

SZYMON FIRLAĞ*

WPŁYW RODZAJU SYSTEMU OGRZEWczego
NA KOMFORT CIEPLNY I ZUŻYCIE ENERGII
W JEDNORODZINNYCH BUDYNKACH PASYWNYCHINFLUENCE OF HEATING SYSTEMS TYPES ON THE
THERMAL COMFORT AND ENERGY DEMAND
IN SINGLE-FAMILY PASSIVE BUILDINGS

Streszczenie

Budynki pasywne ze względu na bardzo małe zapotrzebowanie na ciepło mogą być wyposażone w tradycyjny – wodny, grzejnikowy system grzewczy lub też ogrzewanie powietrzne. W artykule przeanalizowano wpływ rodzaju systemu grzewczego na komfort cieplny i zużycie energii w jednorodzinnych budynkach pasywnych. Do porównania obydwu systemów grzewczych wykorzystano złożone, wzajemnie ze sobą powiązane modele numeryczne stworzone przy użyciu programu TRNSYS. Obliczenia wykonano dla istniejącego domu pasywnego typu JDL w Hannover Kronsberg (Niemcy).

Słowa kluczowe: budynki pasywne, TRNSYS, systemy grzewcze

Abstract

Passive buildings require very small heating energy demand which is why they can be heated with traditional convective water heating systems or space heating. This paper determines the influence of various heating systems on the thermal comfort and energy demand in a single-family passive building. To compare both heating systems, complex interconnected numerical models were created with the TRNSYS program. The models were based on an existing passive JDL house in Hannover Kronsberg (Germany).

Keywords: passive buildings, TRNSYS, heating systems

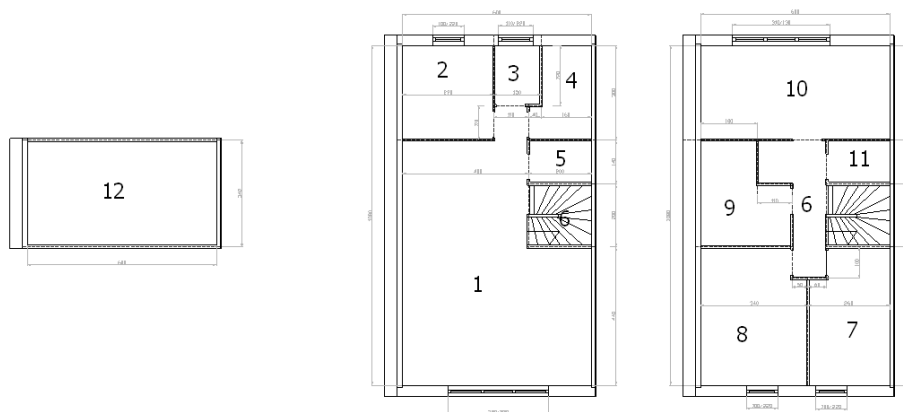
* Dr inż. Szymon Firląg, Instytut Budynków Pasywnych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska.

1. Metodologia

Znacząca redukcja zapotrzebowania na ciepło i moc grzewczą w budynkach pasywnych stawia nowe zadania i wymagania w odniesieniu do instalacji centralnego ogrzewania [1, 2]. Budynki te mogą być wyposażone w tradycyjny, wodny system grzewczy lub też ogrzewanie powietrzne. Obie instalacje odróżnia od siebie sposób dystrybucji i przekazywania ciepła do pomieszczeń, właściwości dynamiczne oraz sposób regulacji. Wszystkie te cechy mogą mieć wpływ na jakość środowiska wewnętrznego oraz ilość energii (ciepła oraz pomocniczej energii elektrycznej) zużywanej przez dom pasywny.

Do porównania ogrzewania tradycyjnego i powietrznego wykorzystano złożone, wzajemnie ze sobą powiązane modele numeryczne stworzone przy użyciu programu TRNSYS. W ramach pracy opracowano: wielostrefowy model domu pasywnego, model wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła, model ogrzewania powietrznego, model ogrzewania powietrznego oraz model ogrzewania wodnego.

