

dr inż. arch. Marcin Furtak<sup>1)</sup>

# Energooszczędne elewacje – elementy kształtowania obudowy architektonicznej budynku

*Energy efficient facades as element of architectural building structure*

DOI: 10.15199/33.2015.07.31

**Streszczenie.** Współczesne tendencje w projektowaniu energooszczędnych fasad są wypadkową potrzeb, wizji architektonicznej twórcy i właściwości użytkowych zastosowanych systemów. Ich wybór stanowi istotny element całego procesu projektowego i rzutuje na pozostałe działania projektantów. Artykuł przedstawia problematykę kształtowania przegród zewnętrznych budynku w kontekście oszczędności energetycznej, parametrów technicznych i materiałowych oraz optymalizacji kształtu i walorów estetycznych. Uwarunkowania te zaprezentowano na tle współczesnych przepisów technicznych, wymagań dotyczących budynków oraz wpływu rozwiązań na proces projektowy.

**Słowa kluczowe:** energooszczędność, elewacje, fasady, architektura energooszczędna, izolacje hi-tech.

**Abstract.** Modern trends in the design of energy-efficient facades are the result of the needs, the architectural vision and performance of the systems used. Their selection is an important element of the whole design process and affects actions designers take. The article presents the issues of shaping the building external structures in terms of energy saving, technical, material and shape optimization and aesthetic values. These conditions are presented on a background of modern technical regulations, building requirements and the impact of specific solutions in the designing process.

**Keywords:** energy efficiency, facades, elevations, low energy architecture, hi-tech insulations.

Gwałtowne przemiany gospodarcze, społeczne i środowiskowe, a także postępujące za nimi zmiany uregulowań prawnych znajdują odzwierciedlenie w obszarach związanych z efektywnością energetyczną. Światowe zasoby surowców energetycznych są ograniczone, a polityka dystrybucji energii nakłada konieczność ich racjonalnego wykorzystania. Wśród sektorów odpowiedzialnych za największe zużycie energii znajduje się budownictwo (ok. 40% całkowitego światowego zużycia energii). Tym ważniejsza staje się więc idea zrównoważonego budownictwa, polegająca na realizowaniu działań obniżających energochłonność obiektów budowlanych, z uwzględnieniem aspektów ekologicznych, takich jak zanieczyszczenie środowiska czy wzrost energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii. Ostre wymagania krajowe, będące implementacją m.in. dyrektywy o charakterystyce energetycznej budynków, stawiają projektantom nowe wyzwania. Jednym z nich jest proces projektowania m.in. tak ważnych elementów budynku, jak energooszczędne elewacje. W artykule przedstawie podstawy prawne, z których wynika obowiązek projektowania energooszczędnej obudowy budynku oraz zaprezentuję przykłady takich rozwiązań.

## Krajowe i europejskie trendy oraz podstawy prawne projektowania budynków energooszczędnych

Jedną z nadrzędnych zasad projektowych, tzn. idea zrównoważonego rozwoju, mówi o korzystaniu z zasobów światowych w sposób świadomy i racjonalny. „Zrównoważony rozwój to dążenie do poprawy jakości życia przy zachowaniu równości społecznej, bioróżnorodności i bogactwa zasobów naturalnych”. Sektor budownictwa jest doskonałym przykładem możliwości reali-

zowania tej zasady w ramach dyscypliny nazywanej „Zrównoważonym budownictwem”.

Przyjęte **Dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków** 2002/91/WE oraz 31/2010/WE [1] nakładają na kraje członkowskie UE wiele zobowiązań, m.in. **wprowadzenie standardu budynków o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię już od 2019 r.**

Implementacją Dyrektywy Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) są przepisy krajowe określające minimalne wymagania dotyczące ochrony cieplnej budynków, jak również odpowiednie ustawy i rozporządzenia. Postanowienia Dyrektywy nakładają obowiązek projektowania i realizacji budynków o bardzo dobrych właściwościach ochrony cieplnej oraz szczelności obudowy. Najnowsze *Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* uwzględniają założenia Dyrektywy, a opiniowana obecnie propozycja definicji **budynku o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię** zawarta w projekcie **Krajowego Planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii** wynika wprost z ich zapisów. Przytoczone akty prawne i definicje określają precyzyjnie parametry techniczne elewacji oraz pozostałych przegród budynków [2].

