

ZUŻYCIE ENERGII DO OGRZEWANIA LOKALU W BUDYNKU WIELORODZINNYM

Paweł Michnikowski

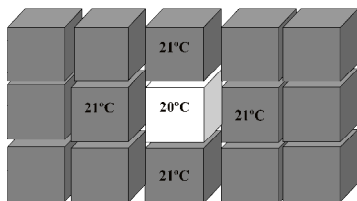
Słowa kluczowe: energia do ogrzewania, metody dynamiczne, rozliczanie kosztów

Streszczenie. W publikacji przedstawiono dynamiczne metody wyznaczania zużycia energii do ogrzewania lokalu. Opisano prostą metodę godzinową oraz szczegółową metodę symulacyjną realizowaną przez pakiet programu ESP-r. Dokonano symulacji zużycia energii lokalu do ogrzewania przy wykorzystaniu obu metod dynamicznych, dla różnych warunków użytkowania lokalu oraz temperatur eksploatacyjnych jego otoczenia (lokale sąsiadujące). We wnioskach opisano wpływ użytkownika lokalu na jego zużycie energii dla okresu ogrzewczego oraz wynikające z tego konsekwencje dla aktualnych metod wyznaczania indywidualnych kosztów ogrzewania w budynkach wielorodzinnych.

1. WSTĘP

Sporym wyzwaniem dla specjalistów z dziedziny ogrzewnictwa jest określenie energii koniecznej do ogrzania lokalu w budynku wielorodzinnym, w przypadku jego zasilania z centralnego źródła ciepła. Spowodowane to jest słabą jakością przegród wewnętrznych pomiędzy lokalami oraz silnym zróżnicowaniem wewnętrznych temperatur eksploatacyjnych. W konsekwencji spory strumień ciepła dostarczany jest do lokali nie tylko przez grzejniki, lecz także za pośrednictwem lokali sąsiednich, co skutecznie utrudnia określenie energii koniecznej do ogrzania lokalu.

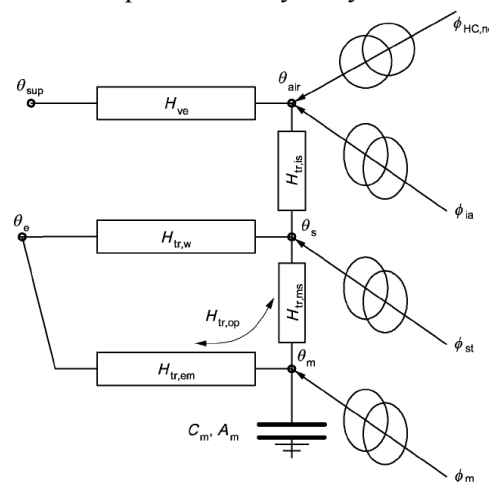
Znane są analityczne metody wyznaczania energii do ogrzewania lokali, które dzielą się na quasi-statyczne oraz dynamiczne [4]. Do tych pierwszych należą metoda bilansów miesięcznych oraz sezonowych, do drugich prosta metoda godzinowa oraz szczegółowa metoda dynamiczna, na której m.in. oparty jest program komputerowy ESP-r (Environmental System Performance). W niniejszej publikacji zajęto się symulacją dynamiczną zużycia energii do ogrzewania lokalu w budynku wielorodzinnym. Budynek posiada 30 lokali mieszkalnych, na pięciu kondygnacjach i złożony jest z trzech klatek schodowych. Analizowany lokal zlokalizowany jest w środkowej klatce na trzeciej kondygnacji, czyli praktycznie w środku geometrycznym budynku (rys. 1). Parametry budowlane budynku podane zostaną w dalszej części publikacji.



