

Budynek pasywny w centralnej Polsce

mgr inż. Szymon Firląg – Instytut Budynków Pasywnych przy NAPE
dr Jürgen Schnieders – Passivhaus Institut

Wprowadzenie

Budując dom każdy szuka oszczędności. Jeszcze nie tak dawno najważniejsza była jak najtańsza realizacja inwestycji. Działo się to często kosztem jakości wykonania projektu i podwyższenia energochłonności budynku. Tymczasem rosnące ceny energii spowodowały, że dużo większą rolę zaczęły odgrywać przyszłe koszty eksploatacji budynku. Jak pokazały doświadczenia np. z Niemiec, rozwiązaniem pozwalającym na zminimalizowanie tych kosztów, okazał się być budynek pasywny. Czy mógłby on jednak mieć zastosowanie w chłodniejszym klimacie Polski? Czy możliwe jest bezpośrednie zaadoptowanie obowiązujących w Niemczech wytycznych konstrukcyjnych?

Na pytania te będzie starał się odpowiedzieć poniższy artykuł, który powstał dzięki współpracy Instytutu Budynków Pasywnych (IBP) przy NAPE i Passivhaus Institut (PHI) w Darmstadt.

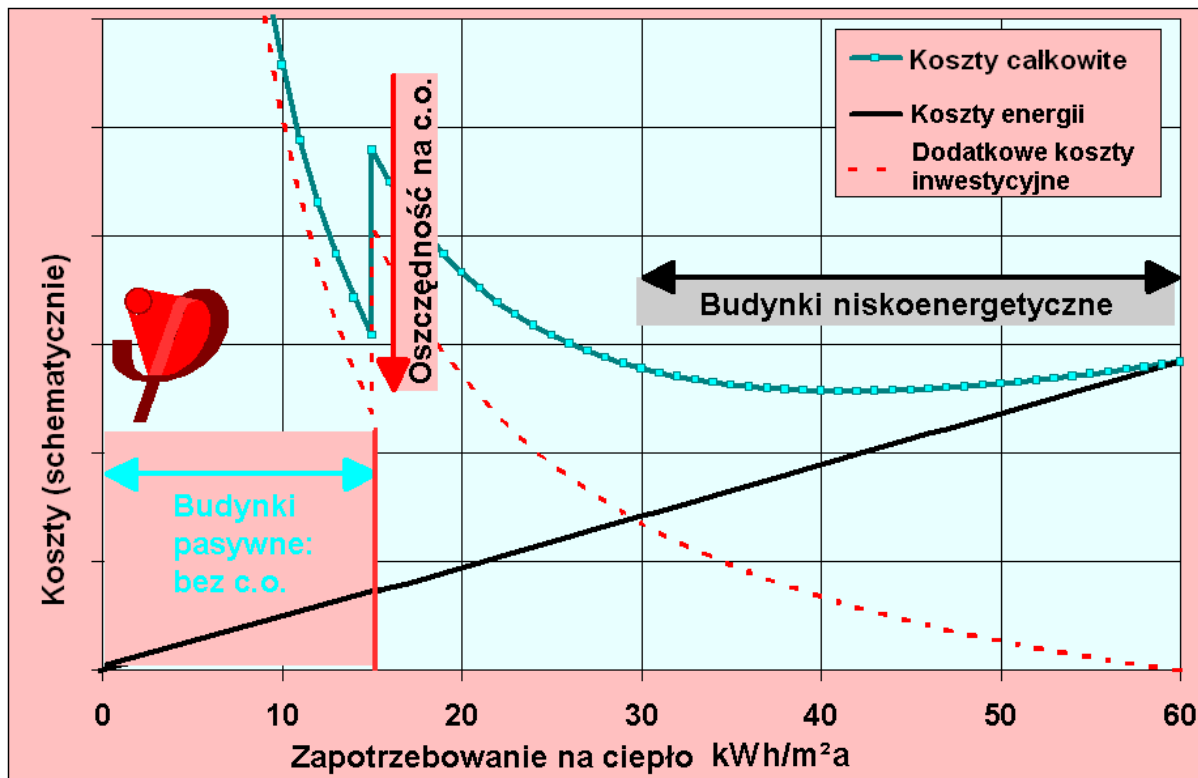
Pasywny czyli jaki?

Budynek pasywny powinien zapewnić mieszkańcom przez cały rok bardzo wysoki komfort cieplny bez konieczności zastosowania tradycyjnej instalacji grzewczej lub klimatyzacyjnej. Aby było to możliwe konieczne jest radykalne zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło. Jak wykazały doświadczenia praktyczne i obliczenia teoretyczne, w Europie Środkowej nie da się tego osiągnąć bez zastosowania wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła. Rozwiązanie takie przy jednoczesnym bardzo dobrym zaizolowaniu budynku pozwala na rezygnację z konwencjonalnych grzejników.