## Konstrukcja energooszczędnych elewacji budynku

Fasady budynku, zarówno przegrody pełne – ściany, jak i elementy transparentne – okna lub fasady szklane (ściany osłonowe), projektuje się ze względu na następujące kryteria: estetyczne; stateczności i nośności; ochrony wilgotnościowo-ciepłej; ochrony akustycznej; minimalizacji emisji zanieczyszczeń oraz zapewnienia komfortu oświetleniowego.

Wśród sześciu wymienionych kryteriów jedno odnosi się w sposób bezpośredni do zagadnień związanych z energooszczędnością (ochrona ciepło-wilgotnościowa), niemniej jednak wszystkie po-

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej; e-mail: mfurtak@pk.edu.pl

zostałe mają wpływ na ostateczny bilans energetyczny budynku. Zaprezentuję wybrane kryteria kształtowania elewacji, mające moim zdaniem największe znaczenie z punktu widzenia efektywności cieplnej.

## Kryterium estetyczne

Kryterium estetyczne jest wypadkową indywidualnego wyrazu kreacji architektonicznej odzwierciedlającego zamysł architekta oraz wytycznych inwestorów. Coraz częściej wpływ na ostateczny wygląd budynku mają również wymagania stawiane przegrodom zewnętrznym nie tylko przez warunki techniczne, warunki ochrony przeciwpożarowej budynków i inne przepisy odrębne, ale również obowiązujące w sposób nieformalny standardy i systemy certyfikacji (np. certyfikat Małopolskiego Centrum Budownictwa Energooszczędnego opracowany na Politechnice Krakowskiej, standard pasywny, standard zeroenergetyczny).

Kolejną ważną kwestią jest forma nowo projektowanych obiektów. Budynki mogą charakteryzować się prostym lub skomplikowanym kształtem, natomiast zalecenia dotyczące budynków energooszczędnych wiążą się z przyjęciem jak najmniejszego współczynnika kształtu A/V (fotografia 1), określającego stosunek powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury powierzchni ogrzewanej.

[Fot. Marcin Furtak]



**Fot. 1. Opera Narodowa w Pekinie, arch. Paul Andreu**  
Photo 1. National opera house in Beijing, arch. Paul Andreu

Prace naukowe dotyczące kształtowania bryły budynku, a więc również jego przegród w kontekście zużycia energii sięgają lat trzydziestych XX wieku. Pierwsze sformułowanie optymalizacji kształtu przypisuje się K. F. Fokinowi. Jako kryterium optymalizacji przyjął on minimum strat energii. Idealnym rozwiązaniem okazała się bryła kuli, natomiast po przyjęciu dodatkowych ograniczeń (założenie prostopadłościowej formy obiektu), bryła sześcianu. Wniosek z przeprowadzonych analiz jest wskazówką do projektowania budynków o prostej formie, minimalizującej w ten sposób mostki termiczne [3].

## Kryterium stateczności i nośności – rozwiązania materiałowe

Z punktu widzenia zasad statyki, obudowa zewnętrzna budynku musi zapewnić wytrzymałość i niezawodność w przekazywaniu obciążeń. W obliczeniach statycznych wymagane jest sprawdzenie nieprzekroczenia stanu granicznej nośności, uwzględniającego niekorzystne warunki pracy układu statycznego. Obliczenia wykonuje się na podstawie norm europejskich (Eurokodów).

