

Optymalna metoda wyznaczania współczynników wyrównawczych do indywidualnego rozliczania kosztów ogrzewania w budynku wielolokalowym

Optimal Method for Determining Equalisation Coefficients for Individual Heating Costs Accounting in Multi-Apartment Building

PAWEŁ MICHNIKOWSKI*)
 RADOSŁAW GÓRZEŃSKI**)
 GRZEGORZ KRZYŻANIAK***)

Słowa kluczowe: rozliczanie kosztów ogrzewania, budynek wielolokalowy

Streszczenie

W publikacji zdefiniowano pojęcie współczynników wyrównawczych oraz ich funkcję w procedurze wyznaczania indywidualnych kosztów ogrzewania lokali w budynku wielolokalowym. Jako metodę wzorcową wyznaczania współczynników wyrównawczych zaproponowano szczegółową metodę dynamiczną ESPr pozwalającą na określenie zapotrzebowania na energię w trybie ogrzewania. Traktując współczynniki wyrównawcze wyznaczone metodą dynamiczną, jako punkt odniesienia, zaproponowano optymalną metodę statyczną z popularnego programu komercyjnego Audytor OZC 4.8Pro.

Keywords: individual heating costs, multi-apartment building

Abstract

The concept of equalisation coefficients and their role in the designation of individual heating costs in a multi-apartment building have been defined. As an exemplary method for determining the coefficients, the ESPR detailed dynamic method has been proposed. The method enables determining the energy demand in heating mode. Treating the coefficients determined by the dynamic method as a reference, an optimal static method of the popular commercial program Auditor OZC 4.8Pro has been proposed.

© 2006-2011 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.
 All right reserved

W ARTYKULE zestawiono różne metody wyznaczania współczynników wyrównawczych położenia lokali w bryle budynku, na potrzeby rozliczania całkowitych kosztów ogrzewania jednostki rozliczeniowej, w odniesieniu do poszczególnych jednostek użytkowych. Do wyznaczania współczynników wyrównawczych stosuje się obecnie oprogramowania komercyjne, do których należy, m.in. Audytor OZC 4.8Pro [7]. Służy on do wyznaczania obciążenia cieplnego na podstawie normy PN-EN 12831 [3] lub zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia metodą bilansów miesięcznych według normy PN-EN ISO 13790 [4].

W praktyce, spotkać można dwa sposoby analizy zagadnienia. W pierwszym, część audytorów lub projektantów wyznacza współczynniki wyrównawcze na podstawie bilansów zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. Natomiast w drugim, większość wykonuje to na podstawie porównania obciążeń cieplnych. Niniejszy artykuł jest kontynuacją [2].

Podstawy prawno-techniczne stosowania współczynników wyrównawczych

Obowiązek stosowania współczynników wyrównawczych w procedurze wyznaczania indywidualnych kosztów ogrzewania w budynkach wielolokalowych wynika z art. 45a ust. 9 ustawy Prawo energetyczne [8], która mówi, że „Właściciel lub zarządca budynku wielolokalowego dokonuje wyboru metody rozliczania całkowitych kosztów zakupu ciepła na poszczególne lokale mieszkalne i użytkowe w tym budynku tak, aby wybrana metoda, uwzględniając współczynniki wyrównawcze zużycia ciepła na ogrzewanie, wynikające z położenia lokalu w bryle budynku, przy jednoczesnym zachowaniu prawidłowych warunków eksploatacji budynku określonych w odrębnych przepisach, stymulowała energooszczędne zachowania oraz zapewniała ustalanie opłat, o których mowa w ust. 4, w sposób odpowiadający zużyciu ciepła na ogrzewanie i przygotowanie ciepłej wody użytkowej”.

Stosowanie współczynników wyrównawczych jest jednym z warunków poprawnego, rzetelnego oraz zgodnego z poczuciem sprawiedliwości społecznej sposobu podziału indywidualnych kosztów ogrzewania z wykorzystaniem wskazań podzielników lub ciepłomierzy mieszkaniowych. W środowisku zajmującym się problematyką rozlicza-

*) Dr inż. Paweł Michnikowski; pawel.michnikowski@almod-eco.com

**) Dr inż. Radosław Górzeński

***) Dr inż. Grzegorz Krzyżaniak

nia kosztów ogrzewania budynku na poszczególne lokale – funkcjonuje inna nazwa współczynników wyrównawczych, a mianowicie współczynniki redukcyjne, ponieważ są to wartości liczbowe przeważnie mniejsze niż jedność, obniżające wskazania urządzeń pomiarowych lub wskaźników. Mają one za zadanie wyrównanie różnic w jednostkowym zużyciu energii na potrzeby ogrzewania, spowodowanych położeniem lokalu w bryle budynku. Do lokali o większym jednostkowym zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania (aby zapewnić temperaturę projektową) zalicza się lokale: na parterze nad piwnicą nieogrzewaną, na ostatniej kondygnacji lub przy ścianach szczytowych.

