

mgr inż. Jerzy Żurawski*

Projektowanie i wykonywanie budynków o radykalnie niskiej charakterystyce energetycznej

Design and construction buildings of extremely low energy performance characteristics

W 2011 r. **Marek Janikowski** – wójt niewielkiej wiejskiej gminy Stoszowice k. Ząbkowic Śląskich, wraz z zastępcą – **Krzysztofem Nieborą** podjęli niezwykle odważną decyzję budowy nowej gminnej szkoły podstawowej w Budzowie. Nie byłoby w tym nic niezwykłego, gdyby nie to, że zaplanowano budowę pierwszej w Polsce szkoły o pasywnej charakterystyce energetycznej.

Parametry izolacyjne przegród budowlanych

W budynku przyjęto następujące maksymalne wymagania dotyczące współczynnika przenikania ciepła U :

- ścian zewnętrznych $\leq 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- podłogi na gruncie $\leq 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- dachu $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- stolarki okiennej: przeszklenie $\leq 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$; rami $\leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- drzwi zewnętrznych $\leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$.

W rozwiązaniach detali konstrukcyjnych zastosowanych w budynku nie powinny występować mostki cieplne $\Psi_e \leq 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$, a szczelność budynku powinna spełniać warunek $n_{50} \leq 0,6 \text{ 1/h}$.

Przyjęcie takich wymagań bez uwzględnienia interakcji pomiędzy zyskami i stratami ciepła w budynku jest nieprawidłowe. Wartości graniczne współczynników przenikania ciepła powinny być traktowane jako pomocnicze do uzyskania oczekiwanego zużycia energii użytkowej (EU) i energii pierwotnej (EP). Traktowanie obligatoryjnie podanych wartości nie uwzględnia interakcji pomiędzy stratami a zyskami ciepła w budynku. Należy za-

* Dolnośląska Agencja Ochrony Środowiska, Stowarzyszenie Agencji i Fundacji Poszanowania Energii SAPE

uważyć, że weryfikacji powinien być poddawany raczej współczynnik strat ciepła H_{tr} , który uwzględni wpływ wszystkich mostków cieplnych na jakość izolacyjną przegród np. w odniesieniu do 1 m^2 powierzchni lub kubatury ogrzewanej ($U_{Af} = H_{tr}/A_f$).

Zapotrzebowanie na ciepło

Charakterystyka energetyczna budynku powinna potwierdzać osiągnięcie standardu pasywnego, czyli:

- wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową EU do ogrzewania i wentylacji $EU \leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{r}$;
- wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną EP do ogrzewania, przygotowania ciepłej wody użytkowej, klimatyzacji, pracy urządzeń pomocniczych, oświetlenia, sprzętów AGD i RTV oraz innych elementów wyposażenia budynku zużywających energię $EP \leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{r}$.

Spełnienie wymagań dotyczących EU i EP jest nadrzędne w stosunku do wymagań szczegółowych, które powinny być traktowane jako pomocnicze.

Na etapie projektowania budynku wykonano obliczenia, które potwierdziły, że **energia użytkowa EU = 14,72 kWh/m²r.**, a **energia pierwotna EP = 103 kWh/m²r.**

Instalacja grzewcza, chłodnicza i oświetlenie

W obiekcie szkoły zaprojektowano **system odzysku ciepła** o średniej sprawności 83% rocznie. Maksymalne zapotrzebowanie na moc grzewczą nie powinno przekraczać 10 W/m^2 . Budynek szkoły miał być ustawiony tak, aby można wykorzystać jak najwięcej pasywnych zysków od słońca. Założenia

tego nie spełniono, gdyż przyjęto usytuowanie przegród przezroczystych na wschód i zachód.

W celu zabezpieczenia budynku przed przegrzewaniem w okresie letnim przewidziano zastosowanie central wentylacyjnych z odzyskiem ciepła wykonanych z wykorzystaniem najnowszych rozwiązań technicznych. **System wentylacji** jest systemem grzewczym w zimie, a w czasie chłodzenia będzie umożliwiał schładzanie powietrza. Przyjęty system grzewczo-chłodniczy budzi wątpliwości. Samo schładzanie powietrza nie wystarczy, konieczne jest równoczesne regulowanie wilgotności.

Należy podkreślić, że w wytycznych do projektowania budynków pasywnych nie ma wymagań szczegółowych dotyczących sprawności systemu grzewczego. Wydaje się jednak, że są to ważne parametry i byłyby pomocne przy projektowaniu. Najważniejsze jest jednak spełnienie warunków ogólnych EU i EP.