Rys. 1. Usytuowanie analizowanego lokalu na pionowym rzucie budynku

2. PROSTA METODA GODZINOWA

Prosta metoda godzinowa służąca do wyznaczania zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia budynku opisana jest w normie [4] oraz w publikacji [3]. Jest zbudowana w oparciu o analogię elektryczną modelu skupionej pojemności cieplnej. Prosta metoda godzinowa jest uproszczeniem symulacji dynamicznej, proponuje ten sam poziom przejrzystości, powtarzalności i prostoty co w metodzie bilansów miesięcznych (quasi-statycznej), lecz posiada nad nią istotną przewagę. Dzięki godzinowemu krokowi czasowemu, wszystkie dane wejściowe budynku i systemu oraz schematy użytkowania można modyfikować co godzinę. Podstawą modelu niustalonego procesu wymiany ciepła pomiędzy budynkiem i jego otoczeniem jest układ 5R1C przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Graficzny model z pięcioma oporami i jedną pojemnością (5R1C) dla prostej metody godzinowej [4]

Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania wyznacza się obliczając dla każdej godziny zapotrzebowanie na moc ogrzewczą $\phi_{HC,nd}$, którą należy dostarczyć do wewnętrznego węzła powietrza o temperaturze θ_{air} tak aby otrzymać założoną nastawę temperatury.

Jak wynika z rys. 2 współczynnik strat mocy ciepłej na wentylację H_{ve} jest bezpośrednio związany z węzłem temperatury powietrza wewnętrznego θ_{air} i węzłem reprezentującym temperaturę powietrza nawiewnego θ_{sup} , która w przypadku wentylacji grawitacyjnej jest równa temperaturze powietrza zewnętrznego θ_e . Współczynnik strat mocy ciepłej przez przenikanie H_{tr} jest podzielony na część okienną oznaczoną $H_{tr,w}$ posiadającą zerową pojemność cieplną i pozostały współczynnik oznaczony przez $H_{tr,op}$ zawierający całkowitą pojemność cieplną przegrody zewnętrznej. Jest on podzielony na dwa współczynniki: $H_{tr,ms}$ i $H_{tr,em}$. Zyski mocy ciepłej od nasłonecznienia ϕ_{sol} i wewnętrzne zyski ciepła ϕ_{int} są rozdzielone na węzeł powietrza wewnętrznego θ_{air} i centralny na wewnętrznej stronie ściany zewnętrznej θ_s i węzeł reprezentujący masę strefy ciepłej budynku θ_m . Masa cieplna strefy jest reprezentowana przez pojemność cieplną C_m , zlokalizowaną pomiędzy $H_{tr,ms}$ i $H_{tr,em}$. Sprzęgająca pojemność cieplna $H_{tr,is}$ jest umiejscowiona pomiędzy węzłami o temperaturach θ_s i θ_{air} [4].

Poniżej podano pełny zestaw równań pozwalających określić temperatury w poszczególnych węzłach strefy, dla kolejnych godzinowych kroków czasowych. Dla danego kroku czasowego i , temperaturę węzła reprezentującego pojemność cieplną strefy $\theta_{m,i}$, wyznacza się pod koniec kroku czasowego z poprzedniej wartości $\theta_{m,i-1}$ z następującej zależności [4]:

$$\theta_{m,i} = \{ \theta_{m,i-1} [(C_m/3600) - 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})] + \phi_{mtot} \} / [(C_m/3600) + 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})] \quad (1)$$

Wielkości wykorzystywane w równaniu (1) wyznacza się z następujących zależności pośrednich:

$$\phi_{ia} = 0,5\phi_{int} \quad (1a)$$

$$\phi_m = A_m/A_t(0,5\phi_{int} + \phi_{sol}) \quad (1b)$$

$$\phi_{st} = (1 - A_m/A_t - H_{tr,w})(0,5\phi_{int} + \phi_{sol}) \quad (1c)$$

$$H_{tr,1} = 1/(1/H_{ve} + 1/H_{tr,is}) \quad (1d)$$

$$H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad (1e)$$

$$H_{tr,3} = 1/(1/H_{tr,2} + 1/H_{tr,ms}) \quad (1f)$$

$$\begin{aligned} \phi_{mtot} = & \phi_m + H_{tr,em}\theta_e + \\ & + H_{tr,3} \langle \phi_{st} + H_{tr,w}\theta_e \\ & + H_{tr,1} \{ (\phi_{ia} \\ & + \phi_{HC,nd})/H_{ve} \} + \theta_{sup} \rangle \\ & / H_{tr,2} \end{aligned} \quad (1g)$$

gdzie: A_m - efektywne pole powierzchni pojemności cieplnej, m^2 , A_t - pole powierzchni wszystkich powierzchni zwróconych do wnętrza strefy budynku, m^2 .

