami handlowymi styropor i styrodur. Ocieplenie styropianem ekstrudowanym, ścian zewnętrznych fundamentowych polega na odkopaniu powierzchni ocieplanej ściany i przygotowaniu jej do przyklejenia warstwy styropianu XPS.

Po ociepleniu ściany 10 cm warstwą styropianu XPS ściany fundamentowe mają bardzo zbliżone wartości współczynnika przenikania ciepła: od $U=0,17$ [W/(m²K)] dla ściany

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

wyjściowej o wartości współczynnika przenikania ciepła $U=0,5$ [$W/(m^2K)$] do $U=0,19$ [$W/(m^2K)$] dla ściany wyjściowej o wartości współczynnika przenikania ciepła $U=0,8$ [$W/(m^2K)$]. Obie uzyskane wartości są mniejsze niż $U=0,2$ [$W/(m^2K)$] co spełnia wymagania *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, po roku 2021.

Średni koszt ocieplenia ściany zewnętrznej o granicznej wartości współczynnika przenikania ciepła od poziomu $U=0,8$ [$W/(m^2K)$] do poziomu $U=0,2$ [$W/(m^2K)$] **wynosi 135 zł/m²**. Podane koszty są szacunkiem własnym autora ekspertyzy. Przyjęto na podstawie kosztów ogrzewania z **BDBOBIN_C** cenę 0,22 zł za 1 kWh.

Docelowy poziom standardu energetycznego ścian fundamentowych przyjęto na poziomie $U\leq 0,2$ [$W/(m^2K)$] zgodnie z Warunkami Technicznymi obowiązującymi od 1 stycznia 2021 roku. Ocieplenie ścian fundamentowych do tego poziomu charakteryzuje się wskaźnikiem NPV>0.

Tabela 4. Efektywność termomodernizacji ścian fundamentowych

Lp	U_0 [$W/(m^2 * K)$]	U_1 [$W/(m^2 * K)$]	ΔOr [zł]	Nu [zł/m ²]	SPBT [lata]
1	0,8	0,19	15	135	9
2	0,5	0,17	8	135	17

2.4. Wymiana okien

Standard energetyczny okien zmieniał się w kolejnych Warunkach Technicznych mniej dynamicznie niż ścian zewnętrznych i dachów. Przed rokiem 1995 mieliśmy do czynienia z oknami drewnianymi jedno lub dwu ramowymi i oknami jednoszybowymi w metalowych ramach. Okna takie miały współczynnik przenikania ciepła w granicach $U_w=5,1\div 2,6$ [$W/(m^2K)$]. Okna o $U_w\geq 2,8$ [$W/(m^2K)$] praktycznie nie występują w budynkach oświatowych w Warszawie. Teoretycznie po roku 1995 okna w budynkach użyteczności publicznej powinny mieć $U_w\leq 2,3$ [$W/(m^2K)$]. W praktyce okna takie zaczęły być powszechnie stosowane od początku XXI wieku. Jest to czas dynamicznego wzrostu standardu energetycznego okien. Poprawia się zarówno izolacyjność profili okiennych jak i zestawów szybowych tak, że gdy w 2008 roku zmiana Warunków Technicznych (WT) nakazuje stosowanie okien o współczynniku przenikania ciepła o $U_w\leq 1,8$ [$W/(m^2K)$] to najgorsze dostępne na rynku okna mają $U_w=1,6$ [$W/(m^2K)$].

Koszt wymiany okien zależy od ich standardu energetycznego, przy czym różnice w kosztach okien dopuszczonych do stosowania w roku 2016 o $U_w\leq 1,3$ [$W/(m^2K)$] i okien spełniających wymagania WT po roku 2021 o $U_w\leq 0,9$ [$W/(m^2K)$] czynią stosowanie tych pierwszych nieuzasadnionym.

Uwaga: Wymiana okien ma wpływ na sposób wentylacji pomieszczeń w budynkach oświatowych. Zapewnienie minimalnego, z punktu widzenia *Normy PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania*, strumienia powietrza wentylacyjnego nie jest możliwe przy zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej. Dlatego **wymianie okien powinna towarzyszyć modernizacja systemu wentylacyjnego polegająca na zastosowaniu wysokosprawnej wentylacji**

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

nawiewno-wywiewnej z rekuperacją. Należy podkreślić, że także **tam gdzie modernizujemy system wentylacyjny powinno się rozważać wymianę okien na szczelne.**

Koszt wymiany okna na takie, którego współczynnik przenikania ciepła wynosi $U_w \leq 0,9$ [$W/(m^2K)$] w przeliczeniu na $1 m^2$ wynosi $520 \div 600$ [$zł/m^2$]. **Podane koszty są szacunkiem własnym autora ekspertyzy. Przyjmując do dalszych analiz wartość 560 zł** prosty czas zwrotu nakładów SPBT=16 lat dla wymiany okna o $U_w=2,6$ [$W/(m^2K)$] na okno $U_w=0,9$ [$W/(m^2K)$], a dla okna o $U_w=2,0$ [$W/(m^2K)$] jest to już 24 lata. Biorąc jednak pod uwagę inne czynniki, takie jak możliwość likwidacji mostka cieplnego i wzrost szczelności okna, **granicznym parametrem, przy którym warto rozpatrywać wymianę okien na nowe jest $U_w \geq 1,8$ [$W/(m^2K)$].**

Tabela 5. Efektywność wymiany okien

Lp	U_o [$W/(m^2 * K)$]	U_1 [$W/(m^2 * K)$]	ΔOr [zł]	Nu [zł/m ²]	SPBT [lata]
1	2,6	0,9	35	560	16
2	2,0	0,9	23	560	24
3	1,8	0,9	19	560	29

3. Analiza potencjału oszczędności w wyniku modernizacji instalacji wentylacyjnych w obiektach oświatowych.

Sprawność procesów intelektualnych człowieka wg wielu badaczy [1][2], jest silnie uwarunkowana stężeniem CO₂ we wdychanym powietrzu. Jeżeli przekracza ono znacznie 800 ppm spada nawet o kilkadziesiąt procent. Liczne wyniki badań [3][4][5][6][7][8][9][10] jakości powietrza w szkołach potwierdzają, że stężenie CO₂ w klasach szkolnych przekracza często 2 000 ppm. Musi to prowadzić do spadku efektywności procesu dydaktycznego. Ponożone z tego tytułu straty są trudne do wyliczenia, ale jako ich dolną granicę można przyjąć 10÷20% całkowitych kosztów procesu dydaktycznego.

Z wykonanych przez autora ekspertyzy Audytów Energetycznych szkół wynika [11][12], że nawet przy niedostatecznej z punktu widzenia fizjologii i z punktu widzenia efektywności procesu edukacyjnego, wentylacji jaką przewiduje *Norma PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania*, udział ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego może przekraczać 60% całego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania placówki oświatowej. Biorąc pod uwagę powyższe modernizacja systemów wentylacyjnych w szkołach jest pierwszoplanowym wyzwaniem. Uzyskanie stężenia CO₂ na poziomie 800 ppm co zaleca *Norma ASHRAE 62-1989 Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*, jest ze względów technicznych możliwe jedynie przy zastosowaniu wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z rekuperacją. Dodatkowym wymaganiem dla takiego systemu wentylacji jest użycie central wentylacyjnych zapewniających odzysk wilgoci lub wyposażenie centrali w instalację nawilżającą. Bez tych rozwiązań wilgotność względna w klasach będzie znacząco odbiegać od parametrów komfortu.

Uwaga: Centrale wentylacyjne są wyposażone w filtry, które mogą znacznie poprawić jakość powietrza w placówkach oświatowych, co ma duże znaczenie dla zdrowia młodzieży.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Zakładając, że w placówkach oświatowych realizowana jest najmniejsza dopuszczalna przez Normę PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania, wymiana powietrza równa 20 [m³/h/osoba] przyjmijmy dodatkowo, że na jednego ucznia w klasie przypada 2 [m²] powierzchni. Współczynnik strat mocy cieplnej na wentylację, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, odniesiony do 1 [m²] powierzchni obliczamy ze wzoru:

$$H_v = V * \rho_a * c_p, [W/K] \quad (5)$$

gdzie: V – strumień powietrza wentylacyjnego w przestrzeni ogrzewanej [m³/s],
V = 20 [m³/h/osoba] / 2 [m²/osoba] / 3600 [s/h] = 0,00278 [m³/s/m²],
 $\rho_a * c_p$ – pojemność cieplna powietrza 1 200 [J/m³/K],

Stąd współczynnik strat mocy przeliczony na 1 [m²] powierzchni:

$$H_v = 0,00278 [m^3/s/m^2] * 1200 [J/m^3/K] = 3,3 [W/(m^2 * K)]$$

Oznacza to, że zapotrzebowanie na ciepło do podgrzania powietrza wentylacyjnego obliczone zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej, wzoru karty audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii, wyniesie:

$$Q_{0went} = 3,3 [W/(m^2 * K)] * 3772 [K/doba/rok] * 24 [h/doba] / 1000 = 299 [kWh/m^2/rok]$$

gdzie: S_d = 3772 [K/doba/rok] dla Warszawy

Uwaga: Należy podkreślić, że rzeczywiste zapotrzebowanie na ciepło do podgrzania powietrza wentylacyjnego jest z reguły nawet do czterokrotnie razy mniejsze, ponieważ wentylacja grawitacyjna nie jest w stanie dostarczyć wymaganego Normą PN-83/B-03430 strumienia powietrza wentylacyjnego. Wynikiem czego są bardzo wysokie stężenia CO₂ w klasach.

Możemy oszacować o ile zmniejszy się strumień powietrza wentylacyjnego jeśli w miejsce wentylacji grawitacyjnej przy założeniu, że wypełnia ona wymagania Normy PN-83/B-03430, zastosujemy wentylację nawiewno-wywiewną z rekuperacją o sprawności $\eta \geq 0,85$ i jeśli przyjmijmy, że:

- normatywny strumień powietrza dostarczany jest w czasie pracy obiektu, czyli 8 [h/dobę] i 160 dni pracy w sezonie grzewczym,
- poza czasem pracy wymiana powietrza realizowana jest na poziomie 0,1 wymiany normatywnej.

Przy wentylacji grawitacyjnej strumień powietrza wentylacyjnego w ciągu 222 dni sezonu grzewczego, przeliczony na 1 [m²] powierzchni wyniesie:

$$V_{ow} = 0,00278 [m^3/s/m^2] * 3600 [s/h] * 222 [doby/rok] * 24 [h/doba] / 1 [m^2] = 53.323 [m^3/rok]$$

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Po zainstalowaniu wentylacji mechanicznej strumień ten wyniesie:

$$\begin{aligned} V_{1w} &= 0,00278 \text{ [m}^3\text{/s/m}^2\text{]} * 3600 \text{ [s/h]} * 8 \text{ [h]} * 160 \text{ [doba]/1 [m}^2\text{]} + \\ &+ 0,1 * 0,00278 \text{ [m}^3\text{/s/m}^2\text{]} * 3600 \text{ [s/h]} * 16 \text{ [h]} * 160 \text{ [doba]/1 [m}^2\text{]} + \\ &+ 0,1 * 0,00278 \text{ [m}^3\text{/s/m}^2\text{]} * 3600 \text{ [s/h]} * (222-160) \text{ [doby/rok]} * 24 \text{ [h/doba]/1 [m}^2\text{]} = \\ &= 12.810 + 2.562 + 1.489 = \mathbf{16.861 \text{ [m}^3\text{/rok]}} \end{aligned}$$

Stąd oszczędność energii w wyniku zainstalowania wentylacji mechanicznej wyniesie:

$$Q_{1went} = 299 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} * 16.861 \text{ [m}^3\text{/rok]} / 53.323 \text{ [m}^3\text{/rok]} = \mathbf{95 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}}$$

Przy zastosowaniu rekuperatora o średnio sezonowej sprawności $\eta=0,85$ i zwiększeniu dwukrotnie, bo do wartości 40 [m³/h/osobę], strumienia powietrza wentylacyjnego zapotrzebowanie na ciepło do ogrzania powietrza wentylacyjnego spadnie do wartości:

$$Q_{2went} = (1-0,85) * 2 * 95 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} = \mathbf{28,5 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}}$$

Zaoszczędzona energia to $299 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} - 28,5 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} = \mathbf{270,5 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}}$

Oszczędności z tego tytułu wyniosą:

$$O_{01r} = 270,5 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} * 0,22 \text{ zł/kWh} = \mathbf{60 \text{ [zł/m}^2\text{/rok]}}$$

Przy założeniu jednostkowych kosztów modernizacji wentylacji w kwocie 105 [zł/m²] odniesionych do powierzchni ogrzewanej czas zwrotu nakładów wyniesie:

$$SPBT = 105 \text{ [zł/m}^2\text{]} / 60 \text{ [zł/m}^2\text{/rok]} = \mathbf{1,75 \text{ [lat]}} \quad \text{przyjęto } \mathbf{SPBT = 2 \text{ lata}}$$

Jednostkowy koszt modernizacji systemu wentylacyjnego przyjęto na bazie zaakceptowanego do realizacji, w ramach Funduszu Norweskiego, Audytu Energetycznego Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych Nr 1 w Końskich (wybudowanego w roku 1974).