Oświetlenie w budynku pasywnym musi być bardzo energooszczędne, ponieważ istotny jest jego wpływ na wartość EP. W szkole w Budzowie zastosowano nowoczesne świetlówki rurowe, które podczas pracy nie generują dużej ilości ciepła. Podczas projektowania należało uwzględnić wpływ oświetlenia na bilans zysków ciepła i konieczność chłodzenia latem.

Dostępne wytyczne dotyczące budynków pasywnych nie opisują szczegółowo wymaganych parametrów oświetlenia. W przyszłości zagadnienia te powinny być precyzyjnie opisane w kontekście różnorodnego oddziaływania oświetlenia na jakość higieniczną i energetyczną pomieszczeń.

Realizacja inwestycji

Zaprojektowany budynek charakteryzuje się bardzo dużą pojemnością cieplną wynoszącą $C_m = 703$ mln J/K i stałą czasową $\tau_{m,H} = 498$ h dla okresu grzewczego i 48 mln J/K oraz $\tau_{m,C} = 447$ h. Oznacza to, że już po pierwszym okresie eksploatacji budynek będzie się trudno poddawał zmianom w zakresie dostarczania ciepła lub chłodu. System zarządzania energią powinien być powiązany z systemem prognozowania pogody wybiegającym do przodu o co najmniej cztery dni, co jest niemożliwe.

W wyniku przetargu wyłoniono wykonawcę, który rozpoczął prace we wrześniu 2011 r. Ściany fundamentowe ocieplono styropianem XPS grubości 25 cm, podłogę na gruncie – pianką PIR grubości 30 cm. W celu uniknięcia mostków montażowych występujących między płytami przewidziano układanie izolacji w trzech warstwach mijankowo. Podobną metodę wykorzystano przy wykonywaniu izolacji dachu.

Przegrody wykonano z cegły silikatowej i ocieplono styropianem z dodatkiem grafitu ($\lambda = 0,031$ W/mK) grubości 32 cm, a dach żelbetowy ocieplono płytami styropianowymi grubości ok. 50 cm. W tabeli 1 podano parametry izolacyjne poszczególnych przegród (wg projektu), a w tabeli 2 charakterystykę energetyczną przegród przezroczystych.

Całkowity współczynnik strat ciepła przez przegrody wynosi:

$$H_{tr} = H_{tr, przegród} + H_{tr, okna i drzwi} = 128,56 + 130,18 = 258,74 \text{ W/K.}$$

$$H_{tr}/A = 258,74/821,46 = 0,315 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Jest to wartość bardzo niska, świadcząca o bardzo dobrej izolacyjności termicznej, jednak w stosunku do powierzchni ogrzewanej wartość ta nie jest już tak korzystna (tabela 1). W przypadku aktualnie projektowanych budynków wartość H_{tr}/A wynosi 0,5 – 1,0 W/m²K. Wydaje się, że jest to dobry wskaźnik oceny, uwzględniający wszystkie elementy mające wpływ na straty ciepła przez przegrody.

Szkołę w Budzowie zaprojektowano o radykalnie obniżonej charakterystyce energetycznej nawet w stosunku do wymagań dotyczących budynków pasywnych. Roczne jednostkowe zapo-

trzebowanie na energię użytkową, końcową i nieodnawialną przedstawiono w tabelach 3, 4, 5. Należy zauważyć, że urządzenia pomocnicze stanowią aż 20% całkowitego zużycia energii pierwotnej nieodnawialnej. Jest to stosunkowo duża wartość.

Założenia przyjęte na etapie projektu zostały spełnione. Pojawia się jednak pytanie – czy zdecydowane prze-

wymiarowanie parametrów izolacyjnych budynku nie przyniesie niepożądanych skutków podczas chłodzenia? Wydaje się, że pierwsze dni września potwierdziły te obawy. Użytkownicy wielokrotnie zgłaszali występowanie zbyt wysokiej temperatury powietrza wewnętrznego oraz „zaduchu” w pomieszczeniach szkoły. Jednak pomiary wykonane przez pracowników Poli-

Tabela 1. Charakterystyka energetyczna parametrów izolacyjnych przegród szkoły pasywnej w Budzowie

Rodzaj przegrody	Współczynnik przenikania ciepła U [W/m ² K]	Powierzchnia A [m ²]	H _{tr} przegrody [W/K]	H _{tr} mostków liniowych [W/K]	H _{tr} łączne [W/K]	fRsi**
Dach	0,067	537,16	35,99	1,90	37,89	0,99*
Podłoga na gruncie	0,082*	466,40	16,32	0,00	16,32	0,99*
Strop nad przejazdem	0,085	39,00	3,32	0,00	3,32	0,99*
Ściana zewnętrzna	0,092	727,44	66,92	-1,83	65,10	0,99*
Ściana zewnętrzna	0,098	60,51	5,93	0,00	5,93	0,99*
RAZEM	0,082*	1830,51	128,48	0,07	128,56	0,99*

