

Dane klimatyczne a zapotrzebowanie na energię w pomieszczeniach mieszkalnych o różnej konstrukcji

Dr inż. Magdalena Grudzińska, Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, dr Ewa Jakusik, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Monitoringu Klimatu Polski

1. Wprowadzenie

Wyznaczenie charakterystyki energetycznej obiektu wymaga korzystania z wieloletnich danych meteorologicznych, kosztownych i często trudnych do uzyskania w zakresie wymaganym na potrzeby obliczeń. W projektowaniu i analizie porównawczej budynków stosowane jest więc pewne uproszczenie, polegające na wprowadzeniu tzw. typowego roku meteorologicznego (TRM) reprezentującego wieloletnie cechy klimatu [1]. Takie podejście pozwala na prowadzenie miarodajnych symulacji ograniczających się do jednorocznego okresu funkcjonowania budynku [2, 3].

Sposoby ustalania lat typowych są różne w różnych krajach [4, 5]. Mogą opierać się one na analizie statystycznej prowadzącej do skonstruowania „fikcyjnego” roku złożonego z wybranych rzeczywistych miesięcy lub precyzować kryteria wyboru określonych rzeczywistych lat przyjmowanych na potrzeby analizy potrzeb grzewczych i chłodniczych. W Polsce TRM przygotowany został na podstawie danych klimatycznych z lat 1971–2000. Rok ten wykorzystywany jest obecnie do oceny energetycznej budynków istniejących i nowo projektowanych.

Począwszy od lat 90. do końca XXI stulecia prognozowane jest ocieplenie klimatu i wzrost temperatur zewnętrznych, co może przyczyniać się do ograniczenia zapotrzebowania na ciepło i coraz szerszego stosowania chłodzenia w budynkach mieszkalnych [6, 7]. Celem pracy było sprawdzenie, w jakim stopniu obowiązujące w Polsce procedury (oparte na danych klimatycznych z okresu 1971–2000), pozwalają na miarodajną ocenę energetyczną typowych budynków mieszkalnych powstających i użytkowanych po roku 2000. Jako reprezentatywną lokalizację budynku wybrano Warszawę.

2. Dane klimatyczne

2.1. Typowy rok meteorologiczny

Typowy rok meteorologiczny to roczny ciąg danych klimatycznych z meteorologicznej stacji pomiarowej albo

kombinacja miesięcznych ciągów danych wybranych spośród danych wieloletnich, reprezentatywny dla klimatu określonej miejscowości. Zbiór taki ma 8760 rekordów danych zawierających od kilku do kilkunastu godzinowych parametrów meteorologicznych. Minimalny okres prowadzenia obserwacji meteorologicznych służących do opracowania lat typowych to 10 lat, przy czym zalecane są okresy dłuższe, dwudziesto- lub trzydziestoletnie [8].

W 2004 r. przygotowany został w Polsce typowy rok meteorologiczny na podstawie danych źródłowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB z okresu trzydziestu lat (od roku 1971 do roku 2000) dla 61 stacji meteorologicznych, zgodnie z wytycznymi zawartymi w [9]. Procedura tworzenia roku meteorologicznego obejmowała wybór najlepszego miesiąca i połączenie kolejnych miesięcy w sposób zapewniający ciągłość przebiegu zmiennych. Jako najlepszy miesiąc przyjmowano taki, w którym średnie wartości zmiennych, ich rozkład częstości i wzajemne korelacje były jak najbliższe średnim danym długookresowym. Za parametry kluczowe dla obliczeń energetycznych uznano temperaturę termometru suchego, promieniowanie słoneczne na powierzchnię poziomą (bezpośrednie i rozproszone) oraz wilgotność względną. Z wieloletnich danych wybierano trzy miesiące, w których suma statystyk Finkelssteina-Schafera dla powyższych parametrów była najmniejsza. Średnia prędkość wiatru na wysokości 10 m nad poziomem gruntu służyła jako wielkość pomocnicza w procedurze wyboru – spośród wytypowanych trzech miesięcy, do roku odniesienia włączano miesiąc o najmniejszym odchyleniu standardowym prędkości wiatru. Wartości parametrów meteorologicznych z okresu ostatnich i pierwszych ośmiu godzin kolejnych miesięcy były interpolowane tak, aby zapewnić gładkie połączenie zmiennych.

