

# Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny

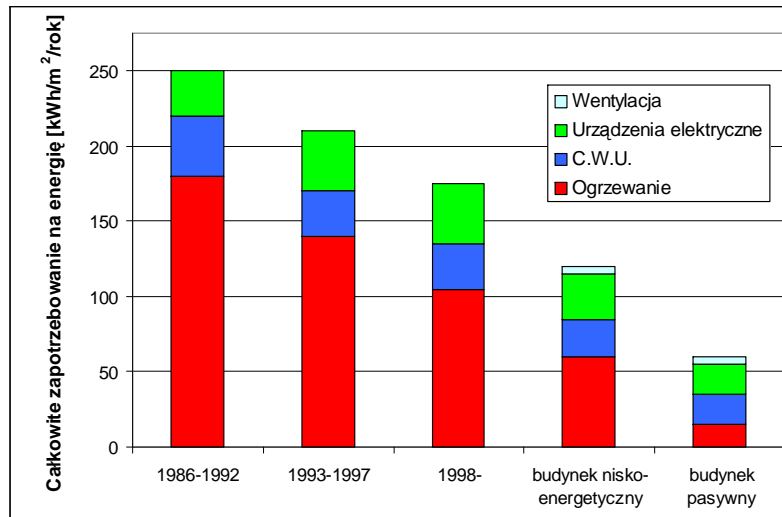
*Marcin Idczak, Szymon Firląg*  
*Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A.*  
*ul. Filtrowa 1, 00-611 Warszawa*  
*www.ibp.com.pl*

## **Wprowadzenie**

Polityka zrównoważonego rozwoju, zapisana obecnie w ustawach zasadniczych większości państw świata stawia przed współczesnymi inżynierami nowe zadania, z których najważniejszym jest zapewnienie przyszłym pokoleniom równych szans rozwoju. Sposobem realizacji tego zadania jest minimalizacja zapotrzebowania na energię – w tym w warunkach Europy Północnej i Wschodniej przede wszystkim na energię dla celów grzewczych. Dlatego w wielu krajach europejskich i w Polsce podejmowane są działania zmierzające do racjonalizacji wykorzystania energii, zastosowania jej odnawialnych źródeł i wdrażania nowych, wysokoefektywnych technologii. Jednym z rezultatów tych działań, spełniającym jednocześnie wszystkie wymienione kryteria są budynki pasywne (Firląg 2005).

Budynek pasywny, to budynek, w którym warunki komfortu cieplnego mogą być osiągnięte bez zastosowania aktywnych systemów grzewczych lub klimatyzacyjnych. Dom ogrzewany jest w sposób pasywny oraz poprzez dogrzewanie powietrza wentylacyjnego. Uwarunkowane jest to sezonowym zapotrzebowaniem na ciepło nieprzekraczającym  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (Feist 1988). Osiągnięcie tak niskiego poziomu zapotrzebowania na ciepło nie może się wiązać ze wzrostem zużycia innych nośników energii (na przykład energii elektrycznej). Dlatego też całkowita ilość energii pierwotnej zużywanej przez budynek pasywny nie może być większa niż  $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Pod pojęciem energii pierwotnej kryje się całkowita ilość energii zawartej w paliwie, które musi zostać spalone, aby pokryć zapotrzebowanie budynku na cele grzewcze, przygotowanie ciepłej wody użytkowej, pracę urządzeń elektrycznych i oświetlenia.

W budynku pasywnym rolę instalacji grzewczej pełni instalacja wentylacyjna i to jej zadaniem jest zapewnienie komfortu cieplnego poprzez dostarczenie ciepła do pomieszczeń za pomocą ogrzanego powietrza (Panek, Firląg 2004). Z uwagi na to, iż temperatura nawiewanego powietrza nie może być wyższa od  $52^\circ\text{C}$  (by uniknąć przypiekania kurzu w nagrzewnicy i w kanałach wentylacyjnych), a nawiewany strumień powietrza przyjmowany jest na poziomie  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$  powierzchni użytkowej budynku (kryterium higieniczne i energetyczne) wynika, że maksymalna moc grzewcza, która może być dostarczona przez instalację wentylacyjną wynosi  $10 \text{ W/m}^2$ . Stąd kolejne kryterium energetyczne – zapotrzebowanie na moc grzewczą w budynku pasywnym nie może przekraczać  $10 \text{ W/m}^2$ .