Temperaturę węzła skupiającego pojemność cieplną strefy wyznacza się ze średniej arytmetycznej końca aktualnego i poprzedniego godzinowego kroku czasowego według zależności:

$$\theta_m = (\theta_{m,t} + \theta_{m,t-1})/2 \quad (2)$$

Temperaturę węzła skupionego po wewnętrznej stronie przegrody zewnętrznej w strefie wyznacza się z zależności:

$$\begin{aligned} \theta_s = & \{ H_{tr,ms}\theta_m + \phi_{st} + H_{tr,w}\theta_e \\ & + H_{tr,1} [\theta_{sup} + (\phi_{ia} \\ & + \phi_{HC,nd})/H_{ve}] \} / (H_{tr,ms} \\ & + H_{tr,w} + H_{tr,1}) \end{aligned} \quad (3)$$

Temperaturę w centralnym węzle powietrza wewnętrznego, którą można przyjąć jako temperaturę nastawy w danej strefie, wyznacza się z zależności:

$$\theta_{air} = (H_{tr,is}\theta_s + H_{ve}\theta_{sup} + \phi_{ia} + \phi_{HC,nd}) / (H_{tr,is} + H_{ve}) \quad (4)$$

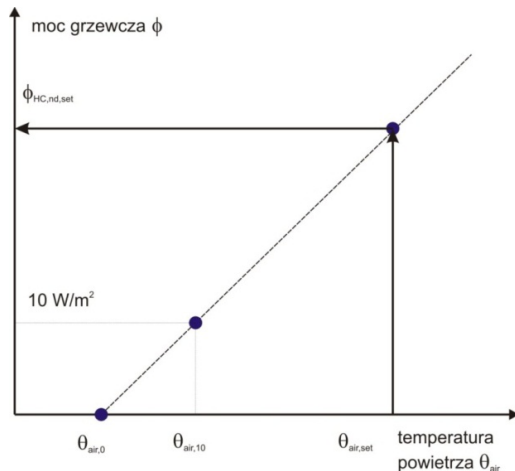
Przytoczone powyżej równania od (1) do (4) wykorzystywane są później w procedurze wyznaczania zapotrzebowania na moc ogrzewczą $\phi_{HC,nd}$. Przebiega ona w następujący sposób. Przyjmuje się jako temperaturę nastawy wartość θ_{air} . Następnie wyznacza się temperatury θ_m , θ_s i θ_{air} według podanych zależności (1) do (4) dla dwóch przypadków:

- mocy ogrzewczej $\phi_{HC,nd} = 0$ i oznacza dla niej wynikową temperaturę dla węzła powietrza wewnętrznego jako $\theta_{air,0}$,
- mocy ogrzewczej $\phi_{HC,nd} = 10 \text{ W/m}^2$ i oznacza dla niej wynikową temperaturę dla węzła powietrza wewnętrznego jako $\theta_{air,10}$.

Zapotrzebowanie na moc ogrzewczą $\phi_{HC,nd,set}$ dla wybranej temperatury nastawy $\theta_{air,set}$ wyznacza się ostatecznie z zależności:

$$\phi_{HC,nd,set} = \phi_{HC,nd10} (\theta_{air,set} - \theta_{air,0}) / (\theta_{air,10} - \theta_{air,0}) \quad (5)$$

ponieważ zależność zapotrzebowania na moc ogrzewczą $\phi_{HC,nd}$ od temperatury nastawy jest liniowa. Opisany przypadek graficznie przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Graficzna interpretacja zależności (5) na zapotrzebowanie na moc ogrzewczą $\Phi_{HC,nd}$ dla zadanej temperatury nastawy

