



Obliczeniowe i rzeczywiste redukcje CO₂ wynikające z termomodernizacji budynków użyteczności publicznej

WIESŁAW SAROSIEK, BEATA SADOWSKA

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Zakład Podstaw Budownictwa i Fizyki Budowli,
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45E, wsarosiek@op.pl, b.sadowska@pb.edu.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono redukcje CO₂ wynikające z obliczeń na podstawie wdrażanych wariantów audytów energetycznych w kilku budynkach użyteczności publicznej położonych na terenie północno-wschodniej Polski. Wartości obliczeniowe porównano z redukcjami rzeczywistymi wynikającymi z eksploatacji przedmiotowych budynków po wykonaniu termomodernizacji. Uzyskane w większości obiektów efekty były większe od obliczeniowych (od 4,5 do niespełna 40%). W jednym przypadku do osiągnięcia efektu obliczeniowego zabrakło ok. 6%.

Słowa kluczowe: efekty ekologiczne, redukcja CO₂, termomodernizacja, budynki użyteczności publicznej

1. Wstęp

Od kilkunastu lat prowadzone są w kraju działania pod ogólnym hasłem „termomodernizacja”, prowadzące do obniżenia zużycia energii cieplnej na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej. W dużej części prace były prowadzone z pomocą ustawy o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych i zmodyfikowanej obowiązującej obecnie ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów.

Ocena inwestycji termomodernizacyjnej odbywa się zazwyczaj na podstawie przewidywanych efektów energetycznych. Może to być oszczędność energii wyrażona wprost w GJ lub % albo ta sama oszczędność przeliczona na pieniądze. Poszczególne przedsięwzięcia oceniane są często na podstawie statycznego wskaźnika SPBT,

natomiast cała inwestycja na podstawie dynamicznego wskaźnika NPV. Oba wskaźniki wyznaczane są na podstawie kosztów i efektów energetycznych inwestycji.

Często obecnie realizowane są termomodernizacje dużych obiektów lub części grup budynków w oparciu o różnego rodzaju fundusze unijne (na przykład w ramach tak zwanych zielonych inwestycji). Zazwyczaj najważniejszym wskaźnikiem jakości inwestycji termomodernizacyjnej jest w takich przypadkach wielkość redukcji CO₂ (redukcja energii służy często jako wstępne kryterium dostępu — wymagane jest osiągnięcie progu oszczędności energii w %).

W pracy przedstawiono porównanie przewidywanych na podstawie audytów efektów energetycznych, przeliczonych na redukcje emisji CO₂, z osiągniętymi podczas eksploatacji rzeczywistymi efektami. Wielkości efektów rzeczywistych wyznaczono na podstawie zużycia energii lub zużycia paliw w zasilających przedmiotowe budynki źródłach ciepła.

2. Badane obiekty

Omawiane w niniejszej pracy wyniki teoretyczne (obliczeniowe) i rzeczywiste (eksploatacyjne) dotyczą czterech obiektów użyteczności publicznej zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce. Praktycznie we wszystkich przypadkach nie były to pojedyncze budynki, lecz zespoły budynków pełniące określone funkcje. W tabeli 1 zamieszczono podstawowe parametry charakteryzujące te obiekty.

TABELA 1

Dane techniczno-użytkowe obiektów badawczych

Lp.	Obiekt	Technologia	Kubatura ogrzewana [m ³]	Powierzchnia ogrzewana [m ²]	Paliwo kotłowni
1a	SP i Gimnazjum (2011/2012)	Wielki blok CŻ	14 483	4 512	Węgiel
1b					
2	ZSR z internatem i bud. technicznym	Tradycyjna + szkielec żelbet	12 242	4 234	Drewno
3a	Szkoła Podstawowa nr 5	Tradycyjna	11 327	3 620	Gaz
3b					
4a	Szkoły Podstawowe nr 2, 4, 9	Tradycyjna Tradycyjna Wielki blok CŻ	46 132	13 561	Węgiel
4b					