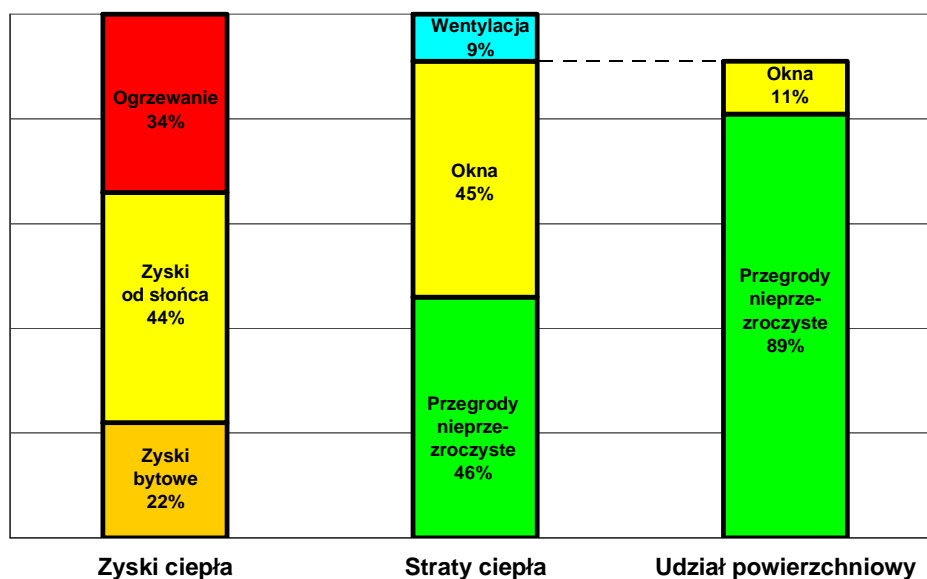


Rys.1 Porównanie całkowitego zapotrzebowania na energię dla budynków mieszkalnych (źródło Passivhaus Institut, Darmstadt).

Podsumowując, budynek pasywny zużywa na cele grzewcze siedmiokrotnie mniej energii w odniesieniu do budynku wybudowanego zgodnie z obowiązującymi normami. Osiągnięcie tak niskiego standardu energetycznego jest możliwe poprzez zapewnienie doskonałej izolacyjności cieplnej oraz szczelności przegród zewnętrznych budynku, zastosowanie instalacji wentylacyjnej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła, pozyskiwanie ciepła w sposób pasywny oraz z odnawialnych źródeł energii. Jednym z najważniejszych elementów budynku pasywnego, mającym wpływ na całkowity bilans energetyczny budynku oraz komfort użytkownika jest odpowiedni projekt przeszkleń i zastosowanie okien o odpowiednich parametrach. Rolą okien w budynku pasywnym jest:

- ograniczenie strat ciepła przez przenikanie i minimalizacja zużycia energii na ogrzewanie,
- pozyskanie w sposób pasywny zysków ciepła od promieniowania słonecznego,
- zapewnienie odpowiednio wysokiej temperatury powierzchni wewnętrznej okna, w celu zagwarantowania komfortu cieplnego mieszkańcom budynku oraz uniknięcia kondensacji wilgoci.

Aby uzmysłowić sobie jak ważną rolę w budynku pasywnym pełnią odpowiedniej jakości okna, należy zwrócić uwagę na miejsce okien w bilansie energetycznym budynku pasywnego. Poniższy wykres przedstawia ogólne wyniki obliczeń energetycznych wykonanych przez Instytut Budynków Pasywnych w Warszawie dla jednorodzinny budynek pasywny, który ma wkrótce powstać w okolicach Wrocławia. Udział start ciepła przez okna w prezentowanym bilansie energetycznym budynku jest ogromny i wynosi 45 %, przy jedynie 11 % udziale w całkowitej powierzchni przegród zewnętrznych. Dla porównania w tradycyjnym budynku jednorodzinny udział start ciepła przez okna wynosi zwykle około 12 %. Z drugiej strony, zyski ciepła od promieniowania słonecznego docierające do wnętrza budynku przez okna, pokrywają aż 44 % sezonowego zapotrzebowania na ciepło dla budynku. Widać więc wyraźnie, że spełnienie wymagań energetycznych nie jest możliwe bez zastosowania okien o odpowiedniej jakości. Warto także nadmienić, że bilans energetyczny budynku pasywnego jest niezwykle trudny do zrównoważenia i szczególnie wrażliwy na parametry okien.



Rys. 2. Miejsce okien w bilansie energetycznym budynku pasywnego.

### Wymagania odnośnie okien w budynku pasywnym

W świetle wymagań stawianych oknom przez Instytut Budynków Pasywnych w Darmstadt (Feist 1998), okna dla budynków pasywnych powinny charakteryzować się:

- całkowitym współczynnikiem przenikania ciepła dla okna nie wyższym niż  $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- całkowitym współczynnikiem przenikania ciepła dla okna zabudowanego nie wyższym niż  $0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,
- współczynnikiem przepuszczalności promieniowania słonecznego  $g$  powyżej 50 %.

Dla osiągnięcia wspomnianej wyżej wartości współczynnika przenikania ciepła, współczynnik przenikania ciepła dla szklenia powinien się zawierać w przedziale  $0.6\text{-}0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dla ramy  $0.7\text{-}0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , a współczynnik przenikania ciepła konstrukcyjnego mostka cieplnego na styku szklenie-rama powinien wynosić nie więcej niż  $0.1 \text{ W/mK}$ . Wymagania odnośnie współczynnika przenikania ciepła dla okna w budynku pasywnym są więc znacznie wyższe niż aktualnie obowiązujące, sformułowane w 'Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie'.