3. SZCZEGÓŁOWA METODA DYNAMICZNA

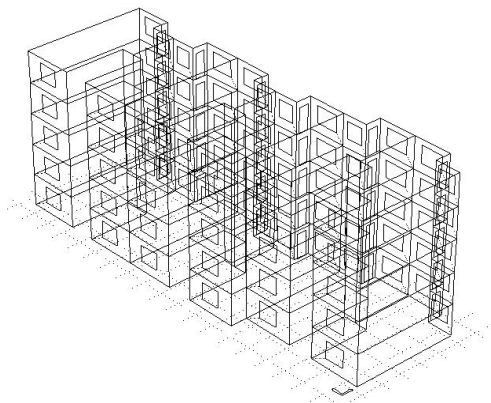
Szczegółowa metoda dynamiczna wyznaczania energii do ogrzewania została przedstawiona na przykładzie programu komputerowego ESP-r (ang. Environmental System Performance – research). Program od ponad 30 lat jest rozwijany na Uniwersytecie Strathclyde w Glasgow, w Szkocji. Umożliwia integrację w jednym modelu obliczeń cieplnych oraz przepływowych 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 [1].

Pakiet ma strukturę modułową i składa się z modułów: projektowego, obliczeniowego, prezentacji danych i zarządzania bazami danych. Rozwiązanie równań algebraicznych, różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych, którymi opisywane są procesy wymiany ciepła, i masy w budynku następuje poprzez dyskretyzację przestrzenną przy użyciu 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 podczas swojego rozwoju, związane także z wykorzystaniem go w wielu projektach, zapewniają wysoką zbieżność modelu z rzeczywistymi zjawiskami zachodzącymi w budynkach.

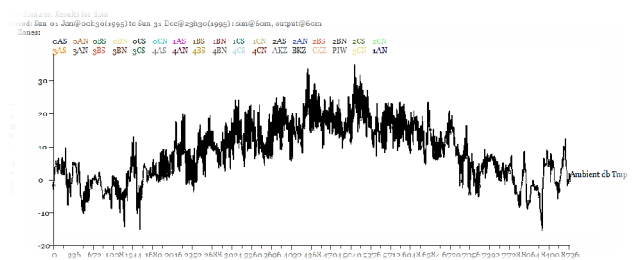
Do symulacji zużycia energii do ogrzewania wykorzystano profil temperaturowy pobrany z portalu internetowego Ministerstwa Infrastruktury dla stacji meteorologicznej w Poznaniu. Zamieszczone na tej stronie pliki, zawierające typowe lata meteorologiczne oraz opracowane na ich podstawie statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski, zostały przygotowane na potrzeby obliczeń energetycznych w budownictwie. Mogą być one wykorzystane w obliczeniach charakterystyk energetycznych budynków i sporządzaniu świadectw energetycznych budynków, a także w: audytach energetycznych oraz w pracach projektowych, symulacjach energetycznych budynków wykonywanych zawodowo lub w pracach naukowych i badawczych.

Na rys. 4 przedstawiono graficznie szkielet budynku wielorodzinnego w programie ESP-r.



Rys. 4. Szkielet budynku poddany symulacji szczegółową metodą dynamiczną programem ESP-r

Przykładowy wykres przebiegu temperatury zewnętrznej dla godzinowej osi czasu dla stacji Poznań przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Przebieg temperatury zewnętrznej w funkcji czasu dla stacji Poznań w 1995r.

Ponieważ przedmiotem analizy jest wpływ na zużycie energii do ogrzewania lokalu, różnych warunków eksploatacji lokali sąsiednich (zmieniające się temperatury wewnętrzne), symulacje dla analizowanego budynku prowadzono jako obliczenia wielostrefowe, ze sprzężeniami cieplnymi między strefami. Strefy były definiowane przez poszczególne lokale oraz klatki schodowe i piwnicę.

Na rys. 6 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 kątowość wentylacji. Analizowany lokal oraz jego otoczenie na rysunku zaciemniono.

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

Rys. 6. Numeracja lokali, strefy budynku w pakiecie ESP-r, nastawy temperatur oraz kubaturowe kątowości wentylacji na pionowym przekroju budynku

Wyniki zużycia energii do ogrzewania w sezonie ogrzewczym dla parametrów i stref budynku z rys. 6, dla wariantu zysków od źródeł wewnętrznych $Q_{int} = 3,2 \text{ W/m}^2$ pokazano we fragmencie na rys. 7.