Wszystkie obiekty związane są z oświatą — to budynki szkół, internatu i zajęć praktycznych. Z danych kubaturowych wynika, że są to budynki lub zespoły

budynków o zróżnicowanej kubaturze pozwalającej zakwalifikować je jako średnie lub duże budynki szkolne. W tabeli 1 pod numerami 1, 3 i 4 figurują z indeksami a i b te same obiekty dla których dane pochodzą z dwóch kolejnych lat eksploatacji. W przypadku przedstawionych powyżej obiektów istotny jest różny rodzaj paliwa w źródłach zaopatrujących je w ciepło. Pozwoli to na pełniejsze wnioski dotyczące przedmiotu referatu. Wymienione w poz. 4a i 4b tabeli 1 Szkoły Podstawowe nr 2, 4 i 9 zasilane były z miejskiej sieci ciepłowniczej, co umożliwiło potraktowanie ich jako jeden obiekt. Wszystkie analizowane budynki można zaliczyć do średniego standardu energetycznego reprezentatywnego dla lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych.

Termomodernizacje przeprowadzono we wszystkich obiektach wg audytów, których autorami lub współautorami byli autorzy niniejszego artykułu. Po przeprowadzeniu inwestycji nastąpił monitoring efektów dający możliwość sprawdzenia rzeczywiście osiągniętych efektów termomodernizacji zaplanowanej według wcześniej wykonanych audytów.

3. Obliczenia i analiza wyników

Obliczenia osiągniętych podczas eksploatacji efektów wykonano zgodnie z poniżej opisaną metodą (przykładowo dla oleju opałowego):

- zużycie B [dm³] w sezonie ogrzewczym (roku) wg faktur zakupu i inwentaryzacji zapasu,
- gęstość oleju opałowego ρ [kg/dm³],
- zużycie paliwa

$$B' = B \cdot \rho \text{ [kg]}, \quad (1)$$

- stopniodni „standardowe” dla określonej strefy klimatycznej oraz temperatury wewnętrznej podczas eksploatacji (jak w audycie energetycznym) S_d [K*doba],
- stopniodni „rzeczywiste” dane z IMiGW (dla temperatury wewnętrznej jak w audycie energetycznym) S_{drz} [K*doba],
- wskaźnik przeliczeniowy na sezon standardowy

$$n = S_d / S_{drz}, \quad (2)$$

- rzeczywiste zużycie energii Q_{rz} [GJ],

$$Q_{rz} = B' \times \frac{WO}{1000} \text{ [GJ]}, \quad (3)$$

- wartość opałowa (oleju opałowego) $WO = 40,19$ [MJ/kg],

- energia zużyta w ciągu roku sprowadzona do poziomu sezonu standardowego Q_{rzst} [GJ],

$$Q_{rzst} = Q_{rz} \times n \text{ [GJ]}, \quad (4)$$

- rzeczywista emisja CO₂ przeliczona na sezon standardowy [Mg/a],

$$X_{CO_2} = Q_{rzst} \times WE_{CO_2} \text{ [Mg/a]}, \quad (5)$$

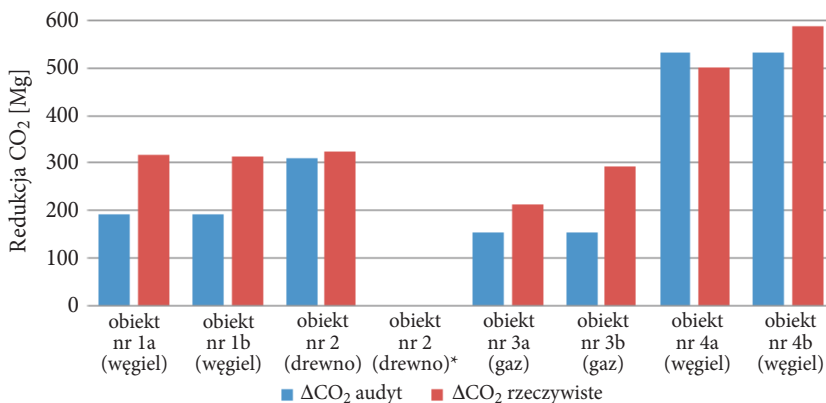
gdzie: WE_{CO_2} — wskaźnik emisji CO₂ [1].

