

METODA WYZNACZANIA EFEKTYWNEJ GRUBOŚCI IZOLACJI TERMICZNEJ W BUDYNKACH MIESZKALNYCH I UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ PRZY UWZGLĘDNIENIU ŹRÓDŁA CIEPŁA

Robert STACHNIEWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę efektywnych grubości docieplenia w miejskich systemów grzewczo-budowlanych wykonaną na bazie Masterplanów w dziewiętnastu miastach. Wprowadzono podział systemów na trzy rodzaje: z deficytem mocy, zrównoważone i z nadwyżką mocy w źródle ciepła. Dla każdego z nich przedstawiono algorytm obliczeń efektywnej grubości docieplenia z uwzględnieniem dopasowania mocy źródła. Sformułowane algorytmy uwzględniają efekty unikniętych inwestycji w rozbudowę źródła ciepła oraz efekty ekologiczne. Wykorzystując opracowane algorytmy przeprowadzono obliczenia efektywności wybranych przedsięwzięć termomodernizacyjnych i analizę porównawczą z wynikami obliczeń optymalizacyjnych wykonanymi według obecnych aktów wykonawczych do ustawy o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych.

Słowa kluczowe: termomodernizacja budynków, system ciepłowniczy, efektywność inwestycji, ekologia.

1. Wprowadzenie

W 1989 roku zapoczątkowano w Polsce przemiany gospodarcze, zmierzające do gospodarki rynkowej. Działania te zaowocowały, między innymi, podażą na rynek nieograniczonej ilości materiałów izolacji cieplnej, jak również nowej techniki w zakresie instalacji wewnętrznych i ciepłownictwa. Następowo urealnianie kosztów surowców energetycznych i energii, stwarzając możliwość opłacalności inwestycji w oszczędzanie energii i zainteresowanie odbiorców końcowych oszczędnością energii. Od 1991 roku wprowadzono obowiązek wyposażania węzłów cieplnych w budynkach (lub tak zwanych węzłów cieplnych grupowych) w urządzenia do pomiaru ilości ciepła sprzedawanego przez dostawcę odbiorcy (na koszt dostawcy ciepła). Inwestowanie w rozwiązania techniczne obniżające zużycie energii na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej, stawało się opłacalne (zwrot kosztu inwestycji z przyszłych oszczędności był możliwy w stosunkowo krótkim czasie).

W ekspertyzie KILiW PAN i Fundacji Poszanowania Energii (1994) została przedstawiona koncepcja kredytów na termomodernizację. Na podstawie tej ekspertyzy trzy komisje sejmowe zwróciły się do rządu z dezyderatem opracowania programu działań zmierzających do racjonalizacji użytkowania energii w sektorze komunalno-bytowym. Program taki został w 1995 roku opracowany i zaakceptowany przez Sejm. Przewidywał on wspieranie przez państwo przedsięwzięć

termomodernizacyjnych finansowanych w drodze kredytów. Odpowiednia ustawa (Dz. U. 1998 r. Nr 162 poz. 1121) została uchwalona w grudniu 1998 roku (znowelizowana w lipcu 2001 roku).

Ustawa o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych dotyczy między innymi przedsięwzięć, które mają na celu zmniejszenie zużycia energii dostarczanej na potrzeby c.o. i c.w.u. do budynków mieszkalnych, budynków zamieszkania zbiorowego i budynków służących do wykonywania przez jednostki samorządu terytorialnego zadań publicznych (podobne uregulowania dotyczą źródeł ciepła i sieci cieplnych).

Algorytmy rachunku opłacalności, przyjęte w rozporządzeniach wykonawczych do ustawy termomodernizacyjnej, nie uwzględniają innych korzyści wynikających z termomodernizacji budynku, niż tylko obniżenie kosztu ogrzewania.

W latach 1994-2002 na zlecenie zarządów miast i gmin leżących na terenach wschodniej Polski, w ramach działalności Narodowej Agencji Poszanowania Energii (filia w Białymstoku) wykonano szereg opracowań dotyczących racjonalizacji użytkowania energii (tak zwane „Masterplany”), w których opracowaniu uczestniczył autor artykułu (Stempniak i in., 1994-2002).