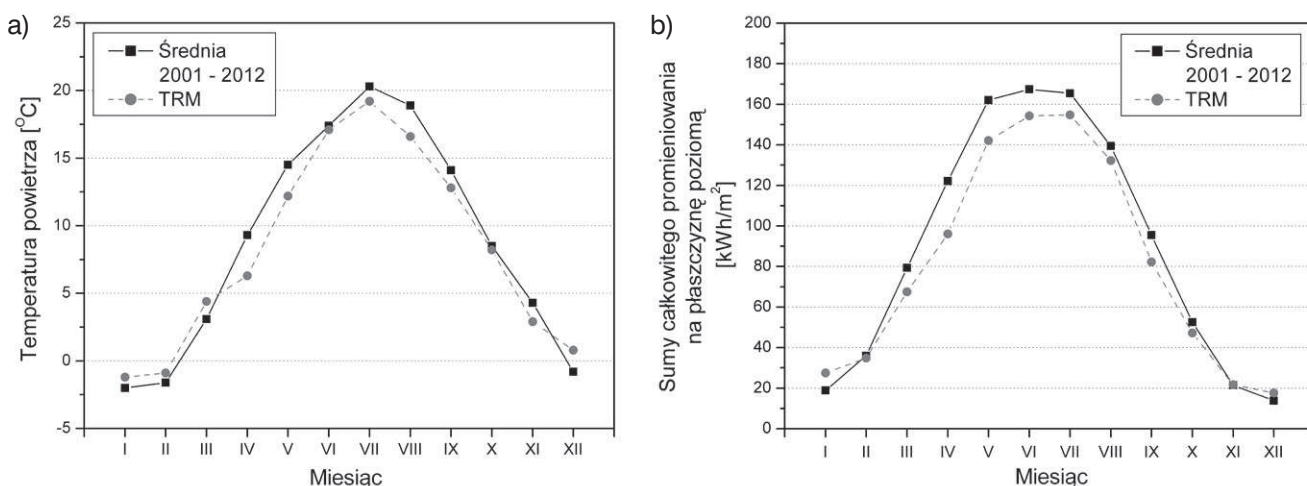
Typowy rok meteorologiczny zawiera następujące dane: numer godziny roku, miesiąc, dzień, godzina UTC, temperatura termometru suchego [°C], wilgotność względna [%], zawartość wilgoci [g/kg], kierunek i prędkość

Tabela 1. Średnie temperatury powietrza [°C] wg TRM i w wieloleciu 2001–2012

Lp.	Okres	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1	TRM	-1,2	-0,9	4,4	6,3	12,2	17,1	19,2	16,6	12,8	8,2	2,9	0,8	8,2
2	2001–2012	-2,0	-1,6	3,1	9,3	14,5	17,4	20,3	18,9	14,1	8,5	4,3	-0,8	8,9

Tabela 2. Sumy natężenia promieniowania całkowitego na płaszczyznę poziomą [kWh/m²] wg TRM i w wieloleciu 2001–2012

Lp.	Okres	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1	TRM	27,5	34,8	67,5	96,0	142,1	154,3	154,7	132,3	82,3	47,2	21,7	17,6	977,9
2	2001–2012	18,9	36,0	79,4	122,2	162,1	167,4	165,4	139,5	95,5	52,5	21,5	13,8	074,2



Rys. 1. Porównanie średnich wielkości z okresu 2001–2012 i ujętych w TRM: a) temperatura powietrza, b) sumy natężenia promieniowania słonecznego na płaszczyznę poziomą

wiatru [m/s], całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą [W/m²], bezpośrednie i rozproszone natężenie promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą [W/m²], całkowite natężenie promieniowania słonecznego na powierzchni o orientacji N, NE, E, SE, S, SW, W, NW oraz pochyleniu do poziomu 30°, 45°, 60°, 90° [W/m²], temperatura promieniowania nieboskłonu [°C].