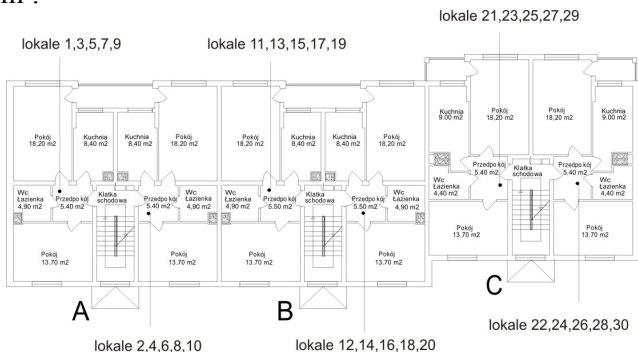
Period: Sun-01-Jan@00h30(1995) to Sun-31-Dec@23h30(1995) : sim@60m, output@60m

| Zone id name | Zone total sensible and latent plant used (kWhrs) | | | | | | | |
|--------------|---|--------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Sensible heating (kWhrs) | Sensible cooling (kWhrs) | Humidification (kWhrs) | Dehumidification (kWhrs) | Energy No. of Hr rqd | Energy No. of Hr rqd | Energy No. of Hr rqd | Energy No. of Hr rqd |
| 1 0AS | 4536.26 | 4889.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 0AN | 4343.61 | 4930.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 0BS | 4390.57 | 4929.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 0BN | 4160.31 | 4822.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 0CS | 4307.73 | 4905.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 0CN | 4681.20 | 4930.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 1AS | 3920.38 | 4680.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 1BS | 3858.44 | 4734.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 1BN | 3541.79 | 4595.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 1CS | 3680.96 | 4688.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11 1CN | 4063.05 | 4740.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 12 2AS | 3842.86 | 4633.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 13 2AN | 3715.98 | 4676.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 14 2BS | 2822.58 | 4274.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Rys. 7. Prezentacja wyników zużycia energii do ogrzewania oraz długości sezonu ogrzewczego dla poszczególnych stref budynku i parametrów z rys. 6 (fragment)

4. ANALIZOWANY BUDYNEK

Rzut kondygnacji powtarzalnej budynku pokazano na rys. 8. Wszystkie lokale w analizowanym budynku posiadają taką samą powierzchnię wynoszącą 50,6 m².



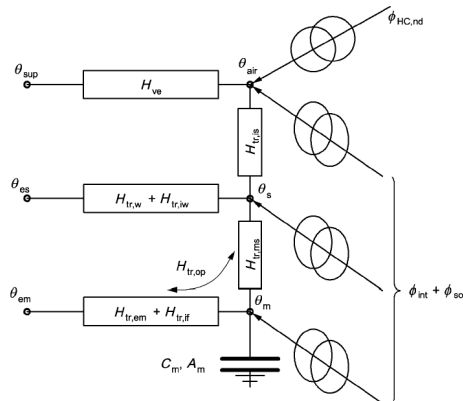
Rys. 8. Rzut kondygnacji powtarzalnych analizowanego budynku

Rzeczywiste współczynniki przenikania ciepła przegród dla modelowego budynku wynoszą:

- dla przegród zewnętrznych $U=0,268 \text{ W/m}^2\text{K}$
- dla przegród wewnętrznych (ścian) $U=2,098 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- dla stropów pomiędzy kondygnacjami $U=1,422 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- dla stolarki okiennej $U=2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

Symulacje zużycia energii do ogrzewania, przeprowadzone przy wykorzystaniu prostej metody godzinowej, należy wzbogacić o dodatkowe założenia. Podobnie jak dla symulacji w programie ESP-r, budynek należy podzielić na odrębne strefy ze sprzężeniami cieplnymi między strefami. Lokal środkowy poddany analizie w prostej metodzie godzinowej stanowi jedną strefę. Jest otoczony 4 sąsiednimi lokalami, stanowiącymi także odrębne strefy. Usytuowanie lokali pokazano na rys. 6, a interesujące nas lokale zaciemniono. Analizowany lokal oraz jego otoczenie oddzielone są od pozostałych lokali budynku przegrodami adiabatycznymi, eliminującymi interakcje termiczne. Model ten różni się od tego poddanego symulacji szczegółową metodą dynamiczną ESP-r, gdzie zmiana warunków użytkowania wybranej części budynku będzie miała wpływ na pozostałe strefy budynku, nie objęte analizą.