Analizy w kilkunastu z tych miast wykazały istniejący lub mogący w niedalekiej przyszłości wystąpić (na skutek dalszej rozbudowy miasta) deficyt mocy w lokalnych źródłach ciepła. W miastach tych przy kompleksowej termomodernizacji, w tym dociepleniu budynków, można by zaniechać rozbudowy źródła ciepła lub przesunąć jego

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: r.stachniewicz@pb.edu.pl

rozbudowę na odleglejszy termin. Inwestycje w termomodernizację budynków mogą więc spowodować możliwość zaniechania inwestycji w źródło ciepła i wydatków na opłaty z tytułu użytkowania środowiska. Związane jest to z faktem termomodernizacji budynków i w konsekwencji zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło oraz moc w źródle ciepła, co daje możliwość przyłączenia do tego samego źródła ciepła dodatkowej liczby odbiorców. Wiąże się to także ze spadkiem opłat ponoszonych przez wytwórców ciepła za zanieczyszczenie środowiska naturalnego.

2. Konstrukcja modelu obliczeniowego efektywnej grubości izolacji termicznej dla budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej zasilanych z centralnego źródła ciepła

Przedstawione w artykule systemy grzewczo-budowlane (oznaczone w dalszej części jako SGB), dla których analizowano efektywne grubości docieplenia przegród zewnętrznych, zasilają w ciepło budynki na terenie zabudowy miejskiej. W systemach tych można było spotkać się z trzema przypadkami pokrycia zapotrzebowania na moc cieplną budynków podłączonych do źródła ciepła. Wyróżniono trzy przypadki: system zrównoważony (zapotrzebowanie na ciepło budynków równe możliwościom produkcyjnym źródła), z nadwyżką oraz deficytem mocy cieplnej.

Aby obliczyć efektywną grubość docieplenia zewnętrznych przegród pełnych w budynkach zasilanych z jednego źródła ciepła w SGB zmodyfikowano wzór na zaktualizowaną wartość netto inwestycji NPV, przedstawioną w instrukcji UNIDO (Behrens i Hawranek, 1991).

Podstawowa postać wzoru, na której bazuje algorytm oceny efektywności przedsięwzięć termomodernizacyjnych, przedstawia się następująco:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Delta E_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

gdzie: ΔE_t to roczne oszczędności eksploatacyjne w roku t , I_t są to nakłady inwestycyjne na przedsięwzięcie termomodernizacyjne, r jest stopą dyskonta, a n liczbą lat uwzględnionych w rachunku efektywności (okres „życia” inwestycji).

W artykule analizowane są przedsięwzięcia wpływające na zmianę wielkości deficytu w źródle ciepła, dlatego rozpatrywane przedsięwzięcia skupiają się na poprawie izolacyjności przegród zewnętrznych. Do przedsięwzięć tych można zaliczyć między innymi ocieplenie przegród zewnętrznych (stropodachów, dachów, ścian i stropów nad piwnicami nieogrzewanymi).

Uwzględniając fakt, że zabiegi termomodernizacyjne zmniejszają zapotrzebowanie na energię cieplną i moc cieplną, uzyskuje się w ten sposób oszczędność energii, a co za tym idzie zmniejszenie opłat za emisję szkodliwych związków do atmosfery przez źródło ciepła zasilające budynki. Oprócz tego, zmniejsza się także moc

cieplna potrzebna na pokrycie strat w budynkach poddanych procesowi termomodernizacji. Powoduje to, w źródłach z deficytem mocy cieplnej, zmniejszenie tego deficytu oraz możliwość uniknięcia jego rozbudowy (koszty uniknięte).

