
PRACE

**Instytutu Szkła, Ceramiki
Materiałów Ogniotrwałych
i Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Glass, Ceramics
Refractory and Construction Materials

Nr 3

ISSN 1899-3230

Rok II

Warszawa–Opole 2009

*ANNA BALON-WRÓBEL**
*BARBARA MAZUR***

Szyby zespolone – atrakcyjny materiał budowlany

W artykule przedstawiono czynniki, które wpływają na to, że szyby zespolone są atrakcyjnym materiałem budowlanym. Szczególnie zwrócono uwagę na współczynnik przenikania ciepła U, będący głównym parametrem decydującym o ich atrakcyjności. Omówiono wpływ różnych czynników na jego wartość oraz metody określające tę wartość.

Zaprezentowano metody badawcze służące ocenie zgodności szyb zespolonych z normą PN-EN 1279. Ocena ta przeprowadzana przez laboratorium notyfikowane stanowi podstawę do wystawiania deklaracji zgodności oraz oznakowania wyrobu znakiem CE.

1. Wstęp

W dobie obecnego kryzysu energetycznego, ujemnego wpływu ogrzewania na środowisko oraz stałego wzrostu cen materiałów opałowych (węgiel, energia elektryczna i gaz) wysoka izolacyjność cieplna szyb zespolonych czyni je nowoczesnym i atrakcyjnym materiałem budowlanym.

2. Współczynnik przenikania ciepła U

Izolacyjność cieplna określana jest przez współczynnik przenikania ciepła U, tj. parametr, który charakteryzuje przenikanie ciepła przez centralną część oszklenia, bez uwzględnienia efektów brzegowych, i określa stosunek gęstości ustalonego przenikania ciepła do różnicy temperatur środowiska z każdej strony oszklenia. Wartość współczynnika przenikania ciepła U wyrażona jest w W/m^2K [2].

Szyba zespolona wykazuje tym lepsze właściwości termiczne, im wartość współczynnika U jest niższa.

*Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła w Krakowie.

**Mgr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła w Krakowie.

3. Szyba zespolona dawniej i dziś

Można śmiało stwierdzić, że do historii przechodzą oszklenia, w których zastosowane były pojedyncze tafle szkła okiennego. Posiadały one wysoki współczynnik U wynoszący ok. $6,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Obecnie nie znajdują już zastosowania także pierwsze szyby zespolone, które wykonane były z niepowlekanego szkła float. Ich współczynnik U wynosił, w zależności od wypełnienia przestrzeni międzyszybowej, od $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (powietrze) do $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (argon).

Konieczność obniżenia wartości współczynnika U wpłynęła na opracowanie nowych szkieł tzw. niskoemisyjnych, czyli szkieł charakteryzujących się niską emisyjnością, mającą znaczący wpływ na polepszenie właściwości termoizolacyjnych szyb zespolonych. Przestrzeń międzyszybowa obecnych oszkleń wypełniona jest argonem, kryptonem oraz w szczególnych przypadkach również ksenonem.

Atrakcyjne są również szyby zespolone wykonane w technologii Heat Mirror. Różnią się one od tradycyjnych szyb zespolonych tym, że przestrzeń międzyszybowa przedzielona jest specjalną poliestrową folią z naniesioną powłoką metaliczną. W przestrzeń międzyszybową wprowadzany jest także gaz. Zastosowanie tej praktycznie niewidocznej folii wpływa na uzyskanie niezwykle niskiego współczynnika U . W zależności od rodzaju zastosowanej folii współczynnik U może uzyskać nawet wartość $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4. Czynniki wpływające na wartość współczynnika przenikania ciepła U

Z punktu widzenia izolacyjności cieplnej o atrakcyjności szyby zespolonej świadczy niska wartość jej współczynnika przenikania ciepła. Zależny on jest od czynników, które w większym bądź w mniejszym stopniu mają wpływ na izolacyjność zespolenia. Są to:

- rodzaj szkła zastosowanego w zespoleniu,
- gaz wypełniający przestrzeń międzyszybową,
- stopień wypełnienia gazem przestrzeni międzyszybowej,
- wielkość dystansu między szybami,
- ilość komór w zestawie.

