

mgr inż. Bartosz Witkowski^{1*)}

ORCID: 0000-0003-1953-9965

prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz¹⁾

ORCID: 0000-0001-6320-9539

Budynek pasywny – podstawowe zasady

Passive house – basic principles

DOI: 10.15199/33.2022.01.03

Streszczenie. Budownictwo pasywne to takie, w którym straty ciepła są ograniczone i dlatego nie jest konieczny osobny system ogrzewania. W budynku pasywnym muszą być zastosowane odpowiednie rozwiązania projektowe i zachowana doskonała jakość wykonania. W artykule przedstawiono pięć głównych zasad budownictwa pasywnego wraz z argumentacją i wyjaśnieniem korzyści, które niosą i pozwalają osiągnąć danemu obiektowi standard budynku pasywnego.

Słowa kluczowe: budownictwo pasywne; izolacja termiczna; mostki termiczne; okna; szczelność powietrzna powłoki budynku; wentylacja z odzyskiem ciepła.

Abstract. Passive house is the highest form of energy-saving construction. It's main idea is that heat losses in the building will be limited to such an extent that a separate heating system will not be necessary. However, for this to be fulfilled, appropriate design solutions with the highest quality of execution must be applied. This article introduces the five main principles of passive house together with argumentation and explanation of the benefits that they bring and allow a given facility to achieve the passive house standard.

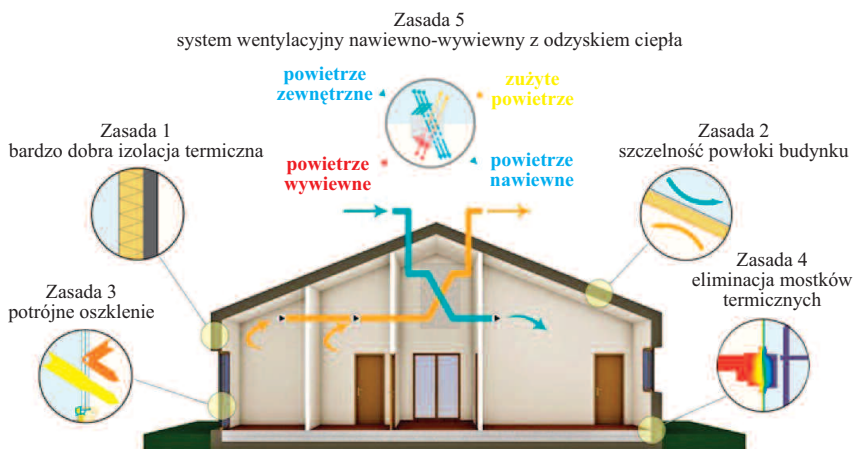
Keywords: passive houses; thermal insulation; thermal bridges; windows; airtightness of the building envelope; ventilation with heat recovery.

Terminem budownictwo pasywne określa się budownictwo energooszczędne, o bardzo małym zapotrzebowaniu na ciepło do ogrzewania, bez użycia grzejników. Samo pojęcie „pasywny” należy rozumieć jako przeciwstawienie się aktywnemu systemowi ogrzewania, opartemu na spalaniu paliw nieodnawialnych. Ideą budynku pasywnego jest zapewnienie jego użytkownikom komfortu klimatycznego zarówno latem, jak i zimą, czyli w okresie, gdy ciepło jest zapewnione przez pasywne źródła ciepła oraz ciepło odzyskane z wentylacji.

Koncepcja budynku pasywnego narodziła się jako odpowiedź na potrzebę pogodzenia efektywności energetycznej budynku, optymalnego komfortu termicznego, bardzo dobrej jakości powietrza w pomieszczeniach i oszczędzania zasobów naturalnych. W efekcie wykreowano pięć podstawowych filarów (rysunek 1), które towarzyszą już od etapu projektowania budynków pasywnych [1, 5].