Uwaga: W wielu szkołach stężenie CO₂ w klasach jest wyższe od 2500 ppm co oznacza, że rzeczywisty strumień powietrza wentylacyjnego jest, jak wynika z poniższego wyliczenia, dwa razy niższy od wymaganych, Normą PN-83/B-03430, 20 [m³/h], co oznacza proporcjonalne zwiększenie rzeczywistego SPBT.

$$V = Z / (k_w - k_z)$$

gdzie:

V – objętość wymienianego powietrza w [m³/h]

Z – ilość gram CO₂ produkowana przez człowieka w ciągu godziny

k_w – stężenie CO₂ w klasie w [g/m³]

k_z – stężenie CO₂ w klasie w [g/m³]

$$V = 25 \text{ [g/h]} / (2,9 \text{ [g/m}^3\text{]} - 0,4 \text{ [g/m}^3\text{]}) = \mathbf{10 \text{ [m}^3\text{/h]}}$$

Uwaga: Czas zwrotu nakładów na modernizację systemu wentylacji w budynkach oświatowych oraz wpływ zainstalowania wentylacji mechanicznej na wydajność procesu dydaktycznego wskazują, że jest to inwestycja, która powinna być rozpatrywana w pierwszej kolejności.

Uwaga: Warunkiem uzyskania efektów ekonomicznych i ekologicznych wymiany wentylacji na mechaniczną z rekuperacją jest uszczelnienie budynku.

Tabela 6. Efektywność modernizacji wentylacji

Q_{Owent} [kWh/m ² /rok]	Q_{Iwent} [kWh/m ² /rok]	ΔOr [zł/m ²]	Nu [zł/m ²]	SPBT [lata]
299	28,5	60	105	2

4. Analiza potencjału oszczędności energii, wody i kosztów w wyniku modernizacji instalacji ciepłej wody użytkowej (CWU) w obiektach oświatowych

Ciepła woda w placówce oświatowej potrzebna jest przede wszystkim do mycia rąk, a w placówkach z salami gimnastycznymi do natrysków, a także do sprzątanania. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, zapotrzebowanie na ciepłą wodę nie powinno przekraczać 8 [dcm³/ucznia/dobę] lub 0,8 [dcm³/m²/doba].

Zapotrzebowanie to dzieli się na zapotrzebowanie do mycia rąk i ciała >80% oraz zapotrzebowanie na wodę do sprzątanania <20%. Te normatywy jeśli chodzi o mycie ciała zakładają, że pobór wody jest realizowany za pomocą wylewek o wydatku nominalnym 6 [dcm³/min] przy ciśnieniu wody przed wylewką 2 [bar] i odpowiednia dla słuchawki prysznicowej 18 [dcm³/min]. Pobór wody jest proporcjonalny do nominalnego wydatku wylewki. Nowoczesne aeratory umywalkowe, z dynamicznym ogranicznikiem wypływu wody, mają wydatek 1,7 [dcm³/min] niezależnie od ciśnienia w sieci wodociągowej. Dla słuchawek prysznicowych odpowiedni wydatek to 5 [dcm³/min]. Zainstalowanie tych urządzeń pozwala na zmniejszenie zużycia wody >70%. Kolejnym krokiem jest wymiana armatury na czasowo-bezdotykową. Pozwala ona na skrócenie czasu wypływu wody z wylewki o >30%. Zastosowanie wodo-oszczędnych aeratorów i armatury zbliżeniowej, redukuje zapotrzebowanie na ciepło użytkowe do przygotowanie ciepłej wody o ~80% (0,7*0,3= ~0,2).

Zgodnie z w/w Rozporządzeniem zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody w placówkach oświatowych w przeliczeniu na 1 [m²] powierzchni ogrzewanej wynosi:

$$Q_{Wnd} = V_{cwi} * L_i * c_w * \rho_w * \Delta\theta * t_{uz} / 1000 / 3600 \text{ [kWh/m}^2\text{/ rok]} \quad (6)$$

gdzie:

V_{cwi} [dcm³/(j.o.)/doba] – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody użytkowej

L_i [m²] – powierzchnia

j.o. – jednostka odniesienia przyjęto 1 [m²] powierzchni ogrzewanej

c_w [kJ/kg/K] – ciepło właściwe wody przyjmowane jako 4,19 [kJ/kg/K]

ρ_w [kg/m³] – gęstość wody przyjmowana jako 1000 [kg/m³]

$\Delta\theta$ [K] – różnica temperatury wody wodociągowej i ciepłej wody na wylewce przyjmowana jako 45 [K]

t_{uz} [doba] – czas użytkowania ciepłej wody użytkowej przyjęto 200 [doba]

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

$$Q_{\text{Wnd}} = 0,8 \text{ [dcm}^3\text{/m}^2\text{/doba]} * 1 \text{ [m}^2\text{]} * 4,19 \text{ [kJ/kg/K]} * 45 \text{ [K]} * 200 \text{ [doba]} / 3600 = \\ = 8,38 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}$$

Przy założeniu, że 80% ciepłej wody zużywane jest w placówkach oświatowych na potrzeby higieny osobistej, a pozostałe 20% do innych celów pobierane z wylewek bez ograniczeń wpływu wody, po termomodernizacji zapotrzebowanie na ciepło wyniesie:

$$Q_{\text{Wnd}} = 0,2 * 0,8 \text{ [dcm}^3\text{/m}^2\text{/doba]} * 1 \text{ [m}^2\text{]} * 4,19 \text{ [kJ/kg/K]} * 45 \text{ [K]} * 200 \text{ [doba]} / 3600 + \\ + 0,2 * 0,8 * 0,8 \text{ [dcm}^3\text{/m}^2\text{/doba]} * 1 \text{ [m}^2\text{]} * 4,19 \text{ [kJ/kg/K]} * 45 \text{ [K]} * 200 \text{ [doba]} / 3600 = \\ = 1,68 + 1,34 = 3,02 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}$$

Stąd oszczędność energii odniesiona do 1 [m²] powierzchni ogrzewanej, w wyniku wymiany armatury na czasową i wodoszczelną wyniesie:

$$\Delta Q_{\text{Wnd}} = 8,38 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} - 3,02 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} = 5,36 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}$$

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej, zapotrzebowanie na energię końcową przygotowania ciepłej wody użytkowej obliczymy ze wzoru:

$$Q_{\text{K,W}} = Q_{\text{Wnd}} / \eta_{\text{totw}} \quad (7)$$

gdzie: η_{totw} – sprawność całkowita systemu ciepłej wody użytkowej

Przyjmując na potrzeby tej symulacji, że źródłem ciepłej wody jest węzeł cieplny kompaktowy bez obudowy a instalacja obsługuje od 30 do 100 punktów poboru z obiegami cyrkulacyjnymi o niez izolowanych pionach i zaizolowanych przewodach rozprowadzających sprawność całkowita instalacji wyniesie $\eta_{\text{totw}} = 0,45$ stąd zmniejszenie zapotrzebowania na energię końcową, odniesioną do jednostkowej powierzchni ogrzewanej, w wyniku wyżej wymienionych przedsięwzięć termomodernizacyjnych wyniesie:

$$\Delta E_{\text{K,W}} = 5,36 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} / 0,45 = 11,9 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}$$

Z wyliczeń tych wynika, że w przypadku ciepłej wody użytkowej, straty wynikające z niskiej sprawności centralnej instalacji przygotowania ciepłej wody są ponad dwukrotnie wyższe od wartości energii użytkowej zawartej w wodzie opuszczającej wylewkę. Tym samym istotne oszczędności możemy uzyskać w wyniku podniesienia sprawności instalacji wytwarzania i przesyłu ciepłej wody.

W tej sytuacji możliwe są dwa rodzaje działań. Pierwsze, najczęściej stosowane, to likwidacja centralnego przygotowania ciepłej wody i przejście na elektryczne podgrzewacze wody w łazienkach i ubikacjach. System taki eliminuje straty przesyłowe i cyrkulacyjne, w połączeniu z radykalnym obniżeniem zużycia wody dzięki zastosowaniu armatury wodoszczędnej, daje także znaczne oszczędności emisji CO₂, mimo przejścia z ogrzewania sieciowego, gazowego czy olejowego na ogrzewanie energią elektryczną.

Drugi sposób to zmniejszenie strat na dystrybucji ciepłej wody przez ocieplenie pionów i rozprowadzeń ciepłej wody oraz zainstalowanie automatyki na cyrkulacji ograniczającej do niezbędnego minimum jej czas działania. Ponieważ koszty, tego drugiego rodzaju działań,

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

zależą od sposobu poprowadzenia rur z ciepłą wodą, co warunkuje możliwości ich wymiany i izolacji rozpatrzmy pierwszy rodzaj modernizacji, który jest zawsze możliwy do realizacji.

Oszczędności energii wynikające z takiej modernizacji systemu grzewczego oszacowano na $\Delta EK_W = 11,9$ [kWh/m²/rok].

Oszczędność kosztów będzie niższa niż wynikająca z pomnożenia ΔEK_W przez cenę energii z sieci ciepłowniczej, bo koszt energii elektrycznej jest większy od kosztów ciepła sieciowego. Tak więc, po uwzględnieniu sprawności początkowej $\eta_{0tot} = 0,45$ i sprawności końcowej $\eta_{1tot} = 0,95$ oraz kosztu kWh ciepła sieciowego 0,22 [zł/kWh] i kosztu kWh energii elektrycznej 0,504 [zł/kWh], oszczędność kosztów energii w wyniku modernizacji instalacji ciepłej wody użytkowej, odniesiona do jednostki powierzchni, wyniesie:

$$\Delta Or_W = 8,38 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} / 0,45 * 0,22 \text{ [zł/kWh]} - 3,02 \text{ [kWh/m}^2\text{/a]} / 0,95 * 0,504 \text{ [zł/kWh]} = \\ = 4,1 - 1,6 = \mathbf{2,5 \text{ [zł/m}^2\text{/rok]}}$$

$$Q_{0w} = 8,38 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} / 0,45 = 18,6 \sim \mathbf{19 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}}$$

$$Q_{1w} = 3,02 \text{ [kWh/m}^2\text{/a]} / 0,95 = 3,2 \sim \mathbf{3 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}}$$

W przypadku modernizacji instalacji ciepłej wody użytkowej poza oszczędnościami energii mamy do czynienia z oszczędnością wody. Zmniejszenia zużycia wody ΔV_W [m³/doba] wyniesie:

$$\Delta V_W = (0,8 \text{ [dm}^3\text{/m}^2\text{/doba]} - 0,2 * 0,8 \text{ [dm}^3\text{/m}^2\text{/dzień]} - 0,8 * 0,2 * 0,8 \text{ [dm}^3\text{/m}^2\text{/dzień]}) * \\ * 200 \text{ [dób/rok]} / 1000 \text{ [dm}^3\text{/m}^3] = (0,8 - 0,16 - 0,13) * 200 / 1000 = \mathbf{0,12 \text{ [m}^3\text{/rok]}}$$

Sumaryczny koszt czystej wody i ścieków to 10 [zł/m³] Zatem oszczędności wynikające z modernizacji instalacji ciepłej wody użytkowej wyniosą:

$$\Delta Or_V = 0,12 \text{ [m}^3\text{/rok]} * 10 \text{ [zł/m}^3] = \mathbf{1,2 \text{ [zł/m}^2\text{/rok]}}$$

Razem oszczędności: kosztów ogrzewania wody i kosztów samej wody z kosztem ścieków wyniosą:

$$\Delta Or_{(V+W)} = 2,5 \text{ [zł/m}^2\text{/rok]} + 1,2 \text{ [zł/m}^2\text{/rok]} = \mathbf{3,7 \text{ [zł/m}^2\text{/rok]}}$$