Zmodyfikowany model wielostrefowy sieci RC dla prostej metody godzinowej ze sprzężeniami między strefami podano na rys. 9.



Rys. 9. Model graficzny zmodyfikowanej sieci RC dla obliczeń wielostrefowych prostą metodą godzinową ze sprzężeniami między strefami [4]

Dla prostej metody godzinowej, dla obliczeń wielostrefowych ze sprzężeniami cieplnym, do zależności na temperatury węzłowe opisanych od (1) do (5), w miejsce temperatury zewnętrznej θ_e należy podstawić następujące zależności [4]¹:

¹ W oryginale normy w języku angielskim oraz tłumaczeniu jej na język polski zależności te napisane są z błędem

$$\theta_{es} = (\theta_e H_{tr,w} + \theta_{az} H_{tr,iw}) / (H_{tr,w} + H_{tr,iw}) \quad (6)$$

$$\theta_{em} = (\theta_e H_{tr,em} + \theta_{az} H_{tr,if}) / (H_{tr,em} + H_{tr,if}) \quad (7)$$

gdzie: θ_{az} - temperatura wewnętrzna przyległej strefy w poprzedniej godzinie, wyrażona w $^{\circ}\text{C}$, $H_{tr,iw}$ - współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie przez ściany wewnętrzne połączone z przyległą strefą, wyrażony w W/K, $H_{tr,if}$ - współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie przez stropy połączone z przyległą strefą, wyrażony w W/K.

Jako temperaturę przyległej strefy θ_{az} przyjęto średnią ważoną z temperatur wewnętrznych sąsiednich lokali mieszkalnych oraz temperaturę na klatce schodowej, która dla potrzeb tych rozważań miała wartość stałą równą 16°C . Jako wagi wykorzystano współczynniki strat mocy cieplnej odpowiednich przegród.

Wykonano analizę zużycia energii do ogrzewania lokalu wykorzystując obie opisane w tej publikacji metody dynamiczne dla następujących temperatur:

- stała temperatura analizowanego lokalu 20°C (nastawa temperatury wewnętrznej),
- zmienna temperatura lokali sąsiednich (przyległych stref) 19°C lub 21°C .

Parametry użytkownika analizowanego lokalu opisane przez kubaturową krotność wentylacji n oraz wartość zysków ze źródeł wewnętrznych Q_{int} były stałe w całym okresie sezonu ogrzewczego i zmieniały się dla potrzeb analizy w granicach:

- n od $0,2 \text{ h}^{-1}$ do $0,5 \text{ h}^{-1}$,
- Q_{int} od $3,2 \text{ W/m}^2$ do 6 W/m^2 .

Uzasadnieniem dla takiego wyboru zakresu parametrów użytkownika było:

- dla krotności wentylacji – typowy wariant użytkownika lokalu w budownictwie wielorodzinnym dla wentylacji grawitacyjnej w Polsce ($0,2 \text{ h}^{-1}$) oraz warunki projektowe,
- dla zysków ze źródeł wewnętrznych – podanie minimalnej i maksymalnej wartości zysków cytowanych w metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku mieszkalnego wielorodzinnego [5].

W analizie zużycia energii do ogrzewania uwzględniono udział w całkowitym bilansie lokalu ilości ciepła pochodzącego od trzech niez izolowanych pionów ogrzewczych ($3/8^{\circ}$) zgodnie z zależnością [2]:

$$Q_r = 1,0656 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta t_{ar}^{1,33} \cdot F_r \cdot L_h \quad (8)$$

gdzie: Q_r - ilość ciepła pochodzącego z pionów ogrzewczych lokalu w GJ, Δt_{ar} - różnica pomiędzy średnią temperaturą czynnika ogrzewczego w rozpatrywanym odcinku przewodu a temperaturą pomieszczenia w $^{\circ}\text{C}$, F_r - powierzchnia zewnętrzna pionów ogrzewczych w lokalu w m^2 , L_h - długość sezonu ogrzewczego dla całego budynku w godzinach.

