

6. Procedura uproszczonego określania potrzeb cieplnych energooszczędnych budynków

6.1. Wprowadzenie

Przy rozwiązywaniu szeregu zagadnień dotyczących projektowania, wnoszenia i racjonalnego użytkowania energooszczędnych budynków często zachodzi konieczność bilansowania ich potrzeb cieplnych w oparciu o prostą, ale jednocześnie miarodajną i wystarczająco dokładną metodykę obliczeń. Praktyka wykazuje, że w większości przypadków nie wystarczają już procedury podawane w dwu krajowych normach, gdyż:

- 1) norma PN-83/B-03406 "Obliczanie zapotrzebowania ciepła pomieszczeń o kubaturze do 600 m³", wbrew tytułowi, ogranicza się do wzorów pozwalających określić tylko obliczeniową moc cieplną, w oparciu o którą dobiera się wielkości głównych elementów wyposażenia urządzenia ogrzewczego (źródła ciepła, grzejników, przewodów itp.);
- 2) norma PN-91/B-02020 "Ochrona cieplna budynków - wymagania i obliczenia" w zasadzie dotyczy tylko charakterystyki termoizolacyjnej przegród budowlanych, również w odniesieniu do warunków obliczeniowych.

W tej sytuacji wydaje się celowe i uzasadnione opracowanie ujednoczonej procedury obliczania rocznego (sezonowego) zapotrzebowania na ciepło, zwłaszcza na ciepło do ogrzewania pomieszczeń. Poniżej przedstawiono metodykę takich obliczeń opartą o zalecenia dwu norm międzynarodowych [1,2]. Częściowo uwzględniono również algorytmy opisane w pracach [3,4]. Obliczenia umożliwiają określenie końcowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych lub im podobnych, przystosowanych do biernego wykorzystania energii słonecznej oraz tzw. wewnętrznych zysków ciepła związanych z użytkowaniem pomieszczeń. Wyniki obliczeń mogą być wykorzystane przede wszystkim:

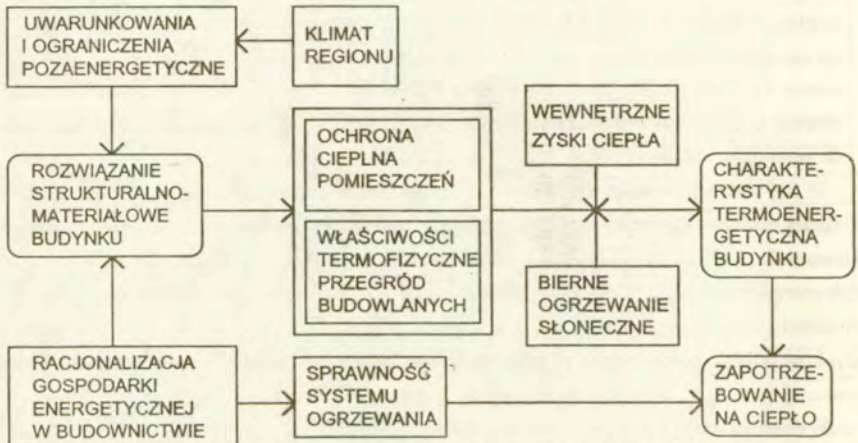
- przy planowaniu osiedli i projektowaniu poszczególnych budynków - do prognozowania i szacunkowej oceny energochłonności eksploatacyjnej rozpatrywanych wariantów;
- przy optymalizacji rozwiązań strukturalno-materiałowych w obiektach nowo wnoszonych, albo już istniejących, ale przeznaczonych do termorenowacji;
- przy sprawdzaniu, czy dany budynek odpowiada określonym wymaganiom, na przykład w zakresie właściwej ochrony cieplnej.

6.2. Charakterystyka metody obliczeń

Potrzeby ciepłe budynku związane z ogrzewaniem pomieszczeń można rozpatrywać na dwu poziomach, zależnie od stopnia szczegółowości posiadanych informacji, jako:

- 1) potrzeby "netto", związane z charakterystyką termooenergetyczną samego budynku, wyrażające końcową ilość ciepła niezbędną do utrzymania zadanej temperatury powietrza w ogrzewanych pomieszczeniach;
- 2) potrzeby "brutto", równoważne dosłownemu zapotrzebowaniu na energię, uwzględniające nie tylko wyżej wspomnianą charakterystykę budynku, ale także rodzaj i sprawność całego systemu ogrzewania oraz sposób wytwarzania, przesyłania i przekazywania ciepła do poszczególnych pomieszczeń.