Nakłady:

Wymiana armatury na czasową i instalacja elektrycznych podgrzewaczy w średnich cenach rynkowych to około 950 [zł/szt]. Na koszt ten składają się: zakup i instalacja podgrzewaczy elektrycznych, zakup i instalacja armatury czasowej, zakup i instalacja aeratorów z ogranicznikami wypływu wody. Przyjmując normatywną liczbę baterii umywalkowych w ilości 1 szt. na 15 uczniów i średnią dla Warszawy liczbę metrów kwadratowych w placówce przypadającą na jednego ucznia $G_z = 9$ [m²/uczeń], możemy wyliczyć nakłady na wymianę armatury odniesione do jednego metra kwadratowego powierzchni placówki oświatowej:

$$N_U = 950 \text{ [zł/szt]} / 15 \text{ [uczeń/szt]} / 9 \text{ [m}^2\text{/uczeń]} = \mathbf{7,0 \text{ [zł/m}^2]}}$$

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Stąd:

$$\text{SPBT}=7,0/3,7=1,9 \text{ [lat]} \quad \text{przyjęto SPBT} = 2 \text{ lata}$$

Tabela 7. Efektywność modernizacji systemu CWU

Q_{ow} [kWh/m ² /rok]	Q_{1w} [kWh/m ² /rok]	ΔOr_w [zł/m ²]	Nu [zł/m ²]	SPBT [lata]
19	3	3,7	7	2

4.1. Potencjał oszczędności energii i kosztów w wyniku modernizacji systemu centralnego ogrzewania

Ocieplenie przegród zewnętrznych i modernizacja systemu wentylacyjnego według wcześniej zapisanych reguł spowoduje 2÷3 krotne zmniejszenie zapotrzebowania na moc do ogrzewania. Rodzi to poważny problem z zapewnieniem komfortu cieplnego. Duża pojemność cieplna grzejników nawet przy czułych termostatach musi prowadzić do przegrzewania klas. Dlatego termomodernizacji powinna towarzyszyć wymiana grzejników na takie, które charakteryzują się minimalną bezwładnością cieplną. Powinny one być wyposażone w zawory termostatyczne o bezwładności maksymalnie 1 K. Zawory termostatyczne powinny mieć możliwość zdalnego sterowania, co umożliwiłaby skuteczne obniżanie temperatury w cyklu dobowym i tygodniowym. Dla oszacowania kosztów takiej modernizacji systemu grzewczego weźmy klasę o powierzchni 60 [m²] z trzema grzejnikami o łącznej mocy 3 [kW]. Koszt trzech grzejników płytowych o mocy 1 [kW] z wymianą nie przekroczy 1326 [zł] do tego należy dodać koszt sterowanych zdalnie zaworów termostatycznych wraz z systemem automatyki 3*200=600 zł szacowane koszty wymiany grzejników to 6 [zł/m²]. Łączny koszt nakładów inwestycyjnych na poprawę sprawności systemu grzewczego wyniesie **Nu=38 [zł/m²]**.

Oszczędności energii z tytułu wymiany grzejników na płytowe i zainstalowania automatyki umożliwiającej zdalną regulację temperatury w pomieszczeniach oraz obniżenie temperatury poza godzinami pracy placówki zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów*, powinno przynieść 25% oszczędności i dodatkowo 5% (razem 30%) z tytułu poprawy sprawności regulacji i wykorzystania. Średnia energochłonność w budynkach oświatowych z bazy **BDBOBIN_C** zasilanych z sieci ciepłowniczej wynosi 165 [kWh/m²/rok]. Zatem oszczędność energii wyniesie:

$$\Delta Q_H = 165 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} * 0,3 = 50 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}$$

$$Q_{IH} = 165 * 0,7 = 115 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]}$$

Stąd oszczędność kosztów:

$$\Delta O = 50 \text{ [kWh/m}^2\text{/rok]} * 0,22 \text{ [zł/kWh]} = 11 \text{ [zł/m}^2\text{/rok]}$$

Stąd:

$$\text{SPBT} = 38/11 = 3,5 \text{ [lat]}$$

Tabela 8. Efektywność modernizacji systemu centralnego ogrzewania

Q_{0H} [kWh/(m ² *rok)]	Q_{1H} [kWh/m ² /rok]	ΔOr_H [zł/m ²]	Nu [zł/m ²]	SPBT [lata]
165	115	11	38	3,5

5. Oszacowanie kosztów głębokiej termomodernizacji

W poprzednich punktach analizowano koszty i opłacalność poszczególnych przedsięwzięć termomodernizacyjnych za wyjątkiem modernizacji instalacji CWU i wentylacji. Dla tych przedsięwzięć analizowano koszty na jednostkę powierzchni ogrzewanej budynku, natomiast koszty termoizolacji przegród budowlanych liczono na jednostkę powierzchni przegrody. Aby wyliczyć koszty termomodernizacji przegród budowlanych na 1 m² powierzchni podłogi pomieszczeń ogrzewanych musimy zbudować wirtualny model budynku oświatowego.

Uwaga: Model ten został arbitralnie przyjęty przez autora opracowania dla oszacowania nakładów termomodernizacyjnych na 1 [m²] powierzchni ogrzewanej. Rzeczywiste budynki oświatowe o wartości współczynnika kształtu A/V różniącym się od modelowego o $\pm 0,1$ [m⁻¹] mogą się różnić szacowanymi nakładami o mniej niż 10%.

Przyjmijmy zatem, że modelowy budynek ma 3 kondygnacje naziemne, jedną kondygnację podziemną, każda o wysokości 3,3 [m] i wymiary szerokość 9 [m] i długość 60 [m]. Dla takiej bryły współczynnik kształtu wynosi $A/V=0,41$ [m⁻¹]. Dla obliczenia powierzchni poszczególnych przegród potrzebujemy także informacji o stosunku powierzchni okien do podłogi, który dla budynków oświatowych wynosi 0,25.

Na 1 [m²] pow. budynku brutto przypada 3,3 [m³] kubatury. Zatem powierzchnia przegród zewnętrznych wyniesie:

$$A=3,3 \text{ [m}^3\text{]} * 0,41 \text{ [m}^{-1}\text{]} = 1,35 \text{ [m}^2\text{]}$$

Przyjmując na podstawie doświadczenia, że powierzchnia użytkowa to 0,85 pow. brutto, otrzymamy wskaźnik powierzchni przegród zewnętrznych na 1 [m²] powierzchni użytkowej $A=1,59$ [m²]. Na tę powierzchnię składają się:

$$\text{pow. podłogi na gruncie } A_{pg}=0,29 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{pow. dachu } A_d=0,29 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{pow. okien } A_{ok}=0,25 \text{ [m}^2\text{]}$$

pow. ścian fundamentowych będzie wynosiła:

$$A_{sf}=[2 * (9 + 60) \text{ [m]} * 3,3 \text{ [m]} / (4 * 9 \text{ [m]} * 60 \text{ [m]})] / 0,85 = 0,25 \text{ [m}^2\text{]}$$

pow. ścian zewnętrznych będzie wynosiła:

$$A_{sz}=1,59 \text{ [m}^2\text{]} - 2 * 0,29 \text{ [m}^2\text{]} - 0,25 \text{ [m}^2\text{]} - 0,25 \text{ [m}^2\text{]} = 0,51 \text{ [m}^2\text{]}$$

Stąd nakłady na poszczególne przedsięwzięcia termomodernizacyjne odniesione do jednostkowej powierzchni ogrzewanej budynku oświatowego wyniosą:

$$\text{dla wymiany okien } N=560 \text{ [zł/m}^2\text{]} * 0,25 \text{ [m}^2\text{/m}^2\text{]} = 140 \text{ [zł/m}^2\text{]}$$

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

dla ocieplenia ściany zewnętrznej $N=(176+156)/2 \text{ [zł/m}^2\text{]} * 0,51 \text{ [m}^2\text{/m}^2\text{]}=85 \text{ [zł/m}^2\text{]}$

dla ocieplenia dachu $N=(168+157)/2 \text{ [zł/m}^2\text{]} * 0,29 \text{ [m}^2\text{/m}^2\text{]}=47 \text{ [zł/m}^2\text{]}$

dla ocieplenia ściany fundamentowej $N=135 \text{ [zł/m}^2\text{]} * 0,25 \text{ [m}^2\text{/m}^2\text{]}=34 \text{ [zł/m}^2\text{]}$

Koszty przedsięwzięć termomodernizacyjnych odnoszące się do jednostkowej powierzchni ogrzewanej zebrano w poniższej tabeli.

Tabela 9. Nakłady na przedsięwzięcia termomodernizacyjne przeliczone na metr kwadratowy powierzchni ogrzewanej.

Rodzaj przedsięwzięcia termomodernizacyjnego	Nakłady [zł/m² pow. ogrzewanej]
Wymiana okien	140
Modernizacja wentylacji	105
Ocieplenie ściany zewnętrznej	85
Ocieplenie dachu	47
Ocieplenie ściany fundamentowej	34
Modernizacja CWU	7
Modernizacja systemu CO	38
Razem	456

Do dalszych obliczeń przyjęto kwotę 500 [zł/m²]

Uwaga: W ramach przetargu na prawo do dostaw kluczowych elementów przedsięwzięć termomodernizacyjnych takich jak: centrale rekuperacyjne, systemy VRF, wodoszczędna armatura czasowa, systemy oświetlenia można uzyskać znacząco niższe koszty ze względu na skalę zamówienia. Przetarg taki mógłby być korzystny także dla zagwarantowania kontroli jakości i wykonalności umów gwarancyjnych.

IV. Analiza potencjału oszczędności energii elektrycznej i jej kosztów w obiektach oświatowych m.st. Warszawy

1. Potencjał redukcji kosztów energii elektrycznej w wyniku optymalizacji taryfowej, dostosowania mocy zamówionej do potrzeb i likwidacji mocy biernej

Na koszty energii elektrycznej składają się opłata za energię będąca iloczynem zużycia energii, mierzonej urządzeniem pomiarowym i opłaty jednostkowej za energię, w większości placówek oświatowych jednakowej, w wyniku zakupu grupowego, oraz opłaty dystrybucyjnej. Ta ostatnia jest funkcją mocy zamówionej i taryfy. W 99% przypadków są to taryfy C11 i C21. Na opłatę dystrybucyjną, poza mocą zamówioną, składają się opłaty karne za przekroczenia mocy zamówionej i energię bierną. Tak więc udział opłaty dystrybucyjnej w koszcie jednostkowym kWh_e zależy od właściwego doboru mocy zamówionej i przekroczeń poboru energii biernej, a więc od jakości zarządzania energią w placówce oświatowej. Z analizy Bazy Danych Budynków Oświatowych z danymi o zużyciu energii elektrycznej – **BDBOBIN_E** załącznik (2) liczącej 636 obiektów wynika, że rozrzut udziału kosztów dystrybucji w jednostkowym koszcie energii jest bardzo duży. Największe wartości zaczynają się od 1091 zł, gdy pobierane są opłaty za licznik, a nie ma poboru energii elektrycznej, do 8,21 [zł/kWh_e]. Najniższe wartości są niższe od 0,22 [zł/kWh_e], przy czym część z tych wartości jest niższa od taryfy dystrybucyjnej co budzi wątpliwości co do poprawności danych w tych przypadkach. Jak wykazano w dokumencie wykonanym przez firmę Grupa IEN S.A. na zamówienie Dzielnicy Białołęka „AUDYT PUNKTÓW POBORU ENERGII ELEKTRYCZNEJ JEDNOSTKI OŚWIATOWE GMINY BIAŁOŁĘKA” z roku 2013, istnieje ogromny potencjał redukcji kosztów energii elektrycznej możliwy do uruchomienia bez nakładów inwestycyjnych, tylko przy wykorzystaniu działań administracyjnych lub przy niewielkich nakładach inwestycyjnych o SPBT < 2 [lat].