2.2. Dane klimatyczne z okresu 2001–2012

Jako okres porównawczy w badaniach przyjęto lata 2001–2012, następujące po okresie, na podstawie którego utworzony został typowy rok meteorologiczny. Zbiory danych zostały wygenerowane z centralnej bazy danych historycznych IMGW PIB i zawierały następujące mierzone lub obserwowane parametry meteorologiczne: kod stacji, rok, miesiąc, dzień, godzina, temperatura termometru suchego [°C], wilgotność względna powietrza [%], kierunek i prędkość wiatru [m/s], wartości promieniowania całkowitego i rozproszonego na powierzchnię poziomą [W/m²].

Wszystkie pomiary i obserwacje meteorologiczne wykonywane były zgodnie z wymogami i zaleceniami Światowej Organizacji Meteorologicznej. Do pomiaru temperatury powietrza stosowano termometr zwykły „suchy” wypełniony rtęcią, o następujących danych

technicznych: działka elementarna 0,2°C, zakres pomiarowy: -37/+50°C, odczyt z dokładnością do 0,1°C. Do określenia wilgotności względnej powietrza służył psychrometr Augusta, o dokładności pomiaru różnicy temperatur 0,1°C.

Natężenie całkowitego promieniowania słonecznego mierzono za pomocą pyranometru typu CMP 6B firmy Kipp&Zonen o następujących właściwościach: zakres widmowy 285–2800 nm, zakres pomiarowy 0–2000 W/m², pole widzenia 180°. Wartość natężenia promieniowania mierzona była z dokładnością ±1 W/m², a czułość widmowa pyranometru (dla przedziału 350–1500 nm) wynosiła < 3%. Do pomiaru promieniowania rozproszonego używano tego samego miernika z dołączoną obręczą zacieniającą typu CMP 121.

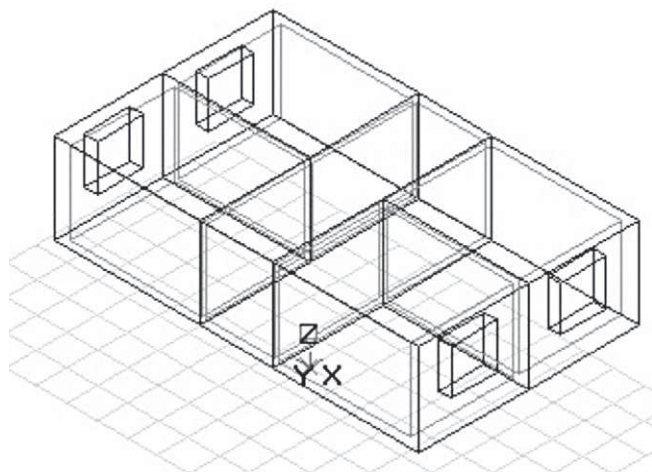
Dane obserwacyjne rejestrowane były w odstępach godzinowych (natężenie promieniowania słonecznego) i 3-godzinowych (pozostałe). Dla danych synoptycznych o 8 terminach w ciągu doby przeprowadzono interpolację liniową w celu wyznaczenia danych godzinowych. Ze względu na duże luki w rejestrowanych kierunkach i prędkościach wiatru, zostały one pominięte w symulacjach. Według analiz własnych, związane z tym błędy obliczeniowe nie przekraczają 0,3% (przy założeniu stałej wymiany powietrza w pomieszczeniach).

Podstawowe dane dotyczące temperatury powietrza i promieniowania słonecznego w Warszawie zebrano w tabelach 1 i 2, porównując je z wielkościami podawanymi przez TRM.

W ciągu zimy średnie temperatury wieloletnie były niższe niż w TRM, ale od kwietnia do września średnia temperatura powietrza była wyższa w porównaniu z danymi zawartymi w TRM o 0,3–3°C. Średnia roczna temperatura powietrza w wieloleciu 2001–2012 wynosiła 8,9°C, tak więc analizowany okres był nieco cieplejszy od typowego roku meteorologicznego reprezentującego lata 1971–2000. W wieloleciu 2001–2012 średnia sumaryczna wartość nasłonecznienia wynosiła 1074,2 kWh/m², przy czym najwyższą sumę miesięczną zanotowano w czerwcu – 167,4 kWh/m², a najniższą w grudniu – 13,8 kWh/m². Średnie nasłonecznienie z wielolecia było wyższe od wielkości dla typowego roku meteorologicznego o 10% (96,3 kWh/m²). Od lutego do października sumy natężenia promieniowania całkowitego były zauważalnie wyższe od wartości podawanych przez TRM – w okresie wiosennym o 17%, a w okresie letnim i jesiennym o 8% (rys. 1).

