

Jolanta PRZYKUTA, Anna LIS

Politechnika Częstochowska

DREWNIANY SZKIELETOWY BUDYNEK PASYWNY

W artykule przedstawiono ideę i zasady kształtowania budynków pasywnych oraz rozwiązania konstrukcyjno-architektoniczne budynków pasywnych wykonywanych w szkielecie drewnianym. Zaprezentowano pasywny budynek jednorodzinny o konstrukcji szkieletowej drewnianej. Dla analizowanego budynku wykonana była charakterystyka energetyczna.

Słowa kluczowe: budynki pasywne, budynki wykonywane w szkielecie drewnianym, charakterystyka energetyczna budynku

WPROWADZENIE

Rozwój technologiczny Europy spowodował zwiększenie konsumpcji energii. Kraje europejskie zużywają jedną piątą całej produkowanej energii na świecie, wykorzystując ją we wszystkich sektorach gospodarki. Obecnie Unia Europejska jest zależna energetycznie od dostawców zewnętrznych pomimo posiadania zróżnicowanego sektora energetycznego. Kopalnie węgla kamiennego w Polsce, francuskie elektrownie jądrowe, zapory wodne w Austrii, holenderskie i duńskie złoża gazu czy złoża ropy naftowej na Morzu Północnym nie zabezpieczają jednak w pełni energetycznie Wspólnoty. Źródła te, eksploatowane w szybkim tempie, są źródłami nieodnawialnymi, dlatego też Unia Europejska wprowadza jednolitą politykę w zakresie gospodarowania zasobami energetycznymi oraz poszukuje nowych rozwiązań technologicznych, pozwalających na zmniejszenie zużycia energii. Wpływ na wprowadzane zmiany ma również podłoże ekologiczne. Zmiany klimatyczne powodowane emisją do atmosfery gazów cieplarnianych powstających w procesie spalania paliw kopalnych, od których sektor energetyczny jest uzależniony w około 80%, przyczyniają się do pojawiania się nieprzewidywalnych zjawisk meteorologicznych, działających destrukcyjnie na infrastrukturę oraz zagrażających ludzkiemu życiu.

Zapisy dyrektyw unijnych zobowiązują wszystkie kraje członkowskie do podejmowania działań związanych z efektywnością energetyczną oraz do wprowadzania krajowych regulacji prawnych i przepisów w zakresie oszczędności energii i wspierania inwestycji, które mają obejmować określenie optymalnych sposobów podnoszenia efektywności energetycznej budynków. Zmiany w polskim prawie budowlanym, dostosowujące polskie prawodawstwo do wymogów unijnych, mają wpływ na rozwój budownictwa energooszczędnego i pasywnego. Budownictwo to

charakteryzuje się przede wszystkim obniżonym poziomem zużycia energii, wynoszącym nie więcej niż 40 kWh/(m² rok) przy budownictwie energooszczędnym i nie więcej niż 15 kWh/(m² rok) w przypadku budownictwa pasywnego. Tak niskie zużycie energii osiąga się poprzez stosowanie skutecznej termoizolacji budynków oraz zastosowanie nowoczesnych technologii grzewczych wykorzystujących odnawialne źródła energii. Poszukiwane są rozwiązania pozwalające na szybką realizację obiektu przy relatywnie niskich kosztach, dające w efekcie końcowym budynek nowoczesny, ekologiczny i prestiżowy dla inwestora, o niskich kosztach eksploatacji. Rozwiązaniem może być tu budownictwo pasywne szkieletowe o konstrukcji drewnianej. Ten rodzaj budownictwa łączy tradycyjne budownictwo z nowoczesnymi technologiami i pozwala na skuteczne wdrożenie wymagań prawnych nakreślonych przez Unię Europejską w zakresie polityki energetycznej.

1. BUDOWNICTWO PASYWNE

Ideą budownictwa pasywnego jest wypracowanie modelu budynku łączącego komfort użytkowników z nieznacznym jego oddziaływaniem na środowisko naturalne, wykorzystującego materiały budowlane o wysokich parametrach cieplnych i nowoczesne technologie, optymalizującego jednocześnie koszty procesu budowlanego w stosunku do oszczędności związanych z eksploatacją. Realizacja budynku w systemie pasywnym wymusza utrzymanie dużej staranności w fazie projektowania, w szczególności przy doborze materiałów, jak również wznoszenia obiektu. Proces powstania budynku pasywnego wymaga zaangażowania wysokiej klasy specjalistów, m.in. z zakresu fizyki budowli czy projektowania instalacji. Przy opracowaniu projektu budynku pasywnego istotne jest uwzględnienie wielu parametrów mających wpływ na późniejsze zużycie ciepła w trakcie jego eksploatacji. W pierwszej kolejności istotna jest tu odpowiednia izolacyjność termiczna przegród, eliminacja mostków cieplnych oraz szczelność budynku, z którą związane jest bezpośrednio zapewnienie odpowiedniej ilości powietrza wymianianego w procesie wentylacji. Oczywiście, stosowanie wentylacji grawitacyjnej jest tu całkowicie nieprawidłowe ze względu chociażby na brak możliwości precyzyjnego sterowania strumieniem powietrza napływającego do pomieszczeń. Tylko wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła jest satysfakcjonująca zarówno ze względu na możliwość zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach, a co za tym idzie, odpowiednich warunków komfortu ludzi w nich przebywających, jak i minimalizację strat ciepła. Uzyskanie odpowiednich wartości ww. parametrów wiąże się z zastosowaniem materiałów o niskim współczynniku przewodzenia ciepła do konstrukcji przegród chłodzących oraz eliminowaniem wszelkich zbędnych szczelin, m.in. przy połączeniach stolarki budowlanej ze ścianami, połączeniach poszczególnych elementów konstrukcyjnych czy przy przejściu instalacji. Szczelność budynku pasywnego określana parametrem n_{50} nie może przekraczać 0,6 wymiany na godzinę przy różnicy ciśnień 50 Pa (tab. 1).

Tabela 1. Zalecenia odnośnie do wartości wybranych parametrów w budynku pasywnym [1]

Parametr	Wartość
Współczynnik przenikania ciepła dla przegród chłodzących	$\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
Współczynnik przenikania ciepła dla okien	$\leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
Współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego okien	$\geq 0,5$
Liniowy współczynnik przenikania ciepła	$\leq 0,01 \text{ W}/(\text{m K})$
Szczelność budynku n_{50}	$\leq 0,6 \text{ l/h}$
Sprawność odzysku ciepła	$\geq 75\%$

Oprócz niskiego współczynnika przenikania ciepła stolarka w budynku pasywnym powinna charakteryzować się odpowiednim współczynnikiem całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego, co zapewni odpowiednie zyski ciepła, oczywiście w przypadku usytuowania maksymalnego przeszklenia od strony południowej. Elewacja południowa w budynku pasywnym (rys. 1) jest właściwie samodzielnym systemem, zadaniem którego jest dostarczenie maksymalnej ilości promieniowania słonecznego do budynku w sezonie grzewczym i ochrona przed przegrzaniem budynku w okresie letnim, co skutkowałoby utratą komfortu cieplnego i zwiększeniem zużycia prądu niezbędnego przy chłodzeniu obiektu.



Rys. 1. Elewacja południowa w budynku pasywnym [2]

Realizacja tych zadań wymaga stosowania stolarki o odpowiednich parametrach (tab. 1) oraz odpowiednio zamocowanych elementów zacieniających, tak by nie generować dodatkowych mostków cieplnych. Poza przeszkleniami, systemem zacienień i odpowiednio dobranej grubości izolacji cieplnej na elewacji południowej pojawiają się również kolektory słoneczne albo ogniwa fotowoltaiczne.

Kolejnym ważnym elementem przy kształtowaniu budynków pasywnych jest uzyskanie zwartej bryły budynku - bryła sfery czy walca byłaby tu idealna, również ze względu na możliwość ograniczania mostków cieplnych (rys. 2).



Rys. 2. Budynek pasywny w kształcie walca z dwuspadowym dachem [3]

W trakcie eksploatacji budynku pasywnego konieczne jest precyzyjne stosowanie się do instrukcji obsługi budynku, a przede wszystkim:

- zasłanianie południowych okien w bardzo słoneczne dni w okresie letnim, by nie dopuszczać do przegrzewania pomieszczeń;
- używanie jedynie wentylacji mechanicznej do zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach;
- stosowanie wyłącznie bardzo krótkotrwałego przewietrzania pomieszczeń przy optymalnej temperaturze powietrza na zewnątrz;
- wyłączanie zbędnego oświetlenia i urządzeń;
- utrzymywanie optymalnej temperatury, komfortowej dla użytkowników.

2. PRZEDSTAWIENIE WYBRANEGO BUDYNKU PASYWNEGO

Do analizy wybrano budynek mieszkalny jednorodzinny o powierzchni użytkowej $124,4 \text{ m}^2$, zlokalizowany w miejscowości Boruszowice w województwie śląskim (rys. 3). Jednopiętrowy niepodpiwniczony budynek jest zamieszkały przez cztery osoby. Bryła budynku to prostopadłościan nakryty dachem dwuspadowym o kącie nachylenia połaci 45° [4]. Budynek został wykonany w technologii szkieletu drewnianego. Pomiedzy słupy w ścianie zewnętrznej włożono wełnę mineralną o grubości 16 cm. Ścianę ocieplono dodatkowo warstwą styropianu o grubości 25 cm. Konstrukcja dachu jest drewniana z warstwą wełny mineralnej o grubości 50 cm. Izolację termiczną podłogi na gruncie wykonano ze styropianu o grubości 40 cm. Trójszybowe okna o współczynniku przenikania ciepła $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ zamontowano w warstwie ocieplenia. W budynku funkcjonuje wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła, wyposażona w rekuperator o sprawności 95%, oraz pompa ciepła o mocy 5 kW z gruntowym wymiennikiem ciepła. Do ogrzewania pomieszczeń wykorzystywana jest nagrzewnica powietrza nawiewanego oraz dodatkowo niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe.



Rys. 3. Południowa elewacja budynku pasywnego w Boruszowicach [4]

W 2011 roku Polski Instytut Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej nadał budynkowi certyfikat budynku pasywnego o sprawdzonej jakości. W budynku znajduje się stanowisko badawcze, rejestrujące m.in. parametry mikroklimatu panującego we wnętrzu i sterujące pracą urządzeń w celu zapewnienia optymalnych warunków komfortu cieplnego użytkowników pomieszczeń przy jednoczesnej minimalizacji zużycia energii oraz kosztów eksploatacji budynku.

3. TECHNOLOGIA WYKONANIA WYBRANEGO BUDYNKU PASYWNEGO W SYSTEMIE SZKIELETOWYM PREFABRYKOWANYM

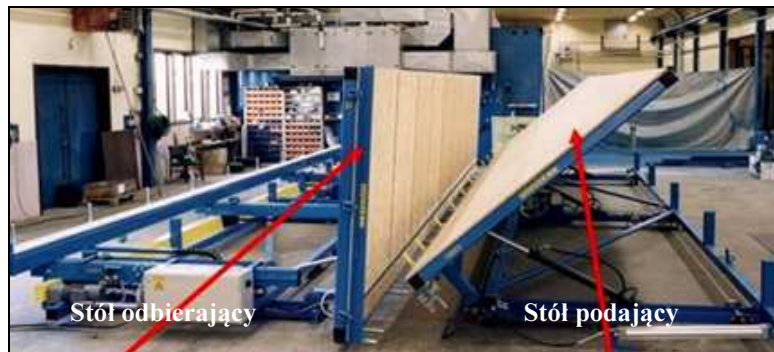
Technologia wykonania analizowanego budynku składała się z pięciu etapów: wykonanie płyty fundamentowej, produkcja domu, montaż domu, montaż instalacji, prace wykończeniowe.

W ramach wykonania płyty fundamentowej m.in. ułożono naprzemiennie dwie warstwy styropianu o $\lambda_{\text{dekl}} = 0,035 \text{ W/(m K)}$ i grubości całkowitej równej 40 cm, uprzednio ograniczone poprzez pionowe ściany z płyt styropianowych o grubości 10 cm z zagłębieniem 20 cm poniżej poziomu ułożenia płyty termoizolacyjnej w celu utworzenia ograniczenia mostka termicznego. Na tak przygotowanej płaszczyźnie wykonano płytę betonową zbrojoną siatką z prętów o średnicy 8 cm o oczkach $15 \times 15 \text{ cm}$ z zagęszczeniem pod ściany konstrukcyjne. Końcowy etap układania mieszanki betonowej przedstawiono na rysunku 4.

Etap drugi wykonano w hali produkcyjnej, na specjalnie przygotowanej linii technologicznej. Poszczególne elementy zmontowano na specjalnym stole monter-skim (rys. 5). Na stole podającym układa się konstrukcję drewnianą, a po uzyskaniu kształtu o wymaganych wymiarach konstrukcję obija się jednostronnie warstwami wykańczającymi. Tak przygotowany element podaje się na stół odbiorczy, gdzie powstaje druga strona elementu. Następnie przesuwa się element na roli w celu usytuowania go na kolejnym miejscu technologicznym.



Rys. 4. Wykonanie płyty fundamentowej [4]



Rys. 5. Stół monterski w hali produkcyjnej [4]

Przygotowane w hali elementy budynku (ściany, stropy) przetransportowano na teren budowy, gdzie przystąpiono do montażu poszczególnych elementów na wcześniej przygotowanej płycie fundamentowej. Montaż rozpoczęto od ścian konstrukcyjnych parteru, tworzących bryłę budynku. Do montażu wykorzystano dźwig (rys. 6). Ściany parteru zwieńczono stropem międzykondygnacyjnym. Drewniana więźba dachowa została wykończona dachówką cementową.



Rys. 6. Montaż ścian zewnętrznych [4]

Następnie wykonano montaż instalacji. W celu zachowania wymaganej szczelności dla budynku pasywnego zastosowano m.in. szczelne puszki instalacyjne. Prace wykończeniowe wykonano zgodnie z wymaganiami inwestora.

4. CHARAKTERYSTYKA WYBRANEGO BUDYNKU PASYWNEGO

Budynek w Boruszowicach spełnia wymagania stawiane budownictwu pasywnemu, jego zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania nie przekracza $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$, a zapotrzebowanie na energię pierwotną $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$. Budynek został zaprojektowany przez architekta Marka Wenklara i wykonany przez firmę MultiComfort. Budowę ukończono w lutym 2010 roku. Obiekt jest pierwszym w Polsce domem pasywnym wykonanym w technologii prefabrykowanego szkieletu drewnianego. Koszt budowy wyniósł około 500 tys. zł i był wówczas wyższy o około 10÷15% od budynku standardowego. Koszty eksploatacyjne budynku są jednak znacznie niższe i wynoszą około 3200 zł rocznie, uwzględniając ogrzewanie, pracę układu wentylacyjnego, oświetlenie i korzystanie z urządzeń elektrycznych. Koszt ogrzewania wynosi około 450 zł na rok, a koszt podgrzewania wody użytkowej niecałe 700 zł. Okres zwrotu poniesionych nakładów szacowany jest na 15-17 lat [5]. Poza niskimi kosztami utrzymania zaletą domu pasywnego jest komfort cieplny oraz komfort użytkowania. Bezobsługowość w eksploatacji domu zapewniają tzw. inteligentne systemy sterujące pracą poszczególnych urządzeń, utrzymujące stałą wartość parametrów mikroklimatu.

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie wraz z właścicielem prowadzi w budynku pięcioletni projekt badawczy, którego celem jest m.in. ocena zużycia energii, kosztów ogrzewania, warunków klimatu oraz mikroklimatu wewnątrz, a także funkcjonowania ścian pod względem cieplno-wilgotnościowym [6]. Łącznie zamontowano 158 różnego rodzaju czujników. Niektóre parametry można śledzić za pośrednictwem strony http://www.buduj-pasywnie.pl/dom_online.

PODSUMOWANIE

Krótki okres realizacji projektu, wysoka efektywność i niezależność energetyczna, a przy tym przystępny koszt oraz wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii przyczyniają się do obniżenia zapotrzebowania na energię zarówno w trakcie budowy, jak i eksploatacji budynku pasywnego oraz o dbałość o środowisko naturalne. Pozwala to na osiągnięcie celów stawianych członkom Unii Europejskiej w dyrektywach i programach strategicznych. Zadaniem przyjętej strategii jest kierowanie rozwoju gospodarki w stronę efektywnego wykorzystania energii i niskoemisyjności. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu EUROPA 2020 ma na celu dążenie do zwiększenia efektywności energetycznej o 20%, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w porównaniu z poziomami z 1990 r. oraz zwiększenie do 20% udziału energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii. Dążenie do realizacji celów wy-

znaczonych przez Unię Europejską potwierdza zasadność propagowania i stosowania tego rodzaju budownictwa jako alternatywy dla budownictwa tradycyjnego.

Rozwiązania zastosowane w analizowanym budynku spełniają wymagania, jakie stawia się budynkom pasywnym. Lokalizacja budynku na terenie nieosłoniętym, jego południowa orientacja czy wcięcie w linii brzegowej dachu pozwalają na odpowiednią operację promieni słonecznych. Zamocowane rolety okienne zapobiegają jednocześnie przegrzaniu budynku. Zastosowane rozwiązania ścian i stropów zapewniają właściwe warunki cieplno-wilgotnościowe tych przegród. Zwarta bryła budynku, odpowiednia izolacja cieplna przegród oraz mocowanie okien w warstwie izolacji ogranicza straty ciepła i eliminuje wpływ mostków cieplnych.

LITERATURA

- [1] Feist W., Podstawy budownictwa pasywnego, PIBP, Gdańsk 2008.
- [2] <http://www.najciekawszeprojekty.pl/vademecum-inwestora/zanim-zbuduje/pomysl-na-dom/wszystko-o-domu-pasywnym>
- [3] http://arch-martianna.blogspot.com/2014_07_01_archive.html
- [4] Przykuta J., Charakterystyka energetyczna i technologia wykonania pasywnego budynku szkieletowego, Dyplomowa praca inżynierska, Częstochowa 2014 (w pracy wykorzystano materiały pana Bartosza Pawliczka z firmy MultiComfort, właściciela przedstawionego domu pasywnego).
- [5] www.energiaidom.pl/dom-pasywny-w-pigulce-rozmowa-z-bartoszem-pawliczkiem1
- [6] Wąs K., Radoń J., Groblicki M., Pawliczek B., Badania cieplno-wilgotnościowe oraz energetyczne budynku pasywnego w Boruszowicach, Czasopismo Techniczne 2012, 3, 453-460.

WOODEN PASSIVE SKELETAL SYSTEM BUILDING

The article presents the concept, principles of formation of passive buildings and construction and architectural solutions of passive buildings made of wooden frame. It is presented passive-family building in wooden frame construction. For the analyzed building there was made the energy performance.

Keywords: passive buildings, buildings in wooden frame construction, energy performance