Opisany tu tok obliczeń ograniczono do zakresu odpowiadającego poziomowi pierwszemu. Uznano bowiem, że znajomość końcowego zapotrzebowania na ciepło jest z reguły wystarczająca do energetycznej oceny rozwiązań architektonicznych, konstrukcyjnych i materiałowych budynku.



Rys. 6.1 Schemat powiązań między czynnikami kształtującymi charakterystykę termooenergetyczną budynku i zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania pomieszczeń

Na rys. 6.1 pokazano schemat wzajemnych powiązań między czynnikami kształtującymi charakterystykę termooenergetyczną budynku i określającymi zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania. Czynniki te wywierają wpływ zarówno na straty, jak i na zyski ciepła. W rzeczywistości wpływ ten bywa różny w poszczególnych strefach budynku, a także zmienny w czasie ze względu na zmienność parametrów meteorologicznych, indywidualne warunki temperaturowe w pomieszczeniach o różnym przeznaczeniu oraz trudne nieraz do przewidzenia postępowanie użytkowników. Dlatego w analizach operuje się pojęciem porównawczego roku lub sezonu ogrzewczego, a nie czasem rzeczywistym.

Równania wymiany ciepła między budynkiem a otoczeniem zewnętrznym można sformułować dwojako, w zależności od celu i wymaganej precyzji obliczeń:

- a) jako równania różniczkowe lub różnicowe z dostatecznie małym krokiem czasowym, opisujące dynamikę procesu ogrzewania i wymagające dokładnej znajomości przebiegu temperatury zewnętrznej, strumienia energii promieniowania słonecznego oraz uwzględniające, między innymi, akumulowanie ciepła w przegrodach budowlanych;
- b) w postaci zależności uproszczonych, wiążących ze sobą parametry uśrednione, miarodajne dla dłuższych przedziałów czasu, w których wpływ pojemności cieplnej obudowy uwzględnia się pośrednio, na przykład wprowadzając pewne wskaźniki wykorzystania zysków ciepła.

W prezentowanej metodzie zastosowano tę drugą możliwość. Polega ona na bilansowaniu strat i zysków ciepła w skali kolejnych miesięcy, w odniesieniu do średnich wartości temperatury zewnętrznej i wewnętrznej oraz średniej gęstości strumienia całkowitego promieniowania słonecznego. Jeśli we wszystkich ogrzewanych pomieszczeniach ma być utrzymana jednakowa temperatura, albo gdy jej wartości nie różnią się od siebie bardziej niż o 4 K, to bilans sporządza się globalnie dla całego budynku. Natomiast jeśli można wyodrębnić strefy o wyraźnie zróżnicowanych warunkach temperaturowych, to obliczenia należy przeprowadzić dla każdej strefy osobno i otrzymane wyniki zsumować. W przypadku budynków mieszkalnych zaleca się bilansowanie ciepła w skali poszczególnych mieszkań lub grup, które można uznać za identyczne. Roczne (sezonowe) zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania należy rozumieć jako sumę wartości miesięcznych.

Aby uniknąć nieporozumień, trzeba jeszcze wyjaśnić i uściślić pojęcia sezonu ogrzewczego oraz rocznego i sezonowego zapotrzebowania na ciepło. Na ogół bowiem pojęcia te są związane głównie ze sposobem zaopatrzenia budynku w energię. W systemach scentralizowanych okres dostarczania czynnika grzejącego o właściwych parametrach do odbiorców za pośrednictwem sieci ciepłowniczej jest z reguły limitowany wartością granicznej temperatury ogrzewania. W ten sposób początek i koniec sezonu ogrzewczego można ustalić administracyjnie [5]. Natomiast w obiektach dysponujących własnym źródłem ciepła, coraz częściej wyposażonym w elementy automatycznej regulacji wydajności, o rozpoczęciu, zakończeniu lub czasowym przerwaniu ogrzewania decydują sami użytkownicy. Sprzyja to oczywiście racjonalizacji gospodarki energetycznej.

W niniejszej metodzie obliczeń także operuje się pojęciem pewnej temperatury granicznej, nazwanej umownie temperaturą bazową. Jej wartość wyznacza czas trwania porównawczego sezonu ogrzewczego w ciągu roku z uwzględnieniem wpływu wewnętrznych i słonecznych zysków ciepła, a także zdolności przegród budowlanych do ich okresowego akumulowania [6]. Zgodnie z definicją podaną w normie [1], porównawczy sezon ogrzewczy obejmuje czas w tych miesiącach (w skali jednego roku), w których:

- różnica temperatury bazowej i średniej temperatury zewnętrznej jest większa od zera;

– suma wewnętrznych i słonecznych zysków ciepła nie przekracza co najmniej 2,5-krotnie całkowitych strat ciepła z budynku do otoczenia.