4.1. Rodzaj szkła

Obecne tendencje wynikające z oszczędności energetycznych zmierzają do stosowania szyb zespolonych zapewniających jak najlepszą izolacyjność cieplną. Można to osiągnąć, stosując szkło z powłokami, dalej zwane szkłem niskoemisyjnym.

Szko niskoemisyjne jest szkłem float z naniesioną specjalną powłoką, której zadaniem jest odbijanie ciepła wychodzącego z pomieszczenia na zewnątrz. Szko to, w zależności od sposobu jego otrzymywania, możemy podzielić na twardepowłokowe i miękkopowłokowe.

W szybach niskoemisyjnych twardepowłokowych powłoka nanoszona jest w procesie pyrolizy. Charakteryzuje się ona dość dobrą odpornością na działanie czynników atmosferycznych i szkło z taką powłoką może pracować jako pojedyncza szyba. Szko niskoemisyjne charakteryzowane jest przez tzw. współczynnik emisyjności ϵ , będący miarą zdolności odbicia promieniowania cieplnego. Dla szkieł twardepowłokowych jego wartość wynosi od 0,15 do 0,20. Przykładem takiego szkła może być szkło K-glass, które zastosowane w zespoleniu obniża znacząco współczynnik U do wartości 1,7 W/m²K dla zestawu z powietrzem w przestrzeni międzyszybowej [11].

Jeszcze lepsze właściwości pod względem energooszczędnym mają szyby zespolone, w których zastosowano szkło niskoemisyjne miękkopowłokowe. Charakteryzuje się ono lepszą emisyjnością, tzn. niższą wartością współczynnika ϵ , która wynosi od 0,03 do 0,05. Najnowsze powłoki powstały w wyniku napylecia metodą magnetronową na powierzchnię szkła float wielu cienkich warstw metali, w których zasadniczą rolę odgrywa srebro. Mają one zdolność odbijania promieniowania długofalowego (np. ciepło wyemitowane przez grzejniki lub oddawane przez ludzi), a promieniowanie krótkofalowe (słoneczne) przepuszczane jest bez jakichkolwiek przeszkód. W okresie zimowym promieniowanie słoneczne, przenikając przez oszklenie, powoduje nagrzewanie pomieszczenia, zostaje ono zamienione na promieniowanie długofalowe. W oknach montowane są szyby termoizolacyjne z niskoemisyjną powłoką umieszczoną wewnątrz przestrzeni międzyszybowej.

W zależności od producenta szyby termoizolacyjne posiadają różne nazwy handlowe, przykładowo są to: ClimaGuard Premium, Planitherm Ultra Neutral, Optitherm S3, Planibel TopN plus, Silverstar EN plus.

Nadmienić należy, iż stosowane jest również w szybach zespolonych szkło bezpieczne hartowane względnie klejone. Zastosowanie takiego szkła w zespoleniu dodatkowo wpływa na polepszenie bezpieczeństwa pomieszczeń, w których szyby zespolone są zamontowane.

4.2. Gaz w przestrzeni międzyszybowej

W tradycyjnych szybach zespolonych przestrzeń międzyszybowa wypełniona jest powietrzem o ciśnieniu i temperaturze jakie panowały na hali produkcyjnej w trakcie montażu szyb. Przez wprowadzenie innego gazu w miejsce powietrza do wnętrza szyby zwiększa się jej izolacyjność cieplną. Dzieje się to, kiedy za-

stosowany zostanie gaz o niższym przewodnictwie cieplnym niż powietrze. Ponadto, wprowadzony gaz powinien spełniać następujące wymagania:

- nietoksyczność,
- odporność na promieniowanie słoneczne,
- brak absorpcji przez sito molekularne,
- brak reakcji z materiałami uszczelniającymi,
- niska zdolność dyfuzji przez materiały uszczelniające.

Wymagania te spełnione są przez gazy szlachetne. Najczęściej stosowany jest argon, rzadziej krypton i ksenon. Szerokie zastosowanie argonu, mimo jego wyższej przewodności cieplnej ($0,0162 \text{ W/m}^2\text{K}$) w stosunku do kryptonu ($0,0086 \text{ W/m}^2\text{K}$) i ksenonu ($0,0051 \text{ W/m}^2\text{K}$), wynika z niskiej ceny tego gazu w porównaniu do cen dwóch pozostałych [10].