Instalacja wentylacyjna przejmuje wtedy rolę instalacji grzewczej. Nawiewane powietrze jest w tym przypadku nośnikiem ciepła i można je maksymalnie podgrzać do 52 °C. Wyższa temperatura powoduje przypiekanie kurzu na powierzchni nagrzewnicy. Strumień powietrza wentylacyjnego dla typowego budynku pasywnego wynosi średnio 1 m³/h na m² powierzchni użytkowej. Ilość ta pozwala z jednej strony na spełnienie warunków higienicznych, z drugiej zaś nie prowadzi do nadmiernego spadku wilgotności wewnątrz budynku.

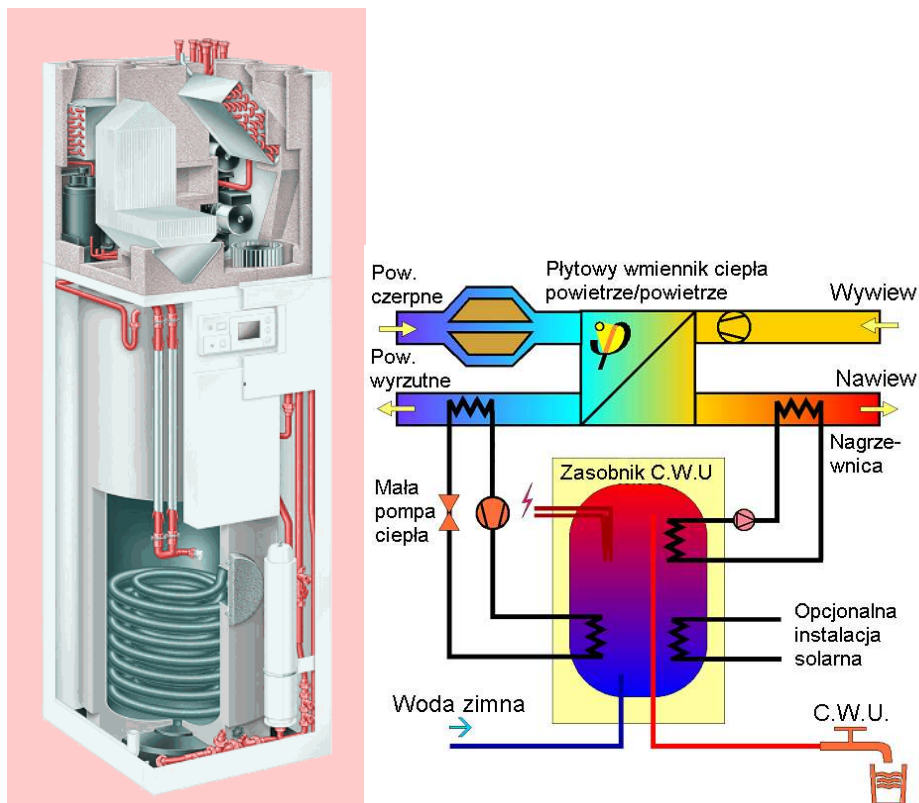
Na podstawie maksymalnej temperatury powietrza oraz jego strumienia można obliczyć maksymalną moc grzewczą instalacji wentylacyjnej. Wartość ta wynosi 10 W na m² powierzchni użytkowej i jest przyjmowana jako jedno z najważniejszych kryteriów, które musi być spełnione przez budynek pasywny.

Osiągnięcie takiego standardu energetycznego, umożliwia rezygnację z tradycyjnej instalacji grzewczej. Uzyskane w ten sposób oszczędności inwestycyjne mogą zostać przeznaczone na podwyższenie izolacyjności cieplnej budynku i w rezultacie na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych. Dlatego koszty całkowite w cyklu życia budynku pasywnego są relatywnie niskie (rys. 1). Co więcej rosnące ceny energii mogą spowodować, że domy pasywne już niedługo okazać się mogą być najbardziej opłacalnym ekonomicznie standardem budowlanym.



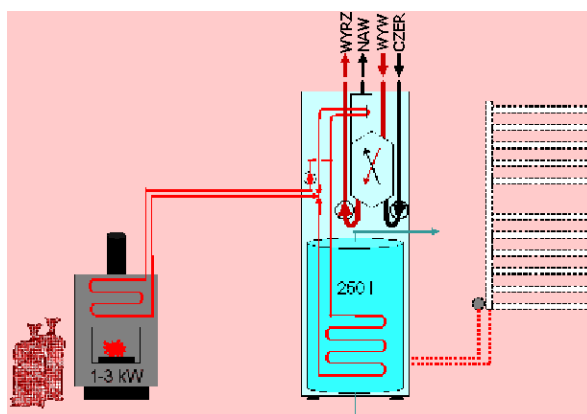
Rys. 1 Porównanie całkowitych kosztów w cyklu życia różnych typów budynków.

Innym sposobem pozwalającym na obniżenie kosztów w cyklu życia jest integracja wszystkich instalacji technicznych budynku. Przykładem takiego rozwiązania są urządzenia kompaktowe z pompą ciepła (rys.2), odpowiadające za wentylację, ogrzewanie i przygotowanie c.w.u.. Źródłem ciepła jest w tym przypadku powietrze wywiewane. Zastosowanie pompy ciepła umożliwia pełnienie przez urządzenie kompaktowe roli klimatyzatora. Niestety cena dostępnych obecnie na rynku niemieckim urządzeń kompaktowych waha się pomiędzy 6000 do 10 000 EUR. Po wprowadzeniu produkcji na większą skalę ich ceny prawdopodobnie spadną.