Pojęcia administracyjnego i porównawczego sezonu ogrzewczego nie są więc równoznaczne, gdyż czas ich trwania w tym samym roku może się różnić. Natomiast określenia "sezonowe" i "roczne" zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania stosuje się zamiennie i nie rozróżnia się ich w obliczeniach.

6.3. Sformułowanie zależności obliczeniowych

6.3.1. Ogólna postać równania bilansowego

Bilans ciepła wymienianego między powietrzem w ogrzewanych pomieszczeniach a ich otoczeniem obejmuje składowe charakteryzujące poszczególne czynniki wskazane schematycznie na wspomnianym już rys. 1.

Po stronie strat wyróżniono:

- ciepło Q_{ke} przenikające przez zewnętrzną obudowę pomieszczeń na skutek różnicy temperatury panującej po obu jej stronach;
- ciepło Q_{ki} przenikające przez przegrody między pomieszczeniami o różnej temperaturze powietrza wewnętrznego, a w szczególności ciepło tracone do nie ogrzewanych stref budynku, takich jak piwnica, poddasze, przestrzeń buforowa itp.;
- ciepło Q_w niezbędne do podgrzania świeżego powietrza wentylacyjnego do wymaganej temperatury wewnętrznej;
- ciepło Q_a zakumulowane w przegrodach budowlanych.

Natomiast po stronie zysków uwzględniono:

- ciepło Q_i emitowane przez różne źródła wewnętrzne oprócz grzejników wchodzących w skład zainstalowanego urządzenia ogrzewczego;
- ciepło Q_s pozyskane od nasłonecznienia, przy czym bierze się pod uwagę tylko zyski przez przezroczyste fragmenty zewnętrznej obudowy pomieszczeń, na przykład przez okna i świetliki;
- ciepło Q_o dostarczane do powietrza wewnętrznego przez grzejniki, równowazne szukanemu zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania pomieszczeń.

Równanie bilansowe przyjmuje więc postać

$$Q_{ke} + Q_{ki} + Q_w + Q_a = Q_i + Q_s + Q_o \quad [\text{W}\cdot\text{h}]. \quad (6.1)$$

Zakłada się, że ciepło zakumulowane w przegrodach budowlanych stanowi pewną część sumy wewnętrznych i słonecznych zysków, spełniającą równanie

$$Q_a = (1 - \eta)(Q_i + Q_s) \quad [\text{W}\cdot\text{h}], \quad (6.2)$$

w którym η oznacza stopień wykorzystania zysków ciepła do bezpośredniego ogrzewania powietrza wewnętrznego, równy ilorazowi

$$\eta = \frac{(Q_{ke} + Q_{ki} + Q_w) - Q_o}{Q_i + Q_s} \quad (6.3)$$

Po podstawieniu wzoru (6.2) do równania (6.1) otrzymuje się ogólną postać wyrażenia opisującego zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania

$$Q_o = (Q_{ke} + Q_{ki} + Q_w) - \eta(Q_i + Q_s) \quad [\text{W}\cdot\text{h}], \quad (6.4)$$

w czasie równym takiej liczbie dni, dla której właściwości termofizyczne przegród budowlanych i otoczenia można uśrednić w skali reprezentatywnej doby. Poszczególne składowe bilansu można wtedy obliczyć, korzystając z zależności słusznych przy założeniu ustalonych warunków wymiany ciepła.

6.3.2. Straty ciepła

Przyjmując, że stała w ciągu doby różnica temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego wynosi

$$\Delta T_{ie} = T_i - T_e \quad [\text{K}], \quad (6.5)$$

składowe strat ciepła wyrażają się następująco:

$$Q_{ke} = 24t\Delta T_{ie} \sum (kA)_e \quad [\text{W}\cdot\text{h}], \quad (6.6)$$

$$Q_{ki} = 24t\Delta T_{ie} \sum (kA)_r \quad [\text{W}\cdot\text{h}], \quad (6.7)$$

$$Q_w = 24 \frac{\rho c}{3600} t\Delta T_{ie} nV \quad [\text{W}\cdot\text{h}], \quad (6.8)$$

a po podstawieniu ogólnie przyjętych, obliczeniowych wartości parametrów fizycznych powietrza wentylacyjnego, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ oraz $c = 1020 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$,

$$Q_w = 24 \cdot 0,34t\Delta T_{ie} nV \quad [\text{W}\cdot\text{h}]. \quad (6.8)$$

Wprowadzając we wzorze (6.7) sumy zastępczych, jednostkowych strumieni ciepła

$$\sum (kA)_r = \sum \frac{\sum (kA)_{12} \sum (kA)_{2e}}{\sum (kA)_{12} + \sum (kA)_{2e}} \quad [\text{W/K}] \quad (6.7)$$

ma na celu uproszczenie obliczeń strat ciepła do nie ogrzewanych przestrzeni budynku przez wyeliminowanie trudnej do ustalenia, pośredniej między T_i a T_e , temperatury powietrza wewnętrznego w tych przestrzeniach.