Analiza Grupy IEN przeprowadzona na podstawie pomiarów natężenia przepływu prądu, na poszczególnych fazach zasilających przyłącza, wskazuje powszechne występowania nierównomiernego obciążenia poszczególnych faz zasilających. Skutkuje to nieoptymalnym zapotrzebowaniem na moc i niepotrzebnymi kosztami z tego tytułu. Często źródłem podwyższonych kosztów są przekroczenia limitów energii biernej zarówno indukcyjnej jak i pojemnościowej. Przy czym, w większości analizowanych przekroczeń, czas zwrotu nakładów na urządzenia kompensujące był krótszy niż dwa lata. **Dla przeprowadzenia analizy potencjału redukcji kosztów dostaw energii elektrycznej przyjęto decylowy podział placówek oświatowych uszeregowanych ze względu na koszt 1kWh_e BDBOBIN_E załącznik (2).**

Dla oszacowania potencjału oszczędności finansowych możliwych do uzyskania w wyniku poprawy jakości gospodarowania energią w placówkach oświatowych przeprowadzono następujące wyliczenie:

- Przyjęto cenę energii elektrycznej w wysokości taryfy w wysokości 0,284 zł/kWh uzyskanej w ramach Warszawskiej Grupy Zakupowej na rok 2016.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

- Przyjęto, jako możliwą do uzyskania we wszystkich placówkach oświatowych, najwyższą opłatę za dystrybucję w kosztach jednostkowych energii w pierwszym decylny placówek o najniższych kosztach energii równą 0,22 zł/kWh.
- Jako referencyjny przyjęto koszt $kWh_e = 0,284 [zł/kWh_e] + 0,22 [zł/kWh_e] = 0,504 [zł/kWh_e]$.
- Potencjał oszczędności dla każdej placówki, z decyli od drugiego do dziesiątego, wyliczono jako iloczyn zużytej przez placówkę energii elektrycznej $Q_e [kWh_e]$ i różnicy kosztu kilowatogodziny $O_e [zł/kWh_e]$ płaconego przez placówkę i kosztu referencyjnego przyjętego w wysokości 0,504 [zł/kWh_e].

Potencjał oszczędności kosztów dostaw energii elektrycznej dla 636 placówek oświatowych, czyli wszystkich zamieszczonych w BDBOBIN_E załącznik (2), wyliczono jako sumę potencjału oszczędności poszczególnych placówek korzystając ze wzoru

$$\Delta O_e [zł] = \sum_{i=1}^{636} Q_{ei} [kWh_e/rok] * (O_{ei} [zł/kWh_e] - 0,504 [zł/kWh_e]) \quad (8)$$

i wynosi on 6,81 mln złotych.

Potencjał ten nie zawiera potencjału redukcji kosztów dostawy energii elektrycznej w wyniku dostosowania mocy zamówionej do potrzeb wynikających ze zmienności obciążenia, która jest skutkiem wakacyjnych ograniczeń pracy obiektów oświatowych, a także istotnie mniejszego zapotrzebowanie na energię w szkołach od kwietnia do czerwca, kiedy prawie nie korzystamy ze sztucznego oświetlenia. Dane zawarte w bazie danych BDBOBIN E nie zawierają informacji, które pozwoliłyby na oszacowanie tego potencjału. Należy się jednak spodziewać, że może on wynosić w skali zawartych w BDBOBIN E budynków oświaty, nawet kilkaset tysięcy złotych.

Uruchomienie tego potencjału nie wymaga inwestycji w infrastrukturę. Wystarczy ogłosić przetarg na optymalizację kosztów dystrybucji z wynagrodzeniem w formie udziału w uzyskanych oszczędnościach.

Potencjał ekonomiczny oszczędności jest, biorąc pod uwagę praktycznie beznakładowy sposób jego uruchomienia, prosty do zagospodarowania przez zarządców obiektów oświatowych.

2. Potencjał redukcji zużycia i kosztów energii elektrycznej oraz emisji CO₂ w wyniku inwestycji polegających na wymianie lamp ze źródłami wysokoprężnymi i żarowymi na lampy ze źródłami LED

W odróżnieniu od obniżenia kosztów dostaw energii elektrycznej, możliwego do osiągnięcia w wyniku wprowadzenia praktyki zarządzania energią (Norma PN EN 50001), z minimalnymi nakładami finansowymi, potencjał redukcji zapotrzebowania na moc i energię elektryczną wymaga podjęcia inwestycji energooszczędnych o dłuższych czasach zwrotu nakładów. Podstawową inwestycją w placówkach oświaty jest wymiana oświetlenia ze źródłami wyładowczymi na oświetlenie energooszczędne ze źródłami LED. W Warszawie, praktycznie we wszystkich placówkach oświatowych, mamy do czynienia z wyładowczymi

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

źródłami światła. Efektywną ekonomicznie alternatywą dla tego oświetlenia są źródła światła typu LED. Z inwentaryzacji oświetlenia w dwu placówkach oświatowych wykonanych przez autora opracowania [11] [12] wynika, że moc opraw w klasach z lampami wyładowczymi odniesiona do 1 [m²] powierzchni podłogi jest nie mniejsza niż 15 [W/m²]. Z przeprowadzonej przez autora symulacji oświetlenia w klasie o pow. 55 [m²] w programie DIALUX, wynika że zamiana oświetlenia jarzeniowego na 6 opraw LED o mocy 46 [W] zmniejsza zapotrzebowanie na moc o 66% do 5 [W/m²]. Przyjmijmy za *Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej*, że czas użytkowania oświetlenia wynosi 2000 [h/rok]. Zatem oszczędność kosztów energii wyniesie

$$O_e = (15 \text{ [W/m}^2\text{]} - 5 \text{ [W/m}^2\text{]}) * 2000 \text{ h} * 0,5 \text{ [zł/kWh]} / 1000 = \mathbf{10 \text{ [zł/m}^2\text{]}}$$

Uwaga: Czas świecenia w placówkach oświatowych jest zdaniem autora mniejszy niż 2000 h.

Koszt użytych do symulacji lamp, z pięcioletnią gwarancją, firmy Biosolution Sp. z o.o. wraz z kosztami montażu wynosi $N=6 \text{ [szt]} * 350 \text{ [zł/szt]} = 2100 \text{ [zł]}$ stąd wskaźnik nakładów na jednostkę powierzchni dla klasy o pow. 55 [m²] wynosi 38 [zł/m²].

Prosty czas zwrotu nakładów inwestycji w modernizację oświetlenia wbudowanego wyniesie:

$$SPBT = 38 \text{ [zł/m}^2\text{]} / 10 \text{ [zł/m}^2\text{]} = \mathbf{3,8 \text{ [lat]}}$$

Kluczowym zagadnieniem przy wymianie oświetlenia na LED jest realność gwarancji na okres dłuższy niż czas zwrotu nakładów producenta opraw LED.

Obliczanie potencjału redukcji zapotrzebowania na energię w wyniku wymiany oświetlenia na LED:

Przyjęto obniżenie zapotrzebowania na moc w wyniku zmiany systemu oświetlenia w wysokości $\Delta q = 10 \text{ [W/m}^2\text{]}$

- Założono, że inwestycja wymiany oświetlenia będzie przeprowadzona równolegle z dostosowaniem mocy zamówionej do zredukowanych potrzeb i że cena za 1 [kWh_e] wyniesie 0,504 [zł]. Potencjał redukcji energii elektrycznej P_{REel} wynosi zatem:

$$P_{REel} \text{ [kWh]} = \sum_{636}^1 A_i \text{ [m}^2\text{]} * \Delta q \text{ [W/m}^2\text{]} * t \text{ [h]} \quad (9)$$

gdzie: A_i – powierzchnia placówki w [m²]

$\Delta q = 10 \text{ [W/m}^2\text{]}$ – redukcja mocy na potrzeby oświetlenia

$t = 2000 \text{ [h]}$ – roczny czas świecenia

Łączny potencjał redukcji zapotrzebowania na energię placówek oświatowych z BDBOBINe załącznik(2) wyniesie 37 [GWh/rok]

$$\Delta Q_e \text{ [kWh]} = \sum_{636}^1 A_i \text{ [m}^2\text{]} * \Delta q_i \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right] * t \left[\frac{\text{h}}{\text{rok}} \right] = 1,85 \text{ mln [m}^2\text{]} * 0,010 \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right] * 2000 \left[\frac{\text{h}}{\text{rok}} \right] = 37 \left[\frac{\text{GWh}}{\text{rok}} \right]$$

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Potencjał redukcji zużycia i kosztów energii elektrycznej placówek oświatowych w wyniku wymiany oświetlenia wbudowanego na lampy ze źródłami światła LED wynosi 18,65 mln [zł/rok].

$$\Delta Oe[kWh] = \sum_{636}^1 Ai[m^2] * \Delta qi \left[\frac{kW}{m^2} \right] * t \left[\frac{h}{rok} \right] * 0,504 \left[\frac{zł}{kWh} \right] = 1,85 [mln m^2] * 0,010 \left[\frac{kW}{m^2} \right] * 2000 \left[\frac{h}{rok} \right] * 0,504 \left[\frac{zł}{kWh} \right] = 18,65 \text{ mln [zł/rok]}$$

Uwaga: Rzeczywisty potencjał redukcji kosztów może być o kilka procent niższy ponieważ w symulacji założono, że we wszystkich 636 placówkach wymagane jest natężenie światła na pulpitych roboczych 300 [lx], są spełniane normy oświetlenia i nie ma oświetlenia lampami LED.

Zgodnie z metodologią sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej dodatkowe 20% oszczędności czyli **3,73 mln zł** można osiągnąć instalując automatykę oświetlenia.

A zatem:

Łączny potencjał redukcji zużycia i kosztów energii elektrycznej placówek oświatowych z BDBOBIN_E załącznik (2) wyniesie: 18,65 + 3,73 = 22,38 mln zł.

Na automatykę oświetlenia składają się dwa rodzaje urządzeń. Pierwsze to czujniki obecności, szczególnie efektywne na korytarzach i w toaletach. W technologii LED mają dodatkowo tę zaletę, że nie mamy zjawiska nieprzyjemnego opóźnienia włączenia się światła, charakterystycznego dla wyładowczych źródeł światła. Drugim rodzajem automatyki jest regulacja natężenia oświetlenia w zależności od chwilowego natężenia światła słonecznego.

Koszt użytej do symulacji jednego zestawu automatyki wraz z kosztami montażu wynosi N=275 [zł/szt], stąd wskaźnik nakładów na jednostkę powierzchni dla klasy o pow. 55 [m²] wynosi 5[zł/m²].

Prosty czas zwrotu nakładów inwestycji w modernizację oświetlenia wbudowanego poprzez zainstalowanie automatyki sterującej wyniesie:

$$SPBT = 5 [zł/m^2] / (0,2 * 10 [zł/m^2]) = 2,5 \text{ [lat]}$$

Łączne nakłady na modernizację oświetlenia wyniosą blisko 80 mln [zł]

$$Nu = \sum_{636}^{i=1} Ai[m^2] * (38 + 5) [zł/m^2] = 1,85 \text{ mln [m}^2] * 43 [zł/m^2] = 79,55 \text{ mln [zł]}$$

Łączny potencjał redukcji emisji CO₂ w wyniku wymiany oświetlenia na LED w placówkach oświatowych z BDBOBIN_E załącznik (2) wyniesie 30 tys. Mg CO₂

$$M_{CO_2} = 37.000 [MWh] * 0,812 [MgCO_2 / MWh] = 30 \text{ tys. [Mg CO}_2]$$

*wg <http://www.kobize.pl/pl/article/2011/id/137/referencyjny-wskaznik-jednostkowej-emisyjnosci-dwutlenku-wegla-przy-produkcji-energii-elektrycznej-do-wyznaczania-poziomu-bazowego-dla-projektow-ji-realizowanych-w-polsce>

V. Strategia opłacalnych ekonomicznie inwestycji redukujących emisję CO₂ w obiektach oświatowych m.st. Warszawy

Struktura paliw w krajowym mixie energetycznym, w którym dominuje węgiel powoduje, że realizacja zobowiązań do redukcji emisji CO₂, możliwa jest przede wszystkim poprzez racjonalizację użytkowania energii. Jest to niezwykle korzystne dla sektora komunalno-bytowego, ponieważ redukuje koszty utrzymania, uwalniając znaczne środki na realizację celów statutowych samorządów a przez obniżenie kosztów stałych gospodarstw domowych powiększa ich fundusze swobodnych decyzji. Ma to kapitalne znaczenie dla wzrostu popytu wewnętrznego, co stymuluje wzrost gospodarczy. Proces ten realizowany w budynkach obiektów oświaty może przynieść znaczny przyrost środków finansowych na poprawę efektywności jej działania.

Podniesienie efektywności energetycznej i ograniczenie negatywnego oddziaływania obiektów oświaty na środowisko wymaga dwu rodzaju działań. Pierwszy z nich to termomodernizacja istniejących zasobów, drugi to budowa nowych placówek w **standardzie niemal zero energetycznym** zgodnym z art. 9 Dyrektywy 31/2010/UE.