Uwzględniając koszty uniknięte rozbudowy źródła, wychodząc ze wzorów na koszt jednostki ciepła i mocy w opłacie dwuczłonowej otrzymuje się następujące zależności:

$$K_{jm} = A \cdot \left(\frac{K_{0u}}{N} + \frac{WOK}{MWOK \cdot \Delta N_{def}} \right) \quad (2)$$

$$K_{jc} = (1-A) \cdot \left(\frac{K_{0u}}{Q} + \frac{WOK}{MWOK \cdot \Delta Q_{def}} \right) \quad (3)$$

gdzie: K_{jm} to koszt jednostkowy stanowiący podstawę do ustalenia bazowej ceny za moc cieplną wyrażony w zł/MW, K_{0u} jest uzasadnionym kosztem w zakresie wytwarzania, przetwarzania i magazynowania ciepła związanym z dostarczaniem ciepła dla danej grupy odbiorców w zł, A wyraża wskaźnik udziału opłat za zamówioną moc cieplną w łącznych opłatach w roku dla danej grupy odbiorców (wartość może być przyjmowana w przedziale 0,3-0,4), N jest określoną w umowach sprzedaży ciepła mocą zamówioną przez daną grupę odbiorców w poprzednim roku lub średnią mocą cieplną, obliczoną jako średnia arytmetyczna mocy cieplnej zamówionej w kolejnych 12 miesiącach poprzedniego roku w MW, Q to ilość ciepła dostarczonej danej grupie odbiorców w poprzednim roku w GJ, WOK to wartość obecna kotłowni pokrywającej deficyt ciepła w systemie grzewczo-budowlanym wyrażona w zł, a $MWOK$ jest mnożnikiem wartości obecnej kotłowni służącym do ustalenia jej aktualnej wartości ze średnich rocznych kosztów związanych z nakładami inwestycyjnymi na modernizację lub jej rozbudowę $K_{sr.z}$, ΔN_{def} jest wyrażoną w MW mocą kotłowni pokrywającej deficyt, a ΔQ_{def} ilością ciepła w GJ jaką może wyprodukować kotłownia pokrywająca deficyt w standardowym sezonie grzewczym.

W celu uwzględnienia kosztu opłat za emisję szkodliwych związków do atmosfery posłużono się zaktualizowaną metodą Gaja (1991). Opłaty te uwzględniono w algorytmie poprzez dodanie do kosztu jednostki energii kosztów szkód ekologicznych wyrażonych wzorem:

$$K_{eko} = \frac{s_n}{W_p \cdot \eta} \quad (4)$$

gdzie: s_n jest współczynnikiem strat ekologiczno-ekonomicznych, W_p to średnia wartość opałowa nośnika energii używanego w źródle ciepła, a η to sprawność sezonowa źródła ciepła.

Precyzyjne określenie zdyskontowanych dla każdego roku (w okresie obliczeniowym) oszczędności energetycznych wymaga znajomości stopy dyskonta, obowiązującej przez cały okres trwania inwestycji. Na jej podstawie można określić współczynnik dyskonta a_t .

Wielkość stopy dyskontowej przyjmowana jest różnie w zależności od specyfiki analizowanego przedsięwzięcia i sposobu finansowania inwestycji. W przypadku gdy projekt inwestycyjny finansowany jest za pomocą funduszu obcego, stopę dyskontową przyjmuje się równą stopie procentowej płaconej od uzyskanego kredytu, bądź równą rynkowej stopie oprocentowania kredytów długookresowych lub średniookresowych (zależnie od wymaganego przez przedsięwzięcie okresu kredytowania). Tak przyjęta stopa dyskontowa oznacza koszt pozyskania kapitału na dane przedsięwzięcie inwestycyjne.

Przy założeniu oprocentowania kredytów długoterminowych (na przykład kredyty termomodernizacyjne) na poziomie 10% i średniej rocznej stopy inflacji na poziomie $i_i = 3,0\%$. Przy tym poziomie oprocentowania kredytu i stopie inflacji, otrzymuje się realną stopę dyskonta wynoszącą $r_{real} = 6,8\%$. Taką stopę dyskonta przyjęto do oceny efektywności przedsięwzięć termomodernizacyjnych w niniejszej artykule.