Współczynniki wyrównawcze wyznacza się przy założeniu, że w danej jednostce rozliczeniowej (budynek lub grupa budynków zasilana z jednego źródła) występuje lokal o najmniejszym jednostkowym obciążeniu cieplnym lub zapotrzebowaniu na energię w trybie ogrzewania. Staje się on, tzw. lokalem referencyjnym, dla którego współczynnik wyrównawczy przyjmuje wartość 1, czyli nie powoduje redukcji wskazań urządzeń do indywidualnego rozliczania kosztów ogrzewania. Pozostałe lokale otrzymują współczynniki wyrównawcze, pochodzące z ilorazu jednostkowego zapotrzebowania lub obciążenia cieplnego lokalu referencyjnego i rozpatrywanego, czyli:

$$R_{m,i} = \frac{\Phi_{\min}}{\Phi_i} \quad (1)$$

gdzie:

Φ_{\min} – najniższa wartość wskaźnika obliczeniowego, jednostkowego zapotrzebowania na ciepło lub obciążenia cieplnego w jednostce rozliczeniowej, W/m^2 lub kWh/m^2 ,

Φ_i – wartość wskaźnika dla rozpatrywanego i -tego lokalu, W/m^2 lub kWh/m^2 .

Ponieważ wskazania urządzeń pomiarowych lub wskaźnikowych służą do określenia zużycia energii na potrzeby ogrzewania i w konsekwencji jej kosztów, intuicyjnie można założyć, że do wyznaczania współczynników wyrównawczych należy wykorzystać porównanie odpowiednich zapotrzebowań na energię do ogrzewania dla sezonu ogrzewczego. Obecnie obowiązującą metodą służącą do określania zapotrzebowania na energię jest, tzw. metoda bilansów miesięcznych, opisana we wspomnianej już normie PN-EN ISO 13790 [4].

Do znalezienia odpowiednich wartości Φ_i i Φ_{\min} z równania (1) można wykorzystać oprogramowanie komercyjne Audytor OZC 4.8Pro. W tym celu należy stworzyć bazę danych analizowanego budynku oraz wprowadzić wszystkie przegrody zewnętrzne oraz granice lokali, dla których należy wyznaczyć współczynniki wyrównawcze. Program Audytor OZC 4.8Pro pozwala na wyznaczenie dwóch parametrów: sezonowego zapotrzebowania na energię do ogrzewania $Q_{H,nd}$ metodą bilansów miesięcznych lub wg normy PN-B-02025 [5] dla danej stacji meteorologicznej oraz obciążenia cieplnego Φ wg normy PN-EN 12831 [3]. Do potrzeb niniejszej analizy wybrano wariant obliczania ogrzewania $Q_{H,nd}$ metodą bilansów miesięcznych.

Program Audytor OZC 4.8Pro umożliwia wyznaczenie obciążenia cieplnego Φ przy uwzględnieniu strat do sąsiednich grup (lokali) dla jednego z trzech wariantów:

- wariant 1 – zgodnie z PN-EN 12831,
- wariant 2 – z ograniczeniami minimalnej temperatury w pomieszczeniu wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [6],
- wariant 3 – brak strat ciepła do pomieszczeń w sąsiednich grupach.

Wariant 1 obliczeń dotyczy przede wszystkim przypadku doboru zwiększonej mocy grzejników, która ma pokryć ewentualne straty ciepła do grup (lokali) z ograniczonym ogrzewaniem. Norma przewiduje, że obliczeniowa temperatura w sąsiednich lokalach, w przypadku wyboru tego wariantu, jest średnią arytmetyczną określonej zależnością [3]:

$$Q_u = \frac{Q_{int,i} + Q_{m,e}}{2} \quad (2)$$

gdzie:

θ_u – orientacyjna temperatura w sąsiednich lokalach w przypadku osłabienia ogrzewania, $^{\circ}C$ (w zależności od stacji meteorologicznej, temperatura θ_u wynosi od $13,2$ do 14 $^{\circ}C$)

$\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej, $^{\circ}C$; $\theta_{int,i} = 20$ $^{\circ}C$,

$\theta_{m,e}$ – roczna średnia temperatura zewnętrzna, $^{\circ}C$; dla m. Poznania $\theta_{m,e} = 7,9$ $^{\circ}C$.