Zakładany na podstawie audytu wynik termomodernizacji w postaci efektu energetycznego można zweryfikować, wykorzystując wyznaczoną powyżej, sprowadzoną do sezonu standardowego, zużyta podczas eksploatacji energię:

$$\Delta Q_{rzst} = Q_{audyt_przed} - Q_{rzst} \geq \Delta Q_{audyt} \text{ [GJ]}, \quad (6)$$

gdzie: ΔQ_{rzst} — różnica w zużyciu energii przed termomodernizacją (z audytu) i po niej (rzeczywista energia sprowadzona do sezonu standardowego) [GJ];
 ΔQ_{audyt} — różnica w zużyciu energii przed termomodernizacją i po niej (z audytu energetycznego) [GJ].

Na wykresie (rys. 1) przedstawiono wyniki obliczeń efektów ekologicznych inwestycji termomodernizacyjnych przeprowadzonych dla obiektów opisanych w tabeli 1 numerami od 1a do 4b. W przypadku obiektu nr 2, w którym paliwem było drewno, podano wartości rzeczywiste oraz wartości zerowe (przyjmowane w przypadku handlu emisjami dla tego rodzaju paliwa). Przyjęcie emisji zerowej



Rys. 1. Redukcja CO₂ [Mg] wg audytu i eksploatacyjna (dla obiektu nr 2 — kotłownia opalana drewnem, wartości zerowe* uzyskano przy uwzględnieniu wskaźników emisji przyjmowanych do raportowania w handlu emisjami)

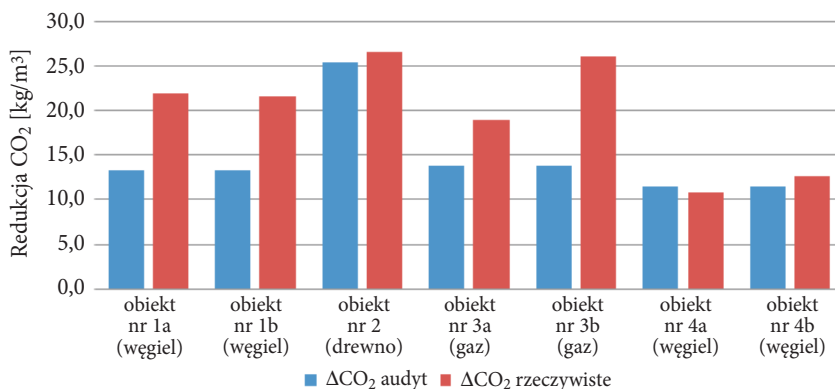
dla kotłowni opalanej drewnem powoduje z jednej strony faworyzowanie zamiany paliw nieodnawialnych na odnawialne (drewno) i jest słuszne w ujęciu globalnym (całościowy bilans emisji CO₂ jest pozytywny). Jednak na podstawie rysunku 1 trudno byłoby ocenić rzeczywisty wpływ inwestycji termomodernizacyjnej przeprowadzonej w obiekcie nr 2 na efekt ekologiczny w postaci redukcji CO₂ oraz porównać ten obiekt do innych pod tym względem przy przyjęciu zerowych a nie rzeczywistych emisji. Uwzględnienie rzeczywistych wskaźników emisji dla drewna jako paliwa pozwala na taką ocenę. Z rysunku 1 wynika, że osiągnięte efekty są na ogół wyższe od obliczeniowych; niekiedy nawet bardzo znacznie. W jednym przypadku (obiekt nr 4a) nie osiągnięto zakładanego poziomu oszczędności emisji CO₂. Z rysunków 1 i 2 wynika, że dla obiektów nr 2 i 4a efekt końcowy wynikający z eksploatacji był zbliżony do obliczeniowego (różnice kilkuprocentowe przy tego typu analizach można traktować jak „trafienie w punkt”).