Rys. 2 Zasada działania i schemat budowy urządzenia kompaktowego z pompą ciepła.

Alternatywą dla urządzenia kompaktowego, szczególnie w chłodniejszych strefach klimatycznych, może być kominek o małej mocy – około 6 kW. Jego głównym zadaniem jest podgrzewanie ciepłej wody użytkowej oraz powietrza nawiewanego do pomieszczeń (rys. 3). Dostępne obecnie na rynku kominki opalane, np. peletami posiadają automatyczną regulację oraz niezależne doprowadzenie powietrza do paleniska. Wykorzystanie jako paliwa biomasy powoduje, że jest to rozwiązanie proekologiczne wpływające na redukcję emisji CO₂.



Rys.3 Schemat współpracy kominka z instalacją wentylacyjną i przygotowania c.w.u..

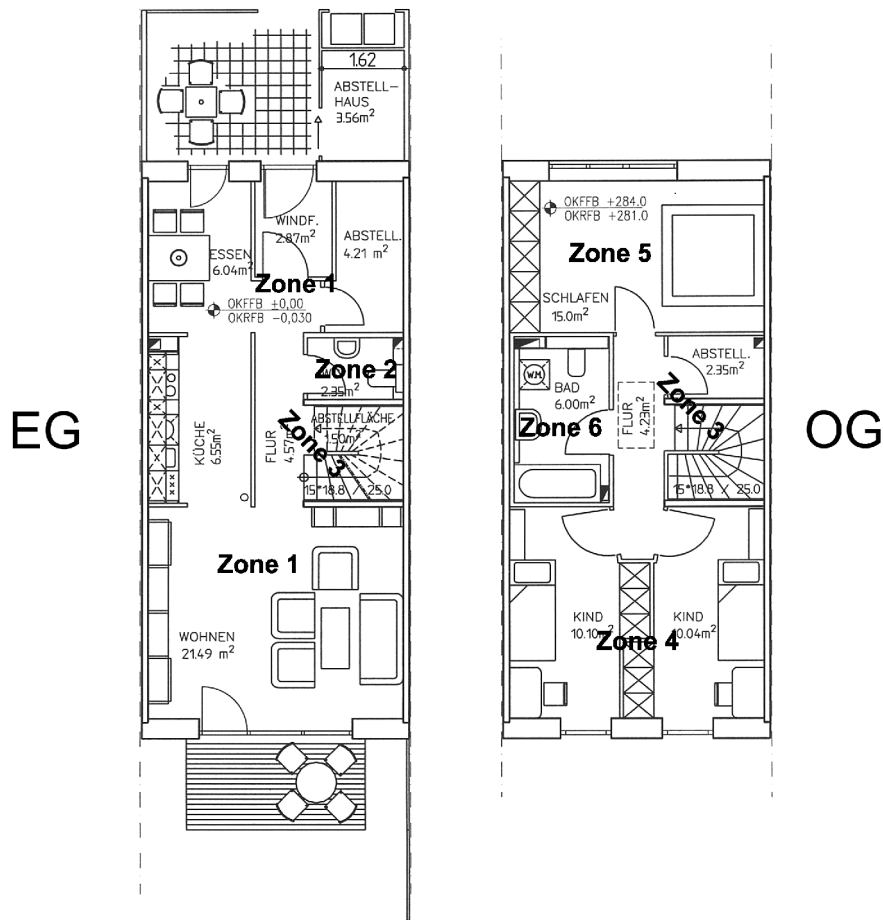
Model obliczeniowy

Jak zatem będzie wyglądał typowy budynek pasywny w Warszawie? Aby odpowiedzieć na to pytanie poddano analizie model ostatniego domu w zabudowie szeregowej, który łączy w sobie zarówno cechy budynku szeregowego jak i wolnostojącego. Dzięki czemu opracowane wytyczne konstrukcyjne będą miały zastosowanie do wielu rodzajów obiektów.

Wykorzystany w analizie model powstał w oparciu o istniejący budynek znajdujący się w miejscowości Hannover-Kronsberg (Niemcy). Model ten był wielokrotnie wykorzystywany do dynamicznych obliczeń symulacyjnych, a otrzymywane wyniki zweryfikowane w sposób pomiarowy. Zdjęcie rzeczywistego budynku jest widoczne na rys. 4, natomiast rzuty kondygnacji oraz podział modelu symulacyjnego na strefy został przedstawiony na rys. 5. Powierzchnia użytkowa budynku wynosi 120 m^2 a jego konstrukcja jest wolna od mostków termicznych. Dom posiada mechaniczną wentylację nawiewno-wywiewną o wydajności 120 m^3 . Bardziej szczegółowe informacje można znaleźć w [1].



Rys. 4 Domy szeregowe w Hannover-Kronsberg.

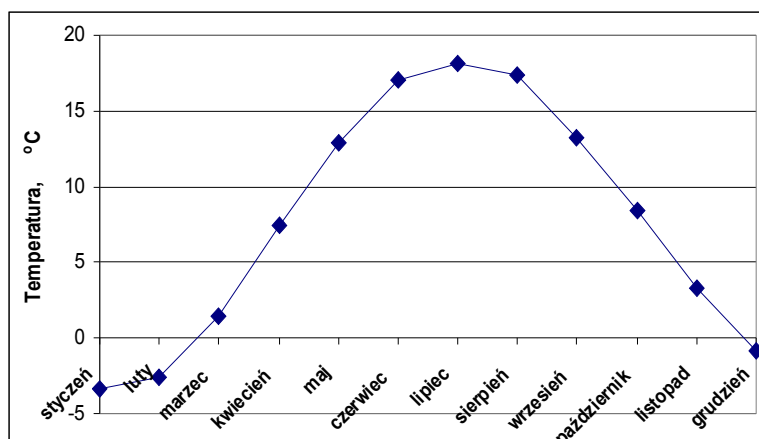


Rys. 5 Rzuty kondygnacji budynków pasywnych w Hannover-Kronsberg. Strefa 7 poddasza nie jest widoczna.

Warunki klimatyczne

W niniejszej pracy korzystano z godzinowych danych pogodowych dla Warszawy pochodzących ze stacji meteorologicznej Warszawa-Okęcie. Dane te reprezentują standardowy wykorzystywany do obliczeń energetycznych.

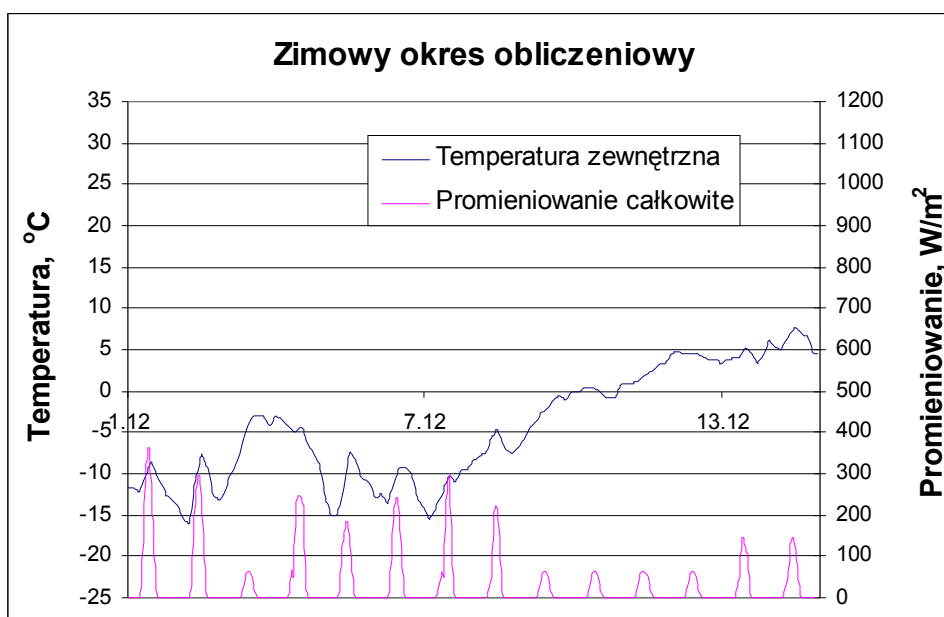
Średnioroczna temperatura powietrza dla Warszawy wynosi 7,7 °C, natomiast temperatury średniomiesięczne wahają się w przedziale od -3,4 °C dla stycznia do 18,1 °C dla lipca (rys. 6).

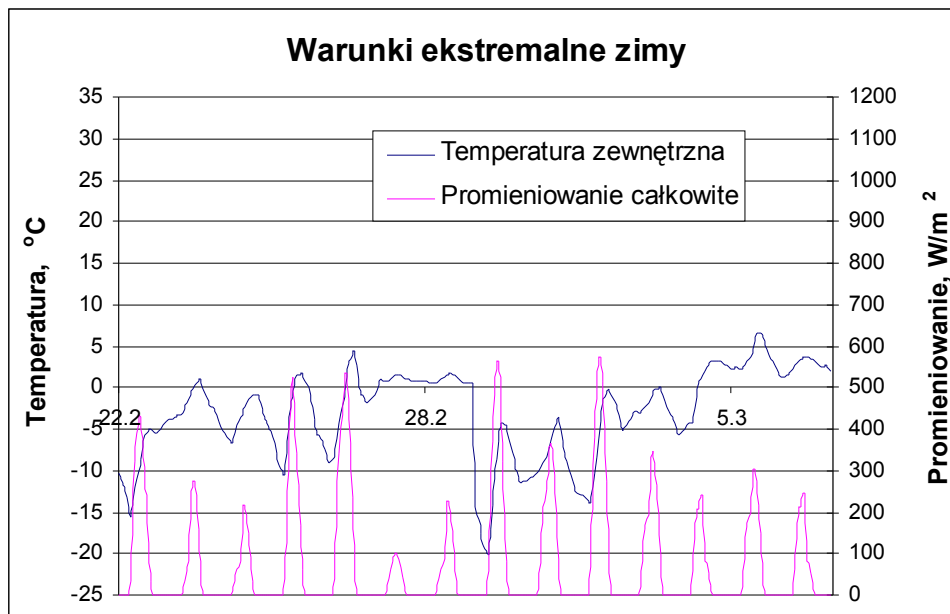


Rys. 6 Przebieg zmienności temperatur średniomiesięcznych.

Panujące w okolicach Warszawy warunki klimatyczne są zdecydowanie bardziej niekorzystne od warunków klimatycznych w krajach Europy Zachodniej, w których budowane są budynki pasywne. W okresie zimy temperatura powietrza zewnętrznego spada maksymalnie do $-20,2$ °C. Tak niskim temperaturom towarzyszy przeważnie stosunkowo duża ilość promieniowania słonecznego, co jest charakterystyczne dla klimatów kontynentalnych. Z punktu widzenia budynków pasywnych, które charakteryzują się długą stałą czasową, o wiele bardziej niekorzystne są jednak kilkudniowe, pochmurne okresy z temperaturami poniżej -10 °C i niewielką ilością promieniowania słonecznego.

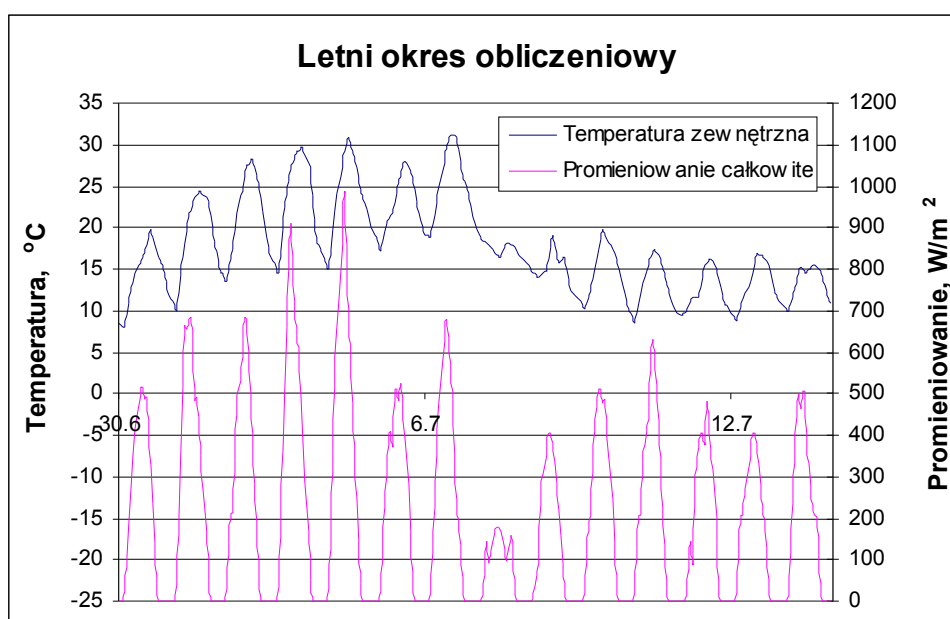
Potwierdziły to przeprowadzone obliczenia symulacyjne, które wykazały, że maksymalne zapotrzebowanie na moc grzewczą budynku występuje siódmego grudnia dla minimalnej dziennej temperatury $-15,5$ °C a nie np. pierwszego marca dla temperatury $-20,2$ °C. Porównanie wartości średniodniowych temperatury i promieniowania słonecznego, 07.12.: $-11,76$ °C i $43,5$ W/m² oraz 1.03.: $-11,64$ °C i $141,2$ W/m² potwierdza, że warunki panujące w grudniu są bardziej niekorzystne dla bilansu energetycznego budynku. Dwutygodniowe okresy obejmujące oba przytoczone dni przedstawiono na rys. 7.





Rys. 7 Porównanie zimowego okresu obliczeniowego z okresem obejmującym minimalną temperaturę zewnętrzną.

Warunki klimatyczne panujące w lecie nie odbiegają natomiast od panujących w Europie Zachodniej. Maksymalna dzienna temperatura wynosi 31,2 °C zaś średniodzienna 25,34 °C. W okresie lata duże znaczenie ma odpowiednia ochrona przed przegrzewaniem pomieszczeń. Służyć temu mogą różnego rodzaju elementy zacieniające zarówno architektoniczne jak i naturalne. Daje się również zauważyć, że dla najgorętszych dni temperatura powietrza zewnętrznego spada przeważnie w czasie nocy poniżej 20 °C, co pozwala na zastosowanie pasywnego chłodzenia (nocne przewietrzanie).



Rys. 8 Warunki pogodowe w okresie letnim.

Obliczenie dla okresu zimowego

Jednym z podstawowych kryteriów, które musi spełnić budynek pasywny jest bardzo niskie zapotrzebowanie na moc cieplną do celów grzewczych. Zapotrzebowanie to nie może przekroczyć 10 W na metr kwadratowy powierzchni użytkowej.

W celu określenia czy budynek zlokalizowany w Warszawie spełnia ten warunek wykonano analizy, uwzględniające różne warianty konstrukcyjne, powstałe w oparciu o modelu domu w Hannover-Kronsberg. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem programu do dynamicznej symulacji DYNBIL.

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- Zapotrzebowanie na moc grzewczą wyznaczono na podstawie maksymalnej wartości średniodniowej. Przyjmowanie średniej godzinowej nie jest konieczne, ponieważ budynki pasywne charakteryzują się dużą stałą czasową (dobrze akumulują ciepło).
- Średnie wewnętrzne zyski ciepła wynoszą 2,5 W/m².
- Przyjęto, że budynek posiada idealnie nadążną instalację grzewczą. Oznacza to, że w każdym pomieszczeniu znajduje się nagrzewnica, która utrzymuje temperaturę wewnętrzną przez cały czas na stałym poziomie 20 °C.

W pierwszej fazie obliczeń analizie poddano wariant I modelu domu w Kronsberg. Wariant ten spełnia wymagania stawiane budynkom pasywnym. Współczynnik przenikania ciepła U przegród zewnętrznych jest $\leq 0,15$ W/(m²·K), całkowity współczynnik U okien (szyba plus rama) po uwzględnieniu mostków termicznych ramy i montażu jest $\leq 0,8$ W/(m²·K). Budynek posiada mechaniczną wentylację nawiewno-wywiewną o sprawności odzysku ciepła rzędu 80 %.

Otrzymane wyniki wykazały jednak, że budynek taki nie osiąga standardu budynku pasywnego w warunkach klimatycznych okolic Warszawy. Jego zapotrzebowanie na moc grzewczą wynosi 12,3 W/m² i przekracza założoną wartość 10 W/m². Natomiast zapotrzebowanie na ciepło wynosi 28,9 kWh/(m²·a) i znacznie odbiega od wymaganych 15 kWh/(m²·a).

Dlatego powstał II wariant budynku i odpowiadający mu modelu obliczeniowego. Poza podłogą dokonano w nim zmiany materiału izolacyjnego na styropian szary o bardzo dobrych właściwościach izolacyjnych – współczynnik przewodzenia ciepła równy 0,032 W/m·K. Zwiększono również sprawność odzysku ciepła centrali wentylacyjnej do 90 % przy jednoczesnym zastosowaniu gruntowego wymiennika ciepła do wstępnego podgrzewu powietrza wentylacyjnego. Zmianie nie uległy parametry okien.

Tab. 1 Zestawienie parametrów i wyników dynamicznych symulacji dla poszczególnych wariantów obliczeniowych.

| Wariant | I | II | II-F |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Lokalizacja | Warszawa | Warszawa | Frankfurt |
| Współczynnik U dachu, W/(m ² ·K) | 0,1239 | 0,1006 | 0,1006 |
| Rodzaj izolacji | wełna mineralna | styropian szary | styropian szary |
| Grubość izolacji, cm | 30 | 30 | 30 |
| Współczynnik U fasady, W/(m ² ·K) | 0,1487 | 0,1207 | 0,1207 |
| Rodzaj izolacji | wełna mineralna | styropian szary | styropian szary |
| Grubość izolacji, cm | 25 | 25 | 25 |
| Współczynnik U ściany szczytowej, W/(m ² ·K) | 0,1536 | 0,1239 | 0,1239 |
| Rodzaj izolacji | styrodur | styropian szary | styropian szary |
| Grubość izolacji, cm | 25 | 25 | 25 |
| Współczynnik U podłogi na gruncie, W/(m ² ·K) | 0,1477 | 0,1477 | 0,1477 |
| Rodzaj izolacji | styrodur | styrodur | styrodur |
| Grubość izolacji, cm | 25 | 25 | 25 |
| Współczynnik U szyby, W/(m ² ·K) | 0,691 | 0,691 | 0,691 |
| Współczynnik g szyby | 0,512 | 0,512 | 0,512 |
| Współczynnik U ramy, W/(m ² ·K) | 0,740 | 0,740 | 0,740 |
| Ψ_{ramy} , W/(m·K) | 0,035 | 0,035 | 0,035 |
| $\Psi_{montażu}$, W/(m·K) | 0,040 | 0,040 | 0,040 |
| Sprawność odzysku ciepła, % | 80 | 90 | 90 |
| Gruntowy wymiennik ciepła | nie | tak | tak |
| Sprawność GWC, % | | 40 | 40 |
| Obliczeniowa moc grzewcza, W/m ² | 12,3 | 9,7 | 7,6 |
| Roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania, kWh/(m ² ·a) | 28,9 | 21,6 | 15,8 |

Przeprowadzone zmiany spowodowały zmniejszenie obliczeniowego zapotrzebowania na moc grzewczą do poziomu 9,7 W/m². Wariant II modelu domu w Kronsberg spełnia, zatem najważniejszy z warunków stawianych domom pasywnym. Niestety charakteryzuje się on ciągle wysokim zapotrzebowaniem na ciepło wynoszącym 21,6 kWh/(m²·a), przekraczającym typową dla budynków pasywnych wartość 15,0 kWh/(m²·a).

W celu określenia przyczyny otrzymania takich wyników przeprowadzono dodatkowe obliczenia symulacyjne. Wykorzystano do nich ten sam II wariant domu w Kronsberg zlokalizowany jednakże w cieplejszym klimacie okolic Frankfurtu nad Menem – II-F. Źródłem danych pogodowych była stacja meteorologiczna Frankfurt-Flughafen. Otrzymane wyniki pokazały, że wszystkie warianty charakteryzują się zwiększonym zapotrzebowaniem na ciepło, a budynek zlokalizowany w okolicach Frankfurtu (II-F) ma o 22 % mniejsze

zapotrzebowanie na moc grzewczą i o 27 % mniejsze zapotrzebowanie na ciepło, niż identyczny budynek zlokalizowany w okolicach Warszawy (II). Widoczna jest zatem tendencja nieproporcjonalnego wzrostu obu wartości – zapotrzebowanie na ciepło zwiększyło się bardziej niż zapotrzebowanie na moc i można wysnuć wniosek że budynkiem zlokalizowanym w chłodniejszym klimacie, o wiele łatwiej będzie osiągać wymagany poziom zapotrzebowania na moc grzewczą (10 W/m^2), niż wymagany poziom zapotrzebowania na ciepło ($15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$).

Zaobserwowaną dysproporcję potwierdziły również obliczenia bilansowe przeprowadzone przy użyciu programu PHPP (Passivhaus Projektierung Paket). Wykorzystany w nich wariant II budynku zlokalizowanego w okolicach Warszawy charakteryzował się zapotrzebowaniem na moc grzewczą wynoszącym $10,5 \text{ W/m}^2$ oraz zapotrzebowaniem na ciepło na poziomie $19,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Wyniki te odbiegają tylko nieznacznie od wartości uzyskanych podczas obliczeń symulacyjnych. Program PHPP posłużył jednocześnie do określenia maksymalnej mocy grzewczej, jaka może być dostarczona do budynku za pośrednictwem instalacji wentylacyjnej. Przy założonym strumieniu powietrza wentylacyjnego wynoszącym $120 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1 \text{ m}^3/\text{h}$ na m^2 powierzchni użytkowej) i dla maksymalnej temperatury nawiewu $52 \text{ }^\circ\text{C}$ uzyskano wartość $11,3 \text{ W/m}^2$. Możliwe jest, zatem całkowite pokrycie zapotrzebowania na moc grzewczą analizowanego budynku.

Obliczenia dla okresu letniego

Budynek pasywny musi zapewniać swoim użytkownikom wysoki komfort cieplny również latem. Panująca w jego pomieszczeniach temperatura nie może przekraczać temperatury granicznej $25 \text{ }^\circ\text{C}$, przez więcej niż 10 % godzin w czasie roku. Warunek ten powinien być osiągnięty bez konieczności zastosowania instalacji klimatyzacyjnej.

Do analizy modelu symulacyjnego wykorzystano wariant II budynku, dla którego przyjęto następujące założenia:

- W okresie od 1.05. do 30.09. dla temperatury powietrza wewnętrznego w budynku (zdefiniowanej jako średnia ważona temperatury powietrza w strefie 4 i strefie 1) wyższej od $23 \text{ }^\circ\text{C}$, następuje wyłączenie wentylacji mechanicznej, której miejsce zajmuje wentylacja naturalna. Strumienie powietrza wentylacyjnego dla wentylacji naturalnej zostały obliczone przy wykorzystaniu programu PHPP i biorą pod uwagę wyminę powietrza spowodowaną siłą wiatru i/lub różnicą temperatur. Wielkość strumieni zmieniają się w zależności od wewnętrznych i zewnętrznych warunków klimatycznych oraz stopnia otwarcia okien.
- W modelu uwzględniono zacienienie okien zarówno od elementów konstrukcyjnych – węgarki, balkony, jak również sąsiadujących budynków.

Tab. 2 Wyniki dynamicznych symulacji wariantu II i II-F dla okresu letniego.

| Wariant | II | II-F |
|---|------|------|
| Procentowy udział godzin w ciągu roku z temperaturą wyższą niż 25 °C, % | | |
| Strefa 1 | 0.10 | 0.41 |
| Strefa 2 | 0.00 | 0.00 |
| Strefa 3 | 0.00 | 0.00 |
| Strefa 4 | 3.46 | 6.00 |
| Strefa 5 | 0.09 | 0.02 |
| Strefa 6 | 0.00 | 0.00 |
| Strefa 7 | 1.68 | 1.90 |
| Strefa 8 | 0.00 | 0.00 |
| Maksymalna temperatura w czasie roku, °C | | |
| Strefa 1 | 25.2 | 25.7 |
| Strefa 2 | 23.7 | 23.9 |
| Strefa 3 | 24.4 | 24.6 |
| Strefa 4 | 26.7 | 27.8 |
| Strefa 5 | 25.2 | 25.0 |
| Strefa 6 | 24.3 | 24.5 |
| Strefa 7 | 25.5 | 25.8 |
| Strefa 8 | 24.4 | 24.8 |

W większości stref maksymalne temperatury nie przekroczyły lub przekroczyły w niewielkim stopniu temperaturę graniczną 25 °C. Najcieplejsze pomieszczenia budynku znajdują się w strefie 4. Są to pokoje zlokalizowane na pierwszym piętrze posiadające okna zorientowane na południe, których zacienienie np. od sąsiadujących budynków nie jest duże. Dodatkowy wpływ na podwyższenie temperatury ma znajdująca się nad pokojami relatywnie ciepła strefa 7 (poddasze). Pomimo to temperatura powietrza w strefie 4 jest tylko przez 3,5 % godzin w roku wyższa od wymaganych 25 °C. Tym samym wariant II budynku (jak również wariant II-F zlokalizowany w cieplejszym klimacie) spełnia warunek zapewnienia mieszkańcom komfortu cieplnego w okresie letnim.

Wytyczne konstrukcyjne dla Polski

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń opracowano zmodyfikowane zalecenia dla budynków pasywnych zlokalizowanych w centralnej Polsce:

- Przegrody zewnętrzne:
 - Średni współczynnik przewodzenia ciepła przegród zewnętrznych budynków pasywnych zlokalizowanych w centralnej Polsce powinien być niższy od 0,12 W/(m²·K). Przegrody muszą być zaizolowane, zatem lepiej niż jest to wymagane w Niemczech. Osiągnięcie tak niskiej wartości jest możliwe dzięki zastosowaniu nowoczesnych materiałów izolacyjnych o bardzo małym współczynniku przewodzenia ciepła.
- Okna
 - W budynkach pasywnych należy stosować okna o potrójnym szkleniu i specjalnej izolowanej konstrukcji ramy. Całkowity współczynnik przewodzenia ciepła, po uwzględnieniu mostków termicznych ramy i montażu, powinien być mniejszy niż 0,8 W/(m²·K).
 - Współczynnik całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego okien powinien być wyższy niż 0,5.

- Instalacja wentylacyjna
 - Budynek musi posiadać wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła. Sprawność odzysku ciepła powinna sięgać 90%.
 - Należy, wszędzie gdzie jest to możliwe, stosować gruntowy wymiennik ciepła. Odpowiada on za wstępne podgrzanie powietrza wentylacyjnego i tym samym chroni powierzchnie wymiennika krzyżowego przed szronieniem w okresie zimy. Ma to szczególnie duże znaczenie w chłodniejszym klimacie centralnej Polski. Natomiast okresie letnim GWC może służyć do pasywnego chłodzenia budynku.
- Instalacja grzewcza i przygotowania c.w.u.
 - Rolę instalacji grzewczej w budynkach pasywnych pełni instalacja wentylacyjna. Niskie zapotrzebowanie na moc cieplną pozawala na ogrzanie wszystkich pomieszczeń.
 - Podgrzewanie powietrza jak i przygotowanie c.w.u. może zachodzić w urządzeniu kompaktowym z pompą ciepła lub kominku niewielkiej mocy.
 - Kominki małej mocy opalane biomasą zmniejszają zapotrzebowanie na energię pierwotną i mogą być z powodzeniem stosowane w budynkach jednorodzinnych. Spełniają też w wielu przypadkach rolę dekoracyjną.
 - Do podgrzewu c.w.u. można zastosować instalację solarną.

Wnioski

Wnioski są jednoznaczne: bardzo dobrze zaizolowane budynki są w stanie zapewnić swoim użytkownikom komfort cieplny niezależnie od pory roku, również w chłodniejszym klimacie centralnej Polski. Charakteryzują się przy tym bardzo małym zapotrzebowaniem na ciepło, przez co możliwa jest rezygnacja z tradycyjnej instalacji centralnego ogrzewania.

Bezpośrednie zaadoptowanie obowiązujących w Niemczech wytycznych konstrukcyjnych jest jednak błędne. Działanie takie nie gwarantuje, że wybudowany zgodnie z nimi budynek osiągnie standard pasywny. Niezbędna jest, modyfikacja wytycznych w celu dostosowania ich do polskich warunków klimatycznych.

Porównując budynek pasywny zlokalizowany w Warszawie z budynkiem położonym w okolicach Frankfurtu można zauważyć, że wzrost zapotrzebowania na ciepło był większy niż wzrost zapotrzebowania na moc grzewczą. Taka dysproporcja powoduje, że budynkom zlokalizowanym w chłodniejszym klimacie może być o wiele łatwiej osiągnąć wymagany poziom 10 W/m^2 niż $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Jeśli obserwacja ta znalazłaby potwierdzenie w badaniach pomiarowych i kolejnych obliczeniach symulacyjnych, to za decydujące kryterium rozstrzygające o tym czy dany budynek osiąga standard budynku pasywnego należałoby przyjmować zapotrzebowanie na moc grzewczą.

Literatura

- [1] Feist W., Peper S., Kah O., von Oesen M.: *Climate Neutral Passive House Estate in Hannover-Kronsberg: Construction and Measurement Results*. PEP Project Information No. 1. ProKlima, Hannover 2005.
- [2] Schnieders J.: *Passive-On. A First-Guess Passive Home in Southern France*. The Passive-On Project, June 2005.