Jednak wariant 1 wydaje się być zbyt ostrożny w polskich warunkach, dlatego autorzy oprogramowania sugerują przyjęcie wariantu 2, w którym, jako temperaturę dyżurną w sąsiednich lokalach przyjmuje się 16 $^{\circ}C$, co wynika z przepisów [6].

Oba opisane warianty są użyteczne w przypadku procedury doboru grzejników. Na potrzeby niniejszej analizy, czyli oceny metod wyznaczania współczynników wyrównawczych, wybór jednego z tych dwóch wariantów może prowadzić do trudnych do akceptacji wyników. Można to przeanalizować na przykładzie dwóch pomieszczeń zlokalizowanych w budynku wielolokalowym, z których jeden znajduje się na kondygnacji pośredniej, natomiast lokal nad nim znajduje się bezpośrednio pod stropodachem. W przykładzie tym, wartość współczynnika przenikania dla stropów pomiędzy lokalami wynosi $U_{si} = 1,422$ $W/(m^2 \cdot K)$, natomiast dla stropodachu $U_{sd} = 0,217$ $W/(m^2 \cdot K)$.

Lokale te mają takie same powierzchnie ścian zewnętrznych, różnią się tylko tym, że dla lokalu środkowego następuje przepływ ciepła do lokali sąsiednich z boku oraz poniżej i powyżej, ponieważ ich temperatura wewnętrzna dla pierwszego wariantu wynosi $\theta_u = 13,95$ $^{\circ}C$. Dla lokalu przy stropodachu zamiast do lokalu powyżej, zachodzi przepływ ciepła przez stropodach do atmosfery. Porównując jednostkowe moce przepływające do sąsiednich lokali lub do atmosfery należy zauważyć, że dla lokalu na kondygnacji pośredniej wynosi ona:

$$q_{si} = U_{si} (\theta_{int,i} - \theta_u) = 8,60$$
 W/m^2 (3)

natomiast dla lokalu przy stropodachu:

$$q_{sd} = U_{sd} (\theta_{int,i} - \theta_u) = 8,25$$
 W/m^2 (4)

czyli mniej.

Wynik tego działania przeczy powszechnej opinii, według której lokale pod stropodachem mają większe obciążenie cieplne niż lokale zlokalizowane poniżej.

Z przyczyn opisanych powyżej, wariant wyznaczania obciążenia cieplnego przy uwzględnieniu strat do sąsiednich lokali zgodnie z normą PN-EN 12831 [3] nie wydaje się właściwy dla procedury wyznaczania współczynników wyrównawczych. W rzeczywistości bowiem, trudno sobie wyobrazić sytuację, że we wszystkich sąsiednich lokalach następuje tak drastyczne obniżenie temperatury. Także wariant pośredni -zakładający obniżenie temperatury we wszystkich sąsiadujących lokalach o $4K$, jest mało realny w warunkach rzeczywistych. Dla wyjaśnienia, obniżenie temperatury o $4K$ wynika z różnicy między projektową

temperaturą pomieszczeń, w których przebywają ludzie 20 °C, a minimalną temperaturą wynikającą z §134 ust. 6 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [6].

Dlatego właściwy wydaje się wariant 3, zakładający projektową temperaturę we wszystkich rozpatrywanych lokalach.

Zużycie energii w trybie ogrzewania modelowego budynku

Jak już wcześniej wspomniano, celem wprowadzenia do procedury rozliczania kosztów ogrzewania współczynników wyrównawczych, jest wyrównanie różnic w zużyciu energii z instalacji grzewczej, spowodowanych położeniem lokali w bryle budynku.

Aby możliwe było porównanie różnych metod wyznaczania współczynników wyrównawczych, konieczne jest stworzenie bazy odniesienia, czyli modelowego budynku, z wyznaczonymi wiarygodną metodą zapotrzebowaniami na energię dla poszczególnych lokali. Do stworzenia takiego modelu można wykorzystać, tzw. szczegółową metodę dynamiczną.