W powyższych zależnościach przyjęto następujące oznaczenia:

- c - ciepło właściwe powietrza, [J/(kg·K)];
- $(kA)_e$ - iloczyn współczynnika przenikania ciepła i powierzchni przegrody zewnętrznej w ogrzewanym pomieszczeniu, [W/K];
- $(kA)_r$ - równoważny (zastępczy) iloczyn współczynnika przenikania ciepła i powierzchni przegrody wewnętrznej między ogrzewanym pomieszczeniem a nie ogrzewaną strefą budynku, [W/K];
- $(kA)_{12}$ - iloczyn współczynnika przenikania ciepła i powierzchni przegrody wewnętrznej między ogrzewanym pomieszczeniem a nie ogrzewaną strefą budynku, [W/K];
- $(kA)_{2e}$ - iloczyn współczynnika przenikania ciepła i powierzchni przegrody zewnętrznej w nie ogrzewanej strefie budynku, [W/K];
- n - wskaźnik krotności wymiany powietrza wentylacyjnego, [1/h];
- t - liczba dni w rozpatrywanym przedziale czasu;
- T_e - średnia w ciągu doby temperatura powietrza zewnętrznego, [°C];
- T_i - stała temperatura powietrza w ogrzewanym pomieszczeniu lub wyodrębnionej grupie pomieszczeń, [°C];
- V - kubatura ogrzewanych i wentylowanych pomieszczeń, [m³];
- ρ - gęstość powietrza wentylacyjnego, [kg/m³];
- Σ - oznaczenie informujące o sumowaniu wskazanych strumieni ciepła traconego przez poszczególne elementy obudowy pomieszczeń.

6.3.3. Zyski ciepła

Wewnętrzne zyski ciepła, wynikające z przeznaczenia i sposobu użytkowania pomieszczeń wynoszą

$$Q_t = 24t \sum q_{ij} \quad [\text{W}\cdot\text{h}], \quad (6.9)$$

natomiast zyski ciepła od nasłonecznienia przez przezroczyste elementy zewnętrznej obudowy

$$Q_s = 24t \sum (qA)_s \quad [\text{W}\cdot\text{h}], \quad (6.10)$$

przy czym:

- q_{ij} - średni w ciągu doby strumień ciepła emitowanego do powietrza wewnętrznego z j-tego źródła w rozpatrywanym pomieszczeniu ogrzewanym lub grupie pomieszczeń ogrzewanych, [W];

$(qA)_S$ - iloczyn średniej w ciągu doby gęstości strumienia ciepła pozyskanego od nasłonecznienia i powierzchni przezroczystego elementu kolektorowego zewnętrznej obudowy, [W]. **6.3.4.**

Miesięczne i roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania

Podstawiając wyrażenia (6.6)-(6.10) do zależności (6.4), wprowadzając dodatkowe oznaczenia

$$\sum q_t = \sum (kA)_e + \sum (kA)_i + 0,34nV, \quad (6.11a)$$

$$\sum q_z = \sum q_{ij} + \sum (qA)_s \quad (6.11b)$$

oraz indeks "m" informujący o tym, że obliczenia dotyczą m-tego miesiąca w porównawczym sezonie ogrzewczym, otrzymuje się miesięczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania

$$Q_{om} = 24t_m(\Delta T_{iem} \sum q_{tm} - \eta_m \sum q_{zm}) \quad [\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}]. \quad (6.12)$$

Sygnalizowaną na wstępie temperaturę bazową T_{bm} definiuje się jako średnią w danym miesiącu temperaturę zewnętrzną, przy której dobowe zyski ciepła równoważą jego straty [6]. Oznacza to, że przy $T_{bm} \geq T_{em}$ nie jest już potrzebne dodatkowe ogrzewanie. Z bilansu równowagi strat i zysków ciepła wynika, że

$$T_{bm} = T_i - \frac{\eta_m \sum q_{zm}}{\sum q_{tm}} \quad [^\circ\text{C}]. \quad (6.13)$$

Po uwzględnieniu wzorów definicyjnych (6.5) i (6.13) zależność (6.12) przyjmuje postać

$$Q_{om} = 24t_m \Delta T_{bm} \sum q_{tm} \quad [\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}]. \quad (6.14)$$

