

# ROZLICZANIE KOSZTÓW OGRZEWANIA LOKALI UZALEŻNIONE OD RZECZYWISTEGO ZUŻYCIA ENERGII DLA OGRZEWANIA W BUDYNKACH WIELORODZINNYCH

Paweł Michnikowski, Edward Szczechowiak

**Słowa kluczowe:** zużycie energii do ogrzewania, symulacja zużycia ciepła, rozliczanie kosztów ogrzewania

**Streszczenie.** Scharakteryzowano metody rozliczania kosztów ogrzewania lokali, które są obecnie stosowane w budownictwie wielorodzinnym, szczególnie w aspekcie ich dostosowania do rzeczywistego zużycia energii przeznaczonej na ogrzewanie tych wydzielonych lokali. Odniesiono się do wcześniejszych publikacji dotyczących poruszanej problematyki. Zaproponowano zupełnie nowe podejście do sposobu wyznaczania zużycia energii do ogrzewania lokali, szczególnie w kontekście faktu, iż część strumienia energii przekazanej do budynku, nie jest dostarczana do lokali poprzez grzejniki. Syntetycznie opisano istotę nowego rozwiązania oraz porównano je ze wzorcem reprezentującym teoretycznie idealny sposób określania zużycia energii do ogrzewania lokalu w budynku wielorodzinnym. Z tym samym wzorcem porównano dotychczasowe metody stosowane w praktyce rozliczeniowej. Nowy sposób podejścia do opisywanego zagadnienia może mieć kapitalne znaczenie dla branży rozliczania kosztów ogrzewania na podstawie zarejestrowanego zużycia ciepła.

## 1. WPROWADZENIE

Zgodnie z przepisami [9], logiką oraz poczuciem sprawiedliwości społecznej, wyznaczanie kosztów ogrzewania wydzielonego lokalu w budynku wielorodzinnym powinno być skorelowane z rzeczywistym zużyciem energii dostarczonej do budynku lub grupy budynków z lokalnego lub zdalczego źródła ciepła. Znalazło to już swój wyraz w wielu publikacjach dotyczących problematyki rozliczania kosztów ogrzewania. Warto tutaj zacytować szczególnie dwie publikacje, z których pierwsza podkreśla wpływ dobrze skorelowanych z rzeczywistym zużyciem energii systemów naliczania opłat za ogrzewanie, na oszczędności energii [1]. Druga z publikacji zwraca uwagę na to, że słaba izolacyjność przegród wewnętrznych, jak też różne potrzeby bądź upodobania mieszkańców, co do temperatury i przewietrzenia pomieszczeń, powodują przepływy znacznej ilości ciepła między lokalami, zakłócając relacje między ciepłem potrzebnym do ogrzewania lokalu a pobranym w tym lokalu z instalacji ogrzewczej [2].

Należy jednoznacznie stwierdzić, że stosowane obecnie metody wyznaczania zużycia energii do ogrzewania w oparciu o scałkowany w czasie strumień ciepła z instalacji ogrzewczej i na tej podstawie określanie adekwatnych kosztów ogrzewania lokali, w oparciu o wskazania mieszkaniowych ciepłomierzy lub podzielników kosztów montowanych na grzejnikach, całkowicie straciły swoją wiarygodność i stały się barierą opomiarowania pozostałych zasobów mieszkaniowych w Polsce. Wynika to z faktu, że coraz większy strumień ciepła, wprost proporcjonalny do poprawy izolacyjności przegród zewnętrznych, prze-

plywający do indywidualnych lokali nie jest związany z grzejnikami, czyli nie jest rejestrowany.

Wracając jeszcze do wspomnianych wyżej publikacji, na szczególną uwagę zasługuje dojrzała i wyważona ocena stosowanych w budownictwie wielorodzinnym procedur rozliczeniowych opartych na implementacji norm niemieckich [1]. Autorzy syntetycznie zdefiniowali katalog problemów związanych ze stosowanymi obecnie metodami wyznaczania indywidualnych kosztów ogrzewania w warunkach polskiego budownictwa. Zwrócili m.in. uwagę na fakt, że metoda podziału kosztów ogrzewania zgodna z normami niemieckimi, nie nadaje się wprost do zaadaptowania do warunków polskich. Ten głos rozsądku jest tym bardziej aktualny, gdyż wielu Zarządców bezkrytycznie przyjmuje procedury rozliczeniowe, które w polskich warunkach budownictwa się nie sprawdzają. Podkreślili także, że w prawidłowo funkcjonujących systemach rozliczeń zyski ciepła od powierzchni nieopomiarowanych powinny być uwzględnione, w celu uniknięcia błędów podziału kosztów ogrzewania. Skumulowanie się tak wielu czynników generujących błędy w stosowanych systemach rozliczeń, spowodowało irracjonalnie duże różnice w opłatach za energię, co doprowadziło do utraty wiarygodności tych systemów w oczach użytkowników. Wnikliwość obserwacji, merytoryczna trafność krytyki oraz propozycji naprawy, świadczy o dobrym rozeznaniu autorów w poruszanej problematyce.

Druga z wymienionych publikacji wyróżnia się ciekawą metodyką analizy efektów rozliczania kosztów ogrzewania dla indywidualnych lokali [2]. Autor do stworzenia modelu cieplnego budynku wielorodzinnego zastosował metodę węzłową pochodzącą z ana-

lizej obwodów elektrycznych prądu stałego. Jednak mimo ciekawego podejścia do zagadnienia, zastosowany tryb analizy budzi pewne zastrzeżenia autorów niniejszej publikacji.

Przede wszystkim analiza prowadzona jest dla tzw. warunków średnich temperatur w sezonie ogrzewczym, w warunkach stacjonarnych, bez uwzględnienia pojemności cieplnej budynku oraz zysków od nasłonecznienia, co bardzo ogranicza reprezentatywność otrzymanych wyników. Autor wymienionej publikacji analizował wpływ zróżnicowanego zachowania użytkowników, na temperaturę eksploatacyjną lokali oraz zużycie ciepła, natomiast zupełnie pominął wpływ zróżnicowanych zysków od źródeł wewnętrznych. Inny z zarzutów to ten, iż wnioski z eksperymentu były uzależnione od zastosowanego scenariusza symulacji. Nie zostały wstępnie zdefiniowane reprezentatywne stany eksploatacyjne instalacji ogrzewczej wraz z profilami użytkownika lokali, dzięki czemu można by było stworzyć typowy model cieplny budynku. W ten sposób został zachwiany obiektywizm analizy, co czytelnikowi nie posiadającemu specjalistycznej wiedzy i doświadczenia w poruszanej problematyce, nie pozwala na właściwą ocenę eksperymentu. Autor publikacji jako metodę odniesienia dla porównania różnorodnych systemów wyznaczania kosztów ogrzewania funkcjonujących na rynku budownictwa proponuje procedurę „e”, która zapewnia rozliczenie opłat zgodnie z ciepłem służącym wyłącznie do ogrzewania lokalu, czyli na pokrycie strat na przenikanie przez przegrody zewnętrzne i do nieogrzewanej piwnicy oraz pokrycia strat na wentylację. Nie podał niestety jak w rzeczywistości taka procedura ma wyglądać. Łatwo stworzyć ją na potrzeby teoretycznej symulacji, niestety trudno dla potrzeb realnej praktyki rozliczeniowej.

Poniżej przedstawiono propozycję nowej filozofii podejścia do zagadnień określania zużycia energii na potrzeby ogrzewania lokali w budynkach wielorodzinnych, przy wykorzystaniu środków technicznych dostępnych na rynku budownictwa oraz znanych procedur normatywnych. Następnie dokonano weryfikacji nowej procedury przy wykorzystaniu jako modelu istniejący budynek 30-lokalowy, za pomocą szczegółowej symulacji dynamicznej. Lokalom przypisano różne stany eksploatacyjne w sezonie ogrzewczym, jako wypadkowe zróżnicowanych temperatur wewnętrznych, różnych profili użytkownika opisanych przez krotkość wentylacji oraz wykorzystania zysków od źródeł wewnętrznych. Jako środowisko zewnętrzne zostały uwzględnione średnie wieloletnie temperatury zewnętrzne oraz warunki nasłonecznienia w godzinowych odstępach czasu, podane przez lokalną stację meteorologiczną.

## 2. ISTOTA NOWEGO PODEJŚCIA DO PROBLEMATYKI WYZNACZANIA ZAPOTRZEBOWANIA ENERGII DO OGRZEWANIA

Przyjęcie założenia, że zużycie energii do ogrzewania lokalu jest równoznaczne z zapotrzebowaniem (poborem) tej energii z grzejników prowadzi do dużych błędów, szczególnie w warunkach instalacji grzewczej prowadzonej po wierzchu ścian i słabej izolacji przegród międzylokalowych. Na takim właśnie uproszczeniu polegają procedury rozliczeniowe implementowane wprost z przepisów niemieckich.

Dlatego jako podstawę analizy ilości ciepła do ogrzewania lokalu należy przyjąć zapisy odpowiedniej normy [7] i ewentualnie dostosować środki techniczne do ich realizacji. Dla przypomnienia - zapotrzebowanie na ciepło użytkowe do ogrzania strefy budynku wyznacza się dla każdego kroku obliczeniowego (miesiąc, sezon) oraz dla danego rejonu lokalizacji budynku z następującej zależności:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad (1)$$

Całkowite straty ciepła przez przenikanie oraz wentylację  $Q_{H,ht}$  (w trybie ogrzewania) dla każdej strefy budynku i każdego kroku obliczeniowego (miesiąca lub sezonu) należy obliczać według wspomnianej normy ze wzoru:

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (2)$$

Całkowite zyski ciepła od źródeł wewnętrznych i od słońca  $Q_{H,gn}$  (w trybie ogrzewania) każdej strefy budynku i każdego kroku obliczeniowego (miesiąca lub sezonu) oblicza się ze wzoru:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (3)$$

Po podstawieniu równań (2) i (3) do równania (1) i odpowiednim uporządkowaniu otrzymano:

$$Q_{H,nd} = Q_{ve} - \eta_{H,gn} Q_{int} + Q_{tr} - \eta_{H,gn} Q_{sol} \quad (4)$$

Wprowadzając nową zmienną, otrzymaną z przekształcenia zależności z normy, uzależnioną od obiektywnych warunków eksploatacji pomieszczeń i jednocześnie wynikających z nich własności fizycznych (izolacyjność przegród) i lokalizacji budynku (strefy budynku) lub lokalu mieszkalnego,

otrzymano [6]:

$$Q_{tr,sol} = Q_{tr} - \eta_{H,gn} Q_{sol} \quad (5)$$

Kolejna nowa zmienna jest zależna od sposobu użytkowania budynku, strefy budynku lub lokalu mieszkalnego i opisuje zapotrzebowanie energii na pokonanie strat na wentylację, po uwzględnieniu zysków ciepła od źródeł wewnętrznych. To pozwala ją zakwa-

lifikować do zmiennych zależnych od warunków eksploatacji. Ma ona następującą postać:

$$Q_{ve,int} = Q_{ve} - \eta_{H,gn} Q_{int} \quad (6)$$

Po podstawieniu kolejno (5) i (6) do równania (4) otrzymano zależność na całkowite zapotrzebowanie energii do ogrzewania budynku lub lokalu:

$$Q_{H,nd} = Q_{tr,sol} + Q_{ve,int} \quad (7)$$

Korzystając z zależności zawartych w normie, można zapisać:

$$Q_{tr} = H_{tr}(\theta_{int,H} - \theta_e)t \quad (8)$$

$$Q_{ve} = H_{ve}(\theta_{int,H} - \theta_e)t \quad (9)$$

Wprowadzając nowe współczynniki zysków:  $H_{sol}$ ,  $H_{int}$  z uwzględnieniem faktu, iż zależą one nie tylko odpowiednio od nasłonecznienia i zysków od źródeł wewnętrznych, ale także od różnicy temperatur pomiędzy średnimi temperaturami wewnętrznymi i powietrza zewnętrznego w okresie objętym analizą (czym różnią się od  $H_{tr}$ ,  $H_{ve}$  zależnych tylko od jakości przegród i sposobu wentylacji), można napisać:

$$\eta_{H,gn} Q_{sol} = H_{sol}(\theta_{int,H} - \theta_e)t \quad (10)$$

$$\eta_{H,gn} Q_{int} = H_{int}(\theta_{int,H} - \theta_e)t \quad (11)$$

Wstawiając zależności: (8), (9), (10) i (11) do równania (4) i porządkując je, otrzymano:

$$Q_{H,nd} = (H_{tr} - H_{sol})(\theta_{int,H} - \theta_e)t + (H_{ve} - H_{int})(\theta_{int,H} - \theta_e)t \quad (12)$$

Po podstawieniu jako [4]:

$$\Delta\theta_e = \theta_{int,H} - \theta_e \quad (13)$$

$$H_{tr,sol} = H_{tr} - H_{sol} \quad (14)$$

$$H_{ve,int} = H_{ve} - H_{int} \quad (15)$$

ostatecznie otrzymano zależność na zapotrzebowanie energii do ogrzewania dla całego budynku [6]:

$$Q_{H,nd} = H_{tr,sol}\Delta\theta_e t + H_{ve,int}\Delta\theta_e t \quad (16)$$

oraz dla indywidualnego  $i$ -tego lokalu:

$$Q_{H,nd,i} = (H_{tr,sol,i}\Delta\theta_{e,i} + H_{ve,int,i}\Delta\theta_{e,i})t \quad (17)$$

Skorygowany współczynnik strat ciepła przez przenikanie, z uwzględnieniem zysków od nasłonecznienia  $H_{tr,sol}$ , zależy od fizycznych parametrów budynku i jego lokalizacji, natomiast skorygowany współczynnik strat ciepła na wentylację z uwzględnieniem zysków ciepła od źródeł wewnętrznych  $H_{ve,int}$  zależy od sposobu eksploatacji lokali przez jego użytkowników. Ze względu na wspomniany fakt, iż składniki tych współczynników (nasłonecznienia i zysków wewnętrznych) zależą także od różnicy temperatur,

można je wyznaczyć tylko dla konkretnej wartości  $\Delta\theta_e$ .

### 3. WSKAZANIA PODZIELNIKÓW ELEKTRONICZNYCH JAKO MIERNIK SPOSOBU UŻYTKOWANIA LOKALI

Skorygowany współczynnik strat przez przenikanie, po uwzględnieniu zysków od nasłonecznienia  $H_{tr,sol}$  jest łatwy do wyznaczenia dla każdego lokalu w oparciu o dysponowane przez zarządcę dane termofizyczne budynku oraz dane wieloletnie dotyczące nasłonecznienia pochodzące ze lokalnej stacji meteorologicznej. Mają one charakter obiektywny rozumiany jako mało wrażliwy na zachowanie użytkownika. Przy takim założeniu pierwszy składnik prawej strony zależności (17) wyznaczany jest jako iloczyn znanego dla danego lokalu skorygowanego współczynnika  $H_{tr,sol}$  oraz zarejestrowanej dla danego kroku pomiarowego różnicy temperatur: wewnętrznej w lokalu i zewnętrznej. Krokiem pomiarowym może być godzina, miesiąc lub cały sezon ogrzewczy.

Sposób wyznaczenia temperatury wewnętrznej pomieszczenia w sezonie ogrzewczym został przedstawiony poniżej.