Uwaga: Oba te działania są efektywne ekonomicznie pod warunkiem przestrzegania niżej wskazanych reguł i wprowadzenia do oświaty Normy 50001 Zarządzanie Energią.

1. Stan na rok 2014

Obiekty oświatowe m.st. Warszawy, dla których w **BDBOBIN_C** załącznik (1) znajdują się informacje o zużyciu ciepła **w roku 2014**. To łącznie 583 budynki, które zużyły 247 GWh ciepła, co wiązało się z wyemitowaniem 79 514 tys. Mg CO₂.

Źródłem tej energii jest w 85,6% sieć ciepłownicza, do której przyłączonych było 468 budynków. Dostarczyła ona 211 GWh energii, co wiązało się z emisją 71 345 tys. Mg CO₂*. Drugim, co do wolumenu produkcji ciepła -12,7%, dostawcą energii dla 89 placówek oświatowych jest sieć gazowa. Dostarczała ona 31,2 GWh energii, a związana z tym emisja to 6 270 tys. Mg CO₂*.

Pozostałe źródła ciepła to olej opałowy i energia elektryczna, których udział w produkcji ciepła wynosi razem 1,7%, a związana z nim emisja wynosiła 891 tys. Mg CO₂*. Pojedyncze placówki ogrzewane są węglem i jedną biomasą.

*wyliczone na podstawie wskaźników emisji:

- dla kogeneracji 0,3378 [MgCO₂/MWh],
- dla gazu wysoko metanowego 0,2009 [MgCO₂/MWh],
- dla lekkiego oleju opałowego 0,2757 [MgCO₂/MWh],
- dla energii elektrycznej z sieci 0,812 [MgCO₂/MWh],

zawartych w:

<http://www.kobize.pl/pl/article/2011/id/137/referencyjny-wskaznik-jednostkowej-emisyjnosci-dwutlenku-wegla-przy-produkcji-energii-elektrycznej-do-wyznaczania-poziomu-bazowego-dla-projektow-ji-realizowanych-w-polsce>

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Tabela 11. Zbiorcze zestawienie rocznego zapotrzebowania na ciepło, emisji CO₂ i kosztów ciepła, 2014 rok

	Liczba placówek	Powierzchnia [mln m ²]	Zapotrzebowanie na ciepło [GWh]	Emisja [tys. Mg CO ₂]	Koszt ciepła [mln zł]
Sieć	468	1,431	211,2	71 345	41,14
Gaz	89	0,207	31,21	6 270	6,06
energia elektryczna*	18	0,019	1,38	1 120	0,78
Olej opałowy	8	0,028	2,83	779	0,94
Razem	583	1685	247	79 514	48,92

*dla określenia zużycia energii elektrycznej na ogrzewanie od całkowitego zużycia odjęto średnie zużycie energii elektrycznej w budynkach oświaty ogrzewanych z sieci ciepłowniczej.

2. Analiza statystyczna

Baza Danych Budynków Oświatowych Biura Infrastruktury **BOBOBIN_C** załącznik (1) zawiera dane o zużyciu energii na ogrzewanie. Na danych tych została przeprowadzona podstawowa analiza statystyczna dla poszczególnych nośników energii, w wyniku której otrzymano dane dotyczące średniej, mediany, maksymalnego oraz minimalnego odchylenia standardowego. Przy czym **założono, że dane placówek wykazujących zużycie energii na poziomie poniżej 80 [kWh/m²/rok] z wysokim prawdopodobieństwem zawierają błędy w oznaczeniu ich powierzchni. Dlatego z analizy wykluczono arbitralnie wszystkie budynki o zapotrzebowaniu mniejszym od 80 [kWh/m²/rok]. Granica ta jest w tym sensie arbitralna, że także ta wartość zapotrzebowania na energię wydaje się mało prawdopodobna, dlatego autor niniejszej ekspertyzy proponuje, by dla wszystkich obiektów w bazie o zapotrzebowaniu na energię mniejszym niż 120 [kWh/m²/rok] zweryfikować informacje o ich powierzchni ogrzewanej.** Przyjęte założenia nie mają wpływu na wnioski tej ekspertyzy. Tym bardziej, że każda inwestycja termomodernizacyjna powinna być poprzedzona Audytem Energetycznym, a proponowana strategia ma na celu ustalenie kolejności obiektów do wykonania Audytów.

Poszczególne jednostki są bardzo różnorodne jeśli chodzi o standard energetyczny. Wskazuje na to bardzo wysokie odchylenie standardowe wynoszące ponad 80 [kWh/m²/rok], co oznacza, że 66% obiektów jest w zakresie, pomiędzy 92 a 265 [kWh/m²/rok] dla sieci ciepłowniczej i od 100 [kWh/m²/rok] do 276 [kWh/m²/rok] dla sieci gazowej.

Z różnicy między medianą a średnią wynika, że istnieje grupa obiektów o bardzo wysokiej energochłonności. Z tego powodu przyjęto podział kwintylowy dla sieci ciepłowniczej, aby odnaleźć najbardziej energochłonne placówki oświatowe i określić dla nich potencjał redukcji zapotrzebowania na energię.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Tabela 12. Zestawienie danych statystycznych

	Sieć ciepłownicza	Gaz sieciowy	Olej opałowy	Energia elektryczna
Liczba placówek [szt.]	468	89	8	18
Średnia [kWh/m ² /rok]	166	188	138	131
Mediana [kWh/m ² /rok]	147	155	132	108
Odchylenie standardowe [kWh/m ² /rok]	73	88	32	63
Minimum [kWh/m ² /rok]	80 (*)	82	98	85
Maksimum [kWh/m ² /rok]	579	464	191	298

(*) do analizy statystycznej nie wzięto budynków o mniejszym zapotrzebowaniu na energię niż 80 [kWh/m²/rok] uznając, że tak niski wskaźnik wynika z błędnie ocenionej powierzchni ogrzewanej

Tabela 13. Podział kwintylowy

Kwintyl	1[kWh/m ² /rok]*	2[kWh/m ² /rok]*	3[kWh/m ² /rok]*	4[kWh/m ² /rok]*	5[kWh/m ² /rok]*
Sieć ciepłownicza	115	135	158	203	579
Gaz sieciowy	119	145	175	261	464

* maksymalna wartość zapotrzebowania na Energię Końcową EK w kwintylu

Podziału na kwintyle dokonano na zbiorze pomniejszonym o obiekty, dla których zapotrzebowanie na ciepło w bazie danych było mniejsze niż 80 [kWh/m²/rok].

Obserwujemy rosnącą różnicę zapotrzebowania na ciepło pomiędzy kolejnymi kwintylami.

Tabela poniżej przedstawia średnie wartości EK w poszczególnych kwintylach dla sieci ciepłowniczej.

Tabela 14. Średnie wartości EK w podziale kwintylowym budynków oświatowych zasilanych z sieci ciepłowniczej

Kwintyl	1[kWh/m ² /rok]*	2[kWh/m ² /rok]*	3[kWh/m ² /rok]*	4[kWh/m ² /rok]*	5[kWh/m ² /rok]*
Sieć ciepłownicza	100	125	145	177	280

* maksymalna wartość zapotrzebowania na Energię Końcową EK w kwintylu

Jak widać z powyższego zestawienia, termomodernizacja 20% budynków o najniższym standardzie energetycznym będzie generowała najwyższe oszczędności, co przy założonych stałych nakładach, da istotnie krótszy SPBT.

3. Potencjał techniczny redukcji zapotrzebowania na energię w budynkach oświaty

Jako **potencjał techniczny redukcji zapotrzebowania na energię** definiujemy różnicę pomiędzy obecnym zapotrzebowaniem na energię, a zapotrzebowaniem osiągniętym po przeprowadzeniu możliwych, z technicznego punktu widzenia, przedsięwzięć termomodernizacyjnych, o czasie zwrotu krótszym od trwałości efektów takiego przedsięwzięcia, czyli 40 lat dla ociepleń, wymiany okien, wymiany rur i okablowania, i 20 lat dla urządzeń technicznych. Takie wartości przyjmował NFOŚiGW dla termomodernizacji realizowanych z Funduszy Norweskich.

Jedynym przedsięwzięciem termomodernizacyjnym, którego realizacja może być zadaniem technicznie trudnym do wykonania, jest ocieplenie podłogi na gruncie lub stropu nad nieogrzewaną piwnicą. Trudność ta wynika z wymogów Warunków Technicznych dotyczących wysokości pomieszczeń. Ponadto czas zwrotu nakładów, w tym przypadku, jest z reguły dłuższy od trwałości efektów przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. Zarówno to jak i występowanie innych ograniczeń, jak na przykład, techniczne i prawne ograniczenia grubości zewnętrznej izolacji powodują, że nawet po głębokiej termomodernizacji zapotrzebowanie na energię w budynku będzie większe niż optymalne dla nowo budowanej placówki.

Dla oszacowania potencjału technicznego redukcji zapotrzebowania na energię przyjęto, że w budynkach oświatowych w Warszawie placówka po głębokiej termomodernizacji będzie miała zapotrzebowanie na Energię Końcową na poziomie $EK=35$ [kWh/m²/rok]. Wartość ta wynika z symulacji i wyników audytu, jaki wykonano dla Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych Nr 1 w Końskich.

W szacunku tym nie uwzględniono przypadków, w których głęboka termomodernizacja nie będzie możliwa ze względu na interwencję konserwatora zabytków.

Bardziej precyzyjne oszacowania potencjału oszczędności można wykonać po wykonaniu przynajmniej uproszczonych audytów dla reprezentatywnych grup obiektów.

Tak oszacowany potencjał techniczny termomodernizacji w 583 budynkach oświaty zawartych w **BDBOBIN_C** w Warszawie został wyliczony wg poniższego wzoru (10) dla wszystkich źródeł energii, po odrzuceniu budynków o zużyciu wykazanym w bazie danych <80 [kWh/m²/rok]

$$\Delta Q \left[\frac{kWh}{rok} \right] = \sum_{583}^1 A_i [m^2] * \left(Q_{0i} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot rok} \right] - 35 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot rok} \right] \right) \quad (10)$$

Potencjał techniczny redukcji zapotrzebowania na ciepło wynosi 187,5 [GWh/rok] - w podziale na poszczególne źródła energii przedstawiono w tabeli 15.

Tabela 15. Potencjał techniczny redukcji zapotrzebowania na energię cieplną

Źródło energii cieplnej	Potencjał redukcji zapotrzebowania na ciepło [GWh/rok]
Sieć ciepłownicza	161,1
Sieć gazownicza	25,1
Lekki olej opałowy	0,2
Energia elektryczna	1,1
RAZEM	187,5

4. Metodologia określenia potencjału ekonomicznego redukcji zapotrzebowania na ciepło

Potencjał ekonomiczny termomodernizacji definiujemy jako możliwą do uzyskania redukcję zapotrzebowania na energię przy założonych parametrach ekonomicznych inwestycji termomodernizacyjnej. Ponieważ potencjał ten jest silnie zależny od stanu wyjściowego i jednostkowego kosztu energii zasilającej budynek, podzielono zasoby wg rodzaju źródła energii do ogrzewania. Następnie dla najliczniejszej grupy budynków, zasilanych z sieci ciepłowniczej, zastosowano podział na pięć kwintyli od najniższego do najwyższego standardu energetycznego.

W drugiej co do liczebności grupie budynków, zasilanych z sieci gazowej, dokonano podziału według mediany (wartość środkowa).

Pozostałe kilkadziesiąt budynków zasilanych olejem opałowym, energią elektryczną i paliwami stałymi analizowano w całości, ze względu na wysokie jednostkowe koszty energii.

Zaproponowano metodologię pozwalającą na oszacowanie parametru efektywności ekonomicznej w postaci **prostego czasu zwrotu nakładów (SPBT)** przy uwzględnieniu optymalizacji procesu termomodernizacji, który polega na określeniu optymalnych, z punktu widzenia ekonomicznego, jednostkowych przedsięwzięć modernizacyjnych. Przedsięwzięcia te są dwojakiego rodzaju.

Pierwsze z nich charakteryzują się silną zależnością efektu ekonomicznego od wyjściowego standardu energetycznego i należą do nich:

- ocieplenie ścian zewnętrznych do wartości współczynnika przenikania ciepła $U=0,1$ [W/(m²K)];
- ocieplenie dachów do wartości współczynnika przenikania ciepła $U=0,1$ [W/(m²K)];
- ocieplenie ścian fundamentowych do wartości współczynnika przenikania ciepła $U=0,2$ [W/(m²K)];
- wymiana okien na okna do wartości współczynnika przenikania ciepła $U_w=0,9$ [W/(m²K)].