Jednym z kryteriów podziału modeli obliczeniowych pozwalających na wyznaczenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania jest, m.in. długość przedziałów czasowych, dla których prowadzone są obliczenia. Metody, w których przedział czasu wynosi jeden miesiąc lub jeden sezon, należą do metod quasi-statycznych lub quasi-ustalonych. Metody, w których analizowany okres dzieli się na przedziały czasowe, trwające jedną godzinę, zaliczają się, do tzw. metod dynamicznych. Do metod dynamicznych należy, m.in. prosta metoda godzinowa oraz szczegółowa metoda dynamiczna.

Do szczegółowych metod dynamicznych zalicza się, m.in. program ESP-r (ang. Environmental System Performance – research). Pakiet od ponad 30 lat jest rozwijany na Uniwersytecie Strathclyde w Glasgow, w Szkocji. Umożliwia integrację w jednym modelu obliczeń cieplnych i przepływowych wraz z odwzorowaniem pracy układów grzewczych i klimatyzacyjnych, a także analizę strategii regulacji i sterowania układów. Wpływ otoczenia definiowany jest z wykorzystaniem plików klimatycznych, opracowanych dla wymaganych kroków czasowych.

Pakiet ma strukturę modułową i składa się z modułów: projektowego, obliczeniowego, prezentacji danych i zarządzania bazami danych. Rozwiązanie równań algebraicz-

nych, różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych, którymi opisywane są procesy wymiany ciepła i masy w budynku, następuje poprzez dyskretyzację przestrzenną z wykorzystaniem metody skończonego elementu objętościowego.

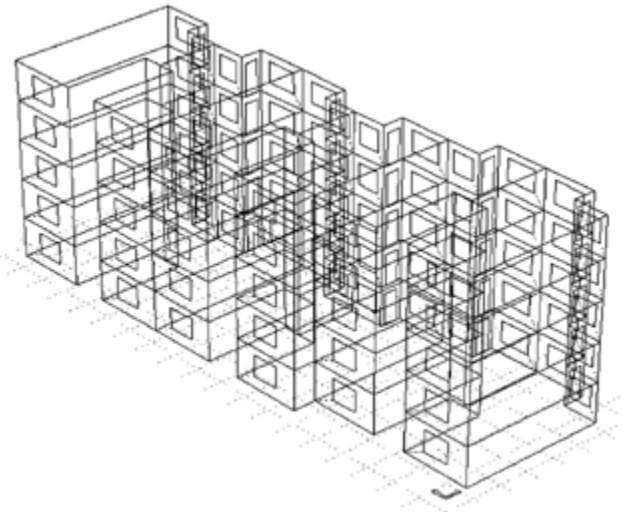
Pakiet ma charakter otwarty, kod źródłowy napisany w języku Fortran jest dostępny w sieci Internet. Początkowo oprogramowanie kompilowane było w systemie operacyjnym Unix, od kilku lat opracowywane są także wersje instalacyjne w systemie Microsoft Windows, co zwiększyło jego dostępność.

Liczne walidacje, którym program był poddawany w okresie swojego rozwoju, związane także z wykorzystaniem go w wielu projektach, zapewniają wysoką zbieżność modelu z rzeczywistymi zjawiskami zachodzącymi w budynkach. Z tego powodu zdecydowano się na wykorzystanie go na potrzeby niniejszego artykułu.