* Wartość średnioważona po powierzchni

** Ryzyko zagrzybnienia nie występuje w przypadku fRsi > 0,72

Tabela 2. Charakterystyka energetyczna przegród przezroczystych szkoły pasywnej w Budzowie

L.p.	Współczynnik przenikania ciepła U [W/m ² K]	g _c	Powierzchnia A [m ²]	H _{tr} otworu [W/K]	H _{tr} mostków liniowych [W/K]	H _{tr} łączne [W/K]
1	0,750	0,55	7,02	5,26	0,47	5,74
2	0,800	0,50	123,35	98,68	12,14	110,82
3	1,000	0,55	11,52	11,52	0,82	12,34
4	1,500	0,64	0,64	0,96	0,32	1,28
RAZEM	0,817*	0,51*	142,53	116,42	13,75	130,18

* Wartość średnioważona po powierzchni

Tabela 3. Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową

Wskaźnik zapotrzebowania	Ogrzewanie i wentylacja	Chłodzenie	Ciepła woda użytkowa	Urządzenia pomocnicze	Oświetlenie wbudowane	Suma
Wartość [kWh/(m ² r.)]	3,16	27,83	16,92	–	–	47,91
Udział [%]	6,60	58,09	35,31	–	–	100,00

Tabela 4. Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię końcową

Wskaźnik zapotrzebowania	Ogrzewanie i wentylacja	Chłodzenie	Ciepła woda użytkowa	Urządzenia pomocnicze	Oświetlenie wbudowane	Suma
Wartość [kWh/(m ² r.)]	0,92	8,38	5,29	4,84	4,34	23,77
Udział [%]	3,88	35,27	22,24	20,34	18,27	100,00

Tabela 5. Roczne jednostkowe zapotrzebowanie na energię nieodnawialną pierwotną

Wskaźnik zapotrzebowania	Ogrzewanie i wentylacja	Chłodzenie	Ciepła woda użytkowa	Urządzenia pomocnicze	Oświetlenie wbudowane	Suma
Wartość [kWh/(m ² r.)]	2,77	25,15	15,86	14,51	13,03	71,31
Udział [%]	3,88	35,27	22,24	20,34	18,27	100,00

techniki Krakowskiej w październiku 2012 r. przy temperaturze zewnętrznej 17°C i maksymalnej wymianie powietrza (ok. 4000 m³/h, co stanowi średnio ok. 1,5 wym./h) nie potwierdziły wątpliwości. Aby ostatecznie ocenić zastosowane rozwiązania, należy przeprowadzić szczegółowe, co najmniej roczne, pomiary temperatury, wilgotności oraz innych czynników kształtujących klimat wewnętrzny.

W pomieszczeniach szkoły sukcesywnie będą wykonywane badania temperatury, wilgotności oraz termowizyjne temperatury przegród na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń w celu potwierdzenia lub wyeliminowania wątpliwości dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych przegród oraz klimatu w budynku.

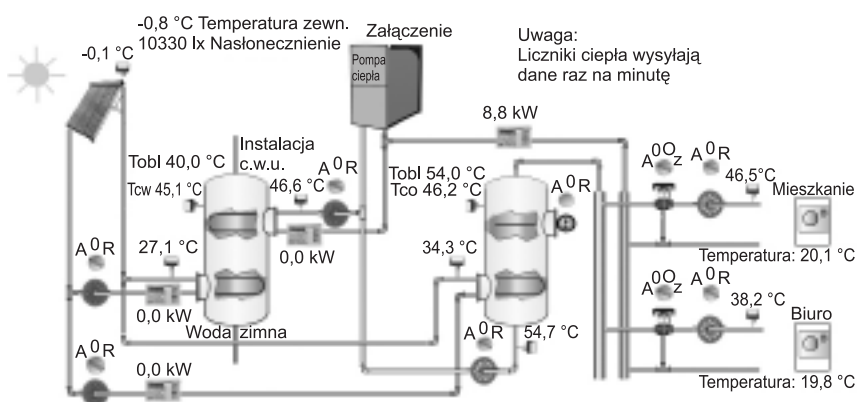
Montaż istotnych elementów budynku

Zastosowane rozwiązania wymagały od wykonawcy należytej staranności podczas realizacji inwestycji. Zaplanowano różne etapy weryfikacji jakości:

- szczegółowa weryfikacja projektu budowlanego;
- standardowa kontrola materiałów i robót w ramach nadzoru budowlanego;
- wstępna próba ciśnieniowa z wykorzystaniem gazu znacznikowego wraz z pomiarami termowizyjnymi;
- ostateczna próba ciśnieniowa z wykorzystaniem gazu znacznikowego;
- kontrolne pomiary termowizyjne jakości izolacji termicznej przegród zimną.