W budynku tradycyjnym nawiew powietrza do budynku (w systemach wentylacji naturalnej) zachodzi głównie przez nieszczelności w stolarnie okiennej. W budynku pasywnym okna nie biorą udziału w procesie wentylacji. Strumień świeżego powietrza w ilości spełniającej wymagania higieniczne jest dostarczany przez system wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej. W celu ograniczenia strat ciepła konstrukcja budynku powinna być jak najbardziej szczelna, tak by uniknąć niekontrolowanej infiltracji (oraz eksfiltracji) powietrza do budynku. Zapewnienie odpowiedniej szczelności dotyczy także okien, a w szczególności połączenia ościeżnicy z ościeżem. Szczelność w budynku pasywnym jest zachowana, jeśli współczynnik  $n_{50}$  wyznaczony na podstawie testu przeprowadzonego zgodnie z normą PN EN 13892 'Właściwości cieplne budynków. Określanie przepuszczalności powietrznej budynków. Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora' nie przekracza 0.6 wymiany powietrza w budynku na godzinę.

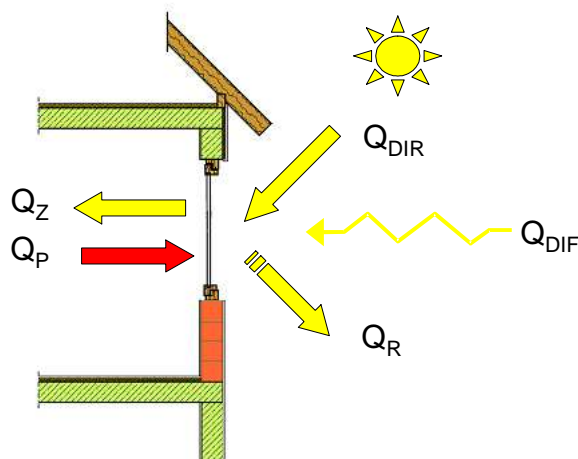
### Konstrukcja okna pasywnego

Okno pasywne zawdzięcza swą doskonałą charakterystykę energetyczną odpowiedniej konstrukcji. Okno pasywne to zazwyczaj okno z potrójnym szkleniem, w którym przestrzeń między szybami wypełniona jest gazem szlachetnym (argon, krypton). Ponadto szyby pokryte są powłoką niskoemisyjną w celu ograniczenia strat ciepła drogą promieniowania od szyby do

otoczenia. Zwykle pokryta powłoką niskoemisyjną jest zewnętrzna powierzchnia szyby wewnętrznej oraz wewnętrzna powierzchnia szyby zewnętrznej. To rozwiązanie przyjmuje się za bardzo korzystne w klimacie chłodnym, dla pozyskania zysków od słońca w sezonie grzewczym i ograniczenia strat ciepła przez okna. Rzadziej spotykanym rozwiązaniem jest pokrycie niskoemisyjne tylko jednej szyby (zwykle stosowane dla okien z podwójnym szkleniem). Wewnętrzna strona szyby pokryta jest często powłoką refleksyjną ograniczającą ucieczkę ciepła drogą promieniowania z pomieszczenia do otoczenia. Ramka dystansowa, newralgiczny element każdego okna odpowiadający za powstawanie mostka cieplnego na styku szklenia z ramą okienną jest wykonana z materiału o niskiej przewodności cieplnej, zazwyczaj z tworzywa sztucznego, bądź z bardzo cienkiego metalu, tak by straty ciepła tą drogą były także jak najmniejsze. Dodatkowo ramka dystansowa jest znacznie głębiej osadzona w ramie okiennej, niż w przypadku standardowego okna. Profil okienny jest przynajmniej pięciokomorowy, dodatkowo ocieplony materiałem izolacyjnym.

### Bilans energetyczny

Uproszczony bilans energii okna jest przedstawiony na rysunku 3. Strata energii przez okno zachodzi na drodze przenikania  $Q_p$  i jest tym większa im wyższy współczynnik przenikania ciepła okna  $U$ . Zyski ciepła od promieniowania bezpośredniego (z kierunku położenia słońca na horyzoncie) oraz od promieniowania rozproszonego (bezkierunkowego) są uzależnione od współczynnika przepuszczalności promieniowania słonecznego  $g$ . Określa on jaki udział promieniowania słonecznego dociera do wnętrza budynku, a jaka jego część jest przez szybę odbijana i absorbowana. Łatwo więc zauważyć, że w budynku pasywnym powinniśmy stosować okna o jak najmniejszym współczynniku przenikania ciepła oraz o stosunkowo wysokim współczynniku  $g$  dla pozyskania zysków solarnych.