Istotną sprawę w uzyskaniu wymaganego współczynnika przenikania ciepła U stanowi stopień wypełnienia gazem przestrzeni międzyszybowej. Komisja Europejska ds. Normalizacyjnych ustaliła w normach zharmonizowanych 90% zawartość argonu w przestrzeni międzyszybowej. Wpływ zawartości argonu na wartość współczynnika U przedstawia tabela 1. Obliczenia dokonano według normy PN-EN 673:1999 „Szkło w budownictwie. Określenie współczynnika przenikania ciepła «U». Metoda obliczeniowa” [1] (dla szkła o emisyjności skorygowanej 0,037).

Tabela 1

Wpływ zawartości argonu na wartość współczynnika U

Argon [%]	Współczynnik U [$\text{W/m}^2\text{K}$]
0	1,4
70	1,2
80	1,2
90	1,1

4.3. Dystans między szymbami oraz liczba komór w zespoleniu

Czynnikiem, który wpływa na wielkość współczynnika U jest również dystans między szymbami zapewniony przez zastosowanie tzw. ramek dystansowych. Optymalna szerokość takiej ramki jest różna w zależności od zastosowanego gazu w przestrzeni międzyszybowej. Wpływ szerokości na wartość współczynnika U (wg PN-EN 673:1999) przedstawia tabela 2 ($\epsilon = 0,037$ i Ar – 90%) i tabela 3 ($\epsilon = 0,037$ i Kr – 90%).

Tabela 2
Wpływ szerokości ramki dystansowej wypełnionej argonem
na wartość współczynnika U

Szerokość [mm]	Współczynnik U [W/m ² K]
10	1,4
12	1,3
14	1,2
16	1,1
24	1,2

Tabela 3
Wpływ szerokości ramki dystansowej wypełnionej kryptonem
na wartość współczynnika U

Szerokość [mm]	Współczynnik U [W/m ² K]
10	1,0
12	1,1
14	1,1
16	1,1
24	1,1

Z prezentowanego zestawienia (tab. 2 i 3) wynika, że dla szyb zespolonych, których przestrzeń międzyszybowa wypełniona jest argonem najkorzystniejsze jest zastosowanie ramki dystansowej 16 mm. Krypton najkorzystniej wpływa na wartość współczynnika U, jeżeli wprowadzony jest do 1-komorowej szyby zespolonej z 10 mm ramką dystansową.

Ze względu na liczbę komór znajdujących się w zespoleniu, szyby zespolone możemy podzielić na jednokomorowe i dwukomorowe. Posiadają one, jak sama nazwa wskazuje, odpowiednio jedną bądź dwie komory.

Najpowszechniej stosowane są jednokomorowe szyby zespolone. Możliwość uzyskania korzystnych pod względem energetycznym parametrów oraz niewielki ciężar przyczyniły się do zastosowania ich głównie w budownictwie mieszkaniowym. Coraz bardziej popularne są jednak dwukomorowe szyby zespolone. Mimo że ich ciężar jest większy niż szyb jednokomorowych, charakteryzują się one znacząco korzystniejszą izolacyjnością cieplną. Obrazuje to zestawienie wartości współczynnika U, obliczonego wg normy PN-EN 673 [1], dla szyb 1- i 2-komorowych (tab. 4 i 5).

Tabela 4

Wpływ liczby komór na wartość współczynnika U
– szyby 1-komorowe

Budowa	U [W/m ² K]
4Float/16/4 Termofloat	1,4
4Float/16Ar/4Termofloat	1,1
4Float/12Kr/4Termofloat	1,1

Tabela 5

Wpływ liczby komór na wartość współczynnika U
– szyby 2-komorowe

Budowa	U [W/m ² K]
4Float/16/4/16/4 Termofloat	1,1
4Float/16Ar/4/16Ar/4Termofloat	0,9
4Float/12Kr/4/12Kr/4Termofloat	0,8

Dwukomorowe szyby zespolone znajdują zastosowanie w pawilonach wystawienniczych, halach sportowych oraz basenach pływackich.