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Drugie, dla których efekt ekonomiczny praktycznie nie zależy lub zależy w niewielkim stopniu od standardu wyjściowego to:

- wymiana systemu wentylacji na nawiewno-wywiewną z rekuperacją o średnio sezonowej sprawności $\eta \geq 85\%$ i z odzyskiem wilgoci;
- modernizacja systemu CWU polegająca na zastosowaniu rozwiązań zmniejszających straty cyrkulacyjne i stosowanie wodo-oszczędnej armatury czasowej lub zblizeniowej;
- wymiana oświetlenia wbudowanego na energooszczędne ze źródłami światła LED o sprawności minimum 100 [lm/W] z automatyką, co najmniej reagującą na obecność ludzi.

W budynkach istniejących, nie poddanych w latach ubiegłych częściowej termomodernizacji, najefektywniejszym działaniem jest zastosowanie wszystkich wymienianych przedsięwzięć w procesie tzw. Głębokiej Termomodernizacji.

W pozostałych budynkach należy stosować te z przedsięwzięć z pierwszej grupy, których czas zwrotu nakładów nie przekracza ich czasu życia.

5. Kryteria wyboru obiektów oświatowych do termomodernizacji i związany z nimi potencjał redukcji zapotrzebowania na ciepło

5.1. Kryterium ekonomiczne dla budynków zasilanych z sieci ciepłowniczej

Najprostszym kryterium wyboru inwestycji jest prosty czas zwrotu nakładów. Dla określenia potencjału redukcji zapotrzebowania na ciepło uszeregowano arkusz bazy danych **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab.1 dla budynków podłączonych do sieci od najmniejszego do największego SPBT. W programach wspierania inwestycji termomodernizacyjnych przez NFOŚiGW graniczną wartością SPBT dla finansowania inwestycji był $SPBT < 20$ [lat]. W **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab. 1 $SPBT < 21$ ma 137 budynków zasilanych z sieci ciepłowniczej.

Dla Głębokiej Termomodernizacji oszacowano koszt inwestycji na poziomie **500 [zł/m²]**. Łączne nakłady na termomodernizacje tych budynków wyniosłyby 204 mln zł, a roczne oszczędności kosztów ogrzewania 14,7 mln zł, co daje $SPBT = 14$ lat. Potencjał oszczędności dla tych inwestycji wynosi 71,7 [GWh/rok], a redukcja emisji CO₂ 24,2 tys. [MgCO₂/rok]. **Inwestycje te zmniejszą zapotrzebowanie na ciepło z sieci ciepłowniczej obiektów z bazy BDBOBIN_C załącznik (1) Tab. 1 - o 32%.**

Tabela 16. Efektywność termomodernizacji budynków oświatowych o $SPBT < 21$ [lat]

Liczba obiektów szt.	Q ₀ [MWh]	ΔQ [MWh]	ΔO [mln zł]	N [mln zł]	SPBT [lat]	R _{em} [tys. Mg CO ₂]	% Redukcji zużycia energii
137	86 006	71 732	14,7	204	14	24,2	83

5.2. Kryterium logistyczne

Z punktu widzenia optymalizacji organizacji procesu inwestycyjnego łatwiej jest uzyskać taki sam procent redukcji emisji, przy mniejszej liczbie, za to większych, obiektów poddanych termomodernizacji. Uszeregowując budynki oświatowe w bazie **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab.1 według rosnącego potencjału oszczędności energii możemy zsumować ich potencjały oszczędności do wartości uzyskanej w kryterium ekonomicznym. Jak się okazało taki sam potencjał oszczędności jak przy użyciu kryterium ekonomicznego, uzyskamy poddając termomodernizacji 110 budynków o najwyższym potencjale redukcji zapotrzebowania na energię. Termomodernizacja tych 110 budynków pozwoliłaby na redukcję zapotrzebowania na ciepło z sieci ciepłowniczej w ilości 71,9 GWh i redukcję emisji w ilości 24,3 tys. Mg CO₂/rok. Jest to wynik praktycznie identyczny z efektami uzyskanymi w kryterium ekonomicznym dla 137 budynków o SPBT < 21 [lat]. Nakłady na termomodernizację 110 budynków wynoszą 224 mln zł, a oszczędności 14,4 mln [zł/rok], co daje SPBT = 15,5 lat. Jest to wynik o 1,5 roku gorszy niż przy zastosowaniu kryterium ekonomicznego, ale też w zbiorze tym 21 budynków ma SPBT pomiędzy 21 a 26 lat.

Tabela 17. Efektywność termomodernizacji budynków oświatowych o największym potencjale redukcji zapotrzebowania na ciepło z sieci ciepłowniczej

Liczba obiektów szt.	Q _o [MWh]	ΔQ [MWh]	ΔO [mln zł]	N [mln zł]	SPBT [lat]	R _{em} [tys. Mg CO ₂]	% Redukcji zużycia energii
110	87 635	71 952	14,4	224	15,5	24,3	82

5.3. Kryterium ekonomiczne dla budynków zasilanych gazem z sieci gazowej

W związku z istotnie mniejszą liczbą budynków oświaty zasilanych z sieci gazowej zrezygnowano z kryterium logistycznego. Dla określenia potencjału redukcji zapotrzebowania na ciepło uszeregowano arkusz bazy **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab. 2 dla budynków podłączonych do sieci gazowej od najmniejszego do największego SPBT. W **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab. 2 dla sieci gazowej prosty czas zwrotu nakładów SPBT < 21 ma 41 budynków. Dla Głębokiej Termomodernizacji oszacowano koszt inwestycji na poziomie 595 [zł/m²]. Łączne nakłady na termomodernizację tych budynków wyniosłyby 35,5 mln zł, a roczne oszczędności kosztów ogrzewania 2,5 mln zł, co daje SPBT = 14,2 lat. Potencjał oszczędności dla tych inwestycji wyniosłby 11 [GWh/rok], a redukcja emisji CO₂ 2,2 tys. [Mg/rok]. **Inwestycje te zmniejszą zapotrzebowanie na gaz z sieci gazowej do ogrzewania obiektów z bazy BDBOBIN_C załącznik (1) Tab. 2 - o 32%.**

Tabela 18. Efektywność termomodernizacji budynków oświatowych zasilanych gazem z sieci o SPBT < 21 [lat]

Liczba obiektów szt.	Q _o [MWh/a]	ΔQ [MWh/a]	ΔO [mln zł/a]	N [mln zł]	SPBT [lat]	R _{em} [tys. Mg CO ₂ /a]	% Redukcji zużycia energii
41	13 052	11 000	2,5	35,5	14,2	2,2	84

5.4. Kryterium ekonomiczne dla budynków zasilanych lekkim olejem opalowym

W związku z istotnie mniejszą liczbą budynków oświaty ogrzewanych lekkim olejem opalowym zrezygnowano z kryterium logistycznego. Dla określenia potencjału redukcji zapotrzebowania na energię cieplną uszeregowano arkusz bazy **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab. 3 dla budynków ogrzewanych lekkim olejem opalowym od najmniejszego do największego SPBT. W **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab. 3 dla budynków ogrzewanych olejem prosty czas zwrotu nakładów SPBT < 21 ma 7 budynków. Dla Głębokiej Termomodernizacji oszacowano koszt inwestycji na poziomie 595 [zł/m²]. Łączne nakłady na termomodernizację tych budynków wyniosłyby 11,3 [mln zł], a roczne oszczędności kosztów ogrzewania 0,9 [mln zł], co daje SPBT = 12,5 lat. Potencjał oszczędności dla tych inwestycji wyniósłby 1,8 [GWh/rok], a redukcja emisji CO₂ 496 [Mg/rok]. **Inwestycje te zmniejszą zapotrzebowanie na lekki olej opalowy do ogrzewania obiektów z bazy BDBOBIN_C załącznik (1) Tab. 3 - o 72%.**

Tabela 19. Efektywność termomodernizacji budynków oświatowych ogrzewanych lekkim olejem opalowym o SPBT < 21 [lat]

Liczba obiektów szt.	Q _o [MWh/a]	ΔQ [MWh/a]	ΔO [mln zł/a]	N [mln zł]	SPBT [lat]	R _{em} [tys. Mg CO ₂ /a]	% Redukcji zużycia energii
7	2 492	1 800	0,9	11,3	12,5	0,496	72

5.5. Kryterium ekonomiczne dla budynków ogrzewanych energią elektryczną

W związku z istotnie bardzo małą liczbą budynków oświaty ogrzewanych energią elektryczną oraz z wysoką efektywnością ekonomiczną termomodernizacji tych budynków, uwzględniono w obliczeniach wszystkie budynki ogrzewane bezpośrednio energią elektryczną. Dla określenia potencjału redukcji zapotrzebowania na energię cieplną uszeregowano arkusz bazy **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab. 4 dla budynków ogrzewanych energią elektryczną od najmniejszego do największego SPBT. W **BDBOBIN_C** załącznik (1) Tab. 4 dla budynków ogrzewanych energią elektryczną prosty czas zwrotu nakładów SPBT < 23 ma 17 budynków. Dla Głębokiej Termomodernizacji oszacowano koszt inwestycji na poziomie 595 [zł/m²]. Łączne nakłady na termomodernizację tych budynków wyniosłyby 6,81 [mln zł], a roczne oszczędności kosztów ogrzewania 1,3 mln zł, co daje SPBT = 5,24 lat. Potencjał oszczędności energii dla tych inwestycji wyniósłby 1,16 [GWh/rok], a redukcja emisji CO₂ 941 [Mg/rok]. **Inwestycje te zmniejszą zapotrzebowanie na energię elektryczną do ogrzewania obiektów z bazy BDBOBIN_C załącznik (1) Tab. 4 - o 85%.**

Tabela 20. Efektywność termomodernizacji budynków oświatowych ogrzewanych energią elektryczną o SPBT < 23 [lat]

Liczba obiektów szt.	Q _o [MWh/a]	ΔQ [MWh/a]	ΔO [mln zł/a]	N [mln zł]	SPBT [lat]	R _{em} [tys. Mg CO ₂ /a]	% Redukcji zużycia energii
17	1 360	1 158	1,3	6,81	5,24	0,941	85

VI. Podsumowanie

1. Ciepło

Przeprowadzona analiza miała za zadanie dostarczenie przesłanek technicznych i ekonomicznych dla budowy strategii obniżania emisji CO₂. **Opracowanie wykazało wysoką efektywność ekonomiczną każdego z przedsięwzięć termomodernizacyjnych, których zakres wykracza poza minimalne wymagania wynikające z *Rozporządzenia o warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, dla budynków modernizowanych lub budowanych po roku 2021.*** Przeprowadzone symulacje wskazują na bardzo dużą wrażliwość efektów ekonomicznych na wyjściowy standard energetyczny budynku przy bardzo małym wpływie tego standardu na wysokość nakładów inwestycyjnych. Oznacza to, że **jedyną sensowną strategią jest poddawanie głębokiej termomodernizacji budynków o najniższym standardzie energetycznym.** Realizacja takiej strategii prowadzi do bardzo szybkiego obniżenia całkowitej emisji CO₂ budynków oświatowych. I tak, termomodernizacja 137 budynków o łącznej pow. 408 tys. m² stanowiącej 24% całkowitej pow. budynków oświatowych ogrzewanych z sieci ciepłowniczej pozwoli zredukować całkowite zapotrzebowanie na ciepło z sieci ciepłowniczej o prawie 72 [GWh/rok], co stanowi 32% całkowitego zapotrzebowania na ciepło z sieci ciepłowniczej. Dla budynków ogrzewanych energią z gazu termomodernizacja 41 obiektów o łącznej powierzchni 59,6 tys. m² stanowiących 29% ogrzewanych gazem pozwoli na zredukowanie zapotrzebowania na gaz o 32%.

Obiekty ogrzewane przy wykorzystaniu energii elektrycznej i oleju opałowego ze względu na bardzo wysokie koszty nośników Energii Końcowej proponuje się wszystkie poddać termomodernizacji.

2. Energia elektryczna

Możliwe do uzyskania oszczędności dzięki modernizacji systemu zaopatrzenia w energię elektryczną są dwojakiego rodzaju.