3. Metodyka wyznaczania zapotrzebowania na energię

Obliczenia przeprowadzono korzystając z programu symulacyjnego BSim, opracowanego przez Uniwersytet w Aalborg w Danii. Program może być wykorzystywany zarówno w celach badawczych jak i projektowych, umożliwiając dynamiczną analizę zapotrzebowania na energię w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej [10]. Sposób obliczeń oparty jest na metodzie objętości kontrolnych, w której elementy konstrukcji budynku i zamknięte strefy powietrza reprezentowane są przez punkty węzłowe o określonych właściwościach fizycznych, takich jak np. gęstość, przewodność czy pojemność cieplna. Dla każdej ze stref powietrza formułowany jest bilans uwzględniający strumień ciepła



Rys. 2. Widok mieszkania w programie BSim

przepływającego przez obudowę, transmisję promieniowania słonecznego przez elementy przezroczyste, strumienie ciepła wytwarzanego przez systemy instalacyjne oraz przenoszonego przez wentylację, infiltrację lub międzystrefowe mieszanie powietrza. Procesy ciągłe w czasie modelowane są poprzez podział na kroki czasowe o długości wynoszącej od kilku do kilkunastu minut.

Analizowany układ to mieszkanie o powierzchni około 74 m² i wysokości kondygnacji netto równej 2,70 m. Mieszkanie ma dwie przeciwległe ściany zewnętrzne, a pozostałe przegrody sąsiadują z pomieszczeniami ogrzewanymi tego samego rodzaju i traktowane są jako powierzchnie adiabatyczne. W ścianach zewnętrznych umieszczone są okna o powierzchni stanowiącej około 15% powierzchni podłogi. Założono, że elewacje z oknami skierowane są na południe i północ.

Przyjęto dwa warianty konstrukcji budynku: masywną, ze ścianami murowanymi ocieplonymi metodą ETICS i stropami żelbetowymi, oraz lekką z przegrodami o konstrukcji drewnianej szkieletowej ocieplonej wełną mineralną. W obu wariantach współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych wynosi 0,30 W/m²K, a współczynnik przenikania ciepła okien – 1,7 W/m²K. Wartości te spełniają wymagania obowiązujące w Polsce dla budynków wznoszonych w latach 2002–2013. Pomieszczenia ogrzewane są do temperatury +20°C i chłodzone, jeżeli temperatura przekroczy +26°C. Zapotrzebowanie na ciepło i chłód wyznaczono nie uwzględniając sprawności systemów instalacyjnych, pominięto również zachowania użytkowników mogące mieć wpływ na potrzeby energetyczne, np. zasłanianie okien czy wietrzenie pomieszczeń.

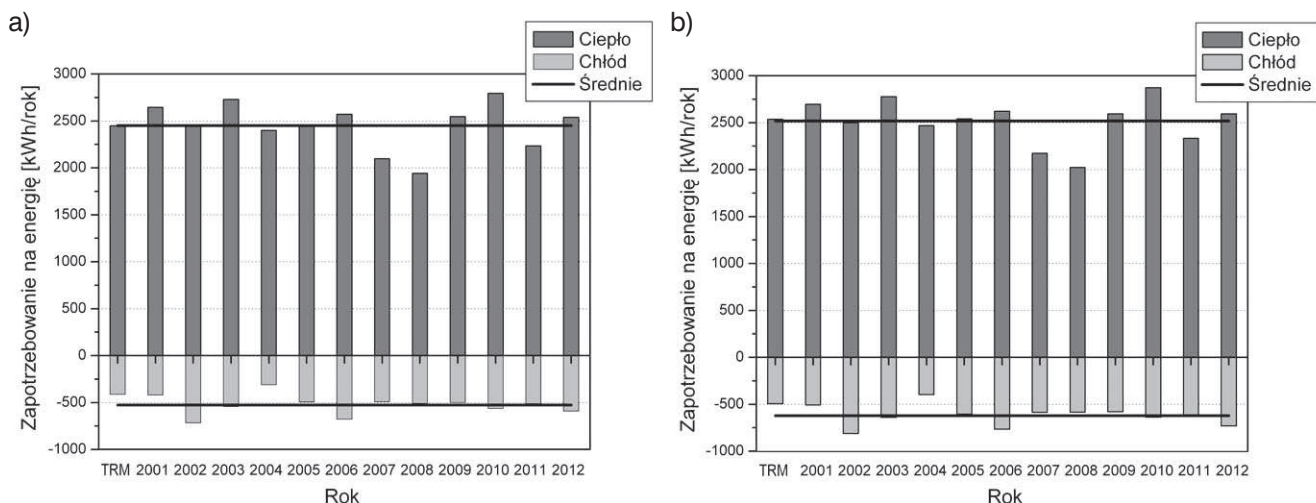
Natężenie promieniowania słonecznego padającego na płaszczyzny pionowe wyznaczono korzystając z anizotropowego modelu Pereza [11]. Model ten wykazał dobrą zgodność z wynikami pomiarów prowadzonych na terenie Polski [12].

4. Prezentacja i dyskusja wyników symulacji

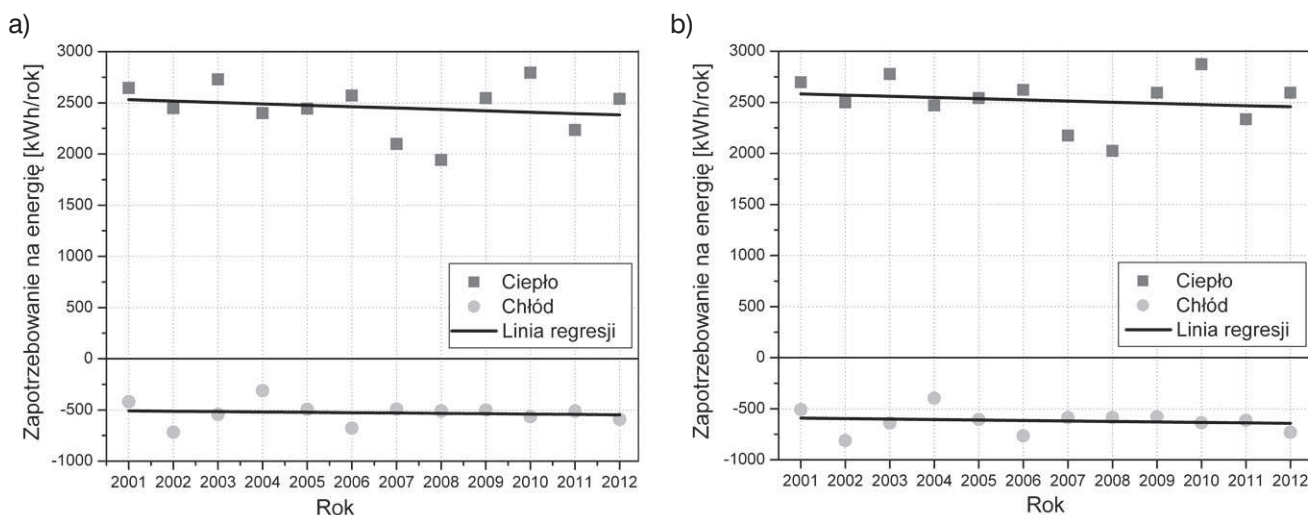
Wybrane wyniki symulacji zestawiono na rysunkach 3 i 4 oraz w tabeli 3. Przedstawiono tu zapotrzebowanie na ciepło i chłód wyznaczone dla TRM oraz średnie wartości zapotrzebowania na energię z okresu 2001–2012, z uwzględnieniem konstrukcji mieszkania.

4.1. Zapotrzebowanie na ciepło

Największe zapotrzebowanie na ciepło uzyskano w roku 2010. Jest to rok o najniższej wartości temperatury powietrza, ale stosunkowo wysokim nasłonecznieniu w okresie zimowym. Najmniejsze zapotrzebowanie na ciepło otrzymano w roku 2008, o najwyższej temperaturze powietrza w okresie zimowym i stosunkowo niskim nasłonecznieniu. W obu wariantach konstrukcji mieszkania zaobserwowano podobny przebieg wyników, z tym



Rys. 3. Zapotrzebowanie na ciepło i chłód dla analizowanych danych klimatycznych, konstrukcja mieszkania: a) masywna, b) lekka



Rys. 4. Zapotrzebowanie na ciepło i chłód w okresie 2001–2012 oraz linie regresji wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów, konstrukcja mieszkania: a) masywna, b) lekka

Tabela 3. Zapotrzebowanie na ciepło (1, 2) i chłód (3, 4) [kWh/m²rok].

Lp.	Rodzaj konstrukcji	TRM	2001–2012		
			średnio	min/max	współczynnik zmienności
1	masywna	2448,5	2449,4	1943,0/2793,1	10,3%
2	lekka	2536,4	2516,4	2023,9/2872,3	9,6%
3	masywna	-412,7	-527,5	-309,8/-716,1	20,3%
4	lekka	-493,7	-621,8	-395,9/-812,2	18,0%

że zapotrzebowanie na ciepło w przypadku konstrukcji lekkiej było o około 3% większe.

Dobierając linie regresji w postaci prostych dopasowanych metodą najmniejszych kwadratów, otrzymano linie o następujących równaniach:

– konstrukcja masywna: $Y = 29543,87 - 13,50 \cdot X$,

– konstrukcja lekka: $Y = 25674,45 - 11,54 \cdot X$.

Średni błąd MAPE liniowej aproksymacji danych wyniósł 7,9%, co można ocenić jako prognozę dostateczną. Zapotrzebowanie na ciepło wyznaczone z wykorzystaniem

TRM różni się nieznacznie od średnich wielkości uzyskanych w okresie późniejszym (o 0,04% dla mieszkania o konstrukcji masywnej i o -0,8% dla mieszkania o konstrukcji lekkiej). Test t dla jednej średniej, przeprowadzony przy poziomie istotności 0,05, wykazał brak istotnych różnic między średnim zapotrzebowaniem na ciepło z okresu 2001–2012 a wielkością wyznaczoną za pomocą TRM.

Ze względu na niewielkie różnice pomiędzy wynikami i niewielkie nachylenie linii trendu można wnioskować

o przydatności TRM do wyznaczania charakterystyk energetycznych budynków istniejących powstałych po roku 2000 i dla budynków projektowanych w najbliższych latach.

4.2. Zapotrzebowanie na chłód

Największe zapotrzebowanie na chłód uzyskano w roku 2002, najmniejsze – w roku 2004, a lata występowania wartości ekstremalnych nie pokrywają się z ekstremalnym zapotrzebowaniem na ciepło. Rok 2002 charakteryzował się drugą (po roku 2006) najwyższą średnią temperaturą i średnim nasłonecznieniem w okresie letnim. Z kolei rok 2004 to rok o najniższej średniej temperaturze powietrza i jednym z niższych wartości nasłonecznienia w ciągu lata. Założenie lekkiej konstrukcji mieszkania spowodowało zwiększenie zapotrzebowania na chłód o około 18%, przy czym przebieg wyników w okresie 2001–2012 był podobny.

Linie regresji wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów wykazują tendencje wzrostu zapotrzebowania na chłód, ale nachylenie linii jest mniejsze niż w przypadku zapotrzebowania na ciepło. Równania linii są następujące:

- konstrukcja masywna: $Y = 6595,31 - 3,55 \cdot X$
- konstrukcja lekka: $Y = 8814,07 - 4,70 \cdot X$.

Średni błąd MAPE liniowej aproksymacji danych wyniósł 14,4%, co można ocenić jako prognozę dopuszczalną. Gorsze dopasowanie niż w przypadku zapotrzebowania na ciepło związane jest z większym rozrzutem wyników i wyższym współczynnikiem zmienności.

Porównując oba okresy badawcze stwierdzono znaczne rozbieżności otrzymanych wyników. Średnie zapotrzebowanie na chłód otrzymane na podstawie danych pomiarowych z lat 2001–2012 przewyższa rezultaty symulacji dla TRM o 27,8% (konstrukcja masywna) i 25,9% (konstrukcja lekka). Test t dla jednej średniej przeprowadzony przy poziomie istotności 0,05 wykazał istotne różnice między średnim zapotrzebowaniem na chłód wyznaczonym za pomocą obu zestawów danych klimatycznych. Na tak duże rozbieżności może składać się zarówno inny sposób opracowania obu zestawów danych, jak i pewne zarysowujące się tendencje związane ze zmianą klimatu. Bez względu na przyczyny, otrzymane wyniki budzą wątpliwości co do możliwości wykorzystania TRM do analizy potrzeb związanych z chłodzeniem budynków powstających po 2000 roku, i sugerują celowość aktualizacji metodyki obliczeń w przepisach krajowych.

5. Podsumowanie

Okres ostatnich dwunastu lat jest może zbyt krótki, aby formułować określone wnioski dotyczące zmian klimatu, jednak w powszechnej opinii pewne zmiany są zauważalne – szczególnie dotyczy to wzrostu temperatury powietrza latem i uciążliwego przegrzewania budynków mieszkalnych, wyposażonych na ogół jedynie

w wentylację grawitacyjną. Dyskomfort wewnętrzny może stać się coraz bardziej zauważalny, jeżeli odpowiednie sposoby zabezpieczeń (np. w postaci doboru oszklenia zmniejszającego zyski słoneczne czy projektowania systemów wentylacyjnych o zwiększonej wydajności) nie zostaną uwzględnione na etapie projektowania budynków.

Przeprowadzone analizy wskazują na możliwość istotnego niedoszacowania zapotrzebowania na chłód w okresie letnim przy wykorzystaniu TRM jako źródła danych klimatycznych. Efektem tych problemów może stać się niewłaściwa ocena warunków panujących w pomieszczeniach oraz niewłaściwy dobór obudowy i systemów instalacyjnych obiektów, skutkujący zwiększeniem zużycia energii (np. na chłodzenie pomieszczeń przez użytkowników).

Podziękowania:

Wyniki prac były finansowane w ramach środków statutowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr S/14/2014.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Lund H., The Design Reference Year, users manual. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, Report no. 274, 1995
- [2] Festa R., Ratto C.F., Proposal of a numerical procedure to select Reference Years, Solar Energy, Vol. 50, No. 1 (1993), 9–17
- [3] Crawley D. B., Which Weather Data Should You Use for Energy Simulations of Commercial Buildings?, ASHRAE Transactions, Vol. 104, No. 2 (1998) 1–18
- [4] Huang J., The impact of different weather data on simulated residential heating and cooling loads, ASHRAE Transactions, Vol. 104, No. 2 (1998) 516–527
- [5] Lund H., Eidorff S., Selection methods for productions of Test Reference Years. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, EUR 7306 EN Final Report, Short Version, 1981
- [6] Collins L., Natarajan S., Levermore G., Climate change and future energy consumption in UK housing stock, Building Services Engineering Research and Technology, Vol. 31, No. 1 (2010) 75–90
- [7] Chow D., Levermore G.J., The effects of future climate change on heating and cooling demands in office buildings in the UK, Building Services Engineering Research and Technology, Vol. 31, No. 4 (2010) 307–323
- [8] Narowski P.G., Dane klimatyczne do obliczeń energetycznych w budownictwie, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, No. 11 (2006) 22–27
- [9] EN ISO 15927-4 Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 4. Data for assessing the annual energy for cooling and heating systems
- [10] Wittchen K.B., Johnsen K., Grau K., BSim user's guide, Danish Building Research Institute 2004
- [11] Perez R., Stewart R., Arbogast C., Seals R., Scott J., An anisotropic diffuse radiation model for sloping surfaces: description, performance validation, site dependency evaluation, Solar Energy, Vol. 36, No 6 (1986) 481–497
- [12] Włodarczyk D., Nowak H., Statistical analysis of solar radiation models onto inclined planes for climatic conditions of Lower Silesia in Poland, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. 9, No. 2 (2009) 305–310