Wykorzystany do obliczeń symulacyjnych wielostrefowy model budynku został stworzony za pomocą aplikacji TRNBuild na podstawie bloku Type 56. Zadaniem modelu jest możliwie jak najdokładniejsze odwzorowanie domu nr 13.1 typu „JDL: Jangster de Lüx”, zlokalizowanego na osiedlu domów pasywnych w Hannover-Kronsberg. Opis osiedla oraz domu typu JDL został zawarty w [3, 4]. Wybór obiektu był podyktowany uzyskaniem dostępu do wyników badań przeprowadzonych w 2001 r. Badania eksploatacyjne zostały wykonane w ramach projektu CEPHEUS przez Passivhaus Institut w Darmstadt i opisane w raporcie [5]. Wyniki szczegółowych pomiarów obejmujących okres od 29.01.2001 do 11.02.2001 r. zostały udostępnione nieodpłatnie przez Passivhaus Institut do celów niniejszej pracy nieodpłatnie i posłużyły do zweryfikowania danych symulacyjnych.



Rys. 1. Rzuty kondygnacji domu pasywnego typu JDL i ich strefowanie: 1 – pokój dzienny, 2 – kuchnia, 3 – przedpokój, 4, 11 – pom. gospodarcze, 5 – WC, 6 – klatka schodowa i holl, 7, 8 – pokoje dziecięce, 9 – łazienka, 10 – sypialnia, 12 – pom. techniczne; łączna pow. użytkowa 120,1 m²

Fig. 1. Floors plans in the passive house of JDL type and their zoning: 1 – living room, 2 – kitchen, 3 – vestibule, 4, 11 – utility room, 5 – WC, 6 – staircase and hall, 7, 8 – children's rooms, 9 – bathroom, 10 – bedroom, 12 – technical room; total living area 120,1 m²

Opracowany wielostrefowy model domu pasywnego pozwala na odwzorowanie zjawisk ciepłno-wilgotnościowych zachodzących w rzeczywistym budynku. W modelu budynku uwzględniono: właściwości masywnych, wielowarstwowych przegród budowlanych, właściwości przezroczystych przegród budowlanych, mostki cieplne, infiltrację powietrza zewnętrznego, przepływ powietrza pomiędzy pomieszczeniami, wewnętrzne zyski ciepła i wilgoci, wewnętrzne straty ciepła, zacinienie przez sąsiadujące obiekty i elementy zacieniające.

Modelowanie rozdziału powietrza wentylacyjnego obejmowało określenie wielkości strumieni powietrza nawiewanych do poszczególnych stref, strumieni powietrza przepływających pomiędzy poszczególnymi strefami oraz strumieni powietrza wywiewanego. Wielkość poszczególnych strumieni została określona na podstawie wyników szczegółowych badań przeprowadzonych w 2001 r. oraz danych projektowych.

Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na bilans cieplny domu pasywnego są wewnętrzne zyski ciepła. W analizowanym budynku głównym źródłem zysków ciepła są zyski od ludzi oraz zyski bytowo-gospodarcze, tzn. od ciepłej wody użytkowej, gotowania, oświetlenia i urządzeń elektrycznych. W modelu uwzględniono następujące rodzaje zysków ciepła: od użytkowników (2 osoby dorosłe), od instalacji c.w.u. (przez ścianki zasobnika c.w.u. oraz pobieraną gorącą wodę), od pozostałej części instalacji ciepłych (przewody sieci biegnące w budynku oraz instalacja c.w.u. i grzewcza między wymiennikiem, zasobnikiem i nagrzewnicą), od urządzeń centrali (wentylatora i nagrzewnicy elektrycznej), od urządzeń elektrycznych AGD i oświetlenia. Oprócz zysków ciepła w obliczeniach uwzględniono straty ciepła na odparowywanie wilgoci i od instalacji wody zimnej. Czas i miejsce występowanie zysków ciepła określono w dużej mierze na podstawie protokołów użytkowania.

Oprócz strumieni zysków ciepła w modelu domu JDL nr 13.1 uwzględniono zyski wilgoci. Ich podstawnym źródłem jest emisja związana z metabolizmem użytkowników budynku, emisja związana z czynnościami wykonywanymi przez użytkowników, zyski wilgoci od roślin znajdujących się w pomieszczeniu.

Do stworzenia modelu systemu wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła wykorzystano trzy bloki programu TRYNSYS: wstępnej nagrzewnicy elektrycznej – Type 643, wymiennika do odzysku ciepła – Type 760 i regulatora dwustanowego – Type 2. Średnia, zmierzona w okresie dwutygodniowych badań, sprawność odzysku ciepła centrali wentylacyjnej wynosiła 93,3%.