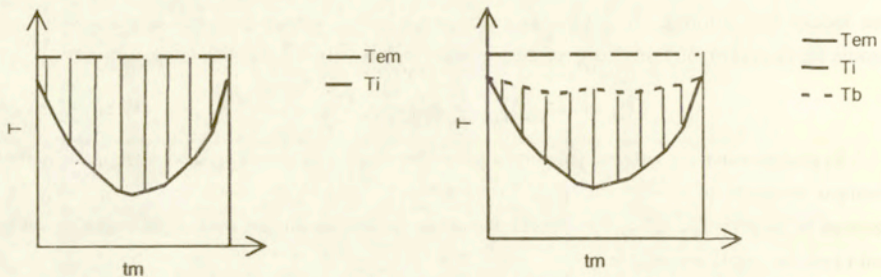
Ponieważ zgodnie z definicją oraz interpretacją temperatury bazowej

$$\Delta T_{bem} = \begin{cases} T_{bm} - T_{em} & \text{gdy } T_{bm} > T_{em} \\ 0 & \text{gdy } T_{bm} \leq T_{em} \end{cases} \quad [\text{K}], \quad (6.15)$$

to łatwo zauważyć, że suma

$$\sum_{t_m(T_{bm} > T_{em})} \Delta T_{bem} = Sd(T_{bm}) \quad [\text{K}\cdot\text{d}/\text{m}] \quad (6.16)$$

stanowi liczbę stopniodni ogrzewania w m -tym miesiącu porównawczego sezonu ogrzewczego. W niektórych miesiącach liczba dni $t_m(T_{bm} > T_{em})$ jest mniejsza od liczby dni kalendarzowych. Ma to miejsce szczególnie jesienią i wiosną w budynkach przystosowanych do biernego ogrzewania słonecznego i jest nader korzystne ze względów energetycznych. Graficzną interpretację liczb stopniodni ogrzewania odniesionych albo do temperatury powietrza wewnętrznego, albo do temperatury bazowej pokazano na rys. 6.2.



Rys. 6.2. Porównanie liczb stopniodni ogrzewania odniesionych albo do temperatury wewnętrznej, albo do temperatury bazowej

Ostatecznie więc można napisać, że miesięczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania

$$Q_{om} = 24Sd(T_{bm}) \sum q_{tm} \quad [\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}], \quad (6.17)$$

a zapotrzebowanie roczne (sezonowe)

$$Q_{or} = \sum Q_{om} \quad [\text{W}\cdot\text{h}/\text{a}]. \quad (6.18)$$

6.4. Uwagi o parametrach przyjmowanych przy obliczaniu zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania

Szereg parametrów występujących w wyprowadzonych zależnościach trzeba z góry przyjąć w oparciu o miarodajną charakterystykę budynku i jego otoczenia. Jest to warunek nie tylko wiarygodności, ale i porównywalności wyników obliczeń. W tym celu można wykorzystać następujące normy:

- PN-91/B-02020 "ochrona cieplna budynków - wymagania i obliczenia", do określenia współczynników przenikania ciepła, powierzchni przegród budowlanych i kubatury wentylowanych pomieszczeń;
- PN-83/B-03430 "Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej - wymagania", do orientacyjnego ustalenia obliczeniowych strumieni powietrza wentylacyjnego oraz wskaźników krotności wymiany powietrza;
- PN-82/B-02402 "Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach", do określenia wymaganej temperatury powietrza w pomieszczeniach o różnym przeznaczeniu.

Pozostałe parametry nie były dotychczas w Polsce normowane w zakresie odpowiadającym potrzebom proponowanej metodyki obliczeń. Poniższe uwagi nie pretendują do ostatecznego ujednolicenia ich wartości, ale mogą być wskazówką i punktem wyjścia do osobnych opracowań.

Średnie wartości temperatury powietrza zewnętrznego oraz gęstości strumienia całkowitego promieniowania słonecznego powinno się przyjmować w oparciu o bazę danych zawierającą zbiory wieloletnich wyników pomiarów meteorologicznych, przeprowadzonych na terenie całego kraju. Ponieważ dostęp do takiej bazy może być z wielu względów ograniczony i kosztowny, można skorzystać z publikowanych ostatnio modeli klimatu w postaci tzw. testowego roku lub sezonu ogrzewczego [7,8].