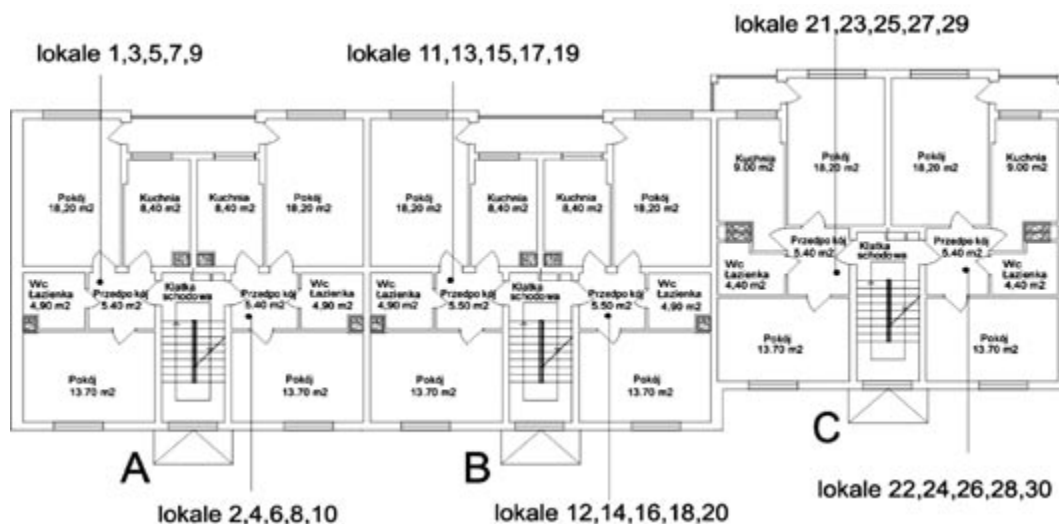
Analizę przeprowadzono dla rzeczywistego budynku 30-lokalowego, 5-kondygnacyjnego, którego rzut kondygnacji powtarzalnej przedstawiono na rys. 1.

Szkielet budynku w pakiecie ESP – r pokazano na rys. 2. Rzeczywiste współczynniki przenikania ciepła przegród dla modelowego budynku wynoszą:

- dla przegród zewnętrznych $U = 0,762 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,
- dla przegród wewnętrznych (ścian) $U = 2,098 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,



Rys. 2. Szkielet budynku podanego symulacji szczegółową metodą dynamiczną pakietem ESP – r



Rys. 1. Rzut kondygnacji powtarzalnych analizowanego budynku

– dla stropów pomiędzy kondygnacjami $U = 1,422 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,

– dla stolarki okiennej $U = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Do symulacji wykorzystano dane klimatyczne udostępniane na portalu internetowym Ministerstwa Infrastruktury dla stacji meteorologicznej w Poznaniu za okres 01.01 – 31.12.1995 r. Założono uproszczony model jednostkowych zysków wewnętrznych, przyjmując stałą wartość równą $q_{int} = 4,6 \text{ W}/\text{m}^2$.

Na rysunku 3 przedstawiono pionowy przekrój analizowanego budynku. W górnym lewym narożniku każdego pola znajduje się numer lokalu, w prawym górnym narożniku oznaczenie strefy budynku w programie ESP – r, w lewym dolnym narożniku projektowa nastawa temperatury wewnętrznej i w dolnym prawym kątów kątowa krotność wentylacji.

Aby rezultaty symulacji dynamicznej można było porównywać z wynikami pochodzącymi z oprogramowania

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|
| 9 | 4CN | 10 | 4CS | 19 | 4BN | 20 | 4BS | 29 | 4AN | 30 | 4AS |
| | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 |
| 7 | 3CN | 8 | 3CS | 17 | 3BN | 18 | 3BS | 27 | 3AN | 28 | 3AS |
| | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 |
| 5 | 2CN | 6 | 2CS | 15 | 2BN | 16 | 2BS | 25 | 2AN | 26 | 2AS |
| | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 |
| 3 | 1CN | 4 | 1CS | 13 | 1BN | 14 | 1BS | 23 | 1AN | 24 | 1AS |
| | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 |
| 1 | 0CN | 2 | 0CS | 11 | 0BN | 12 | 0BS | 21 | 0AN | 22 | 0AS |
| | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 | | 20°C 0,50 |

Rys. 3. Numeracja lokali, stref budynku w pakiecie ESP-r, nastawy temperatury oraz kubaturowej krotności wentylacji na pionowym przekroju budynku