Bardzo dobra izolacja termiczna

Zastosowana izolacja termiczna stanowi główny czynnik ochrony cieplnej budynku i ma bezpośredni wpływ na pozostałe zapotrzebowanie na ciepło. Opty-



Rys. 1. Pięć zasad budownictwa pasywnego
Fig. 1. Five principles of a passive house

malną ochronę cieplną najłatwiej osiągnąć przy możliwie niewielkiej powierzchni zewnętrznej, a w efekcie przy jak najbardziej zwartej bryle budynku. Nie oznacza to jednak, że konieczna jest rezygnacja z elementów architektonicznego kształtowania bryły, ponieważ

wszelkie nowe możliwości mogą zostać zastosowane poza powłoką termiczną oraz w samym jej wnętrzu [1]. Zwarta bryła budynku zapewnia jednak mniejsze koszty inwestycyjne przez brak konieczności stosowania dodatkowego ograniczenia strat ciepła. W tabeli 1 przedsta-

Tabela 1. Porównanie współczynników przenikania ciepła i szacowanej grubości izolacji w budynkach pasywnych wg WT 2021

Table 1. Comparison of heat transfer coefficients and estimated insulation thickness in passive houses according to WT 2021

Rodzaj przegrody	Budynek pasywny		Nowe budownictwo wg WT 2021	
	współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m ² · K)]	szacowana grubość izolacji [cm]	współczynnik przenikania ciepła U_c [W/(m ² · K)]	szacowana grubość izolacji [cm]
Dach	≤ 0,15	20 – 40	≤ 0,15	20 – 40
Okna	≤ 0,80	–	≤ 0,90	–
Ściana zewnętrzna	≤ 0,15	20 – 30	≤ 0,20	15 – 20
Płyta fundamentowa	≤ 0,15	15 – 30	≤ 0,30	10 – 15

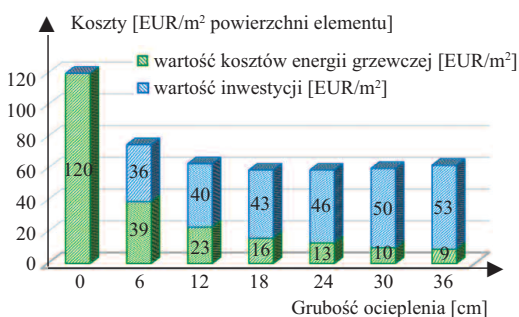
¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Adres do korespondencji: bartosz.witkowski@pwr.edu.pl

wiono wymagania dotyczące izolacji cieplnej przegród w budynkach pasywnych, a także w budynkach zaprojektowanych wg Warunków Technicznych obowiązujących od 01.01.2021 r. [1, 6].

Z analizy tabeli 1 wynika, że wymagania dotyczące nowego budownictwa wg WT 2021 nie odbiegają znacznie od wymagań, którym powinny odpowiadać budynki pasywne. Mimo wszystko w przypadku budynków pasywnych są bardziej restrykcyjne, co oznacza, że do zaizolowania przegrody zewnętrznej konieczna będzie grubsza warstwa izolacji termicznej lub materiał o korzystniejszym współczynniku przewodzenia ciepła λ [W/(m x K)].

Passivhaus Institut w Darmstadt, na podstawie powstałych już budynków pasywnych w Niemczech, dokonał analizy zależności kosztów energii grzewczej i inwestycji od grubości ocieplenia (rysunek 2). Wynika z niej, że optymalny zakres grubości izolacji termicznej wynosi 18 – 30 cm. Z zastosowaniem grubszej warstwy izolacji, wartość inwestycji nie jest już tak skutecznie równoważona przez oszczędności wynikające z mniejszych kosztów energii grzewczej. Należy zatem mieć na uwadze, że bardziej opłacalne będzie niekiedy zastosowanie izolacji o współczynniku przewodzenia ciepła $\leq 0,040$ W/(m x K) [2].