5. Potwierdzenie atrakcyjności szyb zespolonych

Atrakcyjność szyb zespolonych potwierdzana jest badaniami, które wykonywane są w Laboratorium Badawczym Instytutu Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła w Krakowie. Badania te mają na celu przekonanie potencjalnych klientów o jakości kupowanych wyrobów.

Są to następujące badania:

- określenie współczynnika przenikania ciepła U metodą obliczeniową i badawczą,
- sprawdzenie jakości wykonania zespolenia.

5.1. Określenie współczynnika przenikania ciepła U – metoda obliczeniowa

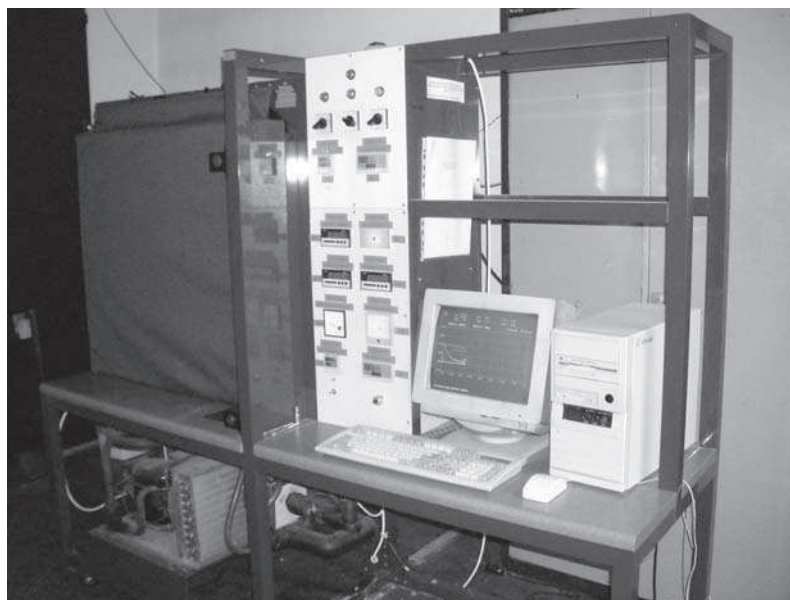
Obliczenia wartości współczynnika U wykonywane są przy użyciu programu obliczeniowego opracowanego na podstawie normy PN-EN 673:1999 [1].

Znajomość budowy zespolenia oraz parametrów jego elementów składowych pozwala na dokonanie obliczeń. Do obliczeń wymagana jest znajomość grubości składowych tafli szkła, wartości emisyjności w przypadku zastosowania szkła niskoemisyjnego, szerokości ramki dystansowej oraz rodzaju gazu i stopnia jego wypełnienia.

5.2. Określenie współczynnika przenikania ciepła – metoda badawcza

Badanie współczynnika przenikania ciepła U polega na doświadczalnym określeniu oporności cieplnej badanych szyb zespolonych oraz obliczeniu wartości współczynnika U przy wykorzystaniu wzorów zawartych w normach. Oporność cieplna wyznaczona może być przy wykorzystaniu normy: PN-EN 674:1999 [2] oraz normy PN-EN 675:1999 [3].

W Laboratorium Badawczym ISCMOIB, Oddział Szkła w Krakowie prowadzi się badania określenia współczynnika przenikania ciepła U szyb zespolonych przy zastosowaniu metody opisanej w normie PN-EN 674:1999 [2]. Stanowisko, na którym wykonywane są badania przedstawia rycina 1.



Ryc. 1. Stanowisko do badania współczynnika przenikania ciepła

Współczynnik przenikania ciepła zależy od oporności cieplnej oszklenia warstwowego i od współczynnika przejmowania ciepła z powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej. Oporność cieplna wyznaczana jest empirycznie na stanowisku pomiarowym typu dwupłytkowego, wyposażonym w płytę grzejną (pomiarową) o wymiarach 500 x 500 mm.

Badane szyby umieszcza się parami, symetrycznie z obu stron płyty grzejnej. Odbiór ciepła odbywa się poprzez dwie płyty chłodzące, usytuowane od zewnątrz badanych szyb. Korzystając z danych zawartych w uprzednio wymienionej normie oblicza się wartość współczynnika U .