| Zone total sensible and latent plant used (kWhrs) | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|--|
| Zone id name | Sensible heating Energy (kWhrs) | No. of Hr reqd | Sensible cooling Energy (kWhrs) | No. of Hr reqd | Humidification Energy (kWhrs) | No. of Hr reqd | Dehumidification Energy (kWhrs) | No. of Hr reqd | |
| 1 0AS | 5467.77 | 4936.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 2 0AN | 4634.60 | 4893.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 3 0BS | 4795.20 | 4917.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 4 0BN | 4380.44 | 4735.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 5 0CS | 4628.88 | 4889.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 6 0CN | 5871.44 | 5059.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 7 1AS | 4257.80 | 4471.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 8 1BS | 3495.10 | 4308.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 9 1BN | 3072.81 | 4023.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 10 1CS | 3319.24 | 4231.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 11 1CN | 4682.07 | 4643.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 12 2AS | 4253.59 | 4466.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 13 2AN | 3321.71 | 4244.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 14 2BS | 3489.54 | 4303.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 15 2BN | 3066.30 | 4014.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 16 2CS | 3313.65 | 4228.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 17 2CN | 4677.29 | 4638.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 18 3AS | 4256.86 | 4469.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 19 3AN | 3325.74 | 4249.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 20 3BS | 3493.33 | 4305.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 21 3BN | 3069.90 | 4018.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 22 3CS | 3317.18 | 4229.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 23 4AS | 5098.13 | 4645.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 24 4AN | 4201.65 | 4552.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 25 4BS | 4367.36 | 4591.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 26 4BN | 3949.04 | 4390.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 27 4CS | 4191.72 | 4530.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 28 4CN | 5524.35 | 4799.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 29 AKZ | 2121.50 | 3390.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 30 BKZ | 2092.19 | 3377.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 31 CKZ | 2131.56 | 3402.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 32 PIW | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 33 3CN | 4680.52 | 4640.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |
| 34 1AN | 3327.61 | 4253.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | |

Rys. 4. Wydruk wyników symulacji wykonanej w pakiecie ESP-r dla całkowitego zużycia energii

Audytor OZC 4.8Pro, w pakiecie ESP – r ograniczono przepływ ciepła pomiędzy lokalami przez sztuczne zwiększenie izolacyjności cieplnej.

Na rysunku 4 przedstawiono zestawienie zużycia energii do ogrzewania dla poszczególnych grup (lokali) analizowanego budynku.

| | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|
| 0.56 | 0.73 | 0.78 | 0.70 | 0.73 | 0.60 |
| 0.66 | 0.93 | 1.00 | 0.88 | 0.92 | 0.72 |
| 0.66 | 0.93 | 1.00 | 0.88 | 0.92 | 0.72 |
| 0.66 | 0.93 | 1.00 | 0.88 | 0.92 | 0.72 |
| 0.53 | 0.66 | 0.70 | 0.64 | 0.66 | 0.56 |

Rys. 5. Współczynniki wyrównawcze na pionowym przekroju budynku wyznaczone na podstawie pakietu ESP – r dla ścian zewnętrznych $U = 0,762 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Na rysunku 5 przedstawiono wyliczone na podstawie danych z symulacji oraz zależności (1) współczynniki wyrównawcze, będące punktem odniesienia do porównania z wynikami uzyskanymi z oprogramowania Audytor OZC 4.8 Pro.

Wyniki analiz

Wyznaczone z wykorzystaniem pakietu ESP – r współczynniki wyrównawcze przedstawione graficznie na pionowym przekroju budynku na rys. 5 porównano z wynikami uzyskanymi z popularnego pakietu komercyjnego firmy SANKOM czyli Audytora OZC 4.8Pro.

Analizie poddano ten sam budynek o parametrach termofizycznych zdefiniowanych w poprzednim rozdziale. Dodatkowo wykonano takie samo porównanie dla współ-

czynnika przenikania przegrody zewnętrznej $U = 0,264 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, przy niezmiennych parametrach pozostałych przegród.

Do programu Audytor OZC 4.8Pro należy wprowadzić bazę budowlaną analizowanego budynku i dokonać obliczeń. Jako dane do równania (1), służącego do rachunkowego wyznaczenia współczynników wyrównawczych, przyjęto następujące wielkości:

- zapotrzebowanie na energię wyznaczoną metodą bilansów miesięcznych wg normy PN-EN ISO 13790,

- obciążenie cieplne wg normy PN-EN12831 dla warunków obliczeniowych,

- obciążenie cieplne wg normy PN-EN12831 dla warunków temperatury zewnętrznej 0°C ,

- obciążenie cieplne wg normy PN-EN12831 dla warunków średniej temperatury sezonu grzewczego $4,5^\circ\text{C}$.

W tabeli 1 podano, w odpowiednich kolumnach, współczynniki wyrównawcze wyznaczone w na podstawie szczegółowej metody dynamicznej ESPr oraz wielkości pochodzącej z Audytora, czyli zapotrzebowanie na energię, obciążenie cieplne dla warunków obliczeniowych oraz temperatury zewnętrznej 0 i 4,5 °C.