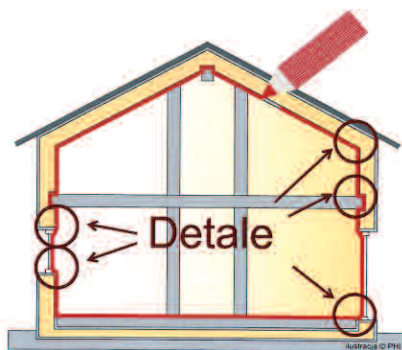
Rys. 2. Zależność kosztów względem grubości ocieplenia. Źródło: Passivhaus Institut
Fig. 2. Cost dependence on insulation thickness

Szczelność powłoki budynku

Wiele szkód budowlanych jest spowodowanych przez nieszczelności w budynku. Przepływ powietrza z zewnątrz do wnętrza budynku przez szczeliny może spowodować wdmuchiwanie wody opadowej do konstrukcji. Natomiast przy przepływie strumienia z wewnątrz na zewnątrz budynku ciepłe, wilgotne powietrze z pomieszczenia oziębia się, przeni-

kając przez nieszczelności. W efekcie zmienia się jego wilgotność, gdyż zimne powietrze może zaabsorbować tylko niewielką ilość pary wodnej. Prowadzi to do skraplania się nadmiaru wilgoci, która wnika w szczeliny i powoduje zawilgocenie konstrukcji. Poza znacznymi szkodami, szczeliny powodują także pogorszenie ochrony przeciwdźwiękowej oraz zwiększone straty ciepła [1, 3].

W budynkach pasywnych wymiana powietrza jest zapewniona nie przez szczeliny, lecz wentylację mechaniczną. Z tego powodu wymagana jest ich duża szczelność. W projekcie stosuje się zasadę tzw. flamastra, co w skrócie oznacza, że jedna szczelna powietrznie powłoka budynku otacza całą ogrzewaną kubaturę budynku (rysunek 3).



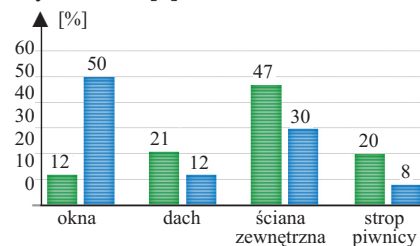
Rys. 3. Schemat przedstawiający zasadę tzw. flamastra. Źródło: Passivhaus Institut
Fig. 3. Diagram showing the principle of the so-called marker pen

Kontroli szczelności budynku można dokonać za pomocą testu szczelności, np. Blower Door Test. Polega on na zamontowaniu w otworze drzwiowym elastycznej membrany z wentylatorem, który ma za zadanie utrzymać w całym budynku podciśnienie 50 Pa. Pomiar określa ilość powietrza napływającego przez nieszczelności. Wartością graniczną szczelności powietrznej budynku pasywnego jest $n_{50} = 0,6$ h⁻¹, gdzie „n” oznacza liczbę wymiany powietrza w budynku w ciągu jednej godziny, jeśli różnica ciśnienia wewnątrz i na zewnątrz budynku wynosi 50 Pa [4, 5].

Potrójne oszklenie

Okna w budynkach pasywnych odgrywają bardzo ważną rolę w wyrównaniu strat ciepła przez pasywne uzyskanie energii słonecznej. Ważne jest jednak, aby stosować się do zasad projek-

towych, które ograniczają dowolne rozmieszczenie przeszkleń w budynku. W Europie Środkowej budynki wymagają w bardzo małym stopniu aktywnego dogrzania w okresie od marca do listopada, ale jednocześnie nie wykazują dalszego zużycia ciepła. Ogólną sytuację komplikują miesiące zimowe, kiedy niskiej temperaturze towarzyszy także niski poziom nasłonecznienia, a co za tym idzie w tym okresie straty ciepła są największe. Na rysunku 4 przedstawiono udział powierzchni przegród wraz z udziałem strat ciepła przez przenikanie w budynku pasywnym. Z danych przedstawionych przez Passivhaus Institut w Darmstadt wynika, że okna pomimo niewielkiego udziału (12%) w powierzchni wszystkich ogrzewanych przegród zewnętrznych, generują przeszło połowę strat ciepła w wyniku przenikania. Zatem, nawet najlepsze transparentne przegrody mają wyraźnie większą przewodność cieplną w porównaniu z nieprzezroczystymi ścianami czy dachami [1].