W zależności od modelu konstrukcyjnego rozróżniamy różne sposoby przekazywania obciążeń w budynkach, m.in. konstrukcję szkieletową i murowaną. W pierwszej obciążenia przenoszone są za pomocą układu słupów, belek oraz płyt. Zazwyczaj w tej technologii realizowane są budynki wielkogabarytowe i halowe. Często łączy się szkielet z kratownicami będącymi konstrukcją przekrycia obiektu. Wypełnieniem ścian zewnętrznymi w technologii szkieletowej są zazwyczaj elementy murowe (pustaki, cegły), panele fasadowe oraz termoizolacja. Takie konstruowanie budynków

pozwala na stosowanie różnych materiałów elewacyjnych i różnych systemów fasadowych, a także pozwala na zmniejszenie ciężaru konstrukcji. Niewielki ciężar ściany (w przypadku kiedy wypełnieniem nie są elementy murowe) ma jednak wpływ na zmniejszoną pojemność cieplną całego budynku, a to z kolei przekłada się na jego szybsze wychładzanie i szybsze zmiany temperatury wewnętrznej. Duża liczba połączeń pomiędzy poszczególnymi elementami konstrukcyjnymi może powodować również obniżenie szczelności obiektu, a tym samym zwiększenie liczby miejsc, przez które następuje niekontrolowany przepływ powietrza. Prowadzi to do pogorszenia parametrów mikroklimatu wewnątrz, może być przyczyną kondensacji pary wodnej w przegrodzie, a także pogarsza charakterystykę energetyczną budynku. Przy wznoszeniu obiektów o konstrukcji szkieletowej bardzo istotne jest prawidłowe wykonawstwo, a także staranne rozwiązanie elementów mających pozornie mniejsze znaczenie, tj. np. przyłącza lokalizowane w ścianach zewnętrznych budynków [4].

Budynki wznoszone w technologii murowanej, w których głównym elementem konstrukcyjnym pozostają zarówno elementy drobnowymiarowe (cegły), jak i średniowymiarowe (pustaki), cechuje największa pojemność cieplna i duża szczelność. Coraz częściej budynki energooszczędne tego typu są realizowane z elementów prefabrykowanych. Przy ich wykonawstwie niewątpliwymi miejscami wymagającymi szczególnej staranności projektowej i wykonawczej, są połączenia ścian ze stropami oraz prawidłowe osadzenie okien z wykorzystaniem tzw. ciepłego montażu i zastosowaniem taśm uszczelniających.

## Kryterium ochrony ciepło-wilgotnościowej przegród zewnętrznych budynku

Z punktu widzenia energooszczędności budynku najistotniejszą kwestią pozostaje zapewnienie ochrony ciepło-wilgotnościowej przez odpowiednie uformowanie obudowy zewnętrznej. Wymagania cieplne przegród zewnętrznych są określone przez:

- ograniczenie strat ciepła przez przenikanie, w celu zmniejszenia energii potrzebnej do ogrzewania budynku;
- ograniczenie temperatury powierzchni wewnętrznej, aby nie dopuścić do krytycznej wilgotności powodującej rozwój grzybów i pleśni;

■ niedopuszczenie do kondensacji międzywarstwowej, mogącej wpłynąć na degradację materiałów budowlanych przegrody.

Ograniczenia strat ciepła przez przegrody zewnętrzne zostały zdefiniowane w *Warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (WT) [6], z których wynika, że budynek i jego instalacje powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienie następujących wymagań minimalnych:

- odpowiedniej wartości wskaźnika EP [kWh/(m<sup>2</sup>·r.)], określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną (przyjmuje się, że wartość ta wynosi odpowiednio 15 kWh/m<sup>2</sup>·r. i 30 kWh/m<sup>2</sup>·r. dla budynków pasywnych i energooszczędnych), a jego przegrody (np. ściany, stropy, okna, drzwi) powinny dodatkowo mieć: odpowiednią izolacyjność cieplną wyrażoną współczynnikiem U [W/(m<sup>2</sup>·K)], określającym przenikanie ciepła przez przegrodę (tabela 1).

Warto zaobserwować, że obowiązek wznoszenia budynków niemal zeroenergetycznych przyjęty przez kraje członkowskie Unii Europejskiej spowodował, że Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju opracowało system stopniowego zwiększania wymagań, które muszą spełnić energooszczędne elementy budynku. Osiągnięcie

**Tabela 1. Wymagania ochrony cieplnej dotyczące przegród pełnych**  
*Table 1. Thermal protection requirements for the full partitions*

Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/m <sup>2</sup> K]		
	od 1.01.2014	od 1.01.2017	od 1.01.2021
Ściany zewnętrzne			
$t_i > 16\text{ °C}$	0,25	0,23	0,20
$8\text{ °C} < t_i < 16\text{ °C}$	0,45	0,45	0,45
$t_i < 8\text{ °C}$	0,90	0,90	0,90
Drzwi w przegrodach zewnętrznych	1,7	1,5	1,3

standardu budynków niemal zeroenergetycznych, wg wymagań przyjętych przez Polskę, podzielono na lata 2014, 2017 oraz do celowo 2021 r. [5].