W poszczególnych kolumnach tabeli 1 umieszczono:

ESP_r – współczynniki wyrównawcze uzyskane z programu ESP – r,

$Q_{H,nd}$ – współczynniki wyrównawcze metodą bilansów miesięcznych [4] oraz błąd względny przyjęcia tych współczynników,

$\phi(-18\text{ °C})$ – współczynniki wyrównawcze wykorzystujące stosunek obciążenia cieplnego [3] dla temperatury obliczeniowej oraz błąd względny przyjęcia tych współczynników,

TABELA 1. Współczynniki wyrównawcze oraz błędy względne ich wyznaczenia dla budynku o współczynniku przenikania dla przegród zewnętrznych $U = 0,762\text{ W/(m}^2\text{K)}$

| Nr lok. | Współczynniki wyrównawcze | | | | | Błąd względny | | | |
|-------------------------------|---------------------------|------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| | ESP-r | $Q_{H,nd}$ | $\Phi(-18\text{ °C})$ | $\Phi(0\text{ °C})$ | $\Phi(4,5\text{ °C})$ | $Q_{H,nd}$ | $\Phi(-18\text{ °C})$ | $\Phi(0\text{ °C})$ | $\Phi(4,5\text{ °C})$ |
| 1 | 0.53 | 0.44 | 0.60 | 0.60 | 0.59 | 16.93 | 14.16 | 12.98 | 12.52 |
| 2 | 0.66 | 0.65 | 0.78 | 0.77 | 0.76 | 1.67 | 17.99 | 15.66 | 14.48 |
| 3 | 0.66 | 0.56 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 15.77 | 6.49 | 7.22 | 7.80 |
| 4 | 0.93 | 0.93 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.90 | 4.20 | 4.16 | 4.34 |
| 5 | 0.66 | 0.56 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 15.86 | 6.38 | 7.11 | 7.69 |
| 6 | 0.93 | 0.93 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.73 | 4.02 | 3.99 | 4.16 |
| 7 | 0.66 | 0.56 | 0.70 | 0.71 | 0.71 | 15.80 | 6.11 | 6.54 | 7.03 |
| 8 | 0.93 | 0.93 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.84 | 4.13 | 4.10 | 4.27 |
| 9 | 0.56 | 0.39 | 0.55 | 0.56 | 0.57 | 30.18 | 1.72 | 0.16 | 0.94 |
| 10 | 0.73 | 0.63 | 0.75 | 0.76 | 0.77 | 14.71 | 2.93 | 4.01 | 4.83 |
| 11 | 0.70 | 0.68 | 0.81 | 0.79 | 0.78 | 2.57 | 15.26 | 12.43 | 11.08 |
| 12 | 0.64 | 0.59 | 0.75 | 0.73 | 0.73 | 7.60 | 16.66 | 14.54 | 13.54 |
| 13 | 1.00 | 0.99 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.47 | 0.21 | 0.31 | 0.36 |
| 14 | 0.88 | 0.82 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 6.81 | 3.53 | 3.62 | 3.91 |
| 15 | 1.00 | 0.99 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.69 | 0.00 | 0.52 | 0.57 |
| 16 | 0.88 | 0.82 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 6.96 | 3.36 | 3.46 | 3.74 |
| 17 | 1.00 | 0.99 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.57 | 0.12 | 0.40 | 0.45 |
| 18 | 0.88 | 0.82 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 6.86 | 3.47 | 3.57 | 3.85 |
| 19 | 0.78 | 0.68 | 0.80 | 0.80 | 0.81 | 12.07 | 2.88 | 3.49 | 4.03 |
| 20 | 0.70 | 0.56 | 0.71 | 0.72 | 0.72 | 20.80 | 1.02 | 2.21 | 3.10 |
| 21 | 0.66 | 0.69 | 0.81 | 0.80 | 0.79 | 3.57 | 22.66 | 20.19 | 18.96 |
| 22 | 0.56 | 0.43 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 23.64 | 6.84 | 7.07 | 7.31 |
| 23 | 0.92 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 8.52 | 8.80 | 8.52 | 8.52 |
| 24 | 0.72 | 0.54 | 0.70 | 0.71 | 0.72 | 24.96 | 2.86 | 0.82 | 0.58 |
| 25 | 0.92 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 8.33 | 8.61 | 8.33 | 8.33 |
| 26 | 0.72 | 0.54 | 0.70 | 0.71 | 0.72 | 25.03 | 2.96 | 0.91 | 0.48 |
| 27 | 0.92 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 8.46 | 8.74 | 8.46 | 8.46 |
| 28 | 0.72 | 0.54 | 0.70 | 0.71 | 0.72 | 24.98 | 2.88 | 0.84 | 0.56 |
| 29 | 0.73 | 0.68 | 0.80 | 0.81 | 0.81 | 6.20 | 9.56 | 10.34 | 11.05 |
| 30 | 0.60 | 0.37 | 0.54 | 0.55 | 0.56 | 37.70 | 10.25 | 7.83 | 6.25 |
| Błąd średni | | | | | | 11,67 | 6,63 | 6,13 | 6,11 |
| Błąd maksymalny | | | | | | 37,70 | 22,66 | 20,19 | 18,96 |
| Odchylenie standardowe | | | | | | 10,14 | 5,74 | 5,13 | 4,77 |