Rys. 4. Udział [%] powierzchni danej przegrody wraz z udziałem strat ciepła przez przenikanie w budynku pasywnym. Źródło: Passivhaus Institut

Fig. 4. Share [%] of the area of a given partition together with the share of heat losses from infiltration in a passive house

W budownictwie pasywnym wykorzystuje się okna z potrójnym szkleniem, z dwoma warstwami redukującymi przepływ ciepła, wypełnionymi argonem lub kryptonem, o współczynniku $U_g = 0,6 \div 0,8$ W/(m² x K). Dzięki takim parametrom, temperatura powierzchni wewnętrznej okna jest zbliżona do temperatury powietrza w pomieszczeniu. W efekcie zwiększa się komfort termiczny użytkownika i nie ma konieczności stosowania grzejników pod oknami. W klimacie środkowoeuropejskim okna o wskazanych parametrach, skierowane na południe i o niewielkim zacieleniu, dają także w okre-

sie zimowym większe zyski ciepła pochodzącego z energii słonecznej niż straty [1, 5]. Warto dodać, że w budynkach pasywnych okna montuje się w warstwie ocieplenia przegrody. Wynika to z dużo niższej temperatury powierzchni ramy okna w porównaniu z temperaturą powierzchni szkła. Zatem, aby okno o tak dobrych parametrach spełniło swoje zadanie i minimalizowało straty ciepła przez przenikanie, należy zastosować tzw. ciepły montaż.

Eliminacja mostków termicznych

Mostki termiczne to miejsca w budynku, skąd ucieka ciepło. W budynkach pasywnych najczęściej występują one w narożach, przyłączach i przejściach instalacji oraz stykach materiałów o różnej przewodności cieplnej. W wyniku dokładnego i starannego projektu oraz rzetelnego wykonania można jednak w znacznym stopniu ograniczyć straty ciepła spowodowane mostkami termicznymi. W budownictwie pasywnym należy przede wszystkim unikać konstrukcyjnych przebiegów przez powłokę termiczną, gdyż powstaje wtedy tzw. żebro chłodzące, w wyniku którego następują duże straty ciepła. Z [1] wynika, że w celu ograniczenia strat z tytułu mostków termicznych należy się stosować do czterech reguł przedstawionych w tabeli 2.

Tabela 2. Reguły ograniczające mostki termiczne [1]

Table 2. Rules limiting thermal bridges [1]

Nazwa i nr reguły	Treść reguły
1. Reguła unikania	w miarę możliwości nie przerywać warstwy izolacyjnej
2. Reguła przenikania	jeśli przerwanie warstwy izolacyjnej jest nieuniknione, należy zadbać o to, aby opór cieplny materiału izolacyjnego był możliwie duży, np. przez zastosowanie betonu komórkowego lub drewna
3. Reguła połączenia	odpowiednie warstwy izolacji należy łączyć ze sobą w sposób ciągły pełną powierzchnią przekroju
4. Reguła geometryczna	wybierać krawędzie o kątach możliwie rozwartych

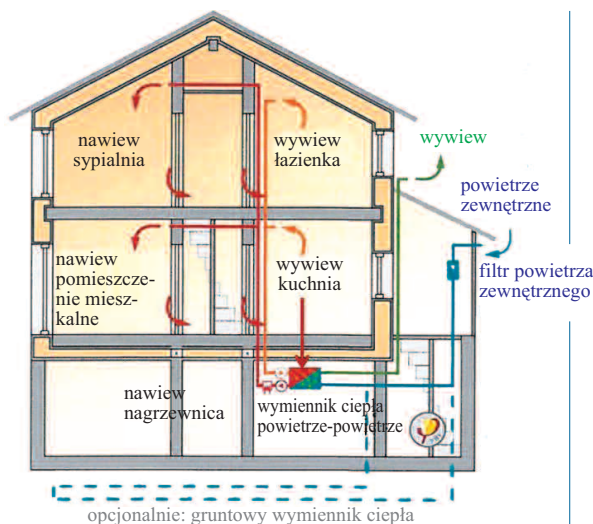
System wentylacyjny nawiewno-wywiewny z odzyskiem ciepła