W sytuacji gdy obliczamy stopę dyskonta oraz współczynnik dyskontujący dla inwestycji związanych z użytkowaniem energii, na przykład termomodernizacja budynków, aby zwiększyć wagę kosztów energii w obliczeniach efektywności przyjmuje się wzrost tego kosztu ponad inflację o s wynoszące 2-3%. Do obliczeń przyjmuje się wówczas współczynnik dyskonta wyrażony wzorem:

$$a_t = \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} \quad (5)$$

Obliczenia efektywności za pomocą kryterium NPV obejmują wszystkie trzy przypadki poprzez uwzględnienie odpowiednich wielkości oszczędności rocznych. W każdym z 3 przypadków bilansu mocy cieplnej w systemie grzewczo-budowlanym algorytm przyjmuje różną postać, zależnie od czynników mogących wpłynąć na wysokość oszczędności rocznych. Oszczędności te są uzależnione od ceny energii cieplnej i mocy u końcowych jej odbiorców. Uwzględniają one efekt kosztów unikniętych na rozbudowę lub budowę nowego źródła pokrywającego deficyt mocy oraz efekty ekologiczne, wynikłe ze zmniejszenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

Ostatecznie zmodyfikowany wzór służący do określenia efektywnej grubości docieplenia zewnętrznych przegród pełnych dla przypadku miejskiego systemu grzewczo-budowlanego z deficytem mocy cieplnej przyjmuje postać:

$$NPV = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (U_0 - U_1) \cdot \left[(t_{wo} - t_{zo}) \cdot A \cdot \left(\frac{K_{0u}}{N} + \frac{WOK}{MWOK \cdot \Delta N_{def}} \right) + 7,2 \cdot Sd \cdot \left(\frac{s_n}{W_p \cdot \eta} + (1-A) \cdot \left(\frac{K_{0u}}{Q} + \frac{WOK}{MWOK \cdot \Delta Q_{def}} \right) \right) \right] \cdot \sum_{t=1}^n \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} - I_o \quad (6)$$

gdzie: U_0 i U_1 są współczynnikami przenikania ciepła przegrody zewnętrznej przed i po termomodernizacji wyrażonymi w $W/(m^2 \times K)$, t_{wo} i t_{zo} to temperatury obliczeniowe wewnętrzne i zewnętrzne przyjęte według PN-82/B-02402 i PN-82/B-02403 w $^{\circ}C$, Sd jest wyrażoną w $K \times d/rok$ liczbą stopniodni w standardowym sezonie grzewczym, a I_o jest wysokością nakładów na termomodernizację zewnętrznych przegród pełnych, poniesionych w całości na początku projektu w zł.

W algorytmie obliczeń efektywnej grubości dodatkowej izolacji przegród zewnętrznych w systemach z nadwyżką mocy w źródle ciepła, na skutek braku deficytu mocy w SGB nie uwzględniony jest czynnik kosztów unikniętych rozbudowy tego źródła. Występują natomiast (jak w systemie z deficytem mocy w źródle) koszty szkód ekologicznych. Algorytm w takim przypadku przyjmuje następującą postać:

$$NPV = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (U_0 - U_1) \cdot \left[(t_{wo} - t_{zo}) \cdot A \cdot \frac{K_{0u}}{N} + 7,2 \cdot Sd \cdot \left(\frac{s_n}{W_p \cdot \eta} + (1-A) \cdot \frac{K_{0u}}{Q} \right) \right] \cdot \sum_{t=1}^n \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t} - I_o \quad (7)$$

W obliczeniach efektywnej grubości docieplenia, dla niektórych zrównoważonych systemów grzewczo-budowlanych, posłużono się algorytmem uwzględniającym koszty uniknięte rozbudowy źródła, ponieważ analizy perspektywiczne wykazały wystąpienie w niedalekiej przyszłości deficytu mocy cieplnej (rozbudowa istniejących zasobów mieszkalnych, likwidacja przestarzałych bądź wyeksploatowanych lokalnych źródeł ciepła o niskiej sprawności). W takim przypadku zastosować można wzór (6).

3. Efekty zastosowania stworzonych algorytmów

Wykonano obliczenia porównawcze stosując jednakowy poziom kosztów robocizny oraz jednakowe ceny materiałów termoizolacyjnych (Katalog cen jednostkowych robót, 2015). Do obliczeń ceny energii cieplnej przyjęto dla każdego systemu oddzielnie, według stawek opłat stosowanych przez wytwórcę lub dystrybutora ciepła.

Przyrost efektywnej grubości docieplenia w budynkach należących do systemu grzewczo-budowlanego, w którym występuje deficyt mocy, w odniesieniu do algorytmów optymalizacyjnych SPBT

(Dz.U. 2009 r. Nr 43 poz. 346) jest znaczący i wynosi odpowiednio:

- od 9 cm do 14 cm w przypadku stropodachów,
- od 4 cm do 8 cm w przypadku ścian zewnętrznych,
- od 10 cm do 13 cm w przypadku stropu nad piwnicą nieogrzewaną.