### Nowoczesne izolacje

Wymagania dotyczące współczynnika przenikania ciepła przegród –  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] przekładają się na grubość elementów obudowy budynku. Symulacja kształtowania różnych typów przegród w odniesieniu do aktualnych i planowanych zmian przepisów pokazuje, że przy zastosowaniu tradycyjnych materiałów izolacyjnych niezbędne będzie zwiększanie grubości warstw docieplenia, a tym samym przegród. Rozwiązuje to co prawda problem izolacyjności cieplnej, ale staje się nieefektywne ekonomicznie ze względu na zmniejszenie powierzchni użytkowej wznoszonych obiektów budowlanych. Można przypuszczać, że deweloperzy oraz inwestorzy indywidualni, dążąc do optymalizacji wykorzystania powierzchni zabudowy, będą zainteresowani zmniejszeniem grubości przegród przez zastosowanie materiałów izolacyjnych nowej generacji. Są to tzw. **materiały izolacyjne hi-tech** mające znakomite parametry ochrony cieplnej i pozwalające wznosić przegrody o bardzo małej wartości współczynnika przenikania ciepła przy niewielkiej ich grubości.

Jedną z najefektywniejszych warstw zewnętrznych o dużej przepuszczalności promieniowania słonecznego są **izolacje transparentne**. Składają się, w zależności od budowy, z materiałów szklanych lub mikroporowatych usytuowanych prostopadle lub równoległe do absorbera znajdującego się na przegrodzie nieprzezroczystej lub przezroczystego zestawu szybowego. W pierwszym przypadku przenikające przez nie promieniowanie słoneczne jest pochłaniane na powierzchni absorbera a następnie strumień ciepła przepływa w głąb przegrody, powodując nagrzanie jej objętości. Przegroda zachowuje się jak źródło ciepła. Mała przepuszczalność promieniowania długofalowego przez izolację transparentną ogranicza radiacyjne straty ciepła (efekt szklarni), a jej wewnętrzna struktura zmniejsza straty ciepła przez konwekcję i przewodzenie. Ciepło dostarczone do wnętrza przegrody akumulacyjnej zostaje zmagazynowane w jej obrębie. Część tej energii jest następnie przekazywana do wnętrza pomieszczenia, z opóźnieniem pozwalającym na stabilizację wahań temperatury wewnętrznej i dostosowanie emisji ciepła do potrzeb użytkowników.

Kolejnym rozwiązaniem zapewniającym uzyskanie niewielkiej grubości przegrody zewnętrznej o bardzo dobrych parametrach ochrony cieplnej są **warstwy izolacyjne wykonane z nanożeli**. Są to najlżejsze materiały izolacyjne będące rodzajem sztywnej piany o wyjątkowo małej gęstości. Na ich masę składa się w 90 – 99,8% powietrze; resztę stanowi porowaty materiał tworzący strukturę. Właściwości nanożeli to mała przewodność cieplna (0,018 W/mK), wysoka przepuszczalność światła (do 80%), dobre właściwości akustyczne, odporność na działanie UV, odporność na wilgoć, pleśń, bakterie oraz na działanie ognia. Wadą jest wysoki koszt materiału i wykonania.