Ilość ciepła z pionów ogrzewczych zależy od powierzchni przewodów instalacyjnych przechodzących przez lokal, średniej z sezonu temperatury wody ogrzewczej oraz długości sezonu dla całego budynku. W przypadku rozpatrywanego lokalu powierzchnia rur była znana, średnią temperaturę wody dla całego sezonu przyjęto 45°C , natomiast długość sezonu zależna była m.in. od wartości zysków wewnętrznych i krotności wentylacji. Długość sezonu ogrzewczego dla analizowanego budynku wyznaczono dla sześciu wariantów różniących się kubaturową krotnością wentylacji oraz wartością zysków od źródeł wewnętrznych, przy założeniu, że parametry te obowiązują dla wszystkich lokali mieszkalnych w budynku. Jako długość sezonu ogrzewczego dla całego budynku przyjęto strefę o najdłuższym sezonie ogrzewczym. Wartość ciepła pochodzącego z pionów ogrzewczych rozpatrywanego lokalu dla zmiennych parametrów wentylacji i zysków wewnętrznych pokazano w tab. 1.

Tablica 1

Energia pochodząca z pionów ogrzewczych w GJ dla analizowanego lokalu w zależności od krotności wentylacji i zysków ze źródeł wewnętrznych

| | | $Q_{int}, \text{W/m}^2$ | | |
|--------------------|-----|-------------------------|------|------|
| | | 3,2 | 4,6 | 6,0 |
| n, h^{-1} | 0,2 | 1,97 | 1,84 | 1,76 |
| | 0,5 | 2,31 | 2,20 | 2,05 |

5. WYNIKI SYMULACJI DYNAMICZNEJ

Aby otrzymać ilość ciepła dostarczonego przez grzejniki w rozpatrywanym lokalu, należy od ilości energii do ogrzewania wyznaczonej dwoma analizowanymi metodami dynamicznymi, odjąć każdorazowo wartość ciepła z pionów dla różnych długości sezonu ogrzewczego podanych w tab. 1.

Tablica 2

Energia z grzejników w GJ wyznaczona prostą metodą godzinową, konieczna do ogrzania lokalu do 20°C , dla zmiennych temperatur sąsiednich lokali, krotności wentylacji i zysków od źródeł wewnętrznych

| | | $n = 0,2 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ | | $n = 0,5 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ | |
|----------------------------------|-----|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | $\theta_{az} = 19^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{az} = 21^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{az} = 19^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{az} = 21^{\circ}\text{C}$ |
| Q_{int} [W/m ²] | 3,2 | 6,83 | 2,99 | 10,99 | 6,82 |
| | 4,6 | 5,71 | 2,15 | 9,78 | 5,80 |
| | 6,0 | 4,61 | 1,34 | 8,69 | 4,93 |

Wyniki symulacji energii pochodzącej z grzejników koniecznej do ogrzania lokalu do temperatury 20°C i dwóch wariantów temperatury przyległej strefy θ_{az} (sąsiednich lokali) 19°C i 21°C, różnych krotności wentylacji n i wartości zysków wewnętrznych Q_{int} dla prostej metody godzinowej podano w tab. 2, natomiast dla szczegółowej metody dynamicznej ESP-r w tab. 3.