Przy uwzględnieniu dodatkowo kosztów szkód ekologicznych powstałych wskutek zanieczyszczenia powietrza podczas spalania nośników energii w źródle, przyrost efektywnej grubości docieplenia w odniesieniu do obliczeń według SPBT wynosi odpowiednio:

- od 14 do 18 cm w przypadku stropodachów,
- od 8 do 11 cm w przypadku ścian zewnętrznych,
- od 13 do 16 cm w przypadku stropu nad piwnicą nieogrzewaną.

4. Podsumowanie

Algorytm oceny efektywnej grubości docieplenia przegród zewnętrznych budynku powinien uwzględniać oszczędności wynikłe z unikniętych kosztów rozbudowy źródła ciepła i efektów ekologicznych. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że uwzględnienie kosztów zaniechania rozbudowy źródła ciepła w przypadku deficytu mocy w systemie ciepłowniczym podnosi znacznie efektywną grubość docieplenia przegród zewnętrznych. Uwzględnienie w rachunku efektywności, oprócz kosztów zaniechanych rozbudowy źródła ciepła (w systemach z deficytem mocy), efektów ekologicznych podnosi dodatkowo efektywną grubość dodatkowej izolacji termicznej nawet o 94% przy uwzględnieniu rzeczywistych strat ekologicznych, natomiast tylko o 3,7% przy uwzględnieniu opłat ekologicznych aktualnie stosowanych.

W przypadku tego samego właściciela budynków i źródła ciepła, przykładowo gmina (budynki komunalne i PEC) lub spółdzielnie mieszkaniowe posiadające własne kotłownie, celowe staje się rozpatrywanie docieplenia budynków łącznie ze źródłem ciepła. Uzyskuje się w ten sposób rzeczywistą efektywność ekonomiczną termomodernizacji poprzez uwzględnienie nie tylko efektów wynikających z docieplenia budynków, ale również tych osiągniętych w źródle ciepła.

Literatura

- Behrens W., Hawranek P.M. (1991). Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies. *UNIDO*.
- Gaj H. (1991). Metodyka obliczania strat ekologiczno-ekonomicznych. *Gospodarka Paliwami i energia*, 9/1991, 10-13.
- Katalog cen jednostkowych robót i obiektów inwestycyjnych (2015). *Wolters Kluwer SA*, Warszawa.
- KILiW PAN, Fundacja Poszanowania Energii (1994). Zarys narodowego programu racjonalizacji użytkowania energii w sektorze bytowo-komunalnym. *KILiW PAN, Fundacja Poszanowania Energii*, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 marca 2009 roku w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego. *Dz.U. 2009 r. Nr 43 poz. 346*.
- Stempniak A., Sarosiek W., Ickiewicz I., Żukowski M., Stachniewicz R., Wydrycki J. (1994-2002). Koncepcje energooszczędnej modernizacji gospodarki cieplnej miast (Masterplany) oraz Projekty założeń do planu zaopatrzenia w ciepło miast. *NAPE S.A., Białystok*.
- Ustawa z 18 grudnia 1998 roku o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych. *Dz.U. z 1998 r. Nr 162 poz. 1121, z późn. zm.*

METHOD OF DETERMINATION OF THERMAL INSULATION EFFECTIVE THICKNESS IN RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS WHEN CONSIDERING THE HEAT SOURCE

Abstract: The paper presents an analysis of urban heat – building systems. The analysis was made on the basis of Masterplans in 19 towns. The division of systems into 3 types: a shortage of power, balanced power and surplus power in the source of heat was shown. The algorithm of efficiency of thermal modernization undertakings was given for systems mentioned above. The algorithm takes into consideration a lack of modernization investments in the thermal source and ecological effect. Efficiency of thermal modernization investments was calculated, which was the basis of comparative analysis for the results of calculation according to the law in force. The algorithm can be used to calculate the efficiency of thermal modernization undertakings if there is only one owner of buildings and thermal source.