

Ciep
Ogr
Went

- 95

Dr inż. MARIAN B. NANTKA
Doc. dr inż. STANISŁAW MAJERSKIN. 4 (193) Rok XVII
Kwiecień 1986

Ustalanie niezbędnych potrzeb ciepłych budynków mieszkalnych

Determination of indispensable needs of heat for dwelling houses.

I. Wprowadzenie

Potrzeby ciepłe budynków uzależnione są nie tylko od izolacyjności cieplnej i powietrznej ich przegród zewnętrznych, ale również od wymiarów oraz kształtu obiektów. W celu poprawnego ustalania potrzeb ciepłych należy oprócz dotychczas uznawanych elementów składowych bilansu uwzględniać także parametry geometryczne budynków.

Potrzeby ciepłe budynku w tym ujęciu wyrażone mogą być zależnością funkcyjną

$$Q = f(k_m, a_m, n, P \dots) \left| \begin{array}{l} \text{kW} \\ \text{dla } a, b, h, D, A_1/A_2 \end{array} \right. \quad (1)$$

gdzie:

- k_m, a_m — średnie współczynniki przenikania ciepła i powietrza odniesione do sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych A_z , $W/(m^2 \cdot K)$, $m^3/(m^2 \cdot h \cdot daPa)$,
- n — intensywność wymiany powietrza w budynku (działanie wentylacji), h^{-1} ,
- P — rodzaj wentylacji,
- a, b, h — długość, szerokość i wysokość budynku, m,
- D — stosunek sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury budynku, m^{-1} ,
- A_1/A_2 — udział powierzchni poszczególnych przegród w sumarycznej powierzchni powłoki zewnętrznej budynku.

Wartości średnich współczynników przenikania ciepła k_m i powietrza a_m uzależnione są od rodzaju przegród zewnętrznych oraz od wielkości i kształtu budynku, a także charakteru procesów przenikania ciepła i powietrza przez te przegrody. Podobne powiązania występują w odniesieniu do intensywności wymiany powietrza, która jest wynikiem jednoczesnego wpływu rodzaju i działania wentylacji [1, 2, 3] oraz izolacyjności powietrznej przegród budowlanych [4, 5, 6]. Wszystkie te czynniki powinny być w obiektach tak ustalone i utrzymane, aby przy uwzględnieniu przeznaczenia budynków oraz możliwości adaptacyjnych organizmów ludzkich zapewnione było poprawne użytkowanie pomieszczeń. Postulat ten znaleźć może wyraz przy analizie potrzeb ciepłych budynków, które opisano równaniem.

$$Q = Q^0 + \Delta Q \quad \text{kW} \quad (2)$$

gdzie:

- Q^0 — potrzeby ciepłe budynków ustalone dla wartości elementów składowych ich bilansu odpowiadających warunkowi zapewnienia w pomieszczeniach wymaganego komfortu cieplnego i higienicznego stanu powietrza, kW,
- ΔQ — dodatkowe potrzeby ciepłe wynikające z występowania rozbieżności między nominalnymi (lub rzeczywistymi) założeniami odnośnie do wartości czynników bilansu strat ciepła a ich wartościami składającymi się na potrzeby Q^0 , kW.

Wartości Q^0 stanowią więc minimalne ilości energii cieplnej niezbędnej do zachowania wewnątrz budynku odpowiedniego mikroklimatu i odpowiadają standardowym wartościom czynników składającym się na stan tego mikroklimatu. Dodatkowe potrzeby ciepłe są nie tylko miarą występujących rozbieżności co do wartości poszczególnych czynników, ale również miarą oszczędności ciepłych jakie można uzyskać ograniczając wartości tych czynników. Brak jednoznacznie określonych wymagań w zakresie mikroklimatu pomieszczeń mieszkalnych oraz metod optymalizacyjnych w omawianym przypadku jest jedną z podstawowych przyczyn występowania dużych rozbieżności w ocenach możliwych do uzyskania oszczędności ciepłych.

Przedstawione poniżej dane ułatwiają weryfikację oceny potrzeb ciepłych istniejących budynków mieszkalnych, a także mogą stanowić podstawę do dalszej i niezbędnej aktualizacji zaleceń projektowania tego typu obiektów.

2. Wymagania ograniczające wartości podstawowych czynników decydujących o potrzebach ciepłych pomieszczeń

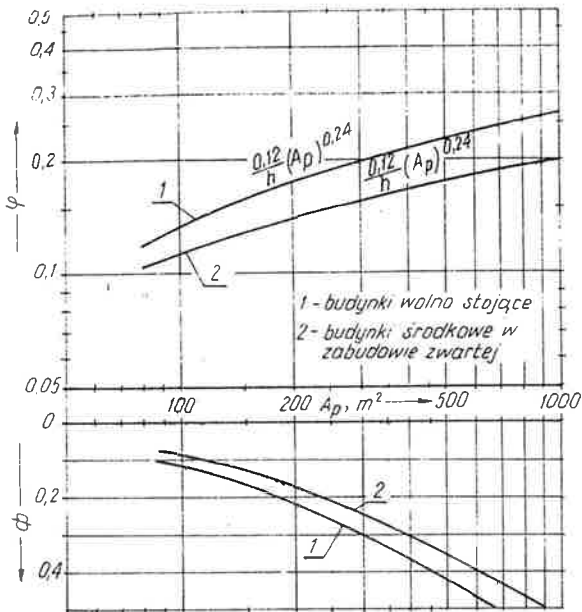
Najprostszym sposobem zmniejszania potrzeb ciepłych jest ograniczanie strat ciepłych przez przegrody zewnętrzne. Oznacza to konieczność poprawy izolacyjności cieplnej i powietrznej tych przegród, a także zmniejszenie intensywności wymiany powietrza w pomieszczeniach. Ponieważ może to wpłynąć na mikroklimat, konieczne jest przeprowadzenie analizy oddziaływania dotychczasowych i wprowadzanych czynników na parametry cieplne i higieniczne w pomieszczeniach.

Na podstawie wykonanych analiz uwzględniających charakterystyczne dla pomieszczeń mieszkalnych czynności i przyzwyczajenia, określiliśmy wymagania odnośnie do podstawowych elementów składowych bilansu strat ciepła [4, 7].

Wartości współczynników przenikania ciepła powinny być tak dobrane, aby różnicowanie temperatury powietrza i przegród otaczających nie powodowało odczucia dyskomfortu u użytkowników. Oznacza to, że przy zapewnieniu średnich wartości temperatury powietrza w pomieszczeniach równych $20-22^\circ C$ (co stanowi warunek wystarczający do komfortu cieplnego) konieczne jest aby różnicowanie temperatury dla zewnętrznych przegród pełnych wynosiło $0,5-2,0 K$, zaś dla okien i drzwi balkonowych nie przekraczało $8 K$, przy założeniu, że przeszklenie odpowiada dopuszczalnemu określonemu z warunku dziennego oświetlenia pomieszczeń. Stan taki uzyskując można dla typowych pomieszczeń mieszkalnych jeżeli wartości współczynników przenikania ciepła przez przegrody pełne wynosić będą $0,3-0,4 W/(m^2 \cdot K)$, zaś dla przegród oszklonych od $2,0 W/(m^2 \cdot K)$. Przeciwdziałanie niekorzystnym wpływom związanym ze zmiennością procesów wymiany ciepła przez konwekcję przy pionowych i poziomych przegrodach zewnętrznych wymaga, aby współczynniki przenikania ciepła przez stropy nad najwyższymi piętrami mieszkalnymi miały wartości najmniejsze z określonego powyżej zakresu.

Szczelność przegród budowlanych na przepływy powietrza powinna być tak określona, aby nawet w niekorzystnych warunkach zewnętrznych w odległości $0,3-0,4 m$ od wewnętrznej powierzchni przegród prędkość powietrza nie przekraczała wartości $0,1 m/s$, charakterystycznej dla konwekcyjnych ruchów powietrza wokół ciała ludzkiego. Przy założeniu, że poszczególne elementy połączeń ścian pełnych i ich konstrukcja rozwiązane będą w stopniu eliminującym nadmierne przenikanie powietrza, powyższy warunek sprowadza się do przegród oszklonych. Określa on jednoznacznie jakie wartości współczynników przenikania powietrza spełniają ten warunek. Uwzględniając typowe dla krajowej stolarki wymiary szczelin, a także przyjmując niezotermiczność strugi powietrza powinny wynosić od $1,5$ do $1,8 m^3/mh$ przy jednostkowej różnicy ciśnienia po obu stronach przegród. W praktyce, w zależności od wielkości budynków i rodzaju zastosowanej w nich wentylacji zmianie ulegają różnice ciśnienia powodując zmienność wymagań odnośnie do wartości współczynników przenikania powietrza [4, 6, 8].

Ilość powietrza wymienianego w pomieszczeniach uzależnione są od stężenia zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego i zewnętrznego, przy założeniu, że wyeliminowane zostaną materiały budowlane emitujące pierwiastki promieniotwórcze, charakterystycznym dla pomieszczeń mieszkalnych zanieczyszczeniem jest dwutlenek węgla (tzw. kryterium zapa-



Rys. 1. Przeszklenie budynków mieszkalnych

chowe). Warunek ten określa jednoznacznie minimalną ilość powietrza jaka musi być wymieniona w pomieszczeniach. Jeżeli nie przekroczona zostanie granica przeludnienia mieszkań (około 15 m² powierzchni w odniesieniu do pojedynczego użytkownika) minimalne ilości powietrza powinny wynosić około 4 dm³/s osobę (14÷15 m³/h osobę). Wartości te odpowiadają intensywności wymiany powietrza wynoszącej 0,5 h⁻¹. Należy jednak podkreślić, że intensywna eksploatacja pomieszczeń, np. kuchni, powoduje wzrost ilości powietrza w nich wymienianego do ok. 30 dm³/s (około 110 m³/h). Wzrost ten zapewnią instalacja wentylacyjna o możliwościach regulacyjnych umożliwiającą okresowe zwiększenie przepływu powietrza. Przyjmując niejednoznaczność eksploatacji tych pomieszczeń intensywność wymiany powietrza odniesiona do całości budynków, nawet przy zastosowaniu w nich wentylacji ciągłej, nie powinna przekraczać 0,5 h⁻¹ [9, 10, 11].

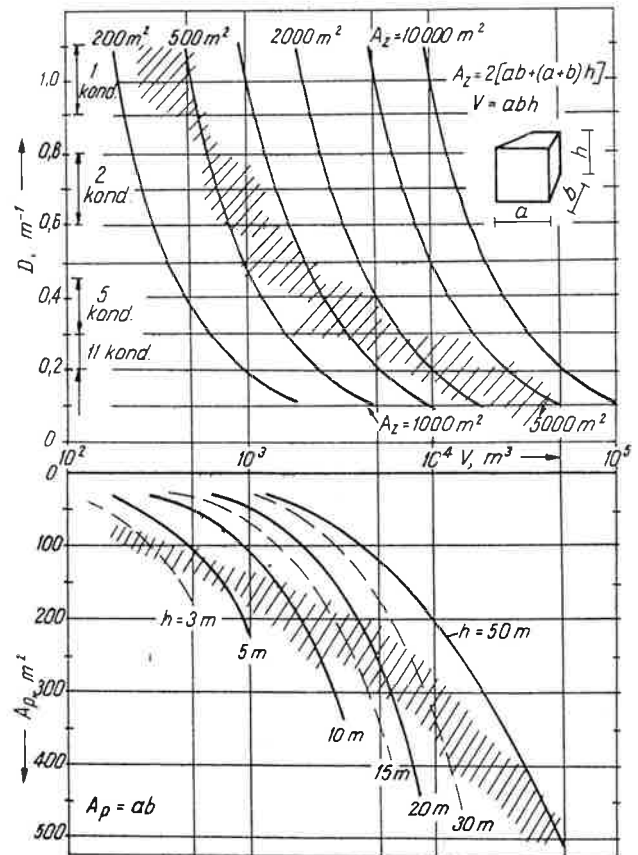
Zestawione dane odbiegają (lub nie są w ogóle uwzględniane) od nominalnych wartości omawianych parametrów jakie obecnie obowiązują zgodnie z zaleceniami normatywnymi.

Nominalne wartości współczynników przenikania ciepła wynoszą obecnie od 0,45 do ok. 0,9 W/(m²·K) dla przegród pełnych poziomych i pionowych, zaś dla okien i drzwi balkonowych od 2,6 do 3,5 W/(m²·K). Są one kompromisem pomiędzy wartościami minimalnymi a możliwościami wytwórczymi przemysłu materiałów budowlanych (szczególnie w zakresie materiałów termoizolacyjnych), a także są wynikiem braku motywacji i błędów w polityce energetycznej. Jeszcze bardziej niekorzystna sytuacja występuje w zakresie problematyki przepływów powietrza zaliczanej do jednej z najbardziej zaniedbanych dziedzin techniki. Zaniedbanie to wyraża się przede wszystkim brakiem sprecyzowania wymagań stawianych przez zalecenia normatywne, niedostosowaniem

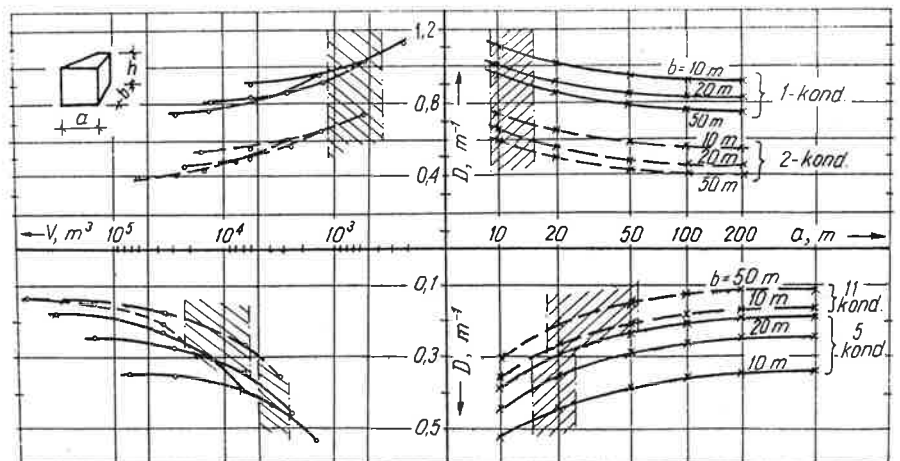
ich do warunków współczesnego budownictwa, a także analizowaniem procesów przenikania powietrza w oderwaniu od warunków działania wentylacji. Z jednej strony określone zostały nominalne wartości współczynników przenikania powietrza przez okna równe 1,0÷1,8 m³/(m·h·daPa), zaś z drugiej strony minimalne ilości powietrza świeżego jakie mają dopłynąć do pomieszczeń wynoszące 20 m³/h osobę. Jednocześnie obliczenie potrzeb cieplnych związanych z wentylacją pomieszczeń odbywa się na podstawie ilości powietrza jakie należy z nich usunąć, przy czym ilości te określone są dla innych warunków niż potrzeby cieplne. Niejednoznaczność tych wymagań powoduje, że intensywność wymiany powietrza może wynosić od 0,3 h⁻¹ do ponad 1,0 h⁻¹, w zależności od warunku, dla którego ją określono oraz od kategorii i standardu budynku. Najistotniejszym jednak utrudnieniem oceny potrzeb cieplnych budynków jest brak metody umożliwiającej wykonanie analiz przepływów powietrza w połączeniu z rodzajem i działaniem zastosowanego systemu wentylacyjnego.

3. Budynki o minimalnych potrzebach cieplnych

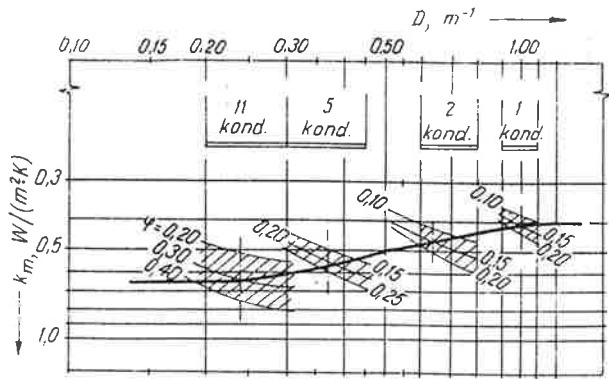
Z każdego budynku mieszkalnego wydzielić można kubaturę ograniczoną pionowymi i poziomymi przegrodami, które



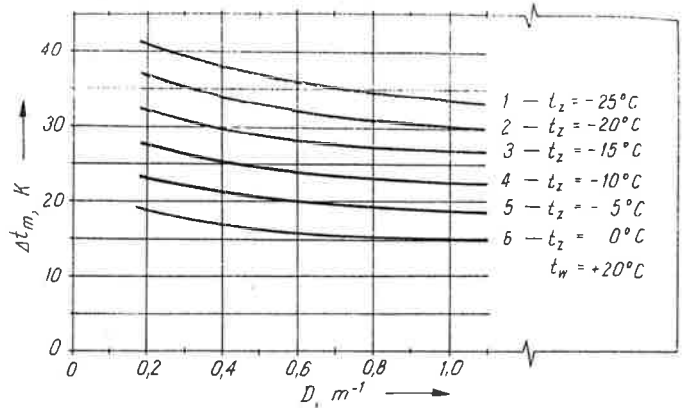
Rys. 3. Energooszczędne kształty budynków mieszkalnych



Rys. 2. Analiza wymiarów, kształtów i kubatur typowych budynków mieszkalnych



Rys. 4. Wartości średnich współczynników przenikania ciepła odniesionych do sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych budynków



Rys. 5. Wartości średnich różnic temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego dla wybranych budynków mieszkalnych (na podstawie danych z rys. 2 i 3)

izoluja jego wnętrze zarówno od otoczenia zewnętrznego jak i przestrzeni nieogrzewanych (piwnic, poddasza itp.). Tak wydzielona część obiektu stanowi bryłę geometryczną o określonym kształcie i wymiarach, w stosunku do których istotne znaczenie mają procesy przenikania ciepła i intensywność przepływu powietrza. W wyniku ustalenia związków pomiędzy geometrią obiektu a wymaganiami odnośnie do kształtowania tych procesów, określić można wartości elementów składowych zależności (1) umożliwiające ocenę potrzeb cieplnych.

3.1. Przenikanie ciepła przez zewnętrzną powłokę budynków

Potrzeby cieplne wynikające z izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych oraz ich wymiarów wyraża zależność funkcyjna

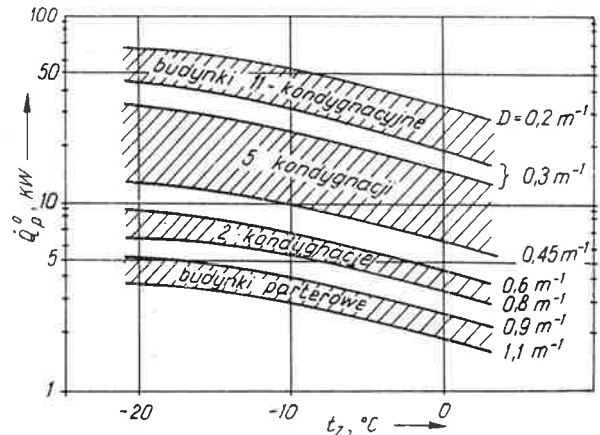
$$Q_p = f(k_t, A_i/A_z, D, a, b, h, \Delta t_i) \quad (3)$$

gdzie:

- k_t — współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę zewnętrzną, której powierzchnia wynosi A_i , $W/(m^2 \cdot K)$,
- A_z — sumaryczna powierzchnia przegród zewnętrznych, m^2 ,
- Δt_i — różnice temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego lub w przestrzeniach nieogrzewanych, K .

Przed przystąpieniem do analizy funkcji (3) niezbędne jest określenie granic przeszklenia powierzchni przegród zewnętrznych. Wynika to z faktu, że wartości współczynników przenikania ciepła przez przegrody oszkłone są 3-4 razy większe niż podobne wartości określane dla przegród pełnych. Wychodząc z zasad określonych w normach dotyczących oświetlenia pomieszczeń (11), stosunek powierzchni okien zewnętrznych i innych przezroczystych przegród do powierzchni pojedynczej kondygnacji A_o/A_p wynosi

$$\varphi \leq \frac{1}{h_i} \left(0,6 + \frac{0,015}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}} - \frac{6}{a+b} \right) \quad (4)$$



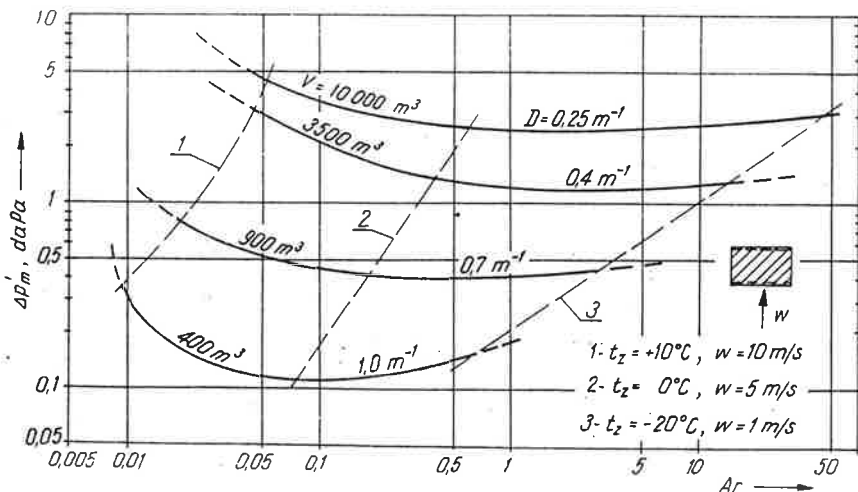
Rys. 6. Minimalne (standardowe) zapotrzebowanie na ciepło związane z jego przenikaniem dla wybranych budynków mieszkalnych

gdzie:

$$\varphi = A_o/A_p,$$

- h_i — wysokość pojedynczej kondygnacji, m ,
- a, b — długość i szerokość rzutu poziomego kondygnacji, m .

Zależność (4) jest słuszną dla budynków wolno stojących. W przypadku obiektów położonych w zabudowie szeregowej (lub złożonych z popularnych segmentów) ustalić można podobne zależności jak nierówność (4). Najmniejszym przeszkleniem charakteryzować się będzie budynek położony pośrodku pozostałych obiektów (lub segment środkowy). Na rysunku 1 przedstawiono ilustrację zależności (4) dla obiektu wolno stojącego oraz położonego pośrodku pozostałych i przy założeniu, że stosunek wymiarów rzutu poziomego kondygnacji



Rys. 7. Ilustracja zmian średnich różnic ciśnień dla 4 typowych budynków mieszkalnych

TABELA 1

Porównanie średnich wartości różnic ciśnień odniesionych do sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych wybranych budynków

Rodzaj budynku	Budynki wolno stojące		Budynki skrajnie w zabudowie szeregowej	
	$\Delta p_m'$, daPa		$\Delta p_m'$, daPa	
	$\Theta = 90^\circ$	$\Theta = 45^\circ$	$\Theta = 90^\circ$	$\Theta = 45^\circ$
Jednorodzinny (dwuparterowy) $D = 1,0 \text{ m}^{-1}$ $V = 400,0 \text{ m}^3$	0,15	0,20	0,90	0,40
Dwukondygnacyjny $D = 0,7 \text{ m}^{-1}$ $V = 900,0 \text{ m}^3$	0,45	0,58	1,50	1,10
Pięciokondygnacyjny $D = 0,4 \text{ m}^{-1}$ $V = 3500,0 \text{ m}^3$	1,50	2,00	2,50	3,50
Jedenastokondygnacyjny $D = 0,25 \text{ m}^{-1}$ $V = 10000 \text{ m}^3$	2,50	3,40	7,50	5,20

Uwaga: Porównania dokonano przy założeniu, że wartości temperatury powietrza wewnętrznego wynosiły $+20^\circ\text{C}$, zaś warunki zewnętrzne: temperatura $t_z = 0^\circ\text{C}$, prędkość wiatru $w = 5 \text{ m/s}$

cji $a : b$ jest mniejszy od 2, a wysokość kondygnacji wynosi 2,8 m. Dane te umożliwiają również ocenę udziału powierzchni przegród oszklonych w stosunku do powierzchni ścian pionowych oraz względem sumarycznej powierzchni wszystkich przegród zewnętrznych. Wynoszą one odpowiednio

$$\Phi = \frac{\varphi}{\varphi + \beta} \quad \text{i} \quad \mu_o = \frac{\varphi_i}{\varphi_i + \beta_i + z} \quad (5)$$

gdzie:

- Φ — udział powierzchni przegród oszklonych w sumarycznej powierzchni ścian pionowych,
- β — udział powierzchni przegród pełnych w stosunku do powierzchni rzutu kondygnacji,
- $\varphi + \beta$ — powierzchnia przegród pionowych (łącznie z oszkleniem) w stosunku do powierzchni rzutu kondygnacji,
- μ_o — udział powierzchni przegród oszklonych w sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych (przy

TABELA 2

Zakresy zmian wartości współczynników przenikania powietrza przez zewnętrzną powłokę budynków a_m , $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot (\text{daPa})^{0,7}$ oraz przez okna wartości pod kreską a_o w $\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{h} \cdot (\text{daPa})^{0,7}$

Rodzaj budynku	Rodzaj wentylacji		
	wentylacja naturalna		mechaniczna wentylacja wywiewna dla Δp_m^{WN} , daPa
	bezkanałowa dla Δp_m , daPa	kanałowa (grawitacyjna) dla Δp_m^{WN} , daPa	
Jednorodzinny (parterowy) $D = 1,0 \text{ m}^{-1}$ $V = 400 \text{ m}^3$	0,54—1,89 0,86—3,0	0,42—1,49 0,66—2,4	0,25—0,3 0,40—0,48
Dwukondygnacyjny $D = 0,7 \text{ m}^{-1}$ $V = 900 \text{ m}^3$	0,54—1,35 0,86—2,14	0,42—1,00 0,66—1,59	0,25—0,29 0,40—0,46
Pięciokondygnacyjny $D = 0,4 \text{ m}^{-1}$ $V = 3500 \text{ m}^3$	0,52—0,94 0,83—1,49	0,42—0,82 0,66—1,31	0,25—0,29 0,40—0,46
Jedenastokondygnacyjny $D = 0,25 \text{ m}^{-1}$ $V = 10000 \text{ m}^3$	0,49—0,86 0,78—1,37	0,42—0,73 0,66—1,16	0,22—0,26 0,35—0,41

założeniu, że powierzchnie stropów nad piwnicą i najwyższą kondygnacją są równe sobie),
 i — liczba kondygnacji w budynku.

W dolnej części rysunku 1 przedstawiono przykładowo dane odnośnie do zmian stosunku Φ w zależności od powierzchni poziomego rzutu kondygnacji (wielkości stosunku μ_o zależne są od liczby kondygnacji) (7).

Przenikanie ciepła przez przegrody zewnętrzne budynków zależy również od kształtu, który określany jest wartością stosunku D . Przyjmując podobne założenia jak dla zależności (4) stosunek ten opisany może być równaniem

$$D = \frac{A_z}{V} = \frac{0,714 + 2 \cdot i \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)}{i}, \text{ m}^{-1} \quad (6)$$

gdzie:

- V — kubatura budynku, m^3 ,
- i — liczba kondygnacji mieszkalnych w obiekcie.

Wyniki analiz zależności (6) zestawiono na rysunkach 2 i 3. Dla szerokiego zakresu zmian długości i szerokości poziomego rzutu kondygnacji budynków określono wartość stosunku D . Optymalny zakres tego stosunku ustalono na podstawie charakterystycznych dla budownictwa mieszkaniowego kubatury i wymiarów obiektów (rys. 2). Umożliwiło to jednoznaczne określenie związku między sumaryczną powierzchnią przegród zewnętrznych i kubaturą obiektów o różnej liczbie kondygnacji (rys. 3). Dane te wykorzystano przy określaniu wartości średnich współczynników przenikania ciepła za pomocą zależności

$$k_m = \frac{(k_o - k_s) \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) h}{\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) h + 1} \Phi + \frac{2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) h k_s + k_p + k_T}{2 \left[\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) h + 1 \right]} W / (\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (7)$$

gdzie k — współczynniki przenikania ciepła przez pełne przegrody pionowe s , przegrody oszklone k_o oraz stropy nad piwnicami k_p i najwyższymi piętrami mieszkalnymi k_T , $W/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Wartości współczynników przenikania ciepła przez poszczególne rodzaje przegród zewnętrznych przyjęto na podstawie danych zamieszczonych w punkcie 2 artykułu. Ilustrację zależności (7) przedstawiono na rys. 4, uwzględniając szeroki zakres zmian stopnia przeszklenia obiektów wynikający z powyższych analiz. W celu określenia potrzeb cieplnych budynków konieczne jest zdefiniowanie średnich temperatury powietrza odniesionych do sumarycznej powierzchni powłoki zewnętrznej tych obiektów [7]. Dokonać tego można za pomocą zależności

$$\Delta t_m = \sum_i \Delta t_i (A_i/A_z) K \quad (8)$$

gdzie:

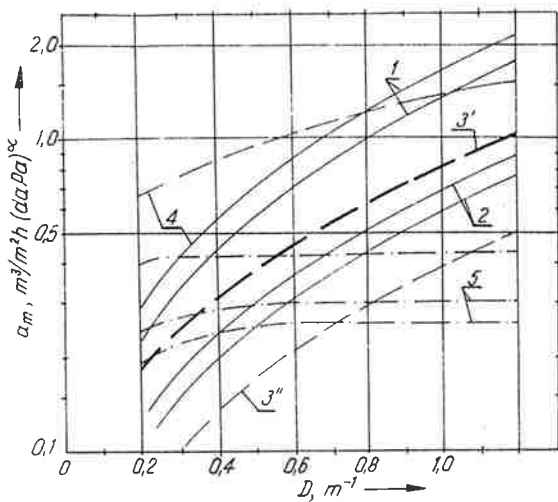
Δt_i — różnica temperatury powietrza wewnętrznego i panującego na zewnątrz lub w pomieszczeniach nieogrzewanych, K ,

A_i/A_z — udział powierzchni poszczególnych rodzajów przegród zewnętrznych odizolowujących wnętrze budynku od otoczenia zewnętrznego lub przestrzeni nieogrzewanych w stosunku do sumarycznej powierzchni powłoki zewnętrznej budynków.

Przyjmując nominalne wartości różnic między wartościami temperatury wewnętrznej i temperatury powietrza zewnętrznej lub w pomieszczeniach nieogrzewanych piwnic i poddaszy (stropodachów), które są przyjmowane do obliczeń strat ciepła oraz dane odnośnie do udziałów A_i/A_z wynikające z powyższych analiz, wartości Δt_m mogą być określone z dokładnością wystarczającą w praktyce do oceny potrzeb cieplnych. Przykładowe dane w tym zakresie zestawiono na rys. 5 dla temperatury charakterystycznej w okresie zimowym. Umożliwiają one określenie minimalnych potrzeb cieplnych budynków uzależnionych od procesów przenikania ciepła

$$\dot{Q}_p = k_m D V \Delta t_m \text{ kW} \quad (9)$$

Zależność (9) zilustrowano przykładowo dla wybranych wartości temperatury zewnętrznej na rys. 6. Zestawione dane są wynikiem analiz problematyki procesów przenikania ciepła uwzględniających uzasadnione z punktu widzenia komfortu cieplnego w pomieszczeniach wartości współczynników przenikania ciepła oraz optymalizacji wymiarów i kształtu budynków.



Rys. 8. Porównanie wartości średnich współczynników przenikania powietrza: 1 — przy $a_0 = 1,5-1,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ i wentylacji naturalnej; 2 — przy a_0 jw. i mechanicznej wentylacji wywiewnej; 3' — przy $a_0 = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ i wentylacji naturalnej; 3'' — przy a_0 jw. i mechanicznej wentylacji wywiewnej; 4 — dla wentylacji naturalnej (8); 5 — dla mechanicznej wentylacji wywiewnej (8)

3.2. Zapotrzebowanie na ciepło na cele wentylacyjne (z uwzględnieniem infiltracji powietrza)

Zapotrzebowanie na ciepło do podgrzania powietrza napływającego do budynków zależy od szczelności ich przegród, oddziaływania naturalnych czynników klimatycznych (wypór termiczny, napór wiatru) na intensywność tych przepływów, a także rodzaju i działania wentylacji. Ze względu na fakt, że oddziaływania te w różny sposób wpływać będą na intensywność przepływów powietrza w zależności od lokalizacji budynku i kierunku działania wiatru, kształtu tego obiektu, a także szczelności poszczególnych rodzajów przegród zewnętrznych i ich udziału w sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych, zapotrzebowanie to wyrazić można za pomocą zależności

$$Q_w = f(a_i, A_i/A_z, D, a, h, \Delta t_i, w, \Theta, P) \quad (10)$$

gdzie:

- a_i — współczynnik przenikania przez poszczególne rodzaje przegród zewnętrznych, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{daPa})$,
- w — prędkość wiatru, m/s ,
- Θ — kierunek działania wiatru.

Zależność tę przedstawić można w postaci uproszczonej

$$Q_w = f(\Sigma \dot{V}_i) \quad (10a)$$

przy czym $\Sigma \dot{V}_i$ jest sumaryczną ilością powietrza napływającego z zewnątrz do budynku, m^3/h .

Ilości tego powietrza uzależnione są od wpływu czynników składowych zależności (10), które powodują występowanie na przegrodach zewnętrznych określonych różnic ciśnienia. Różnice te wymuszają z kolei przepływ powietrza w ilości określonej równaniem

$$\Sigma \dot{V}_i = a_m A_z (\Delta p_m)^\alpha \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (11)$$

gdzie:

- a_m — średnie wartości współczynników przenikania powietrza odniesione do sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{daPa})$,
- Δp_m — średnie różnice ciśnienia odniesione również do zewnętrznej powłoki obiektów, daPa ,
- α — wykładniki potęgowe zależne od charakteru ruchu powietrza w szczelinach (0,65 ÷ 0,75).

Ilości powietrza przenikającego z zewnątrz do budynków nie rozkładają się jednak proporcjonalnie do powierzchni poszczególnych rodzajów przegród zewnętrznych. Jest to wynikiem zarówno zróżnicowania ich powierzchni jak i szczelności. Przyjmując, że spełniony będzie warunek wymieniony w punkcie 2 artykułu odnośnie do realizacji szczelnych przegród pełnych, analizę procesów przenikania powietrza sprowadzić można do przegród oszklonych. Warunek ten oznacza, że omawiane procesy dotyczą jedynie pionowych ścian zewnętrznych, w których zlokalizowane są okna, przez które napływa 95% całkowitej ilości powietrza.

W tym przypadku:

$$\Sigma \dot{V}_i = 0,95; \Sigma \bar{a}_i A_i (\Delta \bar{p}_i); \text{sgn}(\Delta p), \text{m}^3/\text{h} \quad (12)$$

gdzie:

- $\Delta \bar{p}_i$ — różnice ciśnienia panujące na każdej z pionowych ścian zewnętrznych oszklonych o powierzchni A_i , daPa ,
- \bar{a}_i — współczynnik przenikania powietrza odniesione do powierzchni każdej z oszklonych ścian zewnętrznych, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{daPa})$

Współczynniki \bar{a}_i określa równanie

$$\bar{a}_i = a_0 \Phi_i \text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}) \quad (13)$$

w którym:

- a_0 — współczynnik przenikania powietrza odniesiony do powierzchni okna, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{daPa})$,
- Φ_i — udział powierzchni okien w sumarycznej powierzchni każdej z oszklonych ścian pionowych.

Disponując wartościami współczynników a_0 w zależności od długości szczelin w oknach (punkt 2 artykułu), a także średnim stosunkiem tej długości do powierzchni okien określić można wartości a_0 niezbędne do zależności (13).

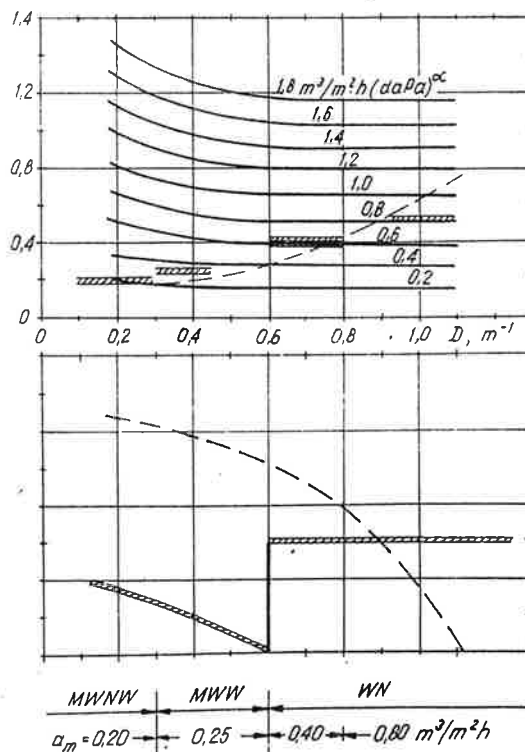
Istotnym zagadnieniem do określenia wartości współczynników a_m jest ustalenie różnic ciśnienia na przegrodach zewnętrznych, będących wynikiem oddziaływania sił wyporu termicznego i naporu wiatru oraz działania zastosowanej wentylacji.

Na podstawie prostej metody zweryfikowanej za pomocą pomiarów wykonanych w istniejących budynkach [2, 6, 7] różnice ciśnień związane z wpływem czynników klimatycznych obliczyć można z zależności

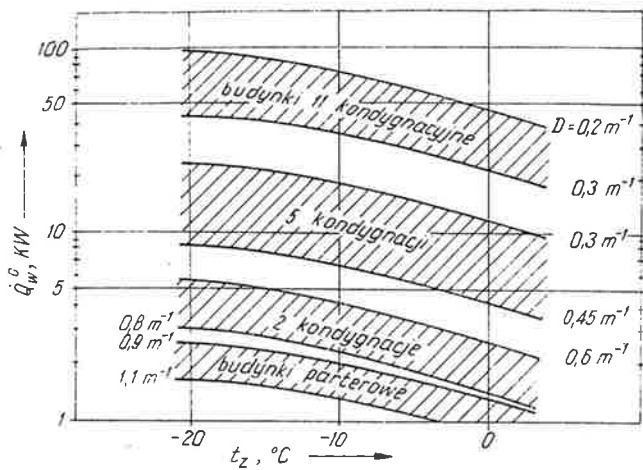
$$\Delta \bar{p}_i = 0,5 \rho_z w^2 (\Delta c + 2 Ar Y \mu) \quad (14)$$

gdzie:

- ρ_z — gęstość powietrza zewnętrznego, kg/m^3 ,
- w — prędkość wiatru, m/s ,
- Δc — zredukowany współczynnik kształtu budynku zależny od zewnętrznych warunków aerodynamicznych i wewnętrznego rozplanowania pomieszczeń budynku,
- Ar — liczba Archimedesowa określająca stosunek sił wyporu termicznego do naporu wiatru,
- Y — względna wysokość budynku ustalona jako stosunek pionowej odległości od poziomu odniesienia do rozpatrywanego punktu i do całkowitej wysokości budynku (dla ścian pionowych równa 0,5),



Rys. 9. Określenie wymagań odnośnie do wartości średnich współczynników przenikania powietrza i wyboru rodzaju wentylacji w budynkach mieszkalnych



Rys. 10. Minimalne (standardowe) zapotrzebowanie na ciepło na cele wentylacji wybranych budynków mieszkalnych

μ — współczynnik poprawkowy uwzględniający zmianę położenia linii ciśnień zerowych w stosunku do przyjętego jej poziomu, $\mu = 1,2 - 1,3$.

Srednie wartości różnic ciśnień odniesione do sumarycznej powierzchni oszklenia przegród zewnętrznych (ścian pionowych obliczyć można z równania)

$$\Delta p'_m = \sum \bar{\Delta p}_i \left(\frac{A_o}{A_o + A_s} \right) \text{ dla } P, \Theta \quad (15)$$

gdzie:

$\frac{A}{A_o + A_s} = \Phi$, zaś Θ — kierunek działania wiatru.

Przykładowe dane w zakresie wartości p'_m (związanych wyłącznie z siłami wycisku termicznego i naporu wiatru dla typowych budynków mieszkalnych i kombinacji czynników klimatycznych charakterystycznych dla okresu zimowego zestawiono na rys. 7 i w tabeli 1. Różnice ciśnień niewiele odbiegają od siebie w zakresie typowych dla tego okresu zmian czynników klimatycznych (krzywe 2 i 3 na rys. 7).

W najmniejkorzystniejszej sytuacji są obiekty usytuowane jako skrajne w zabudowie szeregowej. Należy jednak podkreślić, że zastosowanie w budynkach wentylacji kanałowej zmienia wartości różnic ciśnień, które wynoszą:

$$\Delta p_m = \Delta p'_m \pm \Delta p_{KW}^P \text{ daPa} \quad (16)$$

gdzie Δp_{KW}^P — zmiana ciśnienia związana z zastosowanym rodzajem wentylacji P , daPa.

TABELA 3

Dane charakteryzujące parametry geometryczne i cieplne zapewniające minimalne (standardowe) potrzeby cieplne budynków

Wyszczególnienie	Liczba kondygnacji w budynku			
	1	2	5	11
Kształt budynku, D, m^{-1}	0,9— —1,1	0,6— —0,8	0,3— —0,45	0,2— —0,3
Kubatura budynku, $V, 10^3 m^3$	0,5— —0,3	1,0— —0,6	3,5— —1,5	15,0— —7,0
Przeszklenie, $\varphi, \%$	15	15	20	30
Współczynniki przenikania ciepła, $k_m, W/(m^2 \cdot K)$	0,39— —0,40	0,40— —0,50	0,55— —0,60	0,60— —0,65
Współczynniki przenikania powietrza $a_m, m^3/(m^2 \cdot h \cdot daPa)$	0,8	0,4	0,3	0,2
powietrza $a_o, m^3/(m^2 \cdot h \cdot daPa)$	1,2	0,6	0,5	0,3
Rodzaj wentylacji, P	WN	WN	MWW	MWW
Wymiana powietrza, n, h^{-1}	0,5	0,5	0,6— —0,7	0,6

WN — wentylacja naturalna (grawitacyjna)
MWW — mechaniczna wentylacja wywiewna
MWNW — mechaniczna wentylacja nawiewno-wywiewna

W zależności od rodzaju działania wentylacji dochodzić może do zwiększenia podciśnienia w budynku (wentylacje wywiewne — znak +) lub pojawić się może nadciśnienie (wentylacje nawiewne — znak -) w stosunku do ciśnień panujących w budynku.

W budynkach mieszkalnych najczęściej bywa stosowana wentylacja wywiewna (grawitacyjna) lub mechaniczna.

W przypadku zastosowania naturalnej wentylacji kanałowej (grawitacyjnej) na układ przewodów wywiewnych oddziałują siły naturalne powodujące, że kształtujące się różnice ciśnień mają wartości zbliżone do występujących na przegrodach zewnętrznych. Na podstawie wyników pomiarów wykonanych w istniejących obiektach określić można w jakim stopniu omawiany rodzaj wentylacji zwiększa naturalnie kształtujące się wartości różnic ciśnień (12). Dla średnich warunków klimatycznych okresu zimowego $t_z \cong 0^\circ C$, $w = 3-5 m/s$ w budynkach z indywidualnymi przewodami wentylacji dodatkowy podciśnieniowy ich wpływ w stosunku do wartości $\Delta p'_m$ wynosi około 40%

$$\Delta p_m^{WN} = 1,4 \Delta p'_m |_{KI}, \text{ daPa} \quad (17a)$$

zaś w przypadku zastosowania kanałów zbiorczych (z odgązleniami co 2 kondygnacje) wzrost ten wynosi około 20%

$$\Delta p_m^{WN} = 1,2 \Delta p'_m |_{KZ}, \text{ daPa} \quad (17b)$$

KI — kanały indywidualne,
KZ — kanały zbiorcze.

W budynkach z wywiewną wentylacją mechaniczną wartości dodatkowych podciśnień wynikają z określonych ich wartości ustalonych przez opracowane wytyczne projektowania (13). Przy założeniu, że dopuszczalna tolerancja zmian ilości powietrza wentylacyjnego nie przekroczy $\pm 20^\circ C$ ich wartości normatywnych oraz po uwzględnieniu oporów przepływu powietrza przez kanały wywiewne, średnie wartości różnic ciśnień wyrażone mogą być uproszczoną zależnością w postaci

$$\Delta p_m^{MWW} = \Delta p'_m + 0,45 h \text{ daPa} \quad (17c)$$

gdzie h — wysokość budynku, m.

Zastosowanie w obiektach wentylacji nawiewnej mechanicznej lub nawiewno-wywiewnej sprowadza się podobnie jak w zależnościach (17) do porównań wartości $\Delta p'_m$ oraz Δp_{KW} z uwzględnieniem znaku nadciśnienia.

Dane odnośnie do występujących w budynkach średnich różnic ciśnień umożliwiają określenie średnich wartości współczynników przenikania powietrza odniesionych do sumarycznej powierzchni przegród zewnętrznych. Po uwzględnieniu podziału ilości powietrza przenikającego przez poszczególne przegrody oraz danych w zakresie minimalnej wymiany powietrza jaka ma być zastosowana w obiektach zależność (11) przyjmuje postać

$$a_m \leq \frac{n}{D (\Delta p_m)^a} \text{ dla } n = 0,5 h^{-1} \text{ m}^3/(m^2 \cdot h \cdot daPa) \quad (18)$$

Jednocześnie zapewniona powinna być szczelność okien na przepływy powietrza (rozdział 2 artykułu). W tabeli 2 zestawiono wartości tak uzyskanych średnich współczynników przenikania powietrza przez przegrody zewnętrzne obiektów typowych dla ustalonych w rozdziale 3.1, zaś na rys. 8 porównano je z wartościami dopuszczalnymi określonymi analizą komfortu cieplnego. Najbardziej reprezentatywna dla porównywanego zakresu zmian wartości a_m jest krzywa 3 leżąca w środku wykresu. Odpowiada ona normatywnym wartościom współczynników przenikania powietrza przez okna, a jednocześnie może stanowić informację o wyborze rodzaju wentylacji stosowanej w obiektach. Dane w tym zakresie przedstawiono na rys. 9. Wynika z nich, że systemy kanałowej wentylacji naturalnej spełniają zadanie w budynkach o wartościach $D \geq 0,6 m^{-1}$. W pozostałych obiektach niezbędne jest zastosowanie wentylacji mechanicznych przy jednoczesnym zwiększeniu szczelności przegród na przepływy powietrza.

Minimalne zapotrzebowanie na cele wentylacyjne wynosić więc będzie

$$\dot{Q}_w^o = n c \rho V \Delta t_m \text{ kW} \quad (19)$$

gdzie:

n — przy spełnieniu warunków odnośnie do wartości współczynników przenikania powietrza (wg rys. 9),
 c, ρ — jednostkowa pojemność ciepła powietrza wentylacyjnego w okresie zimowym równa średnio $0,36 Wh/(m^3 \cdot K)$

Ilustrację zależności (19) przedstawiono na rys. 10 dla wybranych wartości temperatury zewnętrznej typowych dla omawianych budynków. Zestawione dane są efektem optymalizacji kształtu budynku i problematyki przenikania powietrza analizowanej w połączeniu z zastosowanym systemem wentylacji.

4. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule analiza umożliwia ustalenie danych wyjściowych do poprawnego określenia wartości potrzeb cieplnych budynków. Na ich podstawie można także ustalić oszczędności cieplne związane z:

- realizacją poprawnych kształtów obiektów,
- uzasadnioną z punktu widzenia mikroklimatu izolacyjnością cieplną i powietrzną przegród zewnętrznych,
- rodzajem i funkcjonowaniem zastosowanej wentylacji.

Zestawienie danych umożliwiających określenie minimalnych potrzeb cieplnych przedstawiono w tabeli 3. Dane te charakteryzują wymagania odnośnie do wszystkich czynników decydujących o potrzebach cieplnych, włącznie z wyposażeniem budynków w określone instalacje wentylacyjne.

Zaprezentowana metoda określania potrzeb cieplnych budynków mieszkalnych, traktująca obiekty jako „jednostki energetyczne” ma wiele zalet, do których należy zaliczyć:

- prostotę wykonywanych analiz,
- możliwość usunięcia rozbieżności w obliczeniach zarówno potrzeb jak i oszczędności cieplnych,
- możliwość określania podstawowych wymagań odnośnie do konstrukcji i wyposażania obiektów.

Na podstawie przedstawionych analiz można stwierdzić, że łatwe staje się nie tylko obliczanie potrzeb cieplnych, ale również określenie odchyłań od wartości standardowych w stosunku do budynków zrealizowanych.

Można to ustalić za pomocą zależności

$$\Delta Q = \Delta Q_N + \Delta Q_R, \quad \text{kW} \quad (20)$$

gdzie:

ΔQ_N — dodatkowe potrzeby cieplne wynikające ze różnicowania poszczególnych czynników o wartościach standardowych i normatywnych (uzasadnionych powyższymi warunkami), kW,

ΔQ_R — jw., lecz wynikających z istnienia rozbieżności między założeniami normatywnymi a rzeczywistością, kW.

Uzyskane wyniki mogą stanowić nadwyżki potrzeb cieplnych, które powinny być w praktyce ograniczone do mini-

mum. Mogą mieć również wartości ujemne świadczące o niedotrzymywaniu wymagań odnośnie do mikroklimatu w pomieszczeniach.

PISMIENNICTWO

- [1] Källbad K.: *Building Energy Use Modelling in Sweden by JULOTTA*. Proc. of the 3-rd International Conference of Energy Use Management, Berlin, 1981
- [2] Nantka M. B.: *Czynniki warunkujące zmniejszenie zużycia ciepła na cele wentylacji i ogrzewania budynków mieszkalnych*. Praca IOWiOP Politechnika Śląska 1981/85 (niepublikowana)
- [3] Nantka M. B.: *Ventilation and air infiltration in relation to the indoor air quality and energy consumption of typical Polish buildings*. Proc. of the 3-rd International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Stockholm, 1984
- [4] Nantka M. B., Majerski S.: *Ograniczenie zużycia ciepła a komfort cieplny w pomieszczeniach*. Konferencja N-T, PZITS, Kraków 1985
- [5] Carlsson B., Elmroth A., P-A. Engvall: *Airtightness and thermal insulation*. Swedish Council for Building Research, D37/1980
- [6] Nantka M. B.: *Air flow in dwelling houses from an energy point of view*. The Conference CLIMA 2000, Denmark, 1985
- [7] Nantka M. B.: *A correlation between thermal protection and air change rate in residential buildings*. International Symposium: Energy and Building Envelope, Thessaloniki, 1986 (w druku)
- [8] Nylund P. O.: *Infiltration and ventilation*. Sweden Council for Building Research, D22/1980
- [9] Trepte L.: *Minimum ventilation rates as a basic requirement for energy conservation — Results from an international co-operation*. Proc. of the 3-rd International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Stockholm, 1984
- [10] Lindvall T.: *Minimum ventilation rates — Biological demands*. The National Institute of Environmental Medicine, Report Nr 4/81
- [11] Nantka M. B.: *Wymagania a stan istniejący w zakresie kształtowania mikrosrodowiska mieszkalnego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (w druku)
- [12] Nantka M. B.: *Methods for predicting heat consumption in different buildings as a whole*. International Journal of Energy Research w druku
- [13] PN-80/B-03433 *Wentylacja mechaniczna w budynkach mieszkalnych — wielorodzinnych*

KONFERENCJE, SYMPOZJA, WYSTAWY

VI Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Postęp techniczny w ciepłownictwie

Oddział Poznański Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych jest organizatorem cyklicznych, krajowych konferencji naukowo-technicznych, obecnie znanych pt. **Postęp techniczny w ciepłownictwie**.

Ostatnia VI Konferencja została zorganizowana przy współudziale Politechniki Poznańskiej — Instytutu Inżynierii Środowiska, Wojewódzkiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Poznaniu oraz Urzędu Wojewódzkiego w Poznaniu — Wydziału Ochrony Środowiska, Gospodarki Wodnej i Geologii i odbyła się w dniach 9—10 grudnia 1985 r.

Otwarcia obrad dokonał przewodniczący Komitetu Organizacyjnego mgr inż. Jan Gucki. W czasie dwudniowych

obrad wygłoszono 25 referatów, które zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych. Ponadto w referacie wprowadzającym omówiono historię dotychczasowych pięciu konferencji. W obradach wzięła udział rekordowa liczba uczestników, bo ponad 320 osób.

Zasadniczym hasłem niniejszej konferencji był postęp w ciepłownictwie, prowadzący do oszczędnego gospodarowania paliwami i energią cieplną oraz do poprawy jakości ogrzewania budynków.

Problemy związane z ogrzewaniem z przerwami budynków użyteczności publicznej zostały omówione w dwóch referatach. Okazuje się, że bezkrytyczne stosowanie przerw w ogrzewaniu nie zawsze prowadzi do oszczędności energii:

- B. Antoniewicz, H. Koczyk: *Zastosowanie modelowania cyfrowego do analizy ogrzewania o zmiennej intensywności budynku szkoły*,

- B. Antoniewicz, H. Koczyk: *Zmienność temperatury wewnątrz budynków użyteczności publicznej ogrzewanych z przerwami*.

Wiele referatów dotyczyło problemów automatyzacji węzłów cieplnych. Omówiono zarówno wymiarowanie układów regulacyjnych, działanie węzłów zautomatyzowanych jak i doświadczenia z eksploatacji tego typu węzłów:

- E. Szczehowiak, T. Wilczak: *Wymiarowanie zaworów regulacyjnych w dwufunkcyjnych węzłach pełnoszeregowych*