Ostatnią grupę wysokoefektywnych izolacji cieplnych tworzą **izolacje próżniowe VIP** (Vacuum Insulated Panel). W zestawieniu z powszechnie stosowanymi materiałami, takimi jak styropian czy wełna mineralna, izolację próżniową wyróżniają kilkakrotnie lepsze parametry izolacyjne i duża wartość oporu cieplnego. Użytkuje się je dzięki wykorzystaniu próżni, która jest słabym przewodnikiem energii cieplnej. W procesie produkcji płytę z porowatego materiału, na bazie krzemionki lub włókien szklanych z mikroporami o rozmiarach 0,0001 mm, umieszcza się w szczelnym „opakowaniu” wykonanym z wielowarstwowej folii nieprzepuszczalnej dla powietrza i pary wodnej. Wadą izolacji próżniowych jest ich niewielka trwałość [6].

Dwa ostatnie z wymienionych rozwiązań izolacyjnych mogą być stosowane pod wyprawą elewacyjną lub zewnętrznym systemem fasadowym i tym samym nie mają wpływu na ostateczny efekt wizualny elewacji.

### Energooszczędne elewacje przezroczyste

Transparentność jest ważnym elementem architektonicznym nowoczesnych fasad energooszczędnych. Tendencje estetyczne współczesnej architektury zakładają znaczny udział okien lub szklanych ścian osłonowych w strukturze budynku, a duże tafle szkła nadają budynkowi nowoczesny charakter, zwiększają przestrzeń wizualną oraz stanowią element pozyskujący w sposób pasywny duże zyski ciepła od promieniowania słonecznego. Otrzymywane w ten sposób darmowe ciepło jest z jednej strony korzystne z punktu widzenia bilansu energetycznego budynku, a z drugiej źle dobrane parametry i brak przesłon mogą powodować przegrzewanie pomieszczeń, negatywnie wpływając na komfort użytkownika i nadmierne straty na klimatyzowanie wnętrza.

Warunki Techniczne podają ograniczenia wielkości pola powierzchni okien oraz pozostałych przeszkleń o współczynnika przenikania ciepła  $U$  nie mniejszym niż 0,9 W/m<sup>2</sup>K w przypadku budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego, jako wartość wyrażoną wzorem

$$A_{0max} = 0,15Az + 0,03Aw$$

gdzie:

$A_z$  – suma pól powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji naziemnych w pasie o szerokości 5 m wzdłuż ścian zewnętrznych;

$A_w$  – suma pól powierzchni pozostałej części rzutu poziomego.

W przypadku budynków użyteczności publicznej obowiązuje ten sam warunek, przy czym nie może być to sprzeczne z warunkami dotyczącymi zapewnienia niezbędnego oświetlenia światłem dziennym [5].

Nowoczesne rozwiązania elewacyjne gwarantują stworzenie optymalnych warunków środowiska wewnętrznego, jednak proces doboru materiałów konstrukcyjnych oraz szkła wymaga od projektantów znajomości zasad funkcjonowania przezroczystej przegrody osłonowej wraz z wszystkimi aspektami właściwości izolacyjnych i spektralnych i ich wpływu na bilans cieplny budynków energooszczędnych. Istotnym parametrem pomijanym często w procesie doboru okien i przezroczystych ścian osłonowych jest ich izolacyjność akustyczna.

Na rynku systemów fasadowych obserwuje się trend poszukiwania optymalnych rozwiązań mających na celu połączenie korzystnych właściwości użytkowych fasad z wysoką efektywnością energetyczną. O ile poszczególne rodzaje systemów aluminiowych, drewnianych i stalowych osiągają zbliżone parametry elementów konstrukcyjnych, o tyle najbardziej zróżnicowaną grupą produktów pozostają pakiety szybowe.

Warunki Techniczne ujednolicają wymagania ochrony cieplnej stawiane oknom i fasadom szklanym. Całkowity współczynnik przenikania ciepła  $U$  okna jest w praktyce równy  $U_w$  fasady szklanej (tabela 2). Osiągnięcie korzystniejszego parametru przenikania ciepła  $U_w$  przezroczystych fasad na konstrukcji aluminiowej zależy przede wszystkim od udziału powierzchni szklenia w całkowitej powierzchni elewacji (szkło ma korzystniejsze parametry cieplne niż elementy konstrukcji), a także zastosowania odpowiednich pakietów szybowych. W budynkach energooszczędnych wykorzystuje się najczęściej dwukomorowe pakiety trzyszybowe, wypełnione gazami o właściwościach izolacyjnych lepszych od powietrza. Zazwyczaj stosuje się argon, krypton czy ksenon, które mają małą przewodność cieplną [7].