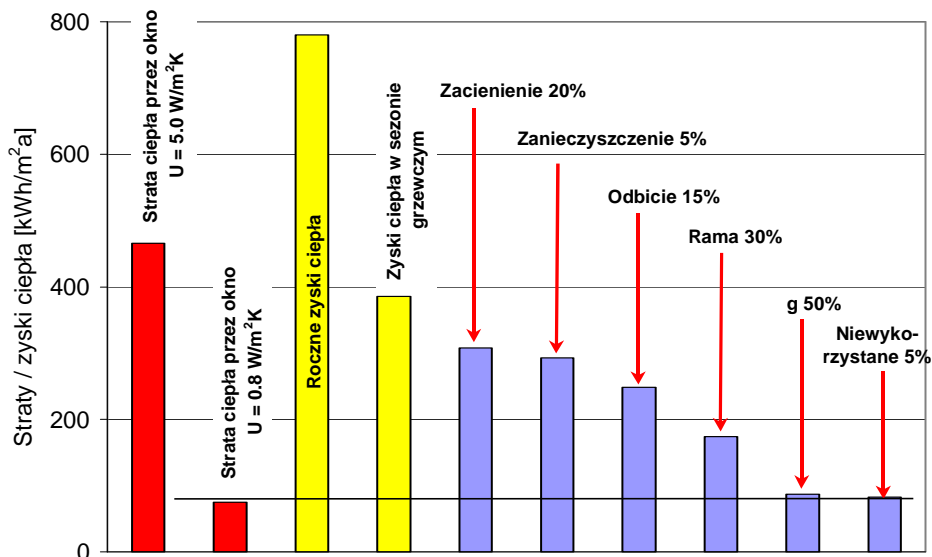


Rys. 3. Uproszczony bilans energetyczny okna.

Obok ograniczenia strat ciepła, okno w budynku pasywnym ma za zadanie pozyskanie maksymalnej ilości promieniowania słonecznego w sezonie grzewczym. Dostępna ilość promieniowania słonecznego w Polsce nie dorównuje ilości promieniowania możliwej do pozyskania w krajach śródziemnomorskich, jednak w sezonie grzewczym na jeden metr kwadratowy południowo zorientowanej fasady budynku zlokalizowanego w Warszawie pada około 385 kWh energii. Jest to ilość ciepła która odpowiada ilości energii uzyskanej ze spalania 38 litrów oleju opałowego. Niestety w sposób efektywny jesteśmy w stanie wykorzystać jedynie część zysków ciepła od słońca. Rysunek 4 przedstawia bilans energii okna o orientacji południowej dla danych pogodowych dla Warszawy z uwzględnieniem start promieniowania cieplnego:

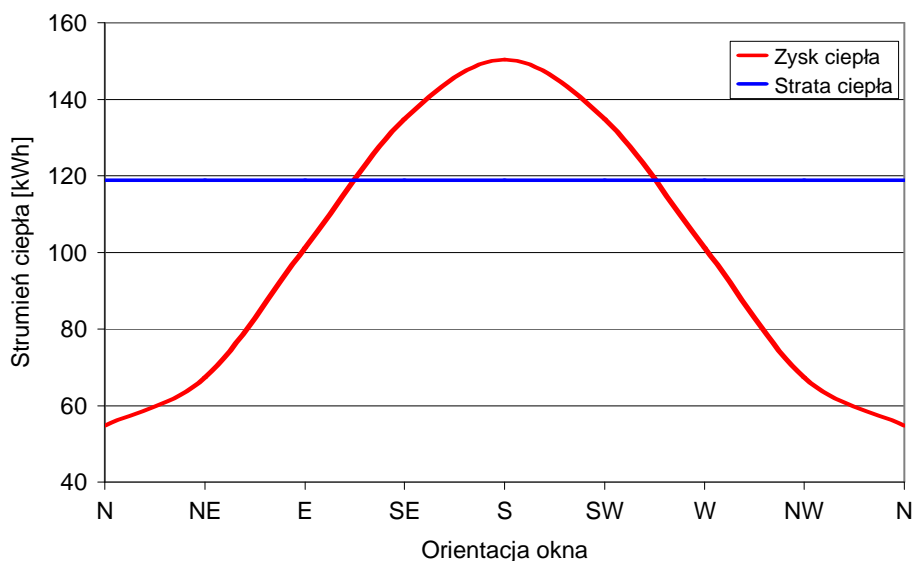
- przeciętnie około 20 % strumienia promieniowania słonecznego nie dociera do powierzchni okna z uwagi na jego zacinienie spowodowane zagłębieniem w świetle murów, bądź też przez okap, czy przesłaniające horyzont budynki, drzewa, etc,
- kolejne 5 % promieniowania jest tracone z powodu zanieczyszczenia powierzchni szyby,
- około 15 % promieniowania słonecznego odbija się od powierzchni szyby (przy wysokich wartościach kąta padania promieni słonecznych),
- przeciętnie około 30 % całkowitej powierzchni okna stanowi rama okienna,
- 50 % promieniowania słonecznego zostanie zatrzymane przez szybę ze względu na jej właściwości fizyczne (współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego g),
- ilość padającej na powierzchnię okna energii należy jeszcze pomniejszyć o 5 % z uwagi na to iż słoneczne zyski ciepła nie są całkowicie wykorzystywane w okresach przejściowych.

Ostatecznie efektywnie wykorzystane w sezonie grzewczym słoneczne zyski ciepła przez okno od strony południowej przewyższą nieznacznie straty ciepła przez przenikanie (dla okna o współczynniku  $U = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), a zysk wynosi około  $8 \text{ kWh/m}^2$  okna. Wydaje się, że jest to wartość niewielka, jednak przy tak niskim sezonowym zapotrzebowaniu na ciepło w budynku pasywnym ( $15 \text{ kWh/m}^2$  powierzchni użytkowej), nawet niewielki zysk ciepła netto ma duże znaczenie dla 'zamknięcia' bilansu energetycznego.



Rys. 4. Bilans słonecznych zysków ciepła (źródło Passivhaus Institut, Darmstadt).

Prowadzone badania dowiodły, że jedynie okna usytuowane od strony południowej oraz południowo-wschodniej i południowo-zachodniej mogą mieć pozytywny bilans energetyczny. Straty ciepła przez przenikanie przez  $1 \text{ m}^2$  okna na każdej z fasad będą miały taką samą wartość, natomiast solarne zyski ciepła są mocno uzależnione od orientacji okna. Dlatego też w budownictwie pasywnym stosuje się fasady południowe z dużymi powierzchniami przeszkleń w celu maksymalnego pozyskania zysków ciepła od słońca, natomiast unika się w miarę możliwości stosowania okien na pozostałych fasadach budynku. Choć okna na pozostałych fasadach będą miały ujemny bilans energetyczny w sezonie grzewczym, przy projektowaniu budynku nie należy zapominać o zapewnieniu dostępu światła dziennego i walorach estetycznych okien. Rysunek 5 przedstawia bilans energetyczny okna w budynku pasywnym w sezonie grzewczym (dane pogodowe dla Warszawy), o współczynniku przenikania ciepła  $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ , współczynniku  $g = 0.5$  oraz wymiarach  $1.23 \times 1.48 \text{ m}$ , w zależności od jego orientacji.



Rys. 5. Bilans energetyczny okna w budynku pasywnym w zależności od jego orientacji (źródło Passivhaus Institut, Darmstadt).

### Komfort cieplny

Pomiędzy każdymi dwoma ciałami o różnych temperaturach dochodzi do wymiany ciepła drogą promieniowania cieplnego (długofalowego). Jeśli ciało człowieka otaczają powierzchnie o znacznie różniących się temperaturach, z których każda bierze udział w radiacyjnej wymianie ciepła z organizmem, możliwe jest odczucie dyskomfortu cieplnego wywołane asymetrią promieniowania cieplnego. Najczęstszym problemem będą zimne wewnętrzne powierzchnie przegród zewnętrznych – ścian, bądź okien, w szczególności o dużej powierzchni, które będą upustem promieniowania cieplnego dla organizmu człowieka (im większa powierzchnia przegrody, tym intensywniejsza wymiana ciepła). Duże powierzchnie przeszkleń są tymczasem często stosowanym rozwiązaniem w budynkach pasywnych. Dla zachowania komfortu cieplnego przyjmuje się, że różnica pomiędzy temperaturą wewnętrznych powierzchni przegród otaczających organizm człowieka nie powinna przekraczać 3 K. Inaczej sformułowany warunek mówi, że komfort cieplny jest zachowany, jeśli średnia temperatura wewnętrznych powierzchni przegród w pomieszczeniu jest najwyżej 2 K niższa od temperatury powietrza wewnętrznego. Średnią temperaturę wewnętrznych powierzchni przegród oblicza się ze wzoru:

$$t_{p,śr} = \frac{\sum F_i \cdot t_i}{\sum F_i} \quad (1),$$

gdzie:

F - powierzchnia i-tej przegrody [m<sup>2</sup>],

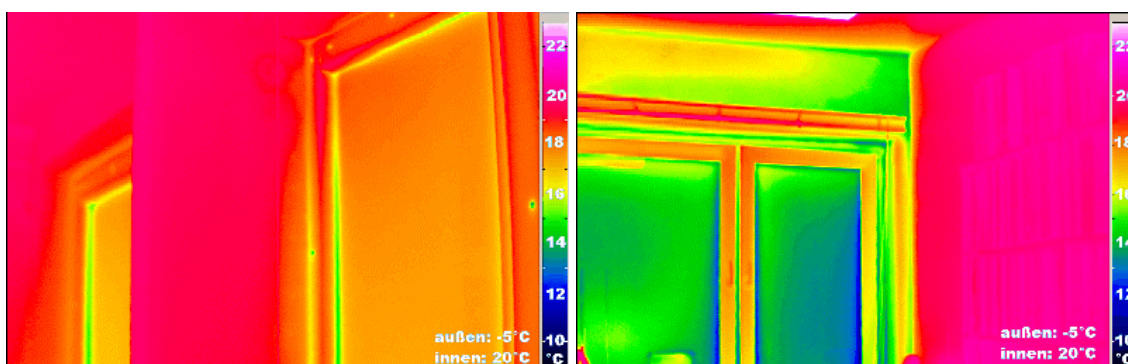
t - temperatura wewnętrznej powierzchni i-tej przegrody [°C].

W tradycyjnym budynku z oknami typowymi, temperatura na wewnętrznej powierzchni okna często spada nawet grubo poniżej 15°C, mogąc wywoływać uczucie dyskomfortu. Dlatego też dla zachowania komfortu cieplnego grzejniki usytuowane są zwykle pod parapetem okiennym, dla zbilansowania radiacyjnej wymiany ciepła.

W budynku pasywnym komfort cieplny ma być zapewniony jedynie poprzez dogrzewanie powietrza wentylacyjnego. Nie przewiduje się stosowania grzejników. Z uwagi na to bardzo ważne jest zastosowanie okien o wysokiej charakterystyce energetycznej, dzięki którym temperatura na wewnętrznej powierzchni okna nie spadnie poniżej gwarantowanego poziomu zapewniającego komfort cieplny organizmu człowieka. To właśnie głównie z kryterium

komfortu cieplnego wynika warunek maksymalnej wartości współczynnika przenikania ciepła dla okna  $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . W budynku pasywnym nawet przy niskich wartościach temperatury zewnętrznej, temperatura wewnętrznej powierzchni szyby nie spadnie poniżej  $17^\circ\text{C}$ , dzięki czemu przeszklenia mogą zajmować duże powierzchnie fasad od podłogi do sufitu, nie wywołując odczucia dyskomfortu.

Poniżej przedstawione zostały zdjęcia termowizyjne powierzchni okna w budynku tradycyjnym oraz w budynku pasywnym. Obie fotografie zostały wykonane w warunkach temperatury zewnętrznej  $-5^\circ\text{C}$  oraz temperaturze wewnątrz pomieszczenia  $20^\circ\text{C}$ . Rozkład temperatury na powierzchni okna w budynku pasywnym jest równomierny. Mostki cieplne na styku szklenie-rama oraz przy połączeniu ościeżnicy z ościeżem zostały wyeliminowane. W przypadku okna w budynku tradycyjnym temperatura powierzchni okna spada poniżej  $14^\circ\text{C}$ , widoczne są mostki ciepła, w szczególności ponad oknem, powstałe w wyniku niewłaściwego zainstalowania okna oraz rolet.



Rysunek 6. Zdjęcie termowizyjne powierzchni okna od strony wewnętrznej: lewa strona – okno w budynku pasywnym; prawa strona – okno w budynku tradycyjnym (źródło Passivhaus Institut, Darmstadt).

### Kondensacja wilgoci

Częstym i uciążliwym problemem, jeśli chodzi o okna typowe jest kondensacja wilgoci na jego wewnętrznej powierzchni. Kondensacja zachodzi najczęściej w miejscu styku szklenia z ramą okienną, gdzie powstaje liniowy mostek cieplny. W tym miejscu temperatura na wewnętrznej powierzchni okna jest najniższa. Przykładowo dla okna o współczynniku przenikania ciepła na poziomie  $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , przy temperaturze zewnętrznej  $-10^\circ\text{C}$ , temperatura w tym punkcie będzie wynosiła około  $5^\circ\text{C}$ . Dla typowej temperatury wewnątrz pomieszczenia  $20^\circ\text{C}$ , kondensacja wilgoci wystąpi już przy wilgotności względnej powietrza o wartości 30 %. Kondensacja wilgoci jest zjawiskiem wielce niekorzystnym, gdyż prowadzi do niszczenia przegród budynku, obniżenia ich parametrów wytrzymałościowych i cieplnych, ponadto umożliwia rozwój pleśni i grzybów, które mają negatywny wpływ na samopoczucie i zdrowie ludzi. Zgodnie z postanowieniami 'Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie' przegrody zewnętrzne powinny zapewniać zachowanie temperatury o 1 K wyższej na wewnętrznej powierzchni przegrody, niż temperatura punktu rosy dla warunków panujących w pomieszczeniu. Szczegółowe postanowienia na ten temat oraz metoda obliczeniowa jest podana w normie PN EN ISO 13788 'Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.' Dla okien spełniających wymagania budownictwa pasywnego, charakteryzujących się tak niskim współczynnikiem przenikania ciepła, problem kondensacji wilgoci nie występuje. Dzięki odpowiednim rozwiązaniom konstrukcyjnym

poprzeczny profil izoterm wykazuje równomierny rozkład temperatur po wewnętrznej stronie okna i eliminację mostka cieplnego na styku szklenia z ramą okienną.

### Uwagi odnośnie obliczeń energetycznych i projektowania przeszkleń w budynkach pasywnych

W procesie projektowania budynku pasywnego konieczne jest dokładne i staranne przeprowadzenie obliczeń energetycznych. Przy tak niskim zapotrzebowaniu na moc grzewczą oraz sezonowym zapotrzebowaniu na ciepło, nawet drobne błędy, czy też niedokładności mogą doprowadzić do poważnych problemów eksploatacyjnych. Obliczenia energetyczne są szczególnie ważne dla okien. Jak wspomniano wcześniej, okna odpowiadają za największe straty ciepła w budynku pasywnym, za pomocą okien realizowane są także zyski ciepła od promieniowania słonecznego.

Współczynnik przenikania ciepła dla okna obliczany jest na podstawie normy PN EN 10077 'Ciepłne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji. Obliczanie współczynnika przenikania ciepła'. Zgodnie z uproszczoną metodą podawaną przez tę normę, współczynnik przenikania ciepła jest ważoną średnią wartością współczynników przenikania ciepła dla szklenia oraz ramy z uwzględnieniem mostka cieplnego na styku szklenie-rama okienna. Przy obliczaniu okien w budynkach pasywnych konieczne jest jednak także uwzględnienie w obliczeniach mostka cieplnego powstałego na styku ościeznica-ościeże. Tak policzony współczynnik przenikania ciepła, nie może być wyższy niż  $0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ :

$$U = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \psi_g \cdot s_g + \psi_f \cdot s_f}{A_g + A_f} \quad (2),$$

gdzie:

$U$  – całkowity współczynnik przenikania ciepła dla okna z zabudową [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ],

$U_g$  - współczynnika przenikania ciepła dla szklenia [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ],

$U_f$  - współczynnik przenikania ciepła dla ramy [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ],

$A_g$  - powierzchnia szklenia [ $\text{m}^2$ ],

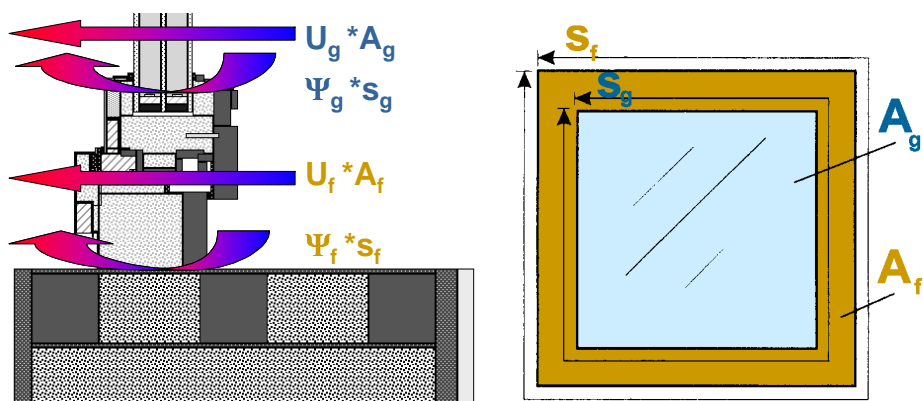
$A_f$  - powierzchnia ramy [ $\text{m}^2$ ],

$\psi_g$  - współczynnik przenikania ciepła konstrukcyjnego mostka cieplnego na styku rama-szklenie [ $\text{W/mK}$ ],

$s_g$  - długość konstrukcyjnego mostka cieplnego na styku rama-szklenie [ $\text{m}$ ],

$\psi_f$  - współczynnik przenikania ciepła konstrukcyjnego mostka cieplnego na styku ościeznica-ościeże [ $\text{W/mK}$ ],

$s_f$  - długość konstrukcyjnego mostka cieplnego na styku ościeznica-ościeże [ $\text{m}$ ].

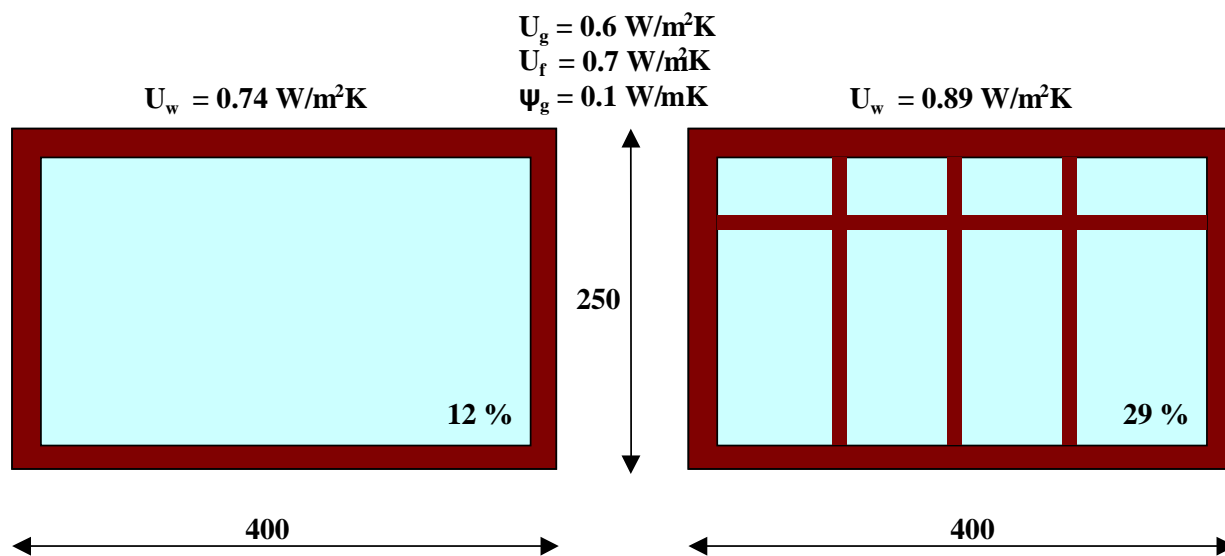


Rys. 7. Obliczanie całkowitego współczynnika przenikania ciepła okna (źródło Passivhaus Institut, Darmstadt).



Ze względów energetycznych bardziej korzystne jest projektowanie w budynku pasywnym okien o dużych powierzchniach przeszkleń, przy jak najmniejszym udziale powierzchniowym ramy okiennej. Dzięki temu uzyskamy większe zyski ciepła od słońca, a jednocześnie niższy całkowity współczynnik przenikania ciepła dla okna. To właśnie rama okienna oraz mostek ciepła na połączeniu szklenie-rama są słabym punktem okna jeśli chodzi o jego charakterystykę cieplną, dlatego należy dążyć do zmniejszenia udziału ich powierzchni w całkowitej powierzchni okna.

Przykładowo, dla okna o wymiarach 400 x 250 cm, udział powierzchni ramy zewnętrznej wynosi 12 % całkowitej powierzchni okna (rys. 8). Przy wprowadzeniu ślimion i słupków do konstrukcji okna, udział powierzchni ramy wzrasta do 29 %. Zyski ciepła od słońca będą więc mniejsze o około 20 %. Ponadto współczynnik przenikania ciepła dla okna bez zabudowy w pierwszym przypadku wyniesie  $0.74 \text{ W/m}^2\text{K}$ , podczas gdy w drugim będzie miał wartość  $0.89 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Straty ciepła przez przenikanie wzrosną więc o około 20 %.



Rys. 8. Przykład wpływu udziału powierzchni ramy w całkowitej powierzchni okna na jego bilans energetyczny.

### Zyski słoneczne w ciągu lata

W naszej szerokości geograficznej ilość promieniowania słonecznego jest w sezonie grzewczym niewielka w porównaniu do ilości promieniowania słonecznego dostępnego w miesiącach ciepłych. W przypadku budynku o dużej przeszklonej powierzchni fasady południowej może więc wystąpić problem przegrzewania pomieszczeń w ciągu lata. W celu zachowania komfortu cieplnego w budynku pasywnym także w lecie zalecane jest więc stosowanie urządzeń przeciwsłonecznych. Podstawowym rozwiązaniem jest stosowanie okapów, które umożliwiają penetrację promieniowania słonecznego do wnętrza budynku w zimie, gdy słońce stoi nisko na horyzoncie, natomiast zatrzymują je w lecie, gdy słońce znajduje się wysoko. Innymi typowymi rozwiązaniami ograniczającymi dostęp promieniowania słonecznego do wnętrza budynku są rolety, żaluzje, czy też okiennice. Dla zachowania komfortu cieplnego w lecie ważne jest również, by budynek pasywny charakteryzował się stosunkowo wysoką akumulacyjnością cieplną przegród. Dzięki temu nadmierne chwilowe zyski ciepła mogą być magazynowane w ścianach budynku i ewentualnie wykorzystywane w późniejszym okresie. Wysoka bezwładność cieplna wpływa na wyrównanie profilu wahań temperatury w pomieszczeniach, co gwarantuje komfort mieszkańcom budynku.

## **Bibliografia**

- Feist W., 1988, Forschungsprojekt Passive Hauser, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- Feist W., 1998, Passivhaus-Fenster Protokollband Nr. 14, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Firląg S., 2005, Passive buildings in Polish climate conditions, Proceedings of the 9. Internationale Passivhaustagung 2005, April 29-30 2005, Ludwigshafen, Germany.
- Panek A., Firląg S., 2004, Wentylacja w budynkach pasywnych, Materiały Konferencyjne VII Ogólnopolskiej Konferencji ENERGODOM 2004, 11-13 październik 2004, Zakopane, Polska.