Pierwszy z nich to oszczędności wynikające z **zarządzania energią i uporządkowania taryf.** Z analizy bazy danych budynków oświatowych stworzonej przez Biuro Infrastruktury, a także z badań Grupy IEN w obiektach oświatowych dzielnicy Białołęka w 2013 r. wynikają niedostatki czy nawet brak instrumentów zarządzania energią elektryczną. Skutkuje to stratami finansowymi. Samo dopasowanie mocy zamówionej do faktycznych potrzeb, regulacja obciążenia faz i kompensacja mocy biernej powinno wygenerować oszczędności na poziomie ok. 7 mln zł rocznie.

Drugi to **modernizacja systemów oświetlenia.** Inwestując około 80 mln zł w system oświetlenia LED i automatykę powinno się zredukować zapotrzebowanie na energię elektryczną na poziomie 37 [GWh_e] uzyskując oszczędności na poziomie prawie 22,4 mln zł rocznie.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Tabela 21. Bilans potencjału poprawy efektywności energetycznej placówek oświatowych i redukcji emisji CO₂

lp	Wyznacznik wyboru	Oszczędność energii [MWh]	Oszczędność kosztów energii [mln zł]	Redukcja emisji ***** [tys. Mg CO ₂]	Nakłady [mln zł]	SPBT [lata]
Sieć ciepłownicza						
1.	Najniższe SPBT*	71 732	14,7	24,2	204	14
2.	Największe oszczędności energii*	71 952	14,4	24,3	224	15,5
Gaz ziemny						
3.	Najniższe SPBT**	11 000	2,5	2,2	35,5	14,2
Olej opałowy						
4.	Najniższe SPBT ***	1 800	0,9	0,496	11,3	12,5
Energia elektryczna systemowa						
5.	Najniższe SPBT ****	1 158	1,3	0,941	6,81	5,24

* Do obliczeń dotyczących potencjału redukcji zapotrzebowania na ciepło, gdzie źródłem jest sieć ciepłownicza wzięto obiekty o najniższym czasie zwrotu nakładów SPBT. Analiza dotyczy 137 obiektów o SPBT < 21 [lat].

** W drugim wierszu wybrano do analizy 110 budynków o najwyższym potencjale redukcji zapotrzebowania na energię.

*** Dla budynków zasilanych gazem przyjęto, że termomodernizacji poddane będą wszystkie budynki, dla których inwestycja Głębokiej Termomodernizacji ma SPBT < 21 [lat].

**** Do analizy wzięto wszystkie obiekty zasilane olejem opałowym lub energią elektryczną systemową ze względu na ich niewielką ilość i małą wartość SPBT.

***** Do obliczenia redukcji emisji CO₂ przyjęto wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2013 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2016.

PRZYPISY KOŃCOWE

- [1] WYON David. P., WARGOCKI P: *Indoor air quality effects on office work*. Part of: *Creating the Productive Workplace*. ss. 193–205. Taylor Francis. London, 2006
- [2] LIS Anna: *Jakość mikroklimatu w salach przedszkolnych a warunki komfortu cieplnego i potencjał psychofizyczny przebywających w nich osób*. VI Ogólnopolska Konferencja: *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce*. Warszawa, 15–16.11.2001 r. *Jakość powietrza w budynkach edukacyjnych*.
- [3] IGNAR-GOLINOWSKA Barbara: *Placówki nauczania w świetle danych stacji sanitarno-epidemiologicznych*. VI Ogólnopolska Konferencja: *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce*. Warszawa, 15–16.11.2001 r. *Jakość powietrza w budynkach edukacyjnych*
- [4] LIS Piotr: *Stan techniczny stolarki okiennej w budynkach szkół a wentylacja pomieszczeń*. VI Ogólnopolska Konferencja: *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce*. Warszawa, 15–16.11.2001 r. *Jakość powietrza w budynkach edukacyjnych*.
- [5] SOWA Jerzy: *Wentylacja a jakość powietrza w budynkach szkolnych*. VI Ogólnopolska Konferencja: *Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce*. Warszawa, 15–16.11.2001 r. *Jakość powietrza w budynkach edukacyjnych*
- [6] WACHENFELDT Bjørn Jenssen, MYSEN Mads, SCHILD Peter G.: *Air flow rates and energy saving potential in schools with demand-controlled displacement ventilation*. *Energy and Buildings* 39 (2007). ss. 1073–1079
- [7] MYSEN Mads, BERNTSEN Sveinung, NAFSTAD Per, SCHILD Peter G.: *Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools*. *Energy and Buildings* 37 (2005). ss. 1234–1240
- [8] KLUTTIG Heike, ERHORN Hans, MØRCK Ove: *Retrofitting in Educational Buildings – REDUCE*. 25 Case Study Reports from 10 different Countries. IEA ECBCS Annex 36
- [9] WYON David P.: *Thermal and air quality effects on the performance of schoolwork by children*. Swegon Air Academy lecture for CIBSE (UK)
- [10] http://delibra.bg.polsl.pl/Content/33560/BCPS_37383_2008_Jakosc-powietrza-i-w.pdf
<http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/10057/full10057.pdf>
- [11] *Audyt Energetyczny Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych Nr 1 w Końskich*, nie publikowany
- [12] *Audyt Energetyczny Szkoły Wyższej Psychologii Społecznej w Warszawie*, nie publikowany
- [13] Polska Rada Architektury, SARP, TUP, Izba Architektów RP: *Polska Polityka Architektoniczna*, Warszawa 2011

VII. Szczegółowe wytyczne do SIWZ

1. Rekomendacje w sprawie szczegółowych wytycznych do SIWZ dla zamówienia o wykonanie Audytu Energetycznego

Oplącalna ekonomicznie **poprawa efektywności energetycznej budynków** oświatowych zależy od trzech niezależnych i bardzo różniących się przedsięwzięć. Są to **Audyt Energetyczny, Inwestycje Energooszczędne i Zarządzanie Energią**. Każde z nich rządzi się swoimi prawami, ale nie sposób uzyskać efekt energetyczny i ekonomiczny bez zapewnienia najwyższej jakości każdego z nich. Zacznijmy od samej definicji Audytu Energetycznego. Dyrektywa 2006/32/WE tak go definiowała: „systematyczna procedura pozwalająca na zdobycie odpowiedniej wiedzy o profilu istniejącego zużycia energii danego budynku lub zespołu budynków, operacji lub instalacji przemysłowej oraz usług prywatnych lub publicznych, która określa i kwantyfikuje możliwości oplącalnych ekonomicznie oszczędności energetycznych oraz informuje o wynikach”.

Mamy tu dwa elementy. Pierwszy z nich to **diagnoza**, która przypisuje poszczególnym elementom budynku lub procesu cząstkowy udział w zużyciu energii. Innymi słowy Audytor identyfikuje wszystkie elementy budynku lub procesu mające wpływ na zużycie energii i na podstawie ich budowy lub właściwości wylicza jaka część całkowitego zużycia energii może być przypisana do każdego z tych elementów. Prawidłowy „rozbiór” rachunku za energię jest istotny, bowiem jego obniżenie będzie zależało od sumy działań zmierzających do zmniejszenia każdego z tych cząstkowych zużyć energii. Ta część pracy Audytora jest znormalizowana i sformalizowana i wyniki pracy różnych wykonawców powinny być jednakowe. Jednakże i w tym zakresie konieczny jest bardzo uważny odbiór pracy, a w szczególności zwrócenie uwagi na analizę relacji wartości wyliczonych przez Audytora z faktycznym zużyciem energii. Należy bowiem pamiętać, że wartości cząstkowe zużycia energii wyliczane są, po pierwsze przy założeniu normatywnego sposobu użytkowania, po drugie na podstawie oceny stanu analizowanego elementu. Ocenie tej zawsze towarzyszy pewien stopień niepewności.

Drugi element Audytu ma zasadniczo inny charakter. Audytor ma za zadanie zaproponowanie **najefektywniejszych sposobów zmniejszenia zużycia energii**. Nawet w najprostszym działaniu jakim jest ocieplenie ścian zewnętrznych istnieje wiele wariantów oraz opcji technologicznych i materiałowych. Na rynku występuje gama materiałów izolacyjnych, a pomiędzy różnymi rozwiązaniami możemy obserwować znaczne różnice w kosztach uzyskania efektu energetycznego. A przecież izolacja ścian to najprostsza inwestycja termomodernizacyjna. Już wymiana okien wymaga optymalizacji pomiędzy izolacyjnością i przepuszczalnością energii promieniowania słonecznego. Jeszcze bardziej złożone są wybory systemów klimatyzacji i wentylacji, nie mówiąc o doborze źródeł energii z uwzględnieniem OZE.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Audyt Energetyczny jest kluczowym elementem decydującym o jakości inwestycji. Wybór najefektywniejszych rozwiązań wymaga od Audytora doskonałej znajomości najnowszych rozwiązań i technologii, zależy od jego doświadczenia, znajomości najnowszych osiągnięć wielu branż budowlanych, ale przede wszystkim od kreatywności. Oznacza to, że przede wszystkim od jakości Audytu Energetycznego zależy skala możliwych do osiągnięcia efektów. Pozostałe filary efektywności energetycznej można zapewnić przy pomocy należytej staranności i jako takie są stosunkowo łatwe do zarządzania.

Ponieważ nie sposób zadekretować w SIWZ oczekiwanych parametrów Audytu pozostaje zdać się na doświadczenie Audytora. Audytorzy Energetyczni funkcjonują na polskim rynku od roku 1998.

Od wielu lat Fundusze Ekologiczne finansują inwestycje energooszczędne w budynkach użyteczności publicznej, których wybór odbywa się na drodze konkursu, w którym decydują parametry Audytu Energetycznego, takie jak **koszt uzyskania efektu** energetycznego czy ekologicznego. Możemy zatem **zadekretować w SIWZ wymóg przedstawienia referencji w postaci przyjętej do realizacji inwestycji, przez instytucję finansującą, na bazie wykonanego przez oferenta audytu**. Gwarantuje to pewność, że audyt został zweryfikowany i jego parametry były lepsze od przeciętnych. Niestety niewiele konkursów wymagało zakresu inwestycji określanej jako Głęboka Termomodernizacja. Oznacza to, że wybór Audytora, który wykazał się doświadczeniem i kompetencjami potwierdzonymi przyjętymi do finansowania inwestycjami nie gwarantuje, że ma on doświadczenie w przygotowaniu audytów, które w optymalnym stopniu wykorzystują techniczny potencjał redukcji zapotrzebowania na energię. Dlatego SIWZ powinien zawierać zapis, że **warunkiem udzielenia zamówienia jest wykazanie się co najmniej dwoma zakwalifikowanymi do realizacji przez instytucję finansującą audytami, w których redukcja zapotrzebowania na energię była wyższa niż 80%**.

Jednakże procent redukcji emisji czy zapotrzebowania na Energię Końcową $E_{K_{H+W}}$ tylko w części jest zasługą zaproponowanych przez Audytora rozwiązań, ponieważ zależy on także od stanu wyjściowego budynku.

Z punktu widzenia inwestora najistotniejsze jest osiągnięcie jak najwyższego standardu energetycznego obiektu po termomodernizacji. Dlatego przedmiotem punktacji powinno być najniższe zapotrzebowanie na energię końcową wykazane przez Audytora, w zaakceptowanej do finansowania przez jednostkę finansującą, inwestycji. Ten ostatni warunek wskazuje na wysoką efektywność ekonomiczną zastosowanych rozwiązań.

Kolejnym elementem kompetencji Audytora, mającej wpływ na prawdopodobieństwo uzyskania produktu najwyższej jakości, jest powtarzalność uzyskiwanych przez niego wyników. Najlepszą jej miarą jest średnia wartość $E_{K_{H+W}}$ z kilku np. pięciu Audytów zaakceptowanych do finansowania, przez jednostkę finansującą.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Aby wybrać Audytora o możliwie najwyższych kompetencjach **proponuje się przyjąć jako kryteria wyboru trzy parametry:**

a. Cenę Audytu Energetycznego – z wagą 40%

Ocena punktowa

$$P_{\text{obliczana}} = (C_{\text{min}} / C_{\text{obliczana}}) * 0,4$$

gdzie:

$P_{\text{obliczana}}$ – punktacja, którą należy wyznaczyć

C_{min} – najniższa oferowana cena ze wszystkich złożonych ofert

$C_{\text{obliczana}}$ – cena rozpatrywanej oferty

b. Najniższe zapotrzebowanie na Energię Końcową $E_{K_{H+W}}$ z przedstawionych przez Audytora Referencyjnych Audytów Energetycznych – z wagą 30%

Ocena punktowa

$$P_{\text{obliczana}} = (Q_{\text{min}} / Q_{\text{obliczana}}) * 0,3$$

gdzie:

$P_{\text{obliczana}}$ – punktacja, którą należy wyznaczyć

Q_{min} – najniższa wartość $E_{K_{H+W}}$ ze wszystkich referencyjnych audytów w złożonych ofertach.