Świeże powietrze jest podstawą komfortu i dobrego samopoczucia użytkowników budynku. W budynku tradycyjnym naturalnym odruchem w celu zaczerpnięcia świeżego powietrza jest wietrzenie budynku za pomocą otwartych okien. Jest to jednak sposób niekiedy niewystarczający, ponieważ wietrzenie odbywa się przez wytworzenie przeciągu w określonym i ograniczonym kie-

runku. Sposób ten sprawdzi się latem w klimacie umiarkowanym, gdy temperatura zewnętrzna w nocy jest niższa niż panująca wewnątrz budynku. Problem pojawia się jednak w klimacie gorącym i wilgotnym, kiedy wentylacja naturalna nie spełnia swojej roli. Wietrzenie zarówno przez nieszczelności, jak i przez okna jest w dużej mierze przypadkowe i nie może stanowić jedynej formy wentylacji w budynkach pasywnych [1, 2].

Miarą dobrej wentylacji jest także stężenie dwutlenku węgla w powietrzu, które powinno być mniejsze niż 0,1% [1]. Oznacza to konieczność zapewnienia jednej osobie 25 – 30 m³ świeżego powietrza na godzinę. Wentylacji naturalnej nie można dostosować do potrzeb, ponieważ jej efektywność zależy od warunków atmosferycznych. W budynkach pasywnych nie wystarczy także zastosowanie wyłącznie wentylatorów, zapewniających wywiew zużytego powietrza z pomieszczeń typu łazienka, toaleta czy kuchnia, ponieważ będą one generowały zbyt duże straty ciepła, jak na standard budynku pasywnego. Z tego powodu stosuje się także rekuperację,

czyli odzysk ciepła z powietrza wywiewanego (rysunek 5). Ciepło zawarte w powietrzu wywiewanym z pomieszczeń, w których mogą powstawać nieprzyjemne zapachy, tj. kuchnia, łazienka, służy do wstępnego podgrzania świeżego powietrza z zewnątrz, które następnie jest nawiewane do pomieszczeń mieszkalnych i sypialni. Warto podkreślić, że **odzysk ciepła musi być niezwykle efektywny**. W budynkach pasywnych sprawność takich urządzeń powinna wynosić **co najmniej 75%**.



Rys. 5. Schemat pracy wentylacji nawiewno-wywiewnej z rekuperacją

Źródło: Passivhaus Institut

Fig. 5. Scheme of work of supply and exhaust ventilation with recuperation

Jej osiągnięcie jest możliwe w przypadku zastosowania dużych przeciwprądowych wymienników ciepła lub kilkakrotnych wymienników krzyżowych [1, 5].

Podsumowanie

Budownictwo pasywne jest nową dziedziną budownictwa energooszczędnego. Jego początki sięgają pierwszej połowy lat 90. ubiegłego wieku, kiedy to w dzielnicy Kranichstein w Darmstadt oddano do użytkowania pierwszy wielorodzinny dom pasywny. W Polsce jest to nadal nowa idea. Wymaga ona dużej konsekwencji od etapu projektowania, przez odpowiedni dobór materiałów i realizację, po eksploatację budynku. Budynek pasywny to nie tylko oszczędność energii podczas eksploatacji, ale także duży komfort termiczny wewnątrz pomieszczeń, brak przeciągów oraz świeże powietrze. Budynek pasywny to budynek, którym jesteśmy w stanie zarządzać, mając ku temu odpowiednie narzędzia.

Literatura

- [1] Feist W. 2006. *Podstawy budownictwa pasywnego*. Polski Instytut Budownictwa Pasywnego.
- [2] Nesi F., S. Maggioni. 2017. „Passivhaus” p.A.,
- [3] Walsh E. 2020. „Understanding Passivhaus”, Emma Walsh First In Architecture.
- [4] www.pibp.pl.
- [5] www.passiv.de.
- [6] www.archipelag.pl.

Przyjęto do druku: 15.12.2021 r.