W większości przypadków istnieje minimalna różnica pomiędzy wartościami współczynnika U otrzymanymi w wyniku obliczeń i badań. W przypadku obliczeń mamy do czynienia jedynie z teoretyczną wartością. Metoda badawcza odzwierciedla rzeczywistą wartość, którą uzyskuje się w warunkach zbliżonych do tych w jakich pracuje szyba zespolona. Tabela 6 pokazuje wartości otrzymane przy wykorzystaniu omówionych uprzednio dwóch metod.

Tabela 6

*Badanie wartości współczynnika U przy wykorzystaniu norm:
PN-EN 673:1999 i PN-EN 674:1999*

Budowa	Metoda	
	PN-EN 673	PN-EN 674
4Float/16/4Float	2,7	2,6
4Float/16Ar/4Float	2,6	2,4
4Float/16Ar/4Termofloat	1,1	1,0
4Termofloat/16Ar/4Float/16Ar/4Termofloat	0,6	0,5
4Termofloat/12Kr/4Float/12Kr/4Termofloat	0,5	0,4

5.3. Ocena zgodności szyb zespolonych

Badania szyb zespolonych na zgodność z normą PN-EN 1279:2004, prowadzone w notyfikowanych laboratoriach badawczych, służą nie tylko potwierdzeniu, że jest to atrakcyjny materiał budowlany. Badania takie są także wymogiem stawianym przed producentami szyb zespolonych. Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 89/106/EWG z 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia ustaw, rozporządzeń i przepisów administracyjnych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych wprowadziła pojęcie wymagań podstawowych, które powinny spełniać obiekty budowlane. Wyroby budowlane przeznaczone do stosowania w obiektach budowlanych mogą być wprowadzone na rynek tylko wtedy, gdy mają takie cechy, że obiekty, w których mają być wbudowane, stosowane lub instalowane, mogą – jeżeli obiekty te są prawidłowo zaprojektowane i wykonane – spełnić wymagania podstawowe. Te wyroby oznaczane są znakiem CE wskazującym, że spełniają one wszystkie postanowienia Dyrektywy 89/106/EWG.

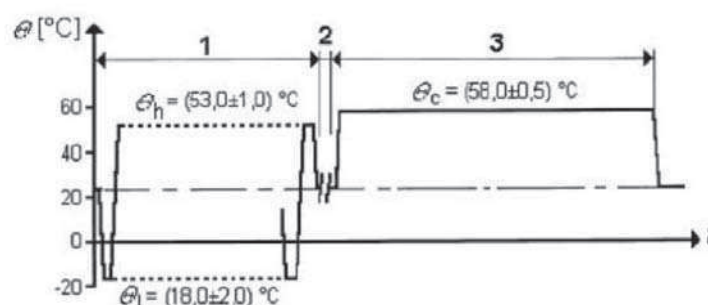
Izolacyjne szyby zespolone należą do wyrobów budowlanych objętych obowiązkiem oznakowania znakiem CE lub budowlanym B. Dokumentem odniesienia w obu przypadkach jest norma PN-EN 1279:2004 [4–9].

Zgodnie z PN-EN 1279-5:2004 [8] oznacza to, że w celu ustalenia czy wyrób jest zgodny z definicją izolacyjnych szyb zespolonych, wstępne badanie typu powinno potwierdzić spełnienie wymagań podanych w poszczególnych arkuszach normy.

5.4. Arkusz PN-EN 1279-2:2004 „Długotrwała metoda badania i wymagania dotyczące przenikania wilgoci”

W arkuszu PN-EN 1279-2:2004 [5] podano wymagania dotyczące przenikania wilgoci oraz opis metody badania izolacyjnych szyb zespolonych, która zapewnia poprzez odpowiednią ocenę zgodności z tą normą, że własności wyrobu w czasie jego użytkowania pozostaną niezmienione.

Głównym kryterium poddawanych ocenie podczas tych badań jest wskaźnik przenikania wilgoci. Wskaźnik przenikania wilgoci to stopień zdolności sita molekularnego do osuszania przestrzeni międzyszybowej po zużyciu w standardowych warunkach starzenia. Metoda ta polega na tym, że zestawy izolacyjnych szyb zespolonych poddaje się badaniu klimatycznemu, czyli przyspieszonemu starzeniu. Odpowiednio mierzy się ich początkowy i końcowy punkt rosy oraz początkową i końcową zawartość wilgoci i oblicza wskaźnik przenikania wilgoci.