Rys. 2. Rozbieżność pomiędzy zakładanymi i osiągniętymi redukcjami CO₂

Wyniki oznaczone jako 3a, 3b, 1a i 1b są od 27 do blisko 40% „lepsze” od obliczeniowych, co najprawdopodobniej jest wynikiem rozsądnej eksploatacji badanych obiektów i świadczy o dużych rezerwach tkwiących w tym elemencie. Osiągnięte prawie identyczne wyniki w dwóch kolejnych sezonach ogrzewczych w obiektach nr 1 (1a i 1b) oraz 3 (3a i 3b) świadczą o stabilnej, oszczędnej eksploatacji przedmiotowych budynków. W obiekcie nr 4 kolejne sezony (4a i 4b) różniły się o ponad 15% w kierunku wzrostu osiągniętych efektów, co można by przypisać uczeniu się dobrej eksploatacji pod warunkiem utrzymania w przyszłości osiągniętego w drugim roku efektu.

Na rysunku 3 przedstawiono wskaźnik redukcji CO₂ (redukcje odniesione do kubatury ogrzewanej obiektu), z którego wynika, że najwyższe efekty osiągnięto w obiekcie nr 2, a najniższe w obiekcie nr 4a. Wynika to z zakresu przeprowadzonych inwestycji termomodernizacyjnych. Efekty osiągnięte w obiektach oznaczonych jako 1a, 1b i 3b są najprawdopodobniej wynikiem ich oszczędnej eksploatacji.



Rys. 3. Redukcje CO₂ [kg/m³] wg audytu i eksploatacyjne (przy założeniu rzeczywistych wskaźników emisji)

4. Wnioski

1. Osiągnięcie po wykonaniu inwestycji termomodernizacyjnej wyznaczonych na drodze obliczeniowej redukcji emisji CO₂ w praktyce jest możliwe pod warunkiem świadomej eksploatacji budynków, co jest szczególnie istotne w tak „niełatwych eksploatacyjnie” obiektach, jakimi są szkoły i internaty.
2. Wielkość redukcji CO₂ jest dobrym wskaźnikiem umożliwiającym porównanie między sobą inwestycji termomodernizacyjnych pod warunkiem stosowania jednakowych wartości opałowych i wskaźników emisji dla wszystkich porównywanych obiektów (należy wyeliminować stosowanie zerowych emisji dla kotłowni opalanych drewnem).
3. Redukcja emisji CO₂ dobrze odzwierciedla „ekologiczną wartość” inwestycji termomodernizacyjnej (w świadectwach energetycznych i warunkach technicznych funkcję tę nie najlepiej spełnia wskaźnik energii pierwotnej *EP*).
4. Redukcja CO₂ jest dobrym wskaźnikiem efektywności termomodernizacji budynków analogicznym jak wskaźnik energii końcowej *EK* (również występujący w świadectwach energetycznych).

Artykuł wpłynął do redakcji 14.08.2013 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 17.03.2014 r.

LITERATURA

- [1] *Wartości opałowe i wskaźniki emisji CO₂ (WE) do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2011.*
- [2] *Audyty energetyczne budynków szkół i obliczenia dotyczące monitoringu efektów energetycznych osiągniętych po modernizacji tych budynków wykonane w NAPE S.A. O/Białystok w latach 2008-2014, na prawach rękopisu.*

W. SAROSIEK, B. SADOWSKA

Calculated and actual reductions of carbon dioxide emissions resulting from thermal modernization of public buildings

Abstract. The paper presents the reductions of carbon dioxide, resulting from calculations based on the implemented variants of energy audits, in several public buildings situated in North-Eastern Poland. The calculated values are compared with the actual reductions resulting from exploitation of the buildings. Obtained results in most objects were larger than the calculated ones (from 4.5% to less than 40%), in one case the effect was smaller of approximately 6%.

Keywords: ecological effects, reduction of carbon dioxide, thermomodernization, public buildings