TABELA 2. Błędy wyznaczenia współczynników wyrównawczych dla budynku o współczynniku przenikania dla przegród zewnętrznych $U = 0,264\text{ W/(m}^2\text{K)}$

| | Błąd względny | | | |
|-------------------------------|---------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| | $Q_{H,nd}$ | $\Phi(-18\text{ °C})$ | $\Phi(0\text{ °C})$ | $\Phi(4,5\text{ °C})$ |
| Błąd średni | 9,88 | 7,50 | 7,24 | 7,28 |
| Błąd maksymalny | 34,48 | 25,13 | 22,58 | 21,32 |
| Odchylenie standardowe | 8,37 | 6,49 | 5,61 | 5,31 |

$\phi(0\text{ °C})$ – współczynniki wyrównawcze wykorzystujące stosunek obciążenia cieplnego [3] dla temperatury zewnętrznej 0 °C oraz błąd względny przyjęcia tych współczynników,

$\phi(4,5\text{ °C})$ – współczynniki wyrównawcze wykorzystujące stosunek obciążenia cieplnego [3] dla średniej temperatury sezonu ogrzewczego 0 °C oraz błąd względny przyjęcia tych współczynników,

Jednym z najważniejszych kryteriów porównania poszczególnych metod jest, tzw. błąd względny średni. Powstaje on jako iloraz sumy jednostkowych błędów względnych i liczby lokali. Uznając współczynniki wyrównawcze wyznaczone szczegółową metodą dynamiczną, z wykorzystaniem pakietu ESP-r jako modelowe, najmniejszy błąd wyznaczenia współczynników wyrównawczych występuje przy podstawieniu do równania (1) odpowiednich obciążeń cieplnych dla warunków średniej temperatury zewnętrznej sezonu ogrzewczego, czyli 4,5 °C.

Podobna analiza polegająca na porównaniu wyników z symulacji dynamicznej w pakiecie ESP-r oraz zapotrzebowania na energię i obciążenia cieplnego z pakietu Audytor OZC 4.8Pro została wykonana dla tego samego budynku, lecz z izolacją przegród zewnętrznych (ścian) spełniającą wymagania WT2008. Wyniki tej analizy podano w tabeli 2.

Wnioski

Na podstawie wykonanej analizy należy stwierdzić, że najlepsze przybliżenie z wynikami symulacji dynamicznej, występuje dla danych pochodzących z pakietu Audytor OZC 4.8Pro, dla wariantu obciążeń cieplnych dla poszczególnych lokali (grup). Z kolei, z trzech proponowanych do analizy wariantów obliczeń dotyczących obciążeń cieplnych, najmniejsze błędy, czyli średni, maksymalny i odchylenie standardowe występuje dla temperatury zewnętrznej zbliżonej do średniej z sezonu ogrzewczego.

LITERATURA

- [1] Górzeński R.: *Koncepcja wentylacji w budynku niskoenergetycznym*, Rozprawa doktorska, Poznań 2009
- [2] Mueller W., Michnikowski P.: *Warunki techniczne do określania jakości cieplnej lokali jako elementu systemu podziału kosztów indywidualnych ogrzewania*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 7/2003, str. 13-16
- [3] Norma PN-EN 12831:2006, *Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego*
- [4] Norma PN-EN ISO 13790:2009, *Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia*
- [5] Norma PN-B-02025:1999, *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej*
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. nr 75, poz.690, (2002)
- [7] Wereszczyński P.: Opis programu Audytor OZC4.8Pro
- [8] Ustawa z 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz.U. nr 89/06 poz. 625, nr 104/06 poz. 708, nr 158/06 poz. 1123)