Opis

Θ – temperatura szkła próbki położonej centralnie,

1 – 56 temperaturowych cykli dwunastogodzinnych (cztery tygodnie),

2 – odstęp czasu od 2 h do 4 h na przeniesienie próbek z jednej komory do drugiej, gdy używa się dwóch komór,

3 – (1176 ± 4) h stałej temperatury i wilgotności względnej r.h. $\geq 95\%$ (siedem tygodni).

Ryc. 2. Przegląd warunków klimatycznych w komorze

Zastosowano tu metodę oceny trwałości, która polega na badaniu właściwości użytkowych wyrobu w celu ustalenia możliwości zmian jego cech pod wpływem określonego oddziaływania. Dla próbek, dostarczanych do Laboratorium Badawczego przez producentów szyb zespolonych i poddanych badaniom klimatycznym opisanym w niniejszej części normy, sprawdza się następujące wartości:

- średni wskaźnik przenikania wilgoci z pięciu próbek, który nie powinien przekraczać 20%,
- najwyższy wskaźnik przenikania wilgoci, który nie powinien przekraczać 25%.

Oprócz przedstawionej metody pełnych badań klimatycznych stosuje się też, jako badanie okresowe, krótkie badania klimatyczne. Powinno ono wchodzić w zakres zakładowej kontroli produkcji opisanej w PN-EN 1279-6:2004 [9]; celem tych badań jest wykazanie, czy zakładowa kontrola produkcji efektywnie wspomaga produkcję, tak by właściwości wyrobu stale odpowiadały warunkom technicznym i w ten sposób zapewniały ekonomicznie uzasadnioną trwałość użytkowania izolacyjnych szyb zespolonych.

5.5. Arkusz PN-EN 1279-3:2004 „Długotrwała metoda badania i wymagania dotyczące szybkości ubytku gazu oraz tolerancje koncentracji gazu”

Wartość współczynnika przenikania ciepła U , a także innego parametru cechującego szyby zespolone i stanowiącego o ich atrakcyjności – wskaźnika izolacyjności akustycznej – zależy od koncentracji gazu w przestrzeni międzyszybowej.

Podstawowym zadaniem szyby zespolonej jest zapewnienie jak najlepszej izolacyjności termicznej. Ze względu na to, że przenikanie ciepła odbywa się między innymi drogą przewodnictwa cieplnego i ruchów konwekcyjnych w przestrzeni międzyszybowej, zastąpienie powietrza gazem o niższym przewodnictwie cieplnym daje efekt istotnego obniżenia współczynnika przenikania ciepła całej szyby zespolonej. Aby jednak współczynnik uzyskał zakładaną wartość, przestrzeń międzyszybowa musi być wypełniona gazem specjalnym w co najmniej 85%. Spadek koncentracji gazu specjalnego w przestrzeni międzyszybowej pogarsza właściwości izolacyjne szyb.

Dla określenia szczelności szyby, opisanej równowagą pomiędzy uchodzeniem gazu specjalnego z szyby a wchodzeniem powietrza z zewnątrz, został opracowany arkusz PN-EN 1279-3:2004 [6]. Podano w nim wymagania dla napełnianych gazami specjalnymi szyb zespolonych oraz określono sposób badania ich gazoszczelności.

W tej części normy uwzględniono: ustalenie szybkości ubytku gazu, tolerancje koncentracji gazu jako jeden ze sposobów sprawdzenia czy wyrób spełnia definicję szyb zespolonych. Szybkość ubytku gazu to proporcja wyrażona jako procentowa objętość gazu wypływającego z szyby zespolonej wypełnionej gazem na rok, natomiast koncentracja gazu to procentowa zawartość gazu w przestrzeni międzyszybowej.

Badanie szyb zespolonych polega na pomiarze szybkości wypływu gazu z próbki po poddaniu jej działaniu czynników klimatycznych, czyli przyspieszonemu starzeniu. Zależność między sztucznym a naturalnym starzeniem ustalono przez określenie szybkości wypływu gazu z izolacyjