

KRZYSZTOF T. JANUSZKIEWICZ**Politechnika Łódzka****Instytut Elektroenergetyki, Zakład Elektrotermii**

SYMULACJA NUMERYCZNA POMIESZCZEŃ OGRZEWANYCH ELEKTRYCZNIE

Streszczenie – Przedstawiono opracowany program komputerowy umożliwiający symulację pomieszczeń ogrzewanych elektrycznie. Program pozwala śledzić zmiany temperatury w pomieszczeniu ogrzewanym i mocy grzejnej, spowodowane zmieniającą się temperaturą zewnętrzną. Zmiany temperatury zewnętrznej mogą być dowolne, tj. takie, jakie wynikają ze zmieniających się warunków atmosferycznych. Program umożliwia również symulację ogrzewania z okresowymi obniżeniami temperatury w pomieszczeniu. Czas symulacji nie jest w programie ograniczony. Obliczenia wykonywane są zarówno dla stanu cieplnie ustalonego jak i stanu nieustalonego. Działanie programu przedstawiono na przykładzie tygodniowej symulacji ogrzewania wybranego pomieszczenia mieszkalnego przy różnych sposobach jego eksploatacji.

1. WPROWADZENIE

Elektryczne instalacje ogrzewania pomieszczeń, w przeciwieństwie do instalacji ogrzewania paliwami stałymi lub płynnymi, posiadają bardzo małą bezwładność cieplną. Dotyczy to zwłaszcza instalacji grzewczych bazujących na indywidualnych grzejnikach znajdujących się w każdym z ogrzewanych pomieszczeń. Właściwość ta umożliwia bardzo precyzyjne sterowanie mocą grzejników elektrycznych i dzięki temu uzyskanie oszczędności w zużyciu energii przy jednoczesnym zachowaniu w pomieszczeniu wymaganego komfortu cieplnego. Konieczna jest do tego analiza pracy ogrzewanego pomieszczenia, która jest trudna ze względu na dużą ilość parametrów i ciągłą pracę pomieszczenia w stanie cieplnie nieustalonym oraz zmieniającą się, w sposób trudny do przewidzenia a wynikający ze zmienności warunków atmosferycznych, temperaturę zewnętrzną. Analiza taka możliwa jest jedynie za pomocą symulacji komputerowej. Poniżej przedstawiony zostanie opracowany program komputerowy, pozwalający na symulację ogrzewanych pomieszczeń.

2. ZAŁOŻENIA

Ze względu na dużą różnorodność urządzeń stosowanych do ogrzewania pomieszczeń, jak również ze względu na proporcje wymiarowe przegród budowlanych pomieszczenia, przyjęto następujące założenia:

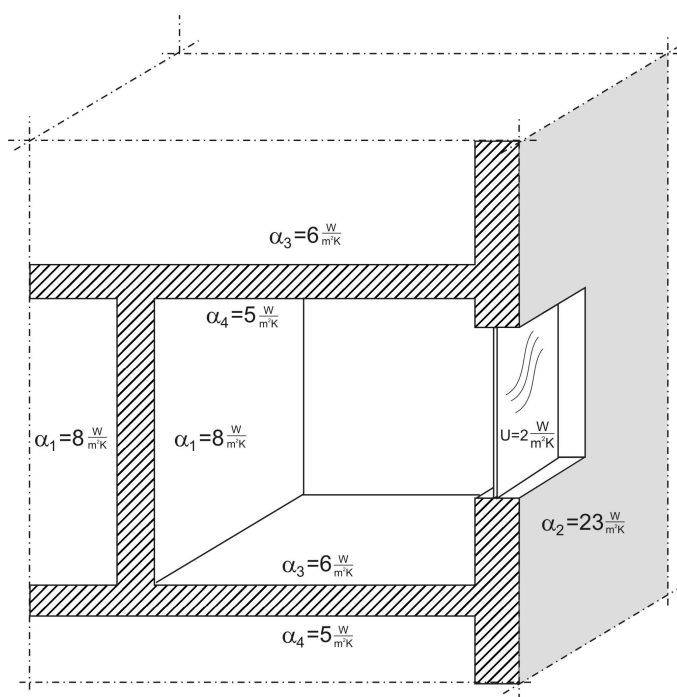
1. Rozkład temperatury wewnątrz pomieszczenia jest wyrównany.
2. Przegrody budowlane są wielowarstwowymi, izotermicznymi płytami płaskimi. Nie uwzględnia się mostków cieplnych i naroży.
3. Intensywność wymiany powietrza wewnątrz pomieszczenia jest zgodna z Polską Normą.
4. Urządzenia ogrzewcze są typu konwekcyjnego i rozmieszczone są w pomieszczeniu równomiernie.
5. Pomieszczenie jest puste. Nie uwzględnia się ruchów konwekcyjnych powietrza w jego wnętrzu.
6. Temperatura zewnętrzna zmienia się w naturalny, dowolny sposób, zgodnie z warunkami atmosferycznymi.
7. Ogrzewanie posiada regulator temperatury powietrza sterujący mocą.
8. Moc grzejna może być zmieniana w sposób ciągły.

3. OPIS PROGRAMU OBLICZENIOWEGO

Opracowany program symulujący ogrzewane składa się z dwóch części. W części pierwszej przeprowadzane są obliczenia stanu cieplnie ustalonego dla wczytanej wartości temperatury wewnętrznej i zewnętrznej. Obliczenia strat cieplnych oparte są na metodzie przedstawionej w normie: PN-B-03406 „Obliczenia zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600m³” oraz związanej z nią normy: PN-82-B-02403 „Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne” i PN-EN ISO 6946 „Opór cieplny i współczynnik przejmowania ciepła”. Oprócz strat cieplnych program oblicza także rozkład temperatury we wszystkich przegrodach budowlanych oraz temperatury ich powierzchni wewnętrznych i zewnętrznych, jak również powierzchni okien. Na podstawie tych wartości obliczana jest temperatura odczuwalna (wynikowa) w pomieszczeniu.

Dla wykonania obliczeń konieczne jest wprowadzenie danych wejściowych charakteryzujących pomieszczenie, takich jak: wymiary przegród budowlanych, rodzaj i właściwości materiałów, grubości ich warstw oraz wymiary otworów budowlanych.

Należy także podać wartości temperatur po obydwu stronach każdej z przegród. Umożliwia to symulację pomieszczeń dowolnie usytuowanych w budynku, a więc posiadających jedną, dwie lub trzy ściany zewnętrzne oraz usytuowanych na różnych kondygnacjach i sąsiadujących z pomieszczeniami o różnych temperaturach. Schematyczny układ modelowanego pomieszczenia przedstawiony został na rysunku 1.



Rys. 1. Schematyczny układ modelowanego pomieszczenia

Po wykonaniu obliczeń dla stanu ustalonego program przechodzi do obliczeń dotyczących stanu nieustalonego wywołanego zmieniającą się temperaturą zewnętrzną. Zmiany temperatury zewnętrznej, w odróżnieniu od programów opisanych w [1, 2], wprowadzane są z danymi wejściowymi w postaci dyskretnych wartości odczytywanych w odstępach 3 godzinowych. Taki odstęp czasowy został zastosowany po analizie wielu rejestracji zmian atmosferycznych. Odzwierciedla on w dostatecznie dokładny sposób dynamikę tych zmian i jednocześnie nie przeciąża programu oraz ułatwia przygotowanie danych zwłaszcza dla dłuższych czasów symulacji. Wartości temperatury w momentach pomiędzy wartościami dyskretnymi, czyli w czasie interwału 3 godzinowego, obliczane są w oparciu o interpolację liniową.

Wszystkie obliczone w pierwszej części programu wartości temperatur stają się wartościami początkowymi dla obliczeń w stanie nieustalonym. Z tego powodu w pierwszej części programu jako temperaturę zewnętrzną należy przyjmować pierwszą wartość temperatury, odpowiadającą przyjętemu jej przebiegowi w stanie nieustalonym. Zastosowany system umożliwia przeprowadzenie obliczeń dla dowolnych zarejestrowanych rzeczywistych zmian atmosferycznych.

Krok czasowy obliczeń, okres symulacji oraz podział na warstwy elementarne każdej z przegród budowlanych wczytywane są z danymi.

W wyniku obliczeń dla stanu cieplnie nieustalonego w każdym interwale czasu określany jest rozkład temperatury w przegrodach, całkowite straty ciepła, gęstości strumienia ciepła przepływających przez poszczególne przegrody, wymaga

moc grzejna dla utrzymania temperatury powietrza na zadanym poziomie oraz temperatura odczuwalna w pomieszczeniu. Obliczana i drukowana jest również ilość zużytej energii.

Wydruk obliczeń rozpoczyna się od wartości dotyczących stanu cieplnie ustalonego a następnie, z częstotliwością sterowaną wprowadzonymi danymi, drukowane są wyniki obliczeń dla stanu cieplnie nieustalonego. Częstotliwość wydruku może być w wybranych czterech okresach symulacji zmieniana (np. zagęszczana). Ułatwia to dokładniejszą analizę stanów przejściowych w pomieszczeniu.

Oprócz rzeczywistych zmian temperatury zewnętrznej program uwzględnia również możliwość okresowego obniżenia temperatury w pomieszczeniu w ciągu dowolnie długiego okresu czasu i o dowolną wartość [3]. Uwzględnione jest również działanie regulatora temperatury powietrza w pomieszczeniu i możliwość nastawienia jego strefy nieczułości. Ze względu na niewspółmiernie większą dynamikę regulatora temperatury w stosunku do dynamiki pomieszczenia nieuwzględnione są jego parametry dynamiczne.

4. WYNIKI OBLICZEŃ

Dla zobrazowania pracy programu przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń symulacji pracy instalacji ogrzewania pomieszczenia w okresie zimowym w ciągu jednego tygodnia.

Dane techniczne pomieszczenia są następujące:

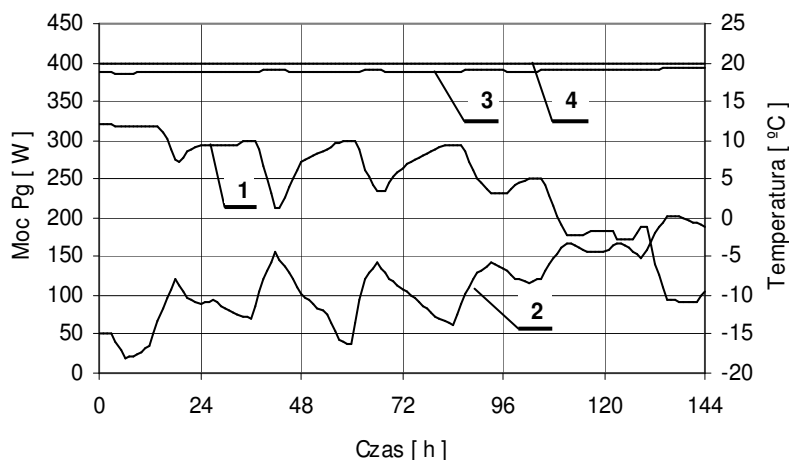
- powierzchnia: 31,4 m²,
- wysokość: 2,7 m,
- ilość okien: 1,
- powierzchnia okna: 2,16 m²,
- ilość ścian zewnętrznych: 2,
- konstrukcja ścian zewnętrznych: bloczek silikatowy 0,4 m, styropian 0,1 m, obustronnie otynkowane; łączna grubość – 0,53 m,
- konstrukcja ścian wewnętrznych: bloczek silikatowy 0,12 m, obustronnie otynkowany; łączna grubość – 0,15 m,
- współczynnik przenikania ciepła:
 - dla ścian zewnętrznych: 0,312 W/m²K,
 - dla ścian wewnętrznych: 0,29 W/m²K,
- pomieszczenie sąsiaduje od góry i od dołu z pomieszczeniami ogrzewanymi o tej samej temperaturze tzn. nie ma wymiany ciepła w kierunku pionowym.

Zmiany temperatury zewnętrznej dotyczą środkowej Polski i zostały zaczerpnięte ze stacji meteorologicznej Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej [4].

Symulację przeprowadzono w okresie jednego tygodnia, aby można było dokładniej zaobserwować zmiany wszystkich interesujących wielkości.

Rozpatrzono dwa przypadki pracy instalacji. Pierwszy dotyczący pracy z utrzymywaniem w pomieszczeniu stałej temperatury w ciągu doby i drugi, w którym w ciągu 8 godzin w okresie nocnym temperatura w pomieszczeniu jest

obniżona o 4°C. Taki tryb pracy jest bardzo popularny, zwłaszcza w krajach zachodnich, i pozwala na uzyskanie zmniejszenia zużycia energii, czyli obniżenia kosztów eksploatacyjnych przy jednoczesnym zachowaniu korzystnych parametrów fizjologicznych.

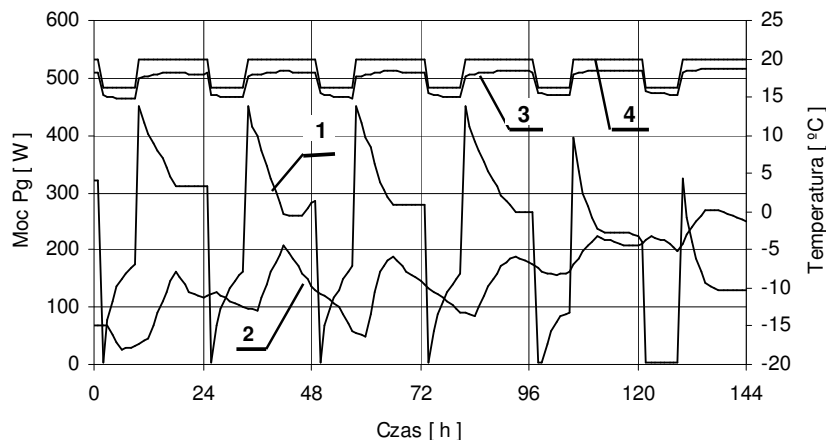


Rys. 2. Wyniki symulacji dla stałej temperatury pomieszczenia;
1 – moc grzejna Pg, 2 – temperatura zewnętrzna, 3 – temperatura odczuwalna,
4 – temperatura powietrza w pomieszczeniu

Wyniki symulacji dla pierwszego przypadku eksploatacji pomieszczenia zostały przedstawione na rysunku 2. Dla warunków początkowego stanu cieplnie ustalonego przyjęto temperaturę powietrza w pomieszczeniu 20°C i temperaturę zewnętrzną -15°C. Strefę nieczułości regulatora temperatury przyjęto $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Obliczona wartość mocy grzejnej dla stanu ustalonego wynosi 320 W.

Z wykresów wynika niewielka, ale zauważalna różnica między temperaturą powietrza w pomieszczeniu a temperaturą odczuwalną. Różnica ta ma wartość różną dla różnych pomieszczeń a wpływ na nią mają zarówno wielkość okien jak i konstrukcja ścian zwłaszcza zewnętrznych.

Moc grzejna Pg rozumiana jako moc, którą należy dostarczyć, aby utrzymać zadaną wartość temperatury w pomieszczeniu, bardzo silnie uzależniona jest od temperatury zewnętrznej. W przebiegu zmienności Pg można jednak zauważyć wpływ akumulacyjności cieplnej przegród budowlanych. Widać to wyraźnie zwłaszcza w początkowym okresie symulacji. Ze względu na przyjęte w programie uzależnienie intensywności wietrzenia od temperatury zewnętrznej w zakresie wyższych temperatur na skutek wyższych strat na wentylację wpływ ten jest mniej widoczny.



Rys. 3. Wyniki symulacji dla pracy z okresowymi obniżeniami temperatury;
 1 – moc grzejna P_g , 2 – temperatura zewnętrzna, 3 – temperatura odczuwalna, 4 – temperatura powietrza w pomieszczeniu

Wyniki symulacji uzyskane dla pracy instalacji ogrzewczej w tych samych warunkach klimatycznych, ale z okresowym obniżaniem temperatury powietrza w pomieszczeniu (rysunek 3) wskazują na znacznie większe wahania mocy grzejnej P_g w czasie doby. Krótkotrwałe wyłączenie ogrzewania wymaga następnie załączenia mocy o około 50% wyższej niż w przypadku ogrzewania ciągłego. Wymagane jest, zatem wykorzystywanie pełnej mocy instalacji ogrzewczej.

Również w tym przypadku ogrzewania większa jest różnica między temperaturą powietrza w pomieszczeniu a temperaturą odczuwalną. Zauważyć należy, że temperatura odczuwalna spada poniżej przyjętej minimalnej wartości dla temperatury powietrza.

Zużycie energii w ciągu tygodnia w przypadku pierwszym wynosiło 35,4 kWh, a w przypadku drugim 32,3 kWh. Oznacza to około 9% zmniejszenie zużycia energii przy stosowaniu okresowego obniżania temperatury.

Przedstawione wykresy zmienności charakterystycznych wielkości dotyczą jedynie wybranego przykładu pomieszczenia. Ze względu na bezpośredni wpływ wielkości przegród budowlanych, użytych materiałów oraz ich właściwości cieplnych jak również ilości i wielkości okien, pomiędzy wynikami symulacji różnych pomieszczeń mogą wystąpić dość istotne różnice.

5. WNIOSKI

Przedstawiony program komputerowy umożliwia śledzenie zmian takich podstawowych wielkości jak: moc grzejna, temperatura odczuwalna w pomieszczeniu, temperatury wszystkich przegród budowlanych zarówno na powierzchniach zarówno

na powierzchniach, jak i w przekrojach poprzecznych, zużycie energii. Obserwacja zmian tych wielkości może być dokonywana dla dowolnych zmian temperatury zewnętrznej odpowiadających rzeczywistym zmianom warunków atmosferycznych. Czas symulacji nie jest w programie ograniczony.

Możliwa jest symulacja zarówno ogrzewania ze stałą temperaturą w ciągu doby, jak i okresowymi obniżeniami temperatury.

Ze względu na dużą liczbę obliczanych wielkości symulacja umożliwia kompleksową analizę ogrzewanego pomieszczenia.

LITERATURA

- [1] Januszkiewicz K. T.: Komputerowy program do analizy właściwości cieplnych pomieszczeń ogrzewanych elektrycznie. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Elektryka Nr 101, 2003 r.
- [2] Januszkiewicz K. T.: Symulacja numeryczna wpływu warunków klimatycznych na pracę instalacji ogrzewania elektrycznego. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Elektryka Nr 101, 2003 r.
- [3] Januszkiewicz K. T.: Analiza pracy elektrycznego energooszczędnego ogrzewania pomieszczeń. Przegląd Elektrotechniczny Nr 7, 2008r., ss. 67-69.
- [4] Stacja METEO – Politechnika Warszawska – Wydział Fizyki – www.if.pw.edu.pl/~meteo

NUMERICAL SIMULATION OF ELECTRICALLY HEATED ROOMS

Summary

The paper presents the computer program to simulation of the electrically heated rooms. This program enables investigation of both: temperature variation in the heated room and heated power that are caused by outdoor temperature fluctuations. Computer program allows modelling various outdoor temperature fluctuations that may be caused by weather changes. It is also possible to simulate heating with constant inside temperature and heating with periodical temperature reduction. The simulations can be made for any time period in the heating cycle. The calculations can be taken for thermal steady and unsteady state.

The selected results obtained for typical habitable room with various heating systems are presented.

Keywords: electrically heated rooms, computer simulation, heating simulation.