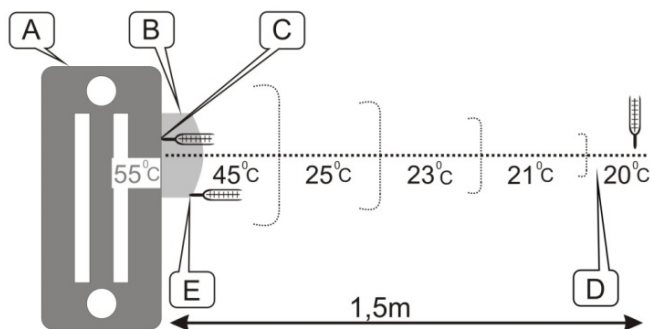
Podzielniki kosztów ogrzewania zasilane energią dodatkową czyli tzw. elektroniczne, posiadają dwa czujniki temperatur: jeden od strony grzejnika i drugi od strony pomieszczenia. Czujnik temperatury od strony grzejnika, z krokiem czasowym 2 lub 5 minut, dokonuje pomiaru temperatury grzejnika  $t_{HS}$  i temperatury od strony pomieszczenia  $t_{RS}$ . Pomiar  $t_{HS}$  i  $t_{RS}$  przez czujniki temperatur konieczny jest do pośredniego wyznaczenia temperatury  $t_L$ , w miejscu w odległości 1,5 m od grzejnika, na wysokości 0,75 m nad podłogą [8]. Temperatura pomieszczenia w podzielniku wykorzystywana jest do logicznej analizy zebranych danych pomiarowych i określenia stanu pracy podzielnika. W przypadku stwierdzenia ciepła pochodzącego z instalacji ogrzewczej podzielnik dokonuje wyliczenia bieżącej wartości wskazania w jednym z dwóch trybów pracy – jednoczujnikowym lub dwuczujnikowym.

Wzór na temperaturę pomieszczenia  $t_L$  można otrzymać z następującej zależności [3]:

$$t_L = t_{HS} - K_L(t_{HS} - t_{RS}) \quad (18)$$

W tej postaci zależność ta jest bardzo wygodna do zaprogramowania w mikroprocesorze podzielnika, pod warunkiem znajomości współczynnika  $K_L$ . Współczynnik ten wyznaczany jest w specjalnych komorach klimatycznych dla danego typu grzejnika. Rozkład temperatur charakterystycznych dla podzielnika elektronicznego dwuczujnikowego pokazano na

rys. 1. Możliwość wyznaczenia temperatury pomieszczenia w bieżącym cyklu pomiarowym podzielnika pozwala na logiczną analizę zależności pomiędzy rejestrowanymi temperaturami ( $t_{HS}$ ,  $t_{RS}$ ,  $t_L$ ) i na tej podstawie identyfikację stanu pracy podzielnika (rys. 2).



Rys. 1. Rozkład temperatur w podzielniku z dwoma czujnikami temperatury

Dwa podstawowe testy logiczne, pozwalające z jednej strony na identyfikację ciepła pochodzącego z instalacji grzewczej (wyeliminowanie ciepła z obcych źródeł), z drugiej zaś wykrycie prób manipulacji polegających na podgrzewaniu czujnika po stronie otoczenia, opierają się na pośrednim pomiarze temperatury pomieszczenia  $t_L$  w trybie „on-line”, z częstotliwością próbkowania podzielnika. W większości podzielników wynosi ona trzydzieści cykli na godzinę.

Wracając do istoty metody wyznaczania energii do ogrzewania, drugi składnik prawej strony zależności (17) składa się z iloczynu skorygowanego współczynnika strat ciepła na wentylację po uwzględnieniu zysków od źródeł wewnętrznych  $H_{ve,int}$  oraz opisanej powyżej różnicy temperatur. Straty ciepła na wentylację zależą od szczelności budynku i indywidualnego zachowania użytkowników. To samo z udziałem zysków od źródeł wewnętrznych w bilansie lokalu. Są one sprawą indywidualną i można je nazwać subiektywnymi. Nie są też łatwe do teoretycznego oszacowania – ich ocena powinna opierać się na podstawie rzeczywistego pomiaru. Jak wykazano [6] do oceny skorygowanego współczynnika  $H_{ve,int}$  można wykorzystać wskazania elektronicznych podzielników kosztów ogrzewania montowanych na grzejnikach. Za takim podejściem przemawiają następujące okoliczności:

- niska cena podzielników,
- brak możliwości (z przyczyn technicznych) stosowania innych urządzeń, w szczególności indywidualnych ciepłomierzy,
- powszechność stosowania już podzielników w budownictwie wielorodzinnym,
- dostępność przepisów techniczno-prawnych.

Reasumując, na obecnym etapie rozwoju techniki, nie można zaproponować innych urządzeń, które lepiej mogą spełniać funkcję rejestracji sposobu użytkowania lokali pod względem intensywności wentylacji oraz wykorzystania zysków wewnętrznych.

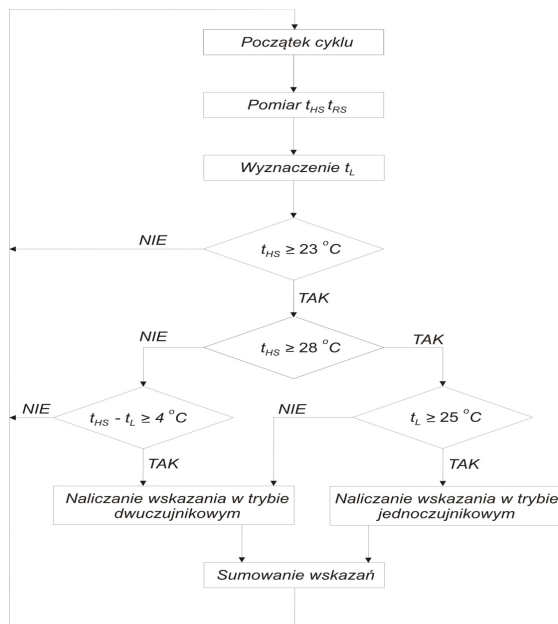
Po uwzględnieniu w zależności (17), do oceny skorygowanego współczynnika  $H_{ve,int}$ , tzw. znormalizowanych wskazań podzielników, otrzymano końcową zależność na zapotrzebowania ciepła użytkowego dla  $i$ -tego lokalu  $Q_{H,nd,i}$  w warunkach rzeczywistego sezonu ogrzewczego w postaci [6]:

$$Q_{H,nd,i} = (H_{tr,sol,i} \Delta\theta_{e,i} + \frac{x_{st,p,i}}{X_{st,p}} H_{ve,int} \Delta\theta_{e,i}) t \quad (19)$$

gdzie:

- $Q_{H,nd,i}$  - zapotrzebowanie ciepła użytkowego dla  $i$ -tego lokalu w warunkach rzeczywistego sezonu grzewczego [KWh/rok],
- $H_{tr,sol,i}$  - współczynnik jednostkowej straty mocy cieplnej przez przenikanie z uwzględnieniem zysków od nasłonecznienia dla  $i$ -tego lokalu w warunkach rzeczywistego sezonu grzewczego [W/K],
- $\Delta\theta_{e,i}$  - średniosezonowa różnica temperatur dla  $i$ -tego lokalu w warunkach rzeczywistego sezonu grzewczego [°C],
- $\frac{x_{st,p,i}}{X_{st,p}}$  - stosunek zredukowanej sumy wskazań podzielników dla  $i$ -tego lokalu do całkowitej sumy wskazań dla budynku (bezwymiarowy),
- $H_{ve,int}$  - współczynnik jednostkowej straty mocy cieplnej na potrzeby wentylacji z uwzględnieniem zysków od źródeł wewnętrznych dla całego budynku w warunkach sezonu grzewczego [W/K].

Z analizy błędu metrologicznego wynika, iż średnia wartość maksymalnego błędu pomiaru pośredniego zużycia energii na ogrzewanie w budynku 30-lokalowym może wynosić, w granicznym przypadku nawet powyżej 20%, co wynika z zsumowania wielu błędów cząstkowych [6]. Z doświadczenia wiadomo, że wiele błędów cząstkowych wzajemnie się znosi. Powoduje to, iż błąd rzeczywisty pomiaru ma wartość mniejszą, prognozowaną w przedziale 5-10%.



Rys. 2. Uproszczony schemat blokowy jednego cyklu pracy podzielnika elektronicznego

#### 4. WERYFIKACJA OPISANEJ METODY W WARUNKACH DYNAMICZNYCH

Weryfikacja poprawności opisanej metody, dotyczącej wyznaczania zużycia energii na potrzeby ogrzewania lokali, na podstawie:

- pomiarów bezpośrednich zużycia ciepła przez budynek,
- średnich temperatur wewnętrznych,
- ilości ciepła z grzejników (wskazania ciepłomierzy mieszkaniowych lub podzielników montowanych na grzejnikach),

w warunkach rzeczywistych jest trudna i kosztowna. Stopień skomplikowania wynika z potrzeby zbudowania ogromnego laboratorium badawczego, symulującego budynek wielorodzinny, w którym dla obiektywnych warunków termofizycznych obiektu należałoby odtworzyć naturalne zachowania użytkowników, rejestrować parametry wentylacji i infiltracji, mierzyć emisję poszczególnych źródeł ciepła oraz temperatury zewnętrzne i wewnętrzne, a także rejestrować wskazania podzielników kosztów ogrzewania w analizowanym okresie ogrzewania.

Do weryfikacji technicznej poprawności i komercyjnej przydatności nowej metody wykorzystano procedurę wyznaczania zapotrzebowania ciepła do ogrzewania w warunkach dynamicznych, dla rzeczywistych wartości izolacyjności przegród wewnętrznych. W takim przypadku zapotrzebowanie ciepła do ogrzewania danego pomieszczenia nie jest tożsame z ilością ciepła emitowanego przez grzejniki. Jako wartość prawidłową ilości ciepła do ogrzewania  $Q_{H,nd}$  przyjęto ilość ciepła użytkowego wyznaczoną

teoretycznie, która przeznaczona jest na pokrycie strat przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne i na wentylację, po uwzględnieniu sumy zysków ciepła pochodzących od słońca i źródeł wewnętrznych. W tym celu wykorzystano symulację w programie ESP-r (ang. Environmental System Performance – research), należąca do szczegółowych metod dynamicznych.

Rzeczywiste wartości współczynników przenikania ciepła przegród dla analizowanego budynku wynoszą:

- dla przegród zewnętrznych  $U = 0,762 \text{ W/m}^2\text{K}$  lub  $U = 0,264 \text{ W/m}^2\text{K}$  (budynek z izolacją),
- 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  $U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

W poszczególnych lokalach, dla wszystkich jego pomieszczeń, zasymulowano nastawy temperatury  $\theta_{int,H}$  wynoszące od  $16^\circ\text{C}$  do  $24^\circ\text{C}$ . Do analizy przyjęto wariant wentylacji  $n_{sr} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ , który spełnia istniejące wymagania dotyczące prawidłowej eksploatacji budynku.

Na rys. 3, na pionowym schemacie budynku, pokazano numery lokali, temperatury wewnętrzne, podział na strefy budynku oraz kubaturowe krotności wentylacji.

9 24°C	4CN 0,40	10 22°C	4CS 0,30	19 20°C	4BN 0,50	20 16°C	4BS 0,70	29 20°C	4AN 0,45	30 16°C	4AS 0,25
7 16°C	3CN 0,30	8 20°C	3CS 0,50	17 16°C	3BN 0,45	18 24°C	3BS 0,70	27 16°C	3AN 0,65	28 22°C	3AS 0,80
5 24°C	2CN 0,30	6 18°C	2CS 0,60	15 22°C	2BN 0,40	16 20°C	2BS 0,35	25 22°C	2AN 0,55	26 18°C	2AS 0,20
3 20°C	1CN 0,30	4 24°C	1CS 0,20	13 18°C	1BN 0,65	14 16°C	1BS 0,75	23 20°C	1AN 0,60	24 24°C	1AS 1,00
1 24°C	0CN 0,30	2 16°C	0CS 0,50	11 20°C	0BN 0,40	12 22°C	0BS 0,35	21 18°C	0AN 0,55	22 16°C	0AS 0,75

Rys. 3. Numeracja lokali i stref budynku w programie ESP-r, nastawy temperatur oraz krotności wentylacji na pionowym schemacie budynku

Do symulacji wykorzystano profil temperaturowy dla Typowego Roku Meteorologicznego, 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 i sporządzaniu świadectw energetycznych budynków, a także w: audytach energetycznych, w pracach projektowych oraz symulacjach energetycznych budynków.

Jako kryterium sprawdzające dokładność aproksymacji zużycia energii do ogrzewania przy wykorzystaniu analizowanej metody zastosowano zależność matematyczną podaną w literaturze [10] do oceny jakości podziału kosztów ogrzewania w oparciu rejestrację zużycia ciepła w budynku wielorodzinnym. Wyznaczone w oparciu o nową, proponowaną metodę zużycie energii porównano z wartością wzorcową, wyznaczoną teoretycznie w oparciu o znane cechy fizyczne budynku, prognozowany sposób jego użytkowania, rzeczywiste parametry meteorologiczne w zakresie temperatur zewnętrznych oraz nasłonecznienia. Dodatkowo wyznaczono zużycie energii dotychczasowymi sposobami. Dzięki temu możliwe było porównanie nowej metody ze stosowanymi dotychczas w budownictwie, opartymi na wskazaniach podzielników lub ciepłomierzy mieszkaniowych pełniących funkcję podzielników.

Wspomniana zależność na tzw. błąd systemowy podziału energii dostarczonej centralnie do budynku na poszczególne lokale ma postać:

$$F = \frac{Q_i / \sum_{i=1}^l Q_i - Q_{H,nd,i} / \sum_{i=1}^l Q_{H,nd,i}}{Q_{H,nd,i} / \sum_{i=1}^l Q_{H,nd,i}} \quad (20)$$

gdzie:

- $Q_i$  - wartość zużycia energii  $i$ -tego lokalu porównywanymi metodami,
- $\sum_{i=1}^l Q_i$  - suma wartości zużycia energii porównywanymi metodami we wszystkich lokalach analizowanego budynku,
- $Q_{H,nd,i}$  - wartość zużycia energii  $i$ -tego lokalu metodą wzorcową,
- $\sum_{i=1}^l Q_{H,nd,i}$  - suma wartości zużycia energii we wszystkich lokalach analizowanego budynku wyznaczonych metodą wzorcową,
- $l$  - ilość lokali w budynku.

Błąd systemowy określony za pomocą zależności (20) nie należy wiązać z błędem tzw. metrologicznym, wynikającym z dokładności urządzeń wykorzystanych przy realizacji nowej metody. Jest on związany przede wszystkim z wrażliwością poszczególnych metod określania zużycia energii do ogrzewania lokali na sposób dostarczania energii z centralnego punktu budynku do poszczególnych lokali. Inaczej mówiąc, wynika on z różnicy wartości wyznaczonego ciepła do ogrzewania lokalu jedną z analizowanych metod, a wartością dokładną, która przeznaczona jest na pokrycie strat przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne i na wentylację, po uwzględnieniu sumy zysków ciepła pochodzących od słońca i źródeł wewnętrznych.

## 5. ANALIZA WYNIKÓW

W celu sprawdzenia przydatności nowej metody do wykorzystania jej w praktyce inżynierskiej wykonano symulację według procedury opisanej w poprzednim rozdziale. Poniżej w dwóch tabelach zestawiono wyniki dla dwóch budynków o różnych izolacjach zewnętrznych. W tab. 1 przedstawiono wyniki dla budynku przed izolacją, czyli dla współczynnika przenikania  $U = 0,762 \text{ W/m}^2\text{K}$ , w tab. 2 dla  $U = 0,264 \text{ W/m}^2\text{K}$  (budynek po termo renowacji). W obu tablicach podano temperatury nastaw dla poszczególnych lokali, kubaturowe krotności wentylacji, wartości wzorcowe zużycia energii do ogrzewania w kWh, wartości energii uzyskane nową i dotychczasową metodą oraz błędy systemowe dla obu metod wyznaczone w oparciu o zależność (20). Dla ułatwienia obliczeń zyski od źródeł wewnętrznych uwzględnione zostały w krotności wentylacji. Wynika to z faktu, że krotność wentylacji kubatury lokali łatwo daje się przeliczyć na moc potrzebną do podgrzania powietrza wymienianego w pomieszczeniach, a tą z kolei przeliczyć na moc zysków od źródeł wewnętrznych.

W ostatnim wierszu każdej z tablic podano wartości średnie, czyli średnią temperaturę w lokalach w budynku, średnią krotność wentylacji oraz średnią wartość błędu systemowego podziału całkowitego zużycia energii w budynku na poszczególne lokale dla obu analizowanych metod.

Jak widać z porównania obu tablic średni błąd systemowy dla nowej metody jest prawie czterokrotnie mniejszy niż dla dotychczasowej dla budynku bez izolacji przegród zewnętrznych, czyli współczynnika przenikania  $U = 0,762 \text{ W/m}^2\text{K}$  i wynosi odpowiednio 11,44% oraz 40,61%.

Dla budynku po przeprowadzonej termomodernizacji polegającej na izolacji przegród zewnętrznych do wartości  $U = 0,264 \text{ W/m}^2\text{K}$  pogarsza się dla obu porównywanych metod jakość podziału energii na poszczególne lokale, lecz w dalszym ciągu zachowana jest duża różnica w jakości tego podziału. Błąd średni systemowy podziału wynosi dla nowej metody 15,41%. natomiast dla dotychczasowej 48,14%.

Porównanie obu metod wypada zdecydowanie na korzyść nowej opartej na zmodyfikowanych zapisach normy [7]. Wyższość nowej procedury polega na jej małej wrażliwości na zakłócenia wynikające z dostarczania energii do ogrzewania lokali także innych źródeł niż grzejniki. Poza tym nowa metoda uwzględnia takie czynniki zakłócające jak zyski od źródeł wewnętrznych, uwzględnia różny poziom przewietrzania lokali a wyznaczona za jej pomocą energia do ogrzewania jest lepiej skorelowana z jej rzeczywistym zużyciem [6]. Nowa metoda częściowo niweluje ujemne

skutki przenikania ciepła przez przegrody, spowodowanego gradientem temperatur sąsiednich lokali.

Opisana w tym tekście metoda wyznaczania ilości energii do ogrzewania lokali została wykorzystana do stworzenia zupełnie nowego sposobu podziału całkowitych kosztów ogrzewania budynku wielorodzinnego na indywidualne lokale i z powodzeniem stosowana jest już przez osiem rocznych sezonów rozlicze-

niowych, w budynkach spółdzielczych i wspólnotowych w całej Polsce. Jest ona zgodna z obowiązującym prawem [9], ponieważ zapewnia prawidłowe warunki eksploatacji budynku, uwzględnia współczynniki wyrównawcze wynikające z położenia lokalu w bryle budynku, stymuluje energooszczędne zachowania użytkowników lokali oraz zapewnia ponoszenie opłat za ciepło odpowiednio do jego zużycia.

Tablica 1  
Porównanie wyników symulacji zużycia energii do ogrzewania dla budynku bez izolacji przegród zewnętrznych  $U = 0,762 \text{ W/m}^2\text{K}$

Nr lokalu	$\theta_{int,H}$ [°C]	$n$ [1/h]	$Q_{H,nd,i}$ [kWh]	nowa metoda		dotychczasowa	
				$Q_h$ [kWh]	F [%]	$Q_h$ [kWh]	F [%]
1	24	0,3	10624	11320	6,36	10524	0,94
2	16	0,5	3209	2860	11,04	1330	58,57
3	20	0,3	5603	6057	7,92	3476	37,95
4	24	0,2	3935	5663	43,66	8399	113,46
5	24	0,3	7713	8468	9,59	9795	27,00
6	18	0,6	3536	3029	14,51	2138	39,53
7	16	0,3	3789	4042	6,48	708	81,31
8	20	0,5	3891	4059	4,14	4663	19,87
9	24	0,4	11774	11758	0,32	10546	10,43
10	22	0,3	5903	6553	10,80	5841	1,06
11	20	0,4	4886	5275	7,77	5276	7,98
12	22	0,35	6840	7476	9,10	8154	19,23
13	18	0,65	3501	2996	14,58	2703	22,78
14	16	0,75	3695	2897	21,75	1831	50,45
15	22	0,4	3909	4696	19,92	6765	73,08
16	20	0,35	3884	4270	9,73	3540	8,85
17	16	0,45	2275	2043	10,38	598	73,70
18	24	0,7	7137	6738	5,76	12746	78,61
19	20	0,5	5271	5296	0,28	5369	1,87
20	16	0,7	5023	4317	14,21	2108	58,03
21	18	0,55	4243	4043	4,89	3766	11,25
22	16	0,75	5848	5063	13,58	3393	41,99
23	20	0,6	4003	4017	0,15	5369	34,12
24	24	1	11575	9285	19,93	15553	34,38
25	22	0,55	4533	4914	8,22	7905	74,41
26	18	0,2	4453	5134	15,08	1562	64,92
27	16	0,65	2798	2136	23,82	1047	62,58
28	22	0,8	9129	7959	12,97	10963	20,10
29	20	0,45	5058	5412	6,82	6032	19,28
30	16	0,25	5773	6334	9,51	1700	70,55
$\bar{x}$	19,8	0,50			11,44		40,61

Tablica 2  
Porównanie wyników symulacji zużycia energii do ogrzewania dla budynku z izolacją przegród zewnętrznych  $U = 0,264 \text{ W/m}^2\text{K}$

Nr lokalu	$\theta_{int,H}$ [°C]	$n$ [1/h]	$Q_{H,nd,i}$ [kWh]	nowa metoda		dotychczasowa	
				$Q_h$ [kWh]	F [%]	$Q_h$ [kWh]	F [%]
1	24	0,3	7096	7907	11,02	7034	0,86
2	16	0,5	2581	2158	16,69	702	72,79
3	20	0,3	3047	3322	8,63	1548	49,18
4	24	0,2	2844	4564	59,87	6439	126,39
5	24	0,3	4292	5201	20,72	6274	46,18
6	18	0,6	2794	2146	23,49	1316	52,89
7	16	0,3	1961	2006	1,90	56	97,13
8	20	0,5	3029	3116	2,47	3348	10,54
9	24	0,4	8022	8090	0,47	7135	11,05
10	22	0,3	4773	5379	12,28	4382	8,19
11	20	0,4	3995	4350	8,46	3876	3,00
12	22	0,35	5465	6167	12,41	6275	14,82
13	18	0,65	2761	2183	21,22	1891	31,51
14	16	0,75	2863	1959	31,83	1093	61,81
15	22	0,4	2941	3756	27,25	5209	77,16
16	20	0,35	2775	3079	10,53	2376	14,37
17	16	0,45	1673	1305	22,34	242	85,54
18	24	0,7	5589	5571	0,70	10535	88,53
19	20	0,5	4296	4332	0,45	4242	1,27
20	16	0,7	4104	3318	19,46	1329	67,61
21	18	0,55	3488	3260	6,88	2641	24,28
22	16	0,75	3865	3020	22,16	2048	47,01
23	20	0,6	3141	3155	0,06	4079	29,86
24	24	1	7883	6282	20,62	12108	53,60
25	22	0,55	3536	3999	12,67	6225	76,06
26	18	0,2	2199	2629	19,08	411	81,33
27	16	0,65	2179	1370	37,33	542	75,14
28	22	0,8	5890	5154	12,82	8154	38,45
29	20	0,45	4091	4435	8,01	4690	14,65
30	16	0,25	3657	4059	10,59	623	82,97
$\bar{x}$	19,8	0,50			15,41		48,14

## LITERATURA

- [1] Ciuman H., Kolasa C., Specjał A., Problematyka rozliczeń indywidualnych kosztów ogrzewania w aspekcie poprawy efektywności energetycznej w budownictwie wielorodzinnym, Rynek Energii Nr 5(96) – 2011, Kaprint Lublin 2011.

- [2] Łucyk C., Rozliczanie kosztów ogrzewania w budynkach wielorodzinnych – badania modelowe, Rynek Ciepła REC 2010, Materiały i studia, Kaprint Lublin 2010.
- [3] Michnikowski P., Szczechowiak E., Determination of heat load released by a radiator by an electronic heating cost allocator, Archives of Thermodynamics, 30/2009, No 2. s. 15–36.
- [4] Michnikowski P., Zgłoszenie patentowe nr P394612 pt. „Sposób i układ do wyznaczania zapotrzebowania energii cieplnej do ogrzewania poszczególnych lokali w budynku”, Warszawa 2011.
- [5] Michnikowski P., Patent nr 203701 na wynalazek pt. Sposób pośredniego pomiaru temperatury pomieszczenia w dwuczujnikowym elektronicznym podzielniku kosztów ogrzewania.
- [6] Michnikowski P., Analityczno-pomiarowa metoda wyznaczania zużycia energii na ogrzewanie lokali w budynkach wielorodzinnych, Rozprawy nr 468, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012.
- [7] PN-EN ISO 13790:2009, Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia.
- [8] Norma PN-EN834:1999, Podzielniki kosztów ogrzewania do rejestrowania zużycia ciepła przez grzejniki – Przyrządy zasilane energią elektryczną.
- [9] Ustawa „Prawo energetyczne” – Dz.U. nr 54, poz.348, z 10 kwietnia 1997r. (z późn. zmianami).
- [10] Zoellner G., Przewymiarowane grzejniki i znaczenie ciepła oddawanego przez rury grzewcze w rozliczeniu kosztów ogrzewania z zastosowaniem podzielników kosztów. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Rozliczanie kosztów ciepła i wody w aspekcie członkostwa Polski w Unii Europejskiej”, Krynica Zdrój, 26–28 maja 2004.

#### **ACCOUNTING FOR SPACE HEATING COSTS DEPEND ON ACTUAL ENERGY CONSUMPTION FOR HEATING IN MULTIFAMILY BUILDINGS**

**Key words:** energy consumption for heating, simulation of heat consumption, heat costs allocation

**Summary.** Characterized method of accounting for the cost of heating units, which are currently used in multi-family buildings, particularly in terms of their adaptation to the actual energy devoted to heating the separated units. Reference is made to earlier publications on the discussed issues. Proposed a completely new approach to the method for determining the energy consumption for space heating, especially in view of the fact that part of the flow of energy delivered to the building is not supplied to the premises through the radiators. Synthetically describes the essence of the new solution and compared with the theoretical model representing the ideal way to determine the energy consumption for heating of premises in the multifamily building. With the same model compared to existing methods used in the practice of settlement. A new approach to the problem described can be of paramount importance for the industry accounting for heating costs on the basis of the registered consumption of heat.

**Paweł Michnikowski**, dr hab. inż., jest pracownikiem Instytutu Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych Politechniki Łódzkiej, E-mail: pawel.michnikowski@almot-eco.com

**Edward Szczechowiak**, prof. dr hab. inż., jest dyrektorem Instytutu Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej,