

Budowa domu

w standardzie pasywnym – dobre praktyki projektowe i wykonawcze

Building a house in a passive standard – good design and implementation practices

Budowa domu w standardzie pasywnym wymaga nie tylko poprawnych założeń projektowych, ale i bardzo starannych prac budowlanych, z zastosowaniem materiałów oraz wyposażenia instalacyjnego ściśle zgodnych z dokumentacją projektową. Ważne jest też dopasowanie budynku do warunków na działce i wykorzystanie energii słonecznej.

Spełnienie wymagań dotyczących zużycia energii i ochrony cieplnej budynku jest obowiązkiem prawnym przy budowie nowych i modernizacji istniejących budynków. Wymagania te zawarte są w warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [1], i stanowią część szerszych wymogów stawianych budynkom, regulowanych przez Prawo budowlane [2]. W odpowiedzi na rosnące wymagania dot. m.in. zużycia energii pierwotnej i izolacyjności termicznej budynków rośnie zainteresowanie budynkami klasyfikowanymi jako niskoenergetyczne. Budynki takie wyróżniają się podwyższoną izolacyjnością cieplną przegród zewnętrznych oraz rozwiązaniami instalacyjnymi, które decydują o przyszłych kosztach eksploatacyjnych.



Rys. 1. Wizualizacja analizowanego budynku
Źródło: Pracownia Architektoniczna Kreator Architektury

W Polsce nie funkcjonują klasy energetyczne budynków oraz powszechnie uznane kryteria związane ze standardem energetycznym budynku i projektanci najczęściej bazują na zagranicznych wytycznych, w tym na niemieckim standardzie określonym przez Passive House Institute w Darmstadt. Można

też korzystać ze standardów NF40 i NF15, które zostały opracowane w 2012 roku przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na potrzeby programu dopłat do budownictwa energooszczędnego. Pierwszy z nich określa się jako dom energooszczędny, drugi to budynek pasywny. Dążąc do uzyskania wiarygodnego standardu niskoenergetycznego, można skorzystać z procedury certyfikacyjnej prowadzonej przez wspomniany Passive House Institute w Darmstadt.

Analizowany budynek

Przedmiotem analizy jest budynek mieszkalny jednorodzinny zlokalizowany w miejscowości Ludźmierz. Jest to budynek parterowy z użytkowym poddaszem o pow. 178 m². Konstrukcja szkieletowa drewniana wykonana jest na płycie fundamentowej z żelbetu. Na etapie prac projektowych przyjęto wymagania i rozwiązania mające zaklasyfikować obiekt do standardu budynku pasywnego zgodnie z kryteriami Passive House Institute.

Założenia projektowe

Budynek na etapie prac projektowych zyskał prostokątną bryłę oraz korzystne usytuowanie

na działce względem stron świata. Elewacja frontowa od strony południowej jest przeszklona, aby uzyskać maksymalny współczynnik nasłonecznienia budynku w okresie zimowym. Prosta bryła nie tylko ułatwia wykonanie termoizolacji, ale pozwala uniknąć konstrukcyjnych mostków termicznych, które mają znaczący i negatywny wpływ na zapotrzebowanie energetyczne budynku.

Na etapie prac projektowych zrezygnowano z balkonów, wykuszy i geometrii z dużą liczbą narożników, gdyż są one najczęstszą przyczyną powstawania mostków cieplnych. Udział mostków cieplnych w typowym budynku mieszkalnym powstającym zgodnie ze standardami projektowymi i warunkami technicznymi WT 2017 może wynosić nawet 15–20% [3]. W typowych budynkach o prostej bryle wartość ta spada do 5%. W przypadku budynków pasywnych łączny wpływ mostków cieplnych powinien być jak najmniejszy, bliski zeru.

Dach projektowanego budynku mieszkalnego przyjęto jako dwuspadowy o jednakowym kącie nachylenia, na przylegającym budynku garażowym przewidziano wykonanie w drugim etapie instalacji fotowoltaicznej o mocy 4,5 kWp. Ważne jest ułożenie przez archi-

Streszczenie: W artykule przedstawiono najważniejsze kwestie projektowe i wykonawcze związane z budową domu w standardzie pasywnym. Analizie poddano budynek mieszkalny jednorodzinny zlokalizowany w miejscowości Ludźmierz (woj. małopolskie). Projekt i budowę obiektu wykonano zgodnie ze standardem pasywnym określonym przez Passive House Institute w Darmstadt.

Słowa kluczowe: budynki pasywne, szczelność budynków, ogrzewanie budynków pasywnych, wentylacja budynków pasywnych

Abstract: The article presents the most important design and implementation issues related to building a house to a passive standard. A single-family residential building located in Ludźmierz (Małopolskie Voivodeship) was analyzed. The design and construction of the building is carried out in accordance with the passive standard set by the Passive House Institute in Darmstadt.

Keywords: passive buildings, airtightness of buildings, passive house ventilation, passive house heating

tekta okien dachowych, tak aby nie kolidowało to z wywiewem kanalizacji sanitarnej i wyrzutnią dachową oraz z panelami fotowoltaicznymi. W budynku przewidziano system wentylacji mechanicznej na wymienniku entalpicznym. Przyjęto system wodnego ogrzewania podłogowego z pompą ciepła powietrze/woda o mocy 6,0 kW dla A7/W35, pracującą w całym zakresie temperatur obliczeniowych.

Budowa ścian zewnętrznych

Budynek mieszkalny jednorodzinny zaprojektowano z ciężkiego prefabrykatu szkieletowego. Do budowy ścian zewnętrznych zastosowano belki z litego drewna o grubości 16×16 cm typu KVH (niem. *Konstruktionsvollholz*) oraz drewno klejone warstwowo BSH (niem. *Brettschichtholz*). Technologia ta pozwala na stawianie budynków mieszkalnych o wyjątkowo niskiej przewodności cieplnej przegród, co pozwala osiągnąć znacznie mniejsze zapotrzebowanie budynku na ciepło w porównaniu do innych materiałów konstrukcyjnych.

Porównując z tradycyjnym drewnem, konstrukcyjne drewno lite KVH cechuje się wilgotnością rzędu 15%, co pozwala na zachowanie jego masy, kształtów i wymiarów. Jest to drewno czterostronnie strugane, o cięciu co najmniej rozdzielającym rdzeń drzewa. Nie ma żadnych uszkodzeń – śladów grzybów czy insektów. Jego klasa wytrzymałości wynosi S10/C24, co pozwala na budowanie nośnych i usztywniających konstrukcji z drewna, takich jak wsporniki, belki, płatwie, krokwie, a także słupy i oczepty elementów ściennych, stropowych oraz dachowych budynku.

Warstwę właściwej izolacji termicznej przegrody zewnętrznej stanowi skalna wełna mineralna o współczynniku przewodzenia ciepła $0,032 \text{ W/(mK)}$, która wypełnia przestrzeń między słupkami konstrukcyjnymi o grubości 16 cm. Zewnętrzną osłonę izolacyjną stanowi płyta izolacyjna z włókna drzewnego o współczynniku przewodzenia $0,036 \text{ W/(mK)}$. W analizowanym przypadku uzyskano współczynnik przenikania ciepła U dla całej ściany $0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Poprawna termo- i paroizolacja ścian

Na etapie budowy ścian zewnętrznych zwrócono uwagę na poprawne rozdzielanie izolacji budynku na warstwę termiczną oraz na warstwę izolacyjną z folii PE. Ciepłe, wilgotne powietrze dąży zawsze do wydostania się na zewnątrz, gdzie znajduje się powietrze zimne. Odbywa się to na zasadzie wyrównywania ciśnienia. Gdy ciepłe powietrze połączy się z zimnym, następuje skroplenie. Jeśli ma to



Fot. 1. Elewacja południowo-wschodnia budynku pasywnego

Fot. autora

miejsce wewnątrz ściany lub stropu, może spowodować zawilgocenie materiałów. Poprawne zakotwiczenie folii paroizolacyjnej po wewnętrznej stronie termoizolacji zapewnia wysoki stopień szczelności.

Etap prac związanych z montażem folii paroizolacyjnej należy prowadzić z wielką dokładnością. Przy pracach instalacyjnych należy zwrócić szczególną uwagę na ciągłość folii. Aby nie ingerować w ściany szkieletowe, wokół budynku wzdłuż ścian zewnętrznych wykonano przedściankę instalacyjną z płyt GKF na konstrukcji aluminiowej umożliwiającą prowadzenie instalacji wewnętrznych.

Należy ograniczyć do minimum wszelkie przejścia przez folię paroizolacyjną na zewnątrz budynku. Konieczne jest zachowanie ciągłości folii paroizolacyjnej poprzez zastosowanie przejść systemowych lub dokładne połączenie, wykorzystując kołnierz z folii wraz z systemowym klejem. Jeśli pojawiają się dziury, nawet niewielkie, przedostanie się przez nie para wodna. Montaż folii paroizolacyjnej powinien być staranny i przed założeniem kolejnych płacht należy je dokładnie sprawdzić. Szczególną uwagę powinniśmy zwrócić na okna i drzwi, ponieważ ich osadzanie może spowodować pojawienie się szczelin. Szczelna folia paroizolacyjna stanowi również ochronę przed zimnym powietrzem płynącym z zewnątrz. Równie ważną kwestią podczas budowy domów pasywnych jest poprawny montaż wewnętrznej taśmy paroszczelnej i jej połączenie z folią paroizolacyjną w ścianach i stropach.

Podłoga na gruncie

Jednym z istotnych zagadnień związanych z budową domu pasywnego w konstrukcji szkieletowej drewnianej jest wykonanie właściwej izolacji cieplnej przegrody podłogi na gruncie zgodnie z przyjętymi założeniami projektowymi. Należy zadbać nie tylko o odpowiednią izolację podłogi na gruncie (min. 30 cm izolacji styropianowej EPS 150 $0,035 \text{ W/(mK)}$) oraz dodatkowe ocieplenie pionowe ściany fundamentowej (gr. 10 cm

EPS 150 $0,035 \text{ W/(mK)}$), ale również o izolację obwodową podłogi na gruncie (gr. 10 cm XPS $0,035 \text{ W/(mK)}$).

Zadbano także o zachowanie ciągłości izolacji ściany poprzez wyprowadzenie warstwy izolacji na ścianę fundamentową. W rozwiązaniu tym liniowy współczynnik strat ciepła na styku podłoga/ściana zewnętrzna przyjmuje wartość $0,081 \text{ W/(mK)}$ – co przy tradycyjnych fundamentach jest niemożliwe do osiągnięcia.

Szczelność budynku

Na etapie prac wykonawczych wykonano badanie szczelności budynku metodą *blower door*. Efektem badania było określenie współczynnika n_{50} , definiowanego jako krotność wymian powietrza znajdującego się w budynku w ciągu godziny przy różnicy ciśnień pomiędzy wnętrzem a otoczeniem obiektu równej 50 Pa (pomiaru dokonuje się najpierw dla nadciśnienia, a następnie podciśnienia).

Zgodnie z wytycznymi Passive House Institute, w budynku pasywnym wartość współczynnika n_{50} powinna wynosić nie więcej niż 0,6 1/h. Dla analizowanego obiektu wzrost parametru n_{50} o 0,1 1/h mógłby skutkować zwiększeniem wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię na cele ogrzewcze o $1 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$. Na etapie prac pomiarowych uzyskano wskaźnik 0,57 1/h, co zakwalifikowało test jako pozytywny.

Prawidłowy montaż okien

W budynku zastosowano zespolony trzyszybowy pakiet okienny (współczynnik przenikania ciepła pakietu szybowego $U = 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), z ocieplanym profilem okiennym z przekładką termiczną. Szyby skrajne pokryte są od wewnątrz powłoką niskoemisyjną, natomiast przestrzeń między taflami wypełniona została kryptonem. Dzięki takiemu działaniu straty ciepła wypromieniowywanego z pomieszczenia są ograniczone, znacząco poprawia się także izolacyjność akustyczna zestawu. Po wypełnieniu niektórych komór pianką poliuretanową oraz zastosowaniu specjalnych wzmocnień o podwyższonej izolacyjności termicznej (prze-



Fot. 2. Elewacja południowo-zachodnia budynku pasywnego

Fot. autora

kładka z tworzywa sztucznego) cała przegroda okienna uzyskała od producenta współczynnik przewodzenia ciepła $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Warto dodać, że nawet najcieplejsze i najlepsze okna i drzwi nie będą w stanie sprostać wymaganiom standardu Passive-House, jeśli nie zostaną zamontowane we właściwy sposób. W przypadku budynku pasywnego jakiegokolwiek nieszczelności mogą być przyczyną niekontrolowanej wymiany powietrza. W dłuższej perspektywie prowadzić to może do wychładzania się pomieszczeń, ale też zawilgocenia ścian zewnętrznych budynku. W przypadku rozpatrywanego obiektu ma to duże znaczenie – wełna mineralna po zawilgoceniu może stracić część swoich właściwości termoisolacyjnych. Dlatego na etapie montażu okien wszelkie połączenia z ościeżami wymagają bardzo dokładnego uszczelnienia dwuetapowego – z wykorzystaniem pianki poliuretanowej oraz technologicznych taśm uszczelniających.

Rozwiązania instalacyjne

Źródłem ciepła dla rozpatrywanego budynku jest pompa ciepła powietrze/woda o mocy grzewczej 6,0 kW (dla A7/W35). Z uwagi na niewielkie zapotrzebowanie na energię do ogrzewania budynku i dla zapewnienia poprawnej pracy pompy ciepła przyjęto układ buforowy o poj. 150 dm³ zamontowany na pętli powrotnej.

Na etapie montażu wodnego ogrzewania podłogowego warto zwrócić uwagę na po-



Fot. 3. Elewacja południowa budynku pasywnego

Fot. autora

prawne wykonanie izolacji systemowej, czyli płyt z naklejoną warstwą folii aluminiowej – stanowi ona nie tylko izolację przeciwwilgociową, ale też ekran termiczny. Warstwa folii aluminiowej chroni materiał termoizolacyjny podłogi na gruncie przed wodą z betonu przykrywającego rury grzewcze. W tym przypadku dziesięciocentymetrowe zakładki sklejać dodatkowo taśmą samoprzylepną. W podłodze na gruncie powinna się znaleźć również druga, właściwa izolacja przeciwwilgociowa – chroniąca przed podciąganiem kapilarnym wody gruntowej. Montaż rur wodnego ogrzewania podłogowego wykonano w rozstawie 25 cm, przyjęto rury z warstwą antydyfuzyjną, uniemożliwiającą przenikanie tlenu – wydłużając w ten sposób żywotność instalacji.

Wentylację mechaniczną wykonano z rur PEHD o średnicy zewnętrznej 75 mm – montaż podstropowy, nawiew-wywiew przez sufit. Aby zapewnić odzysk wilgoci z powietrza wy-

wiewanego, zamontowano rekuperator z wymiennikiem entalpicznym. Bilans powietrza wentylującego przyjęto na poziomie 172 m³/h, co odpowiada wymianie 0,4 kubatury w ciągu godzinny. Przy takim rozwiązaniu zyskujemy nie tylko właściwą wymianę powietrza, adekwatną do liczby osób przebywających w budynku (pięć), utrzymujemy również wilgotność względną powietrza na stałym poziomie.

Podsumowanie

Decydując się na budowę domu pasywnego, warto zwrócić uwagę nie tylko na poprawne kryteria projektowe, ale również na staranny dobór materiałów, właściwe wykonanie przegród oraz okresową weryfikację zastosowanych rozwiązań. Dobry projekt jest podstawowym elementem każdej inwestycji tego typu. Powstaje wtedy bowiem najmniej błędów, a realizacja przebiega szybko i starannie. Na etapie stanu surowego zamkniętego warto wykonać badanie szczelności budynku metodą *blower door*, co pozwala wykryć potencjalne nieszczelności i szybko je usunąć. Zaleca się sprawdzić ochronę termiczną budynku, przeprowadzając badanie kamerą termowizyjną.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2002, nr 75, poz. 690, z późn. zm.).
2. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (DzU 1994, nr 89, poz. 414, z późn. zm.).
3. Kasperkiewicz Krzysztof, *Termomodernizacja budynków*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.