Głównym elementem systemu ogrzewanie powietrznego jest wtórna nagrzewnica wodna typu WHR 125 zamontowana za rekuperatorem, zasilana z niskotemperaturowej sieci ciepłowniczej. Rzeczywista, maksymalna moc nagrzewnicy otrzymana na podstawie pomiarów wynosi 1050 W. Model systemu ogrzewania powietrznego składa się z czterech wzajemnie ze sobą połączonych elementów: nagrzewnicy wodnej Type 670, opóźniacza sygnałów Type 661, regulatora proporcjonalnego Type 669 i elementu przelicznikowego.

2. Weryfikacja

Stworzone na potrzeby pracy modele numeryczne (budynku, systemu wentylacji i ogrzewanie powietrznego) poddano weryfikacji na podstawie wyników pomiarów eksploatacyjnych. Sama weryfikacja polegała na porównaniu wyników obliczeń symulacyjnych

z danymi pomiarowymi. Obliczenia symulacyjne przeprowadzono z krokiem 1 min, wykorzystując dane pogodowe ze stacji meteorologicznej Hannover-Langenhagen i Braunschweig okresu pomiarowego od 29.01.2001 do 01.02.2001 r.

Stworzony model budynku dobrze odwzorowuje rzeczywisty obiekt. Dotyczy to nie tylko przyjętych dla poszczególnych stref wielkości powierzchni przegród i ich właściwości fizycznych, ale również sposobu rozdziału powietrza w budynku. Dobrą zgodność danych pomiarowych z wynikami symulacji potwierdzają wyniki podane w tabeli 1.

Tabela 1

Porównanie wartości temperatury powietrza wewnętrznego w okresie od 29.01.2001 do 11.02.2001 r. dla wszystkich stref domu typu JDL nr 13.1 uzyskanych na podstawie obliczeń symulacyjnych z wartościami zmierzonymi

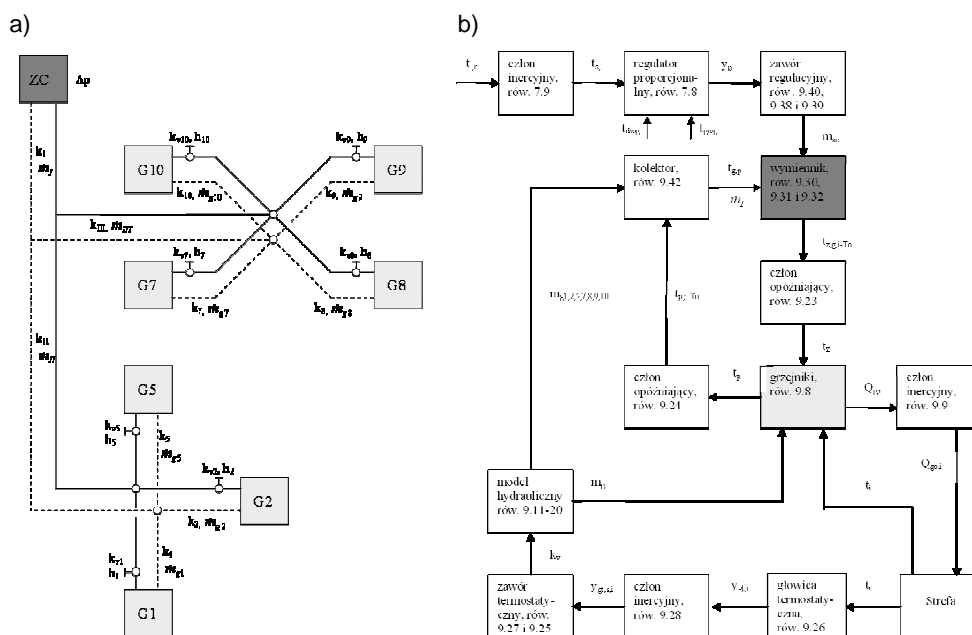
Nr strefy	Średnia temperatura powietrza, °C		Różnica bezwzględna, K	Średnie odchylenie standardowe, K
	zmierzona	obliczona		
1	19,57	19,65	0,08	0,22
2	19,69	19,66	0,03	0,33
3	–	17,99		
4	–	19,12		
5	18,97	19,61	0,64	0,67
6	20,15	20,00	0,15	0,24
7	20,17	20,13	0,04	0,27
8	20,17	20,15	0,02	0,20
9	20,48	20,52	0,04	0,26
10	20,05	20,29	0,24	0,41
11	–	20,55		
12	22,98	22,84	0,14	0,44
Średnia kubaturowa	20,21	20,25	0,04	0,29

Ostatnim elementem weryfikacji było porównanie wartości zmierzonych i obliczonych, zużycia ciepła do ogrzewania oraz zawartości wilgoci w powietrzu wywiewanym (badania przeprowadzone w domu pasywnym nie obejmowały pomiaru wilgotności względnej w pomieszczeniach). Zgodnie z pomiarowymi zużycie ciepła w analizowanym okresie wynosi 76,97 kWh, wartości obliczona jest równa 73,63 kWh. Średnia, zmierzona zawartość wilgoci w powietrzu wywiewanym wynosi 0,00640 kg/kg, wartość obliczona jest równa 0,00644 kg/kg.

3. Model ogrzewania wodnego

Pierwszym etapem wykonania modelu tradycyjnej instalacji centralnego ogrzewania w analizowanym budynku było zaprojektowanie takiego systemu. Było to konieczne, ponieważ budynek rzeczywisty nie był wyposażony w taką instalację oraz nie istniały plany jej wprowadzenia. Do projektowania systemu c.o. przyjęto następujące założenia: parametry obliczeniowe instalacji 55/45°C, instalacja dwururowa w układzie rozdzielaczowym, sprawność izolacji przewodów 100%, źródło ciepła to węzeł mieszkaniowy zasilany z sieci

o stałej temperaturze zasilania 60°C , siedem grzejników jednopłytowych, regulacja systemu grzewczego odbywa się dwustopniowo, na poziomie centralnym – termostat pokojowy, poziomym lokalnym – zawory grzejnikowe z głowicami termostatycznymi, projektowe obciążenie cieplne 1057 W .



Rys. 2. Schemat: a) hydrauliczny, b) blokowy modelu ogrzewania wodnego: ZC – źródło ciepła, G – grzejniki

Fig. 2. Diagrams: a) hydraulic, b) block of central heating system model: ZC – heat source, G – radiators

Model systemu ogrzewania wodnego opracowano przy wykorzystaniu bloków dostępnych w programie TRNSYS Simulation Studio oraz bloków autorskich. Cały system grzewczy został podzielony na elementy symulujące procesy cieplne i hydrauliczne zachodzące w grzejnikach, instalacji rozprowadzającej, źródłach oraz przygrzejnikowych zaworach regulacyjnych. W przypadku braku właściwych bloków wprowadzano odpowiednie równania matematyczne opisujące proces (grzejnik). W modelu uwzględniono właściwości dynamiczne głowic termostatycznych, termostatu pokojowego, grzejników i instalacji rozprowadzającej.

4. Metodyka obliczeń

Opracowane modele – budynku z instalacją ogrzewania powietrznego oraz budynku z instalacją ogrzewania wodnego zostały wykorzystane do przeprowadzenia dynamicznych obliczeń symulacyjnych. Wykonano 4 serie obliczeniowe (trzy serie obliczeń dla Braunschweigu i jedną dla Warszawy) dla okresów całorocznych z krokiem 1 min. Do

obliczeń wykorzystano dane pogodowe pochodzące z bazy Meteonorm. Analizowano komfort cieplny w okresie zimy i lata, uwzględniono dwa czynniki mikroklimatu wewnętrznego: temperaturę i wilgotność względną powietrza. Określono zużycie ciepła do ogrzewania budynku i zużycie pomocniczej energii elektrycznej.

Pierwsza seria obliczeń symulacyjnych wykonanych dla Braunschweigu wykazała, że średnie wartości temperatury powietrza w całym budynku, w okresie od czerwca do lipca, są równe około 29°C. Główną z przyczyn panowania wysokich temperatur był niewłaściwy sposób użytkowania systemu mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej. Dodatkowymi czynnikami, sprzyjającymi przegrzewaniu pomieszczeń w lecie, jest wysoka izolacyjność przegród zewnętrznych oraz brak dodatkowych elementów zacieniających, które ograniczyłyby zyski ciepła od słońca. Aby polepszyć warunki wewnętrzne przeprowadzono obliczenia dla dwóch kolejnych wariantów użytkowania w lecie: wariant I – centrala działa ze stałą wydajnością bez obejścia w okresie letnim, wariant II – centrala działa z wydajnością zwiększona o 100% i obejściem gdy $t_{wyw} > 22^{\circ}$ i $t_{wyw} > t_e$, wariant III – taka jak wariant II plus elementy zacieniające. Ostatecznie całoroczne obliczenia porównawcze wykonano dla trzeciego wariantu użytkowania dla Braunschweigu i Warszawy.

5. Wyniki obliczeń

Przeprowadzone obliczenia symulacyjne wykazały że:

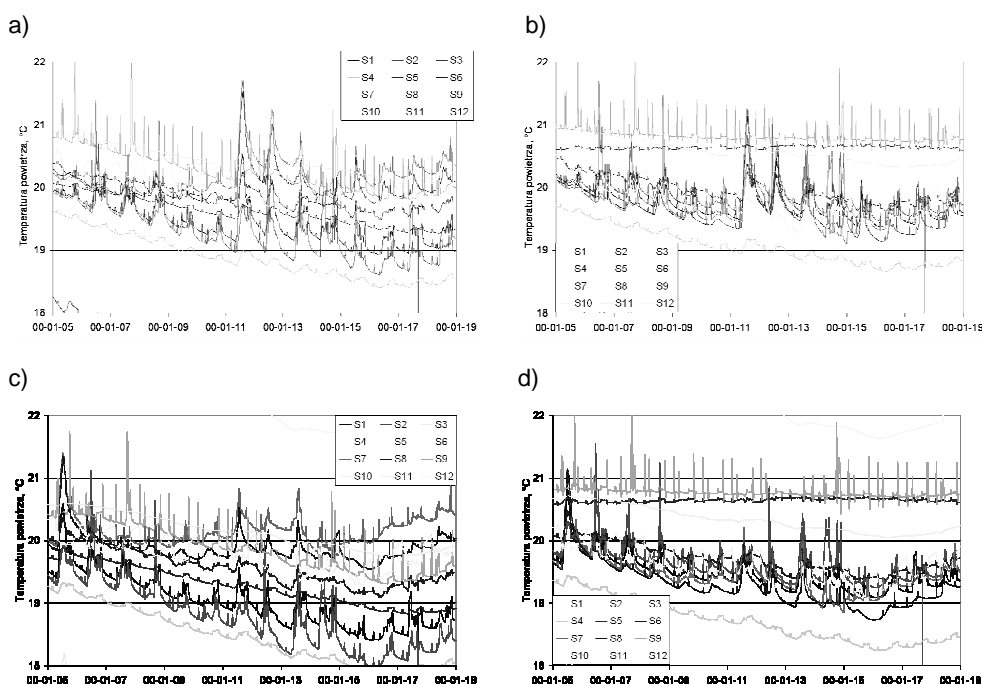
- ogrzewanie wodne, grzejnikowe zapewnia utrzymanie nieco wyższych temperatur powietrza w całym budynku w sezonie grzewczym, porównanie warunków panujących w pokoju dziennym i sypialni przedstawiono w tabeli 2,
- ogrzewanie centralne powoduje powstanie mniejszych różnic pomiędzy temperaturami powietrza w poszczególnych pomieszczeniach, tendencja ta jest wyraźniejsza dla Warszawy, w której klimat jest chłodniejszy – rysunek 3,

Tabela 2

Kategorie środowiska wewnętrznego w pokoju dziennym i sypialni w okresie występowania najniższych temperatur zewnętrznych od 05.01 do 19.01 dla Braunschweigu wg EN 15251:2007 (kategoria I – wymagania wysokie, kategoria II – wymagania normalne, kategoria III – wymagania umiarkowane, kategoria IV – poza kategoriami)

Strefa	Ogrzewanie wodne, temperatura powietrza				Ogrzewanie powietrzne, temperatura powietrza			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Pokój dzienny	–	18,9%	81,1%	–	–	3,3%	96,7%	–
Sypialnia	6,4%	93,6%	–	–	1,5%	76,4%	22,1%	–
Strefa	Ogrzewanie wodne, wilgotność względna				Ogrzewanie powietrzne, wilgotność względna			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Pokój dzienny	39,7%	35,1%	18,0%	7,3%	47,2%	29,8%	16,3%	6,7%
Sypialnia	54,0%	26,0%	11,4%	8,6%	59,5%	22,1%	10,1%	8,2%

- oba systemy różnią się dokładnością utrzymywania wartości zadanych temperatury w pomieszczeniach; na podstawie porównania wartości średniego odchylenia standardowego można stwierdzić, że ogrzewanie wodne jest lepsze od ogrzewania powietrznego,
- rodzaj systemu grzewczego ma niewielki wpływ na wilgotność względną powietrza w pomieszczeniach; zgodnie z otrzymanymi wynikami wilgotność w sezonie zimowym będzie nieco wyższa dla ogrzewania powietrznego niż dla wodnego (tabela 2); różnica ta spowodowana jest panowaniem wyższej temperatury powietrza w domu ogrzewanym systemem wodnym,



Rys. 3. Zmiana temperatury powietrza w strefach budynku w okresie od 05.01 do 19.01: a) ogrzewanie powietrzne – Braunschweig, b) ogrzewanie wodne – Braunschweig, c) ogrzewanie powietrzne – Warszawa, d) ogrzewanie wodne – Warszawa

Fig. 3. Change of air temperature in house zones in a period between 05.01 and 19.01: a) space heating – Braunschweig, b) central heating – Braunschweig, c) space heating – Warsaw, d) central heating – Warsaw

- dom pasywny wyposażony w ogrzewanie wodne zużywa mniej ciepła (w analizowanym przypadku w granicach 3–5% zależnie od wariantu) do ogrzewania niż dom z systemem powietrznym, jednak więcej pomocniczej energii elektrycznej – dodatkowa pompa obiegowa (tabela 3),
- łączne zapotrzebowanie na ciepło i pomocniczą energię elektryczną jest zbliżone dla obydwu systemów grzewczych; po przeliczeniu na energię pierwotną, zużycie energii w budynku z ogrzewaniem wodnym będzie większe, co spowoduje powstanie wyższych kosztów użytkowania (tabela 3).

Porównanie rocznego zapotrzebowania na energię określonego na podstawie obliczeń

System grzewczy	Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania, kWh/a	Zapotrzebowania na pomocniczą energię elektryczną, kWh/a	Łączne zapotrzebowanie na energię pierwotną, kWh/a
Braunschweig – III wariant			
Powietrzne	789,6	461,6	2276,1
Wodne	763,5	493,7	2344,4
Warszawa – III wariant			
Powietrzne	1221,5	573,0	3093,6
Wodne	1162,1	602,5	3117,0

6. Wnioski

Przeprowadzone obliczenia symulacyjne pozwalają na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

- rodzaj zastosowanego systemu grzewczego wpływa na komfort cieplny i zużycie energii; ogrzewanie wodne zapewnia lepszy komfort cieplny, ale większe zużycie energii pierwotnej; ogrzewanie powietrzne zapewnia gorszy komfort cieplny, ale mniejsze zużycie energii pierwotnej,
- mniejsze zużycie ciepła przez system wodny wynika z większej efektywności jego wykorzystania; instalacja z lokalnymi grzejnikami i lokalne układy regulacji pozwalają na dostarczenie ciepła tam, gdzie jest ono aktualnie potrzebne; podczas gdy rozdział ciepła przy ogrzewaniu powietrznym jest w zasadzie stały; strumień ciepła przekazywany do pomieszczeń przez poszczególne grzejniki jest dostosowywany do aktualnych wymagań za pomocą zaworów termostatycznych,
- najlepszym rozwiązaniem systemu grzewczego dla budynku pasywnego jest system stanowiący połączenie centralnego systemu powietrznego i lokalnych grzejników, grzejniki powinny być montowane w pomieszczeniach o wyższych wymaganiach temperaturowych – łazienki, WC,
- projektowany rozdział powietrza powinien uwzględniać nie tylko wymagania higieniczne, ale i projektowane obciążenie cieplne pomieszczeń.

Literatura

- [1] Feist W., *Varianten für die Wärmeversorgung von Passivhäusern im Vergleich, Protokollband Nr. 20*, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase II, Passivhaus – Versorgungstechnik, 1999.
- [2] Firląg Sz., *Metodyka wyznaczania obliczeniowego zapotrzebowania na ciepło w budynkach pasywnych – warunki obliczeniowe*, materiały konferencyjne VIII Ogólnopolskiej Konferencji Energodom 2006.

- [3] Krapmeier H., Droessler E., *CEPHEUS – Wohnkomfort ohne Heizung*, Springer Wein, New York 2001.
- [4] Feist W., Kah O., *Klimaneutrale Passivhaus-Reihenhaussiedlung Hannover-Kronsberg*, CEPHEUS-Projektinformation Nr 18, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.
- [5] Ceper S., Feist W., Kah O., *Messtechnische Untersuchung und Auswertung; Klimaneutrale Passivhaussiedlung in Hannover-Kronsberg*, CEPHEUS-Projektinformation Nr 19, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001.