Tablica 3

Energia z grzejników w GJ wyznaczona szczegółową metodą dynamiczną, konieczna do ogrzania lokalu do 20°C, dla zmiennych temperatur sąsiednich lokali, krotności wentylacji i zysków od źródeł wewnętrznych

| | | $n = 0,2 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ | | $n = 0,5 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ | |
|---------------------|-----|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | $\theta_{az} = 19^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{az} = 21^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{az} = 19^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{az} = 21^{\circ}\text{C}$ |
| Q_{int} | 3,2 | 7,01 | 3,63 | 11,67 | 7,85 |
| | 4,6 | 6,01 | 2,74 | 10,41 | 6,74 |
| [W/m ²] | 6,0 | 5,01 | 1,86 | 9,27 | 5,74 |

Porównując wartości z tab. 2 i tab. 3 można zauważyć, że zużycie energii z grzejników dla prostej metody godzinowej jest dla wszystkich wariantów: temperatur w przyległych strefach, krotności wentylacji oraz zysków wewnętrznych, mniejsze niż dla szczegółowej metody dynamicznej. Nie ma to jednak wpływu na podstawowy wniosek płynący z przeprowadzonej symulacji, a mianowicie, w każdej z metod symulacji dynamicznej, dla tych samych warunków eksploatacji rozpatrywanego lokalu, jego zużycie energii z grzejników zależy przede wszystkim od warunków użytkowania lokali sąsiednich. Dla sto-

sunkowo małej różnicy temperatury wewnętrznej między lokalem, a średnią temperaturą lokali przyległych, wynoszącą 1°C, różnice w zużyciu energii z grzejników są znaczące. Dla prostej metody godzinowej, dla typowych warunków wentylacji $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$, dla średnich temperatur w sąsiednich lokalach wahających się pomiędzy 19°C, a 21°C, zużycie energii z grzejników waha się dla $Q_{int} = 3,2 \text{ W/m}^2$ od 6,83 GJ do 2,99 GJ (2,28 krotnie), natomiast dla $Q_{int} = 6,0 \text{ W/m}^2$ od 4,61 GJ do 1,34 GJ (3,44 krotnie), a dla szczegółowej metody dynamicznej odpowiednie wartości wynoszą 7,01 GJ/3,63 GJ (1,93 krotnie) oraz 5,01GJ/1,86GJ (2,7 krotnie).

Różnice te mają zasadnicze znaczenie dla metody określania kosztów ogrzewania lokali w budynku wielorodzinnym tylko na podstawie rejestracji ciepła z poszczególnych grzejników, do której należy m.in. podział kosztów na podstawie wskazań podzielników kosztów ogrzewania montowanych na grzejnikach. W warunkach polskiego budownictwa, szczególnie po przeprowadzeniu modernizacji polegającej na izolacji przegród zewnętrznych, wskazanie podzielników w lokalu zależy przede wszystkim od sposobu użytkowania lokali sąsiednich, nie zaś jak nakazują przepisy prawne od indywidualnego sposobu użytkowania rozliczanego lokalu.

Dlatego stosowane obecnie w warunkach polskiego budownictwa wielorodzinnego metody podziału kosztów ogrzewania tylko na podstawie wskazań podzielników prowadzi do absurdalnych wyników i nie ma nic wspólnego z obiektywizmem.

LITERATURA

- [1] Górzeński R.: Koncepcja wentylacji w budynku niskoenergetycznym. Rozprawa doktorska, Poznań 2009.
- [2] Kwiatkowski J., Cholewa L.: Centralne ogrzewanie – pomoce projektanta. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1980.
- [3] Narowski P.: Uproszczona metoda godzinowa obliczania ilości ciepła do ogrzewania i chłodzenia budynków. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, Wydawnictwo Sigma, Warszawa 1/2009.
- [4] PN-EN ISO 13790:2009: Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [5] ROZPORZADZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej

ENERGY CONSUMPTION FOR LOCAL HEATING IN MULTIFAMILY BUILDING

Key words: energy for heating, dynamic methods, costs allocation

Summary. The paper presents a method to determine the dynamic energy consumption for local heating. Describes a simple hourly method and detailed simulation method implemented by the package program ESP-r. Simulations of energy to heat the premises using both dynamic methods for different operating conditions of the accommodation and the ambient operating temperature (adjacent premises). In conclusion, describes the impact of the location of the property on the energy consumption of the heating period and the consequent implications for current methods of determining individual heating costs in multifamily buildings.

Paweł Michnikowski, dr inż. jest pracownikiem firmy ALMOT-ECO BIS z siedzibą w Poznaniu, 60-816 Poznań, ul. Sienkiewicza 21. E-mail: pawel.michnikowski@almot-eco.com