

Grzegorz Bartnicki, Bogdan Nowak

Wpływ wybranych czynników na pobór ciepła w lokalach mieszkalnych

Obliczenia i dobór elementów instalacji grzewczej w budynku wielolokalowym wymaga wyznaczenia projektowego obciążenia cieplnego. W Polsce zasady jego określenia wynikają z algorytmów i zależności podanych w Polskiej Normie [1], która wprowadziła do naszego systemu standaryzacji rozwiązania Normy Europejskiej [2]. O projektowym obciążeniu cieplnym poszczególnych przestrzeni ogrzewanych (w typowych rozwiązaniach pojęcie to jest tożsame pomieszczeniu) decyduje wiele czynników, w tym projektowa temperatura wewnętrzna, projektowa temperatura zewnętrzna, konstrukcja przegród budowlanych oraz ich powierzchnia [3,4]. Wśród czynników wpływających na projektowe obciążenie cieplne są jednak i takie, które bezpośrednio lub pośrednio zależą od lokalizacji danego pomieszczenia względem pozostałej struktury całego budynku.

W celu poprawy efektywności energetycznej obiektów istniejących i nowoprojektowanych, istotna jest jednak nie tylko wartość projektowego obciążenia cieplnego, ale przede wszystkim rzeczywisty pobór ciepła. Większość dotychczasowych badań skupia się na budynku jako całości, co wynikało z historycznych już metod budowy instalacji grzewczych oraz zasad ich projektowania, które nie brały pod uwagę możliwości (dzięki stosowaniu regulacji mocy grzejników za pomocą zaworów termostatycznych i zapewnienia w ten sposób zróżnicowania rzeczywistych temperatur powietrza w poszczególnych pomieszczeniach budynku) wymiany ciepła pomiędzy przestrzeniami o takiej samej projektowej temperaturze wewnętrznej [4–7]. Z tych względów również obecnie uważa się, że w celu utrzymania komfortu cieplnego w lokalach usytuowanych na ostatniej kondygnacji budynku wielokondygnacyjnego konieczne jest dostarczenie znacząco większej ilości ciepła niż do analogicznego mieszkania znajdującego się na kondygnacji pośredniej. Wniosek uzasadnia się tym, że lokal tak usytuowany ma dodatkową powierzchnię wymiany ciepła, jaką jest stropodach nad ostatnią kondygnacją, która jest źródłem dodatkowych strat ciepła w stosunku do takiego samego pomieszczenia na kondygnacji pośredniej. Metoda obliczeń, jaką wprowadzono normami [1,2], uwzględnia możliwość wymiany ciepła pomiędzy przestrzeniami o tej samej temperaturze wewnętrznej, ale przy należnych do różnych mieszkań tego samego budynku. Wartość projektowego obciążenia cieplnego jest wówczas

pomocna, ale niewystarczająca, do prognozowania poboru ciepła. Uwzględnia ona w bilansie mocy grzejników każdego mieszkania przypadek teoretyczny, tj. straty ciepła pomieszczenia do wszystkich sąsiadujących mieszkań w warunkach, w których znacząco została zmniejszona temperatura wewnętrzna (w wyniku wyłączenia lub ograniczenia działania instalacji grzewczej).

Obecnie niezbędne stają się badania, które pozwolą zarówno na interpretację obliczeń, jak i sformułowanie uogólnień, które będzie można wykorzystywać do analiz teoretycznych. W artykule omówiono wyniki badań sezonowych zmian poboru ciepła w lokalach mieszkalnych kompleksu budynków wielorodzinnych i przeanalizowano wpływ lokalizacji mieszkań na pobór ciepła.

Opis badań

Do badań wytypowano system zaopatrujący w ciepło kompleks czterech budynków mieszkalnych (F1, F2, E1 i E2). Pomocniczo wprowadzono oznaczenie kolejnych klatek schodowych budynku w postaci Ax/B, gdzie Ax jest literowo-liczbowym oznaczeniem budynku, a B kolejnym numerem klatki. Wszystkie budynki powstały w systemie deweloperskim w latach 2003–2004. Są to podpiwniczone budynki 4-kondygnacyjne. Na poziomie piwnic usytuowano podziemne garaże oraz komórki lokatorskie. Współczynnik przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne wynosi (zgodnie z projektem) $U=0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, natomiast okna (z PVC) mają szyby o współczynniku $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Łącznie we wszystkich czterech budynkach znajdują się 254 mieszkania oraz dwa niewielkie lokale usługowe. Obliczeniowe zapotrzebowanie na ciepło na cele grzewcze całego kompleksu mieszkaniowego wynosi 622 kW. Ciepło, wytwarzane w dwóch lokalnych kotłowniach gazowych (wbudowanych), dostarczane jest na potrzeby ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, przy czym każda z central grzewczych zasila dwa budynki. Źródło ciepła stanowią w każdej z nich dwa żeliwne kotły gazowe o mocy nominalnej 220 kW (każdy) [8,9]. Instalacja centralnego ogrzewania w mieszkaniach została wykonana w systemie rozdzielaczowym. Wszystkie mieszkania wyposażone są w układ pomiarowy poboru ciepła (liczniki ciepła z przepływomierzem skrzydełkowym). Do analiz zaprezentowanych w artykule wykorzystano pomiary przeprowadzone w 2010 r. Roczny pobór ciepła na potrzeby ogrzewania pomieszczeń w każdym z lokali mieszkalnych został wyznaczony jako różnica wskazań ciepłomierza z początku i końca 2010 r.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów rocznego poboru ciepła w poszczególnych mieszkaniach obliczono jednostkowy roczny pobór ciepła, odniesiony do powierzchni użytkowej mieszkania. Takie sparometryzowanie wyników pozwoliło na uzyskanie porównywalnych wskaźników nie tylko w skali pojedynczych lokali czy budynku, ale również innych obiektów o zbliżonym charakterze użytkowania i konstrukcji. Na tej podstawie, w przypadku każdej klatki schodowej, przygotowano zestawienie jednostkowych wskaźników poboru ciepła pod względem kondygnacji, na której znajduje się mieszkanie. Tak zagregowane wyniki zostały poddane dalszej analizie.

Wyniki badań

W tabeli 1 zestawiono wartości jednostkowego rocznego poboru ciepła w mieszkaniach badanego kompleksu budynków, z podziałem na poszczególne budynki i kondygnacje. Poza wartością bezwzględną, w tabeli tej podano również wartości względne wyrażone w procentach, przyjmując jako poziom odniesienia wartość średnią z jednostkowego rocznego poboru ciepła w mieszkaniach na pierwszej kondygnacji.

Tabela 1. Jednostkowy roczny pobór ciepła w budynkach
Table 1. Individual annual heat demand in the multi-unit apartment complex

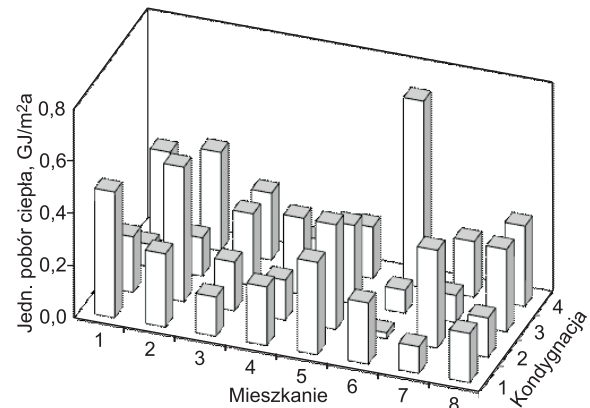
Budynek kondygnacja		Jednostkowy pobór ciepła GJ/m ² a	Względny pobór ciepła %
F1	1	0,2710	100
	2	0,2270	84
	3	0,2339	86
	4	0,3011	111
F2	1	0,2185	100
	2	0,1959	90
	3	0,1539	70
	4	0,2926	134
E1	1	0,2453	100
	2	0,1674	68
	3	0,1525	62
	4	0,2151	88
E2	1	0,2632	100
	2	0,2164	82
	3	0,1253	48
	4	0,2851	108

We wszystkich badanych budynkach jednostkowy roczny pobór ciepła na kondygnacjach pośrednich był mniejszy niż na pierwszej kondygnacji, co było zgodne z dotychczasową interpretacją tego zjawiska. Mieszkania zlokalizowane bezpośrednio pod stropodachem charakteryzowały się natomiast większym poborem ciepła, w porównaniu zarówno z mieszkaniami na kondygnacjach pośrednich, jak i na najniższej. Wyjątkiem od tej reguły okazał się jednak budynek E1, gdzie wskaźnik w przypadku najwyższej kondygnacji był mniejszy niż w przypadku pierwszej kondygnacji (tylko 88%).

Analizie poddano nie tylko średnie wartości wyznaczone w przypadku każdej kondygnacji budynku, ale również w rozbiciu na mieszkania w poszczególnych klatkach

schodowych. W przypadku tak wyznaczonej grupy wyników, wskaźnik względny na 2. kondygnacji w klatce schodowej E1/20 osiągnął wartość minimalną, wynoszącą tylko 38% (względem mieszkań na parterze tej klatki schodowej), a maksymalną w klatce schodowej E1/16 wynoszącą 119%. Przedział zmienności był zatem większy niż wyznaczony w przypadku wartości uśrednionej (tab. 1) – <68÷90>. Na 3. kondygnacji średnia wartość względnego poboru ciepła wynosiła od 31% (E1/20) do 92% (F1/2). Na ostatniej kondygnacji wartość tego wskaźnika zmieniała się od 81% (E1/20) do 171% (E1/18). Poprzez rozbicie wyników na poszczególne klatki schodowe, na wszystkich kondygnacjach uzyskano poszerzenie przedziału zmienności obserwowanych wartości względnego jednostkowego wskaźnika rocznego poboru ciepła.

W celu lepszej ilustracji uzyskanych wyników obserwacji, na rysunku 1 przedstawiono przykładowe wartości jednostkowego rocznego poboru ciepła (wartości bezwzględne) w poszczególnych mieszkaniach budynku F1 (F1/4). Obliczając średnią wartość tego wskaźnika we wszystkich mieszkaniach na danej kondygnacji w tej klatce schodowej, w przypadku 1. i 2. kondygnacji uzyskano tę samą wartość (100%), na kondygnacji 3. – 80%, natomiast na ostatniej kondygnacji – 125%.



Rys. 1. Jednostkowy roczny pobór ciepła w mieszkaniach klatki schodowej F1/4

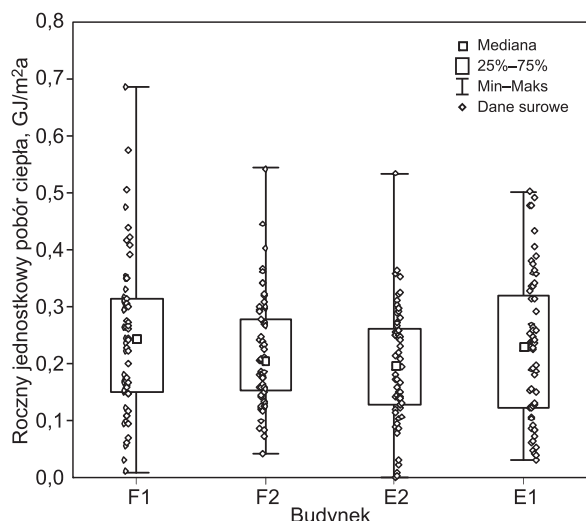
Fig. 1. Annual unit heat demand in apartments of stairway F1/4

Wyniki pomiaru jednostkowego rocznego poboru ciepła na cele grzewcze w mieszkaniach kompleksu budynków wielorodzinnych poddano analizie statystycznej. Zakres zmienności tego wskaźnika, odniesionego do powierzchni użytkowej mieszkań w poszczególnych budynkach, przedstawiono na rysunku 2. Największy średni jednostkowy pobór ciepła zarejestrowano w budynku F1, zaś najmniejszy w budynku E2. Warto zauważyć, że wartości maksymalne tego wskaźnika były większe o co najmniej 25% od wartości minimalnych. Podstawowe cechy wyznaczonego rozkładu zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe statystyki opisowe jednostkowego rocznego poboru ciepła (GJ/m²a) w budynkach
Table 2. Basic descriptive statistics of annual unit heat demand (GJ/m²a) in the buildings

Budynek	Średnia	Odch. stand.	Q25	Mediana	Q75
F1	0,246516	0,134296	0,150800	0,243800	0,313900
F2	0,217705	0,094273	0,153650	0,207250	0,277650
E1	0,225194	0,125852	0,123200	0,230100	0,320550
E2	0,198677	0,101086	0,128550	0,199150	0,261550
Ogółem	0,221830	0,115508	0,132800	0,213600	0,295200

Q25 – dolny kwartył zmiennej, Q75 – górny kwartył zmiennej



Rys. 2. Zmienność jednostkowego rocznego poboru ciepła w budynkach

Fig. 2. Variations in annual unit heat demand in buildings

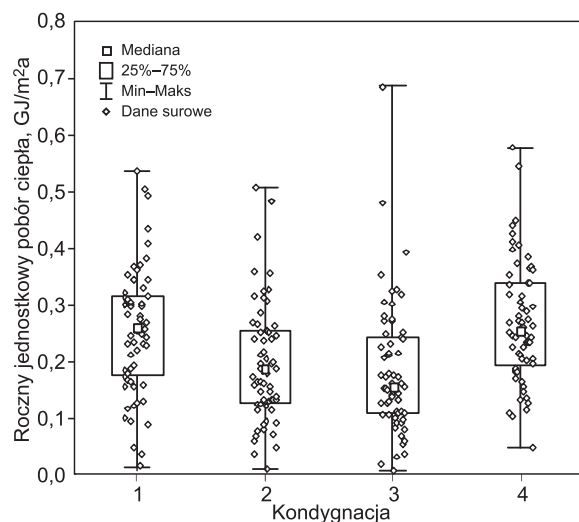
Zbadano również wpływ usytuowania mieszkania na danej kondygnacji na wartość jednostkowego rocznego poboru ciepła. Podstawowa charakterystyka statystyczna została zamieszczona w tabeli 3. Wartość średnia tego wskaźnika na ostatniej kondygnacji była o 4,6% większa niż na parterze. Większe różnice wystąpiły na kondygnacjach pośrednich, gdzie wartość średnia na 1. kondygnacji była o 9,9% większa niż na 3. Wynikało to z większego wpływu na zmierzone wartości wymiany ciepła pomiędzy mieszkaniami, która może występować, ale nie musi (w przypadku utrzymywania zbliżonych warunków temperaturowych w sąsiadujących ze sobą mieszkaniach, zarówno w poziomie, jak i pionie). Największą różnicę wartości średnich zaobserwowano jednak pomiędzy 4. kondygnacją a 3. (47,4%), co można tłumaczyć dodatkowym wpływem strat ciepła przez stropodach w mieszkaniach na 4. kondygnacji.

Tabela 3. Podstawowe statystyki opisowe jednostkowego rocznego poboru ciepła (GJ/m²a) na kondygnacjachTable 3. Basic descriptive statistics of annual unit heat demand (GJ/m²a) on particular floors

Kondygnacja	Średnia	Odchyl. standard.	Q25	Mediana	Q75
1	0,251341	0,110225	0,171350	0,256550	0,310800
2	0,195972	0,109268	0,122100	0,180450	0,250500
3	0,178375	0,114939	0,102100	0,149150	0,237500
4	0,262916	0,107247	0,188900	0,250650	0,334400
Ogółem	0,221830	0,115508	0,132800	0,213600	0,295200

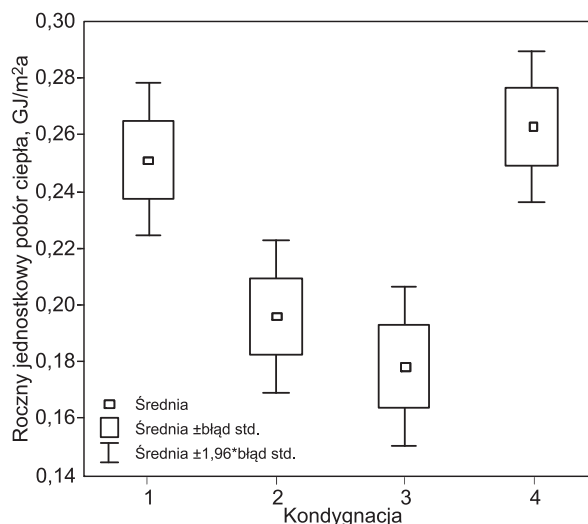
Q25 – dolny kwartył zmiennej, Q75 – górny kwartył zmiennej

Porównano również średnią wartość jednostkowego rocznego poboru ciepła w grupach wyróżnionych ze względu na jedną cechę (czyli tzw. zmienną grupującą), za którą uznano kondygnację, na której usytuowany jest lokal mieszkalny (rys. 3 i 4). Jedną ze stosowanych w takim przypadku procedur jest test porównań wielokrotnych. Wyniki, jakie otrzymano po przeprowadzeniu testu Shapiro-Wilka [10] nie dały podstaw do odrzucenia hipotezy o zgodności rozkładu jednostkowego poboru ciepła na potrzeby centralnego ogrzewania z teoretycznym rozkładem normalnym w dwóch grupach (1. kondygnacja i 4. kondygnacja).



Rys. 3. Zmienność jednostkowego rocznego poboru ciepła na kondygnacjach

Fig. 3. Variations in annual unit heat demand on floors



Rys. 4. Skategoryzowany wykres typu ramka-wąsy w przypadku jednostkowego rocznego poboru ciepła

Fig. 4. Categorized box and whisker plot for annual unit heat demand

Wyniki nie wykluczyły też możliwości stosowania dalszych analiz, jednak do otrzymanych na podstawie tej metody wyników należy podchodzić ostrożnie [10].

Stosując test Levene'a [10] zbadano jednorodność wariancji zmiennej w poszczególnych grupach. Na podstawie otrzymanych wyników można jednoznacznie wnioskować, że na poziomie istotności $\alpha=0,05$ brak było podstaw do odrzucenia hipotezy o jednorodności wariancji zmiennej w wyróżnionych grupach. Wykonana analiza wariancji pozwala odrzucić hipotezę zerową, zakładającą brak zróżnicowania wartości średnich w poszczególnych grupach. Taka analiza wariancji umożliwia jedynie ustalić fakt, że średnie w poszczególnych grupach różniły się. Celowe było zatem wykonanie również jednego z testów porównań wielokrotnych, aby określić, które konkretnie średnie różniły się istotnie pomiędzy sobą. W tym celu zastosowano test Tukey'a [10]. Uzyskane wyniki wskazały na statystycznie istotną różnicę między 1. kondygnacją i 2. kondygnacją oraz 3. i 4. Brak było natomiast istotnej różnicy między 1. kondygnacją i 4., a także między 2. kondygnacją i 3. Takie wyniki analizy statystycznej znajdują uzasadnienie merytoryczne (fizyczne).

Podsumowanie

Budynki użytkowane w Polsce mają bardzo duży jednostkowy pobór ciepła na potrzeby grzewcze [11, 12]. Ocenia się, że 63% analizowanych budynków mieszkalnych ma pobór ciepła powyżej średniej europejskiej, wynoszącej 174,3 kWh/m²a [12]. Charakteryzują się one równocześnie znaczną emisją zanieczyszczeń do atmosfery. Związane jest to zarówno z ilością ciepła zużywanego na cele grzewcze, jak i sposobem jego wytworzenia. W celu ograniczenia oddziaływania tych czynników na środowisko konieczna jest ich racjonalizacja, z zagwarantowaniem wymaganej przez użytkowników i przepisy jakości powietrza wewnętrznego (w tym temperatury wewnętrznej). W przypadku budynków wielorodzinnych istotna jest nie tylko ich ocena jako całości, ale również z uwzględnieniem składowych, jakimi są poszczególne mieszkania. Określenie wpływu poszczególnych czynników na pobór ciepła wymaga przeprowadzenia badań i analiz porównawczych.

W badaniach opisanych w artykule obliczono wskaźnik jednostkowego poboru ciepła na cele grzewcze w mieszkaniach kompleksu budynków wielorodzinnych, z uwzględnieniem lokalizacji mieszkań na poszczególnych kondygnacjach. Średnia wartość tego wskaźnika w całym kompleksie wyniosła 0,222 GJ/m²a. Lokalizacja mieszkania miała wpływ nie tylko na projektowe obciążenie cieplne przestrzeni ogrzewanej [1]. Jak wykazała analiza wyników pomiarów, rzeczywisty pobór ciepła zależał również od usytuowania lokalu mieszkalnego w bryle całego budynku. Uzyskane wyniki analiz statystycznych wykazały widoczne prawidłowości dotyczące wpływu lokalizacji mieszkania na kondygnacjach skrajnych i pośrednich na pobór ciepła. Należy mieć jednak na uwadze zaobserwowane duże zróżnicowanie uzyskanych wartości tego wskaźnika w ramach tej samej kondygnacji (czy wyodrębnionych grup, tj. kondygnacji skrajnych i kondygnacji pośrednich). Wynik ten potwierdza zatem, że o poborze ciepła decydują także inne czynniki, niż konstrukcja i bryła budynku. Mają one jednak raczej losowy charakter. Zaobserwowane tendencje zmienności zmierzonych wartości można uzasadnić np. przyzwyczajeniami różnych użytkowników pomieszczeń i ich indywidualnymi oczekiwaniami w zakresie zapewnienia komfortu cieplnego. Istotna jest także kultura korzystania z instalacji grzewczej, np. podejmowanie działań w celu ograniczenia poboru ciepła podczas nieobecności w pomieszczeniach, otwieranie lub uchylanie

okien, czas wietrzenia pomieszczeń itp. Nie można też zapominać o możliwości stosowania przez mieszkańców różnych urządzeń, które mają za zadanie ograniczyć pobór ciepła bez istotnego wpływu na komfort cieplny, np. programowanych głowic termostatycznych. Coraz częściej obserwowanym zjawiskiem jest też brak użytkowania niektórych mieszkań przez dłuższy czas w ciągu roku, co jest związane z trwałym lub okresowym brakiem zasiedlenia. Właściciel mieszkania nie jest wówczas zainteresowany ogrzewaniem tych przestrzeni. Taka sytuacja wywołuje zmniejszenie poboru ciepła w tym mieszkaniu, ale równocześnie jego zwiększenie w mieszkaniach sąsiednich, w wyniku dodatkowych strat przez przegrody wewnętrzne budynku.

LITERATURA

1. PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
2. EN 12831:2003. Heating Systems in Buildings. Method for Calculation of the Design Heat Load.
3. R. THOMAS, M. FORDHAM: Environmental Design. An Introduction for Architects and Engineers. Taylor & Francis, London and New York 2006.
4. L.D.D. HARVEY: A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems. Fundamentals, Techniques and Examples. Earthscan, London–Sterling 2006.
5. A. THUMANN, W.J. YOUNGER: Handbook of Energy Audits. The Fairmont Press, Taylor & Francis, Lilburn 2008.
6. D. GAUZIN-MÜLLER: Sustainable Architecture and Urbanism: Concepts, Technologies, Examples. Birkhauser, Publishers for Architecture, Basel–Berlin–Boston 2002.
7. W. KAMLER: Ciepłownictwo. PWN, Warszawa 1979.
8. B. NOWAK, G. BARTNICKI: Problemy eksploatacyjne źródeł ciepła na przykładzie kotłowni gazowej. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 2009, nr 7–8, ss. 24–27.
9. B. NOWAK, G. BARTNICKI: Efektywność energetyczna lokalnego systemu ogrzewczego zaopatrującego w ciepło budynki mieszkalne. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 2011, nr 2, ss. 65–68.
10. A.D. ACZEL: Statystyka w zarządzaniu. Pełny wykład. PWN, Warszawa 2006.
11. J.W. BUJAK: Badania poboru energii cieplnej w obiektach szpitalnych. *Ochrona Środowiska* 2010, vol. 32, nr 1, ss. 45–48.
12. R. WICHOWSKI: Zużycie energii na potrzeby grzewcze w budynkach mieszkalnych w wybranych krajach europejskich. *Cz. 2. Instal* 2006, nr 7–8, ss. 28–34.

Bartnicki, G., Nowak, B. Factors Affecting the Heat Demand in Dwelling Houses. *Ochrona Środowiska* 2011, Vol. 33, No. 2, pp. 45–48.

Abstract: Based on the results obtained, the values of individual annual heat demand for heating purposes in a multi-unit apartment complex were calculated, taking into account the location of each apartment on particular floors. The value of this parameter averaged 0.222 GJ/m²a for the whole investigated complex. The location of the apartment in the block of the building was found to impact not only on the design heat load of the space being heated,

but also on the actual heat demand. Analysis of measured results has revealed that actual heat demand was influenced by the location of the apartment in the block of the entire building. Statistical analysis of heat demand has disclosed that the apartments can be grouped into two basic classes: those on the extreme and those on the intermediate floors. Heat demand in an individual apartment may also be influenced by some random factors such as personal habits, individual expectations of comfort, or the culture of handling the heating installation.

Keywords: Heating, apartment building, heat demand.