$Q_{\text{obliczana}}$ – najniższa wartość $E_{K_{H+W}}$ z Audytów referencyjnych rozpatrywanej oferty

c. Średnie zapotrzebowanie na Energię Końcową $E_{K_{H+W}}$ z pięciu Referencyjnych Audytów Energetycznych – z wagą 30%

Ocena punktowa

$$P_{\text{obliczana}} = (Q_{\text{min}} / Q_{\text{obliczana}}) * 0,3$$

gdzie:

$P_{\text{obliczana}}$ – punktacja, którą należy wyznaczyć

Q_{min} – najniższa średnia $E_{K_{H+W}}$, z pięciu referencyjnych audytów, spośród złożonych ofert

$Q_{\text{obliczana}}$ – średnia wartość $E_{K_{H+W}}$ z pięciu referencyjnych audytów rozpatrywanej oferty

Mniejsza niż 50% waga ceny wynika z tego, że koszty audytów są znacznie mniejsze niż 1% wartości inwestycji, natomiast roczne oszczędności energii, które zależą od jego jakości, w wyniku inwestycji termomodernizacyjnej to minimum 5% wartości inwestycji (dla SPBT = 20 lat). Tak więc cena audytu ma pięciokrotnie mniejsze znaczenie dla efektu ekonomicznego inwestycji niż jego jakość.

2. Rekomendacje w sprawie SIWZ i kryteriów wyboru projektu w procedurze konkursowej

Jak pokazuje praktyka np. Szwajcarii i co rekomenduje SARP [13], najlepszym sposobem wyboru projektów jest **konkurs architektoniczny**. Wadą tej procedury jest czasochłonność. Z drugiej jednak strony czas eksploatacji nowobudowanych obiektów to kilkadziesiąt lat, więc nadmierny pośpiech, mogący mieć negatywny wpływ na jakość obiektu jest niewskazany. Forma konkursu dla wyboru projektu nie prowadzi automatycznie do sukcesu. Jego warunkiem są odpowiednie kryteria konkursowe.

a. Pierwszym z nich jest Program Funkcjonalny.

Bardzo ważne jest by powstawał on w procesie konsultacji społecznych ze wszystkimi interesariuszami inwestycji. Program Funkcjonalny powinien zawierać wymogi dotyczące oczekiwanych parametrów środowiskowych, źródłem tych parametrów mogą być systemy oceny oddziaływania projektów takie jak LEED, DGNB, BREEAM. Program Funkcjonalny może zawierać wymóg uzyskania określonego standardu oddziaływania na środowisko. Stopień realizacji Programu Funkcjonalnego ocenia Sąd Konkursowy. **Kryteria to powinno mieć wagę 40%.**

Ocena punktowa

$$P_{\text{obliczana}} = (O_{\text{obliczana}} / O_{\text{max}}) * 0,4$$

gdzie:

$P_{\text{obliczana}}$ – punktacja, którą należy wyznaczyć

O_{max} – najwyższa liczba punktów przyznanych przez Sąd Konkursowy

$O_{\text{obliczana}}$ – liczba punktów przyznanych przez Sąd Konkursowy rozpatrywanemu projektowi

b. Drugim kryterium jest suma kosztów budowy i eksploatacji obiektu.

Koszty budowy powinny zawierać także koszt projektu. Wybór optymalny to taki, dla którego suma tych dwu czynników w okresie co najmniej dwudziestoletnim, jest najniższa. **Kryteria ekonomiczne powinny mieć wagę 60%.**

Ocena punktowa

$$P_{\text{obliczana}} = (K_{\text{min}} / K_{\text{obliczana}}) * 0,6$$

gdzie:

$P_{\text{obliczana}}$ – punktacja, którą należy wyznaczyć

K_{min} – najniższa z oferowanych suma kosztów budowy i kosztów energii w czasie 20 lat eksploatacji w cenach stałych

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

$K_{obliczana}$ – suma kosztów budowy i kosztów energii w czasie 20 lat eksploatacji w cenach stałych oferowana w rozpatrywanym projekcie

W warunkach konkursu powinny być zawarte **maksymalne koszty inwestycji i koszty projektu.**

Efekty takiego procedowania mogą pozytywnie przekroczyć oczekiwania inwestora. Przykładem może być ogłoszony w takiej formule konkurs na kompleks szkolny w Markach woj. mazowieckie. Konkurs wygrał projekt budynku gimnazjum o poniższych parametrach:

- 27 oddziałach po 30 uczniów
- 97 osób personelu (w tym personel części żywieniowej i biblioteki znajdujących się w budynku)
- Powierzchnia zabudowy: 2 722,74 m²
- Powierzchnia netto: 5 900,09 m²
- Kubatura brutto: 26 516,03 m³
- Koszt budowy 1 m² pow. netto 2 550 zł
- Zapotrzebowanie na energię końcową $EK < 5 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$
- Roczny koszt ogrzewania 7 375 zł/rok ($< 1,25 \text{ zł/m}^2$)
- Koszt budowy 15 mln zł.

Jak widać z powyższego przykładu zbliżonych do średnio rynkowych kosztów inwestycji, już na etapie kosztorysowym uzyskano standard energetyczny budynków o *niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię* i kosztach eksploatacji kilkukrotnie niższych niż w obiektach standardowych. Przy czym godne podkreślenia jest to, że różnice pomiędzy pierwszymi trzema zespołami były kilkupunktowe. Dowodzi to, że know-how w zakresie efektywnego ekonomicznie budownictwa *niemal zero energetycznego* jest dość powszechne, a koszty takiego projektowania nie odbiegają od średnich rynkowych.

3. Rekomendacje dla SIWZ i kryteriów wyboru wykonawcy w trybie „zaprojektuj i wybuduj”

Tryb *zaprojektuj i wybuduj* znacznie skraca czas powstania inwestycji, ale istotnie ogranicza optymalizację projektu i powinien odnosić się do zestandaryzowanych rozwiązań. Dlatego w inwestycjach realizowanych w tym trybie najistotniejszym elementem procedury jest precyzyjny opis parametrów inwestycji.

Dla projektu Kompleksu Oświatowego w Markach został przygotowany przez Krajową Agencję Poszanowania Energii S.A. wniosek o dofinansowanie inwestycji spełniającej kryteria obiektu kategorii „A” do programu LEMUR. Oznacza to uzyskanie parametrów energetycznych na poziomie o 60% lepszym niż wymagania aktualnego Rozporządzenia o „Warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie”, przy kosztach budowy nieodbiegających od średnich krajowych.

Wytyczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

Biorąc pod uwagę powyższe doświadczenia, można sformułować następujące wytyczne dla projektu, które zagwarantują optymalny, z punktu widzenia kosztów, standard energetyczny budynków.

Wytyczne do projektowania dla parametrów cieplnych przegród

1. Nieprzezroczyste przegrody zewnętrzne o współczynniku przewodzenia ciepła $U \leq 0,1$ [$W/(m^2K)$]
2. Okna o współczynniku przewodzenia ciepła $U_w \leq 0,9$ [$W/(m^2K)$]
3. Podłoga na gruncie $U \leq 0,2$ [$W/(m^2K)$]
4. Liniowe mostki ciepła $g \leq 0,08$ [$W/(m^2K)$]

Wytyczne do projektowania instalacji

A. Wytyczne do projektowania instalacji wentylacji

1. Strumień powietrza wentylacyjnego umożliwiający zapewnienie poziomu stężenia $CO_2 \leq 800$ ppm zgodnie z *ASHRAE 62-1989 Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*
2. Sprawność nominalna rekuperatora $\eta_t \geq 0,9$
3. Średnio sezonowa sprawność rekuperacji $\eta_t \geq 0,84$
4. Odzysk co najmniej 80% wilgoci z powietrza usuwanego
5. Instalacja zapobiegająca oszronieniu wymiennika ciepła bez konieczności podgrzewania powietrza świeżego
6. Sterowanie strumienia powietrza czujnikiem stężenia CO_2 dla każdej klasy

B. Instalacje CWU

1. Armatura czasowa z mieszaczami i ogranicznikami wypływu ≤ 2 l/min dla umywalek i ≤ 6 l/min dla natrysków
2. Automatyka z zegarem astronomicznym umożliwiającą precyzyjne programowanie czasu cyrkulacji

C. Instalacja klimatyzacji

1. Budynki użyteczności publicznej muszą być tak projektowane, by nie dopuszczać do przegrzewania pomieszczeń. Dlatego w placówkach oświatowych konieczne jest stosowanie aktywnych systemów schładzania powietrza. Najefektywniejsze obecnie są systemy klimatyzacji VRF. Systemy takie umożliwiają chłodzenie i grzanie obiektów.
2. Sezonowy wskaźnik efektywności chłodzenia $SEER \geq 4$
3. Sezonowy wskaźnik efektywności grzania $SCOP \geq 4$

D. Gwarancje

Opłacalność stosowania wysokosprawnych systemów instalacyjnych wynika z redukcji kosztów energii w wyniku ich zastosowania i nakładów poniesionych na ich zastosowanie. Miarą tej efektywności jest SPBT. Jeżeli gwarantowany czas życia instalacji jest równy SPBT to korzyści ekonomiczne z inwestycji w całości trafiają do wykonawców i dostawców urządzeń dla instalacji. W szczególności wobec praktyk

Wytoczne w zakresie podniesienia efektywności energetycznej w obiektach użyteczności publicznej na bazie wybranych budynków oświatowych m.st. Warszawy

producentów, którzy nakładem ogromnych środków starają się skrócić czas życia urządzeń do czasu działania rękami. Dlatego należy dążyć do maksymalnego wydłużenia czasu gwarancji pamiętając o zabezpieczeniu jej realizowalności.

E. Odnawialne źródła energii

Stosować na wszystkich nieocienionych dachach ogniwa PV w ilości co najmniej pokrywającej w 100% zapotrzebowanie na chłód. Rozwiązanie takie zapewnia wykorzystanie 100% wytwarzanej energii z OZE na potrzeby własne. Ponieważ pozwala na obniżenie mocy zamówionej na poziomie zapotrzebowania na moc instalacji klimatyzacji można przyjąć, że instalacja produkuje energię po koszcie energii zaoszczędzonej. W warunkach warszawskich będzie to 0,504 [zł/kWh]. Szacunkowy koszt zainstalowania (urządzenia, materiały, robocizna) instalacji PV o mocy szczytowej 1kW to 5 000 zł wg

<http://www.globenergia.pl/fotowoltaika-aktualnosci/184-pv-wydarzenia/5417>.

Roczna produkcja energii elektrycznej dla Warszawy z instalacji o mocy 1 kW to nie mniej jak 950 kWh o wartości:

$$950 \text{ [kWh/rok]} * 0,504 \text{ [zł/kWh]} = 479 \text{ [zł/rok]}$$

stąd:

$$\text{SPBT} = 5000 \text{ [zł]} / 479 \text{ [zł/rok]} = 10,4 \text{ [rok]}$$

Przy minimum 20-letniej trwałości instalacji inwestycja taka jest opłacalna. Należy jednak pamiętać, że energia z OZE zaburza funkcjonowanie energetyki konwencjonalnej. Należy zatem się liczyć z możliwością wprowadzania przez Rząd regulacji zmieniających kalkulację ekonomiczną tych inwestycji. Mogą to być różnego rodzaju obciążenia fiskalne zmniejszające opłacalność wykorzystania OZE.

VIII. Załączniki:

BDBOBIN_C: Załącznik (1) Baza Danych Budynków Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy z danymi budynków zaopatrywanych w ciepło z różnych źródeł

Tabela 1 - Baza Danych Obiektów Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy - ciepło z sieci ciepłowniczej - liczba obiektów 468

Tabela 2 - Baza Danych Obiektów Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy - ciepło z gazu z sieci gazowej - liczba obiektów 89

Tabela 3 - Baza Danych Obiektów Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy - ciepło z lekkiego oleju opałowego - liczba obiektów 8

Tabela 4 - Baza Danych Obiektów Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy - ciepło z energii elektrycznej - liczba obiektów 18

BDBOBIN_E: Załącznik (2) Baza Danych Budynków Oświaty Biura Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy z danymi budynków o zużyciu energii elektrycznej - liczba obiektów 636