Szczególnie zwracano uwagę na szczelność budynku, którą zaprojektowano na bardzo niskim poziomie, tj. próba szczelności dla n_{50} powinna być mniejsza od wartości 0,2 wym/h. Wymagania dotyczące domów pasywnych są znacznie łagodniejsze i wynoszą nie więcej niż 0,6 wym/h. Na etapie realizacji dopilnowano szczelności wszystkich przebić i przejść przez konstrukcję oraz należytego montażu stolarki.

Jednocześnie przy wyborze rozwiązań stolarki wykorzystano etykietowanie energetyczne, które pozwoliło wybrać najlepsze rozwiązania. Zastosowano okna wykonane z profili energeto[®] 8000 „foam inside” o $U_f = 0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$, szyby



Schemat kotłowni w budynku biurowo-mieszkalnym

Climatop LUX o współczynniku przenikania ciepła $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ z ramką dystansową Swisspacer o liniowym współczynniku przewodzenia ciepła $\psi = 0,032 \text{ W/mK}$. Ostatecznie wzorcowe okno charakteryzowało się współczynnikiem przenikania ciepła $U_w = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ i wartością $g = 0,7 \cdot 0,62 = 0,43$. Wskaźnik energetyczny $E = 49,5 \text{ kWh/m}^2\text{r}$ klasyfikuje okno w najwyższej klasie – A.

Podsumowanie

W Polsce wykonano już kilka budynków o pasywnej charakterystyce energetycznej. Były to głównie budynki mieszkalne lub budynki o małej dynamice wewnętrznych zysków ciepła. Na ogół przedstawiane są jako rozwiązania niemal idealne. Dłuższe doświadczenia eksploatacyjne wykazują jednak pewne mankamenty i nie chodzi tu o krytykowanie, lecz o weryfikację przyjętych rozwiązań. Postawa taka w oczach zwolenników domów pasywnych jest oznaką zacofania, co wielokrotnie prezentowali podczas swoich wystąpień. Należę do tych, którzy używają taki budynek, posiadający zarówno część biurową, jak i mieszkalną. Budynek jest opomiarowany (rysunek). Dzięki temu mamy niezbędne parametry do oceny budynku. W okresie zimowym w części biurowej zdarzają się dni, podczas których temperatura wewnętrzna przewyższała nawet 24°C, ale łatwo można ją skorygować. Natomiast późną wiosną, w lecie oraz wczesną jesienią temperatura przewyższała nawet 28°C. Potrzebne były więc dodatkowe rozwiązania, które pozwoliły poprawić komfort środowiska wewnętrznego. Wybudowana szkoła o pasywnej charakterystyce energetycznej w Budzowie będzie dobrym po-

ligonem doświadczalnym. Potrzeba co najmniej całorocznych obserwacji i doświadczeń w celu potwierdzenia poprawności zastosowanych rozwiązań bądź ich weryfikacji, aby w przyszłości wznosić budynki optymalne energetycznie, dostosowane do polskich warunków klimatycznych i zwyczajów użytkowników. Koszty budowy budynków pasywnych są wyższe o 20 – 30% i zależą od wielu czynników. W wielu wypadkach czas zwrotu poniesionych nakładów jest dłuższy niż trwałość ocenianych elementów (...). Należałoby więc obliczyć LCA i rozważyć sensowność wprowadzania takich rozwiązań. Sprawa nie jest prosta, a prezentowane stanowisko jest próbą zrównoważenia wyłącznie pozytywnych opinii o budynkach pasywnych, często o zdecydowanie marketingowym zabarwieniu.

Abstract

Passive building designing requires good knowledge of many interdisciplinary issues that have a significant impact on the end result—the creation of an energy-efficient building. Energy-efficient building designing is more than just designing an appropriate thermal insulation or the use of heat pumps and mechanical ventilation with recuperation. Energy analysis of a building, performed on the designing stage, should take into account the dynamics of internal heat gains, heat capacity and sustainability of heat gains and losses during the heating and cooling season. This article is an attempt to supplement the available knowledge on the design and construction of energy efficient buildings and passive houses, as well as lessons learned from the implementation and operation of the school of passive energy performance.