**Tabela 2. Wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  okien w pomieszczeniach o temperaturze obliczeniowej  $t_i$  [5]**

*Table 2. The values of windows heat transfer coefficient  $U$  in rooms with the temperature  $t_i$  [5]*

Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_c(\max)$ [W/m <sup>2</sup> K]		
	od 1.01.2014	od 1.01.2017	od 1.01.2021
Okna (z wyjątkiem połaciowych)			
$t_i > 16\text{ }^\circ\text{C}$	1,3	1,1	0,9
$t_i < 16\text{ }^\circ\text{C}$	1,8	1,6	1,4
Okna połaciowe			
$t_i > 16\text{ }^\circ\text{C}$	1,5	1,3	1,1
$t_i < 16\text{ }^\circ\text{C}$	1,8	1,6	1,4

Nowoczesne systemy przeszkleń zapewniające najlepsze warunki zarówno estetyczne, jak i cieplne wyposaża się w pakiety zawierające **szyby z powłokami niskoemisyjnymi**, w których powłoka ogranicza straty ciepła z pomieszczenia na skutek małej emisji promieniowania niskotemperaturowego z powierzchni szyby (fotografia 2). Szyby tego typu znajdują się w pakietach szybowych (najczęściej co najmniej od strony pomieszczenia), co powoduje uzyskanie minimalnego współczynnika  $U$  przy maksymalnym współczynniku  $g$ . Są jednocześnie **szybami spektralnie selektywnymi** przepuszczającymi fale o określonej długości promieniowania słonecznego. Posiadają też zdolność odbijania promieniowania cieplnego z urządzeń grzewczych, zapewniają przed przegrzaniem pomieszczeń, cechuje je mała transmisyjność i dobre właściwości refleksyjne dla promieniowania słonecznego.

Z analizy dostępnych na rynku pakietów szklanych wynika zależność pomiędzy grubością poszczególnych szyb a izolacyjnością akustyczną fasady  $R_w$ . Wraz ze zwiększaniem grubości szyb również ich odporność na hałas (tabela 3).

W fasadach energooszczędnych, projektowanych z tradycyjnymi otworami okiennymi, zastosowanie znajdują coraz częściej **okna inteligentne z wykorzystaniem szkła chromogenicznego** (szkło fotochromowe, termochromowe, elektrochromowe). Szkło



**Fot. 2. Budynek Centrum Kulturalno-Artystycznego w Koziencicach, arch. Marcin Furtak**

*Photo 2. Artistic and Cultural Centre in Koziencice, arch. Marcin Furtak*

**Tabela 3. Zestawienie systemów fasadowych zbudowanych z energooszczędnych profili aluminiowych oraz pakietów szklanych wybranych producentów z uwzględnieniem ich parametrów cieplnych i akustycznych [7]**

*Table 3. Summary of facade systems built with energy-efficient aluminum and glass packages selected with regard for thermal and acoustic performance [7]*

System fasadowy o parametrach $U_w = 0,8$ [W/m <sup>2</sup> K]; $U_g = 0,5$ [W/m <sup>2</sup> K]; $U_f = 0,9$ [W/m <sup>2</sup> K]		
Izolacyjność akustyczna $R_w$ (C, Ctr) [dB]	producent szkła	zestaw szybowy [mm]
35 (-2,-6)	AGC glass limited	6 Planibel Low-e Top N+T/18Ar/6 Planibel Clear/18Ar/6 Planibel Low-e Top N+T/
34 (-2,-5)	Saint Gobain	wszystkie szyby Climatop Planitherm One 4/16Ar/4/16Ar/4
32 (-1,-5)	Pilkington	4 Optitherm S11/16Ar/4 Optitherm S11/16Ar/4 Optitherm S11
System fasadowy o parametrach $U_w = 1,0$ [W/m <sup>2</sup> K]; $U_g = 0,7$ [W/m <sup>2</sup> K]; $U_f = 0,9$ [W/m <sup>2</sup> K]		
39 (-1,-4)	Saint Gobain	wszystkie szyby Climatop ultra N F2-F5 8/12Ar/4/12Ar/6
32 (-1,-5)	Pilkington	4 Optitherm S11/16Ar/4 Optitherm S11/16Ar/4 Optifloat

chromogeniczne **termochromowe** uzależnia ilość przepuszczanego promieniowania od temperatury powietrza po obu stronach szyby. W konstrukcji szyb okien inteligentnych ważnym elementem jest powłoka polimerowa, która przepuszcza lub blokuje światło widzialne o różnej długości fali.

Szkło **elektrochromowe**, należące również do grupy szkielek chromogenicznych, zmienia właściwości pod wpływem zadane-go impulsu elektrycznego. Opisane systemy inteligentnych okien ograniczają wielkość strumienia promieniowania słonecznego przepuszczanego przez szybę, na skutek zmian w strukturze wewnętrznej szkła. Widocznym efektem jest zmiana barwy szkła i efekt stopniowego zmatowienia, co oczywiście wpływa na przejrzystość i komfort wizualny [7, 8].

**Unikatowym rozwiązaniem jest konstrukcja zespolonej szyby z komorą przegrodzoną silnie napiętą folią pokrytą warstwami tlenków metali o właściwościach refleksyjnych, niskoemisyjnych, a także ograniczających prawie do zera przepuszczalność promieniowania UV.** Taki podział komory niweluje wewnętrzne ruchy konwekcyjne, co skutkuje poprawą izolacyjności i osiągnięciem właściwości szyby dwukomorowej [9].

## Przegrzewanie pomieszczeń

Jest to istotny problem szczególnie w przypadkach budynków energooszczędnych o dużych przeszkleniach. Żle zaprojektowana fasada szklana może prowadzić do nadmiernych zysków od energii słońca magazynowanej w dobrze izolowanych pomieszczeniach. W celu rozwiązania problemu przegrzewania w Warunkach Technicznych ograniczono przepuszczalność promieniowania słonecznego (fotografia 3). Warunek dotyczący ochrony przed przegrzewaniem określony jest jako współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych  $g$  (tabela 4). Rozporządzenie nie dopuszcza wartości  $g$  wyższej niż 0,35 w okresie letnim.

$$g = fC \cdot gn$$

gdzie:

$fC$  – współczynnik redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne;

$gn$  – współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia.



Fot. 3. Wykorzystanie elementów zacięniających w budynku Małopolskiego Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego, arch. Marcin Furtak

Photo 3. The use of shading elements in Malopolskie Laboratory of Energy Efficiency Building

Wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsloneczne  $f_C$  są określone w WT w zależności od zastosowanej ochrony przeciwslonecznej. Jak wynika z pierwszych obserwacji prowadzonych w Małopolskim Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego na Politechnice Krakowskiej, w przypadku pomieszczeń o tej samej powierzchni użytkowej (ok. 20 m<sup>2</sup>) oraz tej samej powierzchni przeszklonej (15 m<sup>2</sup>) zastosowanie zewnętrznych łamaczy światła (brise soleil) w dni o dużym nasłonecznieniu obniża temperaturę w tych pomieszczeniach o 4 – 6 °C.

Tabela 4. Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego w przypadku różnych typów przeszkleń [5]  
Table 4. The values of the total energy transmittance of solar radiation for different types of glazing [5]

Typ oszklenia	Wartość
Pojedynczo szklone	0,85
Podwójnie szklone	0,75
Podwójnie szklone z powłoką selektywną	0,67
Potrójnie szklone	0,70
Potrójnie szklone z powłoką selektywną	0,50
Okna podwójne	0,75

### Szczelność na przenikanie powietrza

W projektowaniu i realizacji elewacji budynków energooszczędnych bardzo dużą uwagę należy zwrócić na szczelność obudowy. Jest to związane bezpośrednio ze stratami ciepła. Wymagania dotyczące szczelności obudowy określają, że w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnym nieprzezroczyście przegrody zewnętrzne, złącza między przegrodami i częściami przegród (tj. połączenia stropodachów lub dachów ze ścianami zewnętrznymi), przejścia elementów instalacji (m.in. kanały instalacji wentylacyjnej i spalinowej prowadzone przez przegrody zewnętrzne) oraz połączenia okien z ościeżami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza (tabela 5 i 6).

Warunki Techniczne zalecają, by po zakończeniu budowy budynek mieszkalny, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjny został poddany próbie szczelności przeprowadzonej zgodnie z Polską Normą PN-EN 13829 określającą liczbę wymian powietrza z ogrzewanej kubatury w ciągu godziny przy różnicy ciśnienia 50 Pa, np. w standardzie pasywnym szczelność budynków powinna wynosić przy  $n_{50} \leq 0,6$  wymiany powietrza na godzinę [4].

Tabela 5. Wartości przepuszczalności powietrza okien i drzwi balkonowych przy ciśnieniu 100 Pa w przypadku różnych typów budynków [5]

Table 5. The values of air permeability of windows and balcony doors at a pressure of 100 Pa for different types of buildings [5]

Rodzaj budynków	Przepuszczalność powietrza przez okna i drzwi balkonowe przy ciśnieniu 100 Pa	Klasa PN dotycząca przepuszczalności powietrznej okien i drzwi
Niskie, średnio-wysokie i wysokie	nie więcej niż 2,25 m <sup>3</sup> /(m · h) w odniesieniu do długości linii stykowej lub 9 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> · h) w odniesieniu do pola powierzchni	3
Wysokościowe	nie więcej niż 0,75 m <sup>3</sup> /(m · h) w odniesieniu do długości linii stykowej lub 3 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> · h) w odniesieniu do pola powierzchni	4

### Podsumowanie

Przytoczone kryteria doboru przegród, rozwiązania materiałowe i techniczne stawiane obudowom budynków, przepisy prawne oraz problemy pojawiające się przy projektowaniu energooszczędnych fasad są jedynie próbą zasygnalizowania wielowymiarowości i złożoności poruszanej w artykule tematyki. Po nowelizacji norm i warunków technicznych oraz zbliżającym się terminie wdrożenia przez Polskę dyrektywy unijnych, w krajowych środowiskach inżynierskich trwa dyskusja nad kierunkami rozwoju projektowania zintegrowanego, które w sposób komplementarny obejmuje mnogość zagadnień, z jakimi spotykają się projektanci i wykonawcy energooszczędnych obiektów budowlanych. O ile proces projektowy obejmuje zakres wielopoziomowy i wielobranżowy, to jednym z jego najistotniejszych elementów pozostaje bilans energetyczny inwestycji. Należy zwrócić uwagę, że współczesne fasady budynków odpowiadają nie tylko za tradycyjnie przypisywane im funkcje, ale również to od ich uformowania zależą w dużej mierze pozostałe decyzje projektowe.

### Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków nr 2002/91/WE oraz 31/2010/WE.
- [2] Krajowy Plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii (projekt Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju z 14.10.2014 r.).
- [3] Fokin K. F., Strojitielnoja tieplotekhnika ograždajuszczich czastiej zdaniij, Moskwa, 1934.
- [4] Firlag S., Szczelność powietrzna budynków pasywnych i energooszczędnych – wyniki badań, Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej, 2-B/2012, zeszyt 3, Kraków, 2012.
- [5] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [6] Klassen F., Material Innovations: Transparent, lightweight, malleable & responsive [w:] [http://www.ryerson.ca/malleablematter/images/publications/Material\\_Innovations.pdf](http://www.ryerson.ca/malleablematter/images/publications/Material_Innovations.pdf) (data dostępu 2.02.2015 r.).
- [7] Materiały informacyjne firm produkujących pakiety szybowe: AGC Glass Limited, Saint Gobain, Pilkington.
- [8] Kabrońska J., Technologie budowlane w procesie poprawy jakości energetycznej budynków, Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej 8-A/2010, zeszyt 18, rok 107 Kraków, 2010.
- [9] Heat Mirror IG Product Guide, [www.heatmirror.com](http://www.heatmirror.com) (dostęp 2.02.2015 r.).

Przyjęto do druku: 04.05.2015 r.