Wewnętrzne zyski ciepła zależą od przeznaczenia i wyposażenia pomieszczeń oraz od subiektywnego zachowania się użytkowników. W niniejszych obliczeniach przyjęto, że średni w ciągu doby strumień tych zysków

$$\sum q_{ij} = \sum (q_{il} + q_{ic} + q_{lp} + q_{le} + q_{lo}) \quad [W], \quad (6.19)$$

przy czym:

q_{il} - ciepło emitowane przez ludzi na skutek metabolizmu, w przybliżeniu równe

$$q_{il} = 65N \quad [W];$$

N - liczba osób przebywających w pomieszczeniu, mieszkaniu lub strefie budynku;

q_{ic} - zyski ciepła związane z obecnością i eksploatacją domowych urządzeń do przygotowywania ciepłej wody użytkowej, obejmujące straty z przewodów i zbiorników oraz ciepło kondensacji pary wodnej; orientacyjnie

$$q_{ic} = 25 + 15N \quad [W];$$

- q_{ip} - zyski ciepła związane z przygotowaniem posiłków i korzystaniem z kuchni gazowych lub elektrycznych w mieszkaniach; średnio w ciągu doby $q_{ip}=(100-110)$ [W];
- q_{ie} - ciepło emitowane przez domowe lub biurowe urządzenia elektryczne (tablica 6.1);
- q_{io} - zyski ciepła od oświetlenia elektrycznego (tablica 6.2).

Tablica 6.1. Średni w ciągu doby strumień ciepła emitowanego przez różne, domowe i biurowe urządzenia elektryczne [2]

Rodzaj urządzenia elektrycznego	q_{ie} , [W]
Czajnik elektryczny	20
Suszarka bębnowa do bielizny	20
Telewizor	35
Pralka automatyczna	35
Lodówka	40
Zmywarka naczyń	50
Nawilżacz powietrza	60
Zamrażarka	70
Elektryczna maszyna do pisania	15
Elektroniczna maszyna do pisania	30
Komputer osobisty PC	70
Komputer dużej mocy (stacja robocza)	170
Kopiarka lub fotokopiarka	500

Tablica 6.2. Średni w ciągu doby strumień zysków ciepła od oświetlenia elektrycznego w mieszkaniach [2]

Wielkość mieszkania i wiek lokatorów	q_{io} , [W]
1. Tylko osoby dorosłe:	
- w mieszkaniu o powierzchni poniżej 50 m ²	15
- w mieszkaniu o powierzchni 50-100 m ²	30
- w mieszkaniu o powierzchni powyżej 100 m ²	45
2. Dodatkowo, jeśli w mieszkaniu są dzieci	15

Na podstawie powyższych orientacyjnych danych liczbowych stwierdzono, że dla mieszkań o standardowym wyposażeniu średni w skali doby strumień wewnętrznych zysków ciepła można w przybliżeniu oszacować z następujących zależności:

$$\sum q_{ij} = 270 + 80N \quad [W]$$

w przypadku mieszkań małych o powierzchni mniejszej niż 50 m²;

$$\sum q_{ij} = 285 + 80N \quad [W]$$

w przypadku mieszkań o powierzchni 50-100 m²;

$$\sum q_{ij} = 300 + 80N \quad [W]$$

w przypadku dużych mieszkań o powierzchni przekraczających 100 m².

Wbrew pozorom, ustalenie w fazie projektowania budynku średnich strumieni ciepła ze źródeł wewnętrznych jest sprawą trudną i budzącą kontrowersje, ze względu na nieuniknioną subiektywną ocenę wyposażenia pomieszczeń oraz przewidywanej liczby ich użytkowników. Jeśli z jakichś powodów nie można jednoznacznie ustalić wartości poszczególnych strumieni składowych, to ich sumę należy określić orientacyjnie. W tym celu norma [2] podaje wskaźniki odniesione do 1 m² powierzchni użytkowej. Posługując się nimi w obliczeniach, korzysta się ze wzoru

$$\sum q_{ij} = q_{i1} A_u \quad [W],$$

w którym:

A_u - łączna powierzchnia użytkowa, [m²];

q_{i1} - orientacyjny wskaźnik wewnętrznych zysków ciepła, przyjmowany z tablicy 6.3, [W/m²].

Tablica 6.3. Orientacyjne wartości wskaźnika wewnętrznych zysków ciepła [2]

Rodzaj pomieszczenia	q_{i1} , [W/m ²]
Pomieszczenia mieszkalne	4,5
Pomieszczenia biurowe	6,0
Pomieszczenia handlowe	8,0

zgodnie ze stwierdzeniem autora referatu [9] - znajduje uzasadnienie w wynikach badań.

W modelu obliczeniowym, zakładającym ustalone warunki wymiany ciepła między budynkiem a otoczeniem zewnętrznym, stopień wykorzystania zysków ciepła uwzględnia pośrednio rzeczywistą dynamikę procesów termicznych. Przede wszystkim zaś charakteryzuje zdolność przegród budowlanych do okresowego akumulowania ciepła. Nie wchodząc w szczegóły wykraczające poza zakres niniejszego opracowania można przyjąć, że w przypadku obiektów

Zwraca się uwagę, iż w nowelizowanej obecnie krajowej normie ogrzewniczej analogiczny strumień oszacowano na około 900 W dla "pomieszczenia średniej wielkości" w budynkach mieszkalnych. Jest to więcej niż wynikałoby z danych przytoczonych w tablicach zaczerpniętych z norm międzynarodowych, ale -

odpowiadających obecnym krajowym standardom technologicznym wystarczającą dokładność zapewnia wzór podany przez Wernera [10] dla warunków niemieckich, zgodnie z którym

$$\eta_m = \begin{cases} \frac{1 - \Psi_m^a}{1 - \Psi_m^{a+1}} & \text{dla } \Psi_m \neq 1 \\ \frac{a}{a+1} & \text{dla } \Psi_m = 1 \end{cases} \quad (6.20)$$

gdzie:

$$\Psi_m = \frac{\sum q_{zm}}{\sum q_{tm}},$$

$$a = 1 + \frac{\tau}{16},$$

$$\tau = \frac{C}{\sum q_{tm}},$$

$$C = \frac{1}{3600} \sum (mc)_j,$$

zaś $(mc)_j$ jest iloczynem masy i ciepła właściwego j -tej przegrody budowlanej.

Natomiast w obliczeniach orientacyjnych można posługiwać się przybliżoną zależnością podaną w normie [1], zgodnie z którą

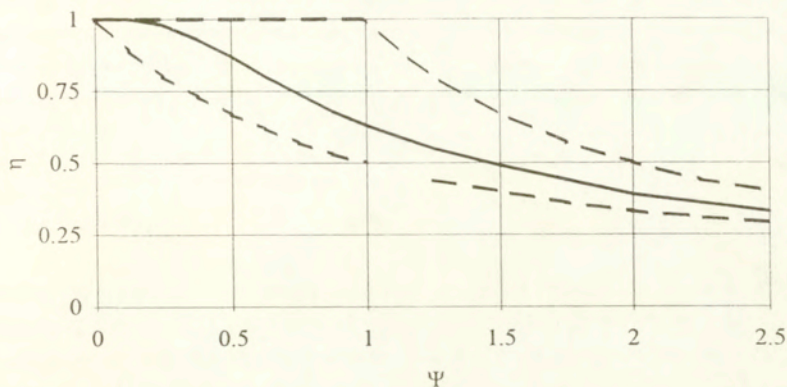
$$\eta_m = 1 - \exp\left(-\frac{1}{\Psi_m}\right), \quad (6.21)$$

albo, pomijając w ogóle obliczanie wewnętrznych i słonecznych zysków ciepła, przyjmować średnie miesięczne wartości temperatury bazowej ze wzoru

$$T_{bm} = T_i - \Delta T \quad [^\circ\text{C}], \quad (6.22)$$

w którym ΔT oznacza różnicę temperatury równoważną spodziewanemu oddziaływaniu wymienionych zysków na bilans cieplny budynku. W oparciu o najczęściej obecnie stosowane rozwiązania strukturalno-materiałowe oraz przy założeniu przeciętnego standardu wyposażenia pomieszczeń, w artykule [6] zaproponowano wartości ΔT zestawione w tablicy 6.4. Wydaje się jednak, że tak uproszczone obliczenia zapotrzebowania na ciepło mają sens tylko przy wstępnej i

zgrubnej ocenie energetycznej budynków. Graficzne odwzorowanie przebiegu funkcji (6.20) i (6.21) pokazano na rys. 6.3.



Rys. 6.3. Graficzne odwzorowanie funkcji (6.20) (linia przerywana) dla $C=0$ i $C=\infty$ oraz funkcji (6.21) (linia ciągła) w przedziale zmienności Ψ_m od 0 do 2.5

Tablica 6.4. Różnica temperatury równoważna oddziaływaniu wewnętrznych i słonecznych zysków ciepła w ogrzewanych pomieszczeniach

L.p.	Charakterystyka budynku	ΔT , [K]
1	Duża powierzchnia przeszklonych fragmentów zewnętrznej obudowy, duże zyski ciepła ze źródeł wewnętrznych i znaczna liczba osób stale przebywających w pomieszczeniach	5 - 6
2	Dominuje tylko jeden z czynników wymienionych w punkcie 1	4 - 5
3	Typowe budynki o przeciętnym stopniu przeszklenia przegród zewnętrznych, standardowe wyposażenie pomieszczeń i niewielka liczba użytkowników	3 - 4
4	Rzadko użytkowane pomieszczenia, małe zyski ciepła ze źródeł wewnętrznych, ograniczony do minimum stopień przeszklenia przegród zewnętrznych	2 - 3

6.5. Podsumowanie

Omówioną metodykę obliczeń oparto na kilku założeniach upraszczających, które ograniczają zakres wykorzystania wyników do przypadków wymienionych na wstępie. Zwłaszcza ostatni z nich zasługuje na szczególną uwagę, gdyż wiąże się z zapowiadaniem wprowadzeniem obligatoryjnych wymagań dotyczących przestrzegania z góry narzuconych zasad projektowania energooszczędnych budynków. Proponuje się bowiem wprowadzenie wskaźnika jednostkowego, rocznego zapotrzebowania netto na ciepło do ogrzewania pomieszczeń E, odniesionego do 1 m² powierzchni użytkowej [11], czyli

$$E = 10^{-3} \frac{Q_{or}}{A_u} \quad [\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})]. \quad (6.23)$$

W myśl wspomnianych propozycji wskaźnik E nie powinien przekraczać w porównawczym sezonie ogrzewczym wartości maksymalnej E_{max}. Autorzy pracy [11] sugerują przytoczone w tablicy 6.5 takie wartości dla różnych budynków mieszkalnych, zaznaczając równocześnie, iż ich obliczanie powinno być zgodne z postanowieniami norm międzynarodowych [1,2]. Uwzględnione przez nich zróżnicowanie lokalizacji obiektów w pięciu strefach klimatycznych Polski odpowiada podziałowi przyjętemu w normie PN-82/B-02403 "Temperatury obliczeniowe zewnętrzne".

Podany w niniejszym opracowaniu sposób postępowania można więc stosować do ustalania, oceny i sprawdzania wartości wskaźnika jednostkowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń w przypadku nowych lub modernizowanych budynków mieszkalnych i im podobnych. Zbliżoną metodykę obliczeń, przeprowadzanych w takim samym celu, przyjęto niedawno w Niemczech [10].

Tablica 6.5. Proponowane przez ITB maksymalne wskaźniki jednostkowego, rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych w Polsce

Rodzaj budynku mieszkalnego	E _{max} , [kW·h/(m ² ·a)]	
	I, II, III i IV strefa	V strefa
- parterowy podpiwniczony	150	165
- parterowy niepodpiwniczony	125	140
- dwukondygnacyjny podpiwniczony	135	145
- dwukondygnacyjny niepodpiwniczony	125	140
- wielokondygnacyjny	115	125

Wydaje się, iż kolejnym krokiem powinno być opracowanie i udostępnienie zainteresowanym specjalistom analogicznie ujednoliconej procedury określania zapotrzebowania na ciepło brutto, to jest z uwzględnieniem sprawności całego systemu ogrzewania, a także ustalania szczytowej (maksymalnej) mocy cieplnej, w oparciu o którą projektanci dobierają wielkość poszczególnych elementów wyposażenia urządzeń ogrzewczych.

Piśmiennictwo

- [1] ISO 9164 (1989): *Thermal insulation - calculation of space heating requirements for residential buildings*
- [2] prEN 832 (1992): *Residential buildings. Energy requirements for heating - calculation method*
- [3] Källblad K., Adamson B.: *A simplified method to predict energy consumption in buildings*. SCBR Document D8:1984
- [4] Lyberg M.: *Source book for energy auditors*. IEA-SCBR Document D11:1987
- [5] Mielnicki J.S.: *Centralne ogrzewanie - regulacja i eksploatacja*. Arkady, Warszawa 1985
- [6] Szokolay S.V.: *The variable base degree-hour method as a design tool*. Sun at Work in Europe 7(1992), 2
- [7] Kossecka E., Łoskot K., Pręczyński Z.: *Skrócony testowy sezon grzewczy (STSG)*. Prace IPPT (1992), 12
- [8] Owczarek S.: *Model gęstości energii promieniowania słonecznego na dowolną płaszczyznę*. Prace IPPT (1993), 28
- [9] Okoń P.: *Nowelizacja normy PN-83/B-03406 "Obliczanie zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m³"*. Materiały seminarium "Ogrzewnictwo i Wentylacja '93". COIB, Warszawa 1993
- [10] Werner H.: *Der Europäische Wärmepaß. CEN-Berechnungsverfahren für den Heizwärmebedarf von Gebäuden*. Bauphysik 15(1993), 2
- [11] Pogorzelski J.A., Zielińska H.: *Zasady projektowania budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej z uwagi na zapotrzebowanie energii do ich ogrzewania*. Materiały sesji "Oszczędne użytkowanie energii w budynkach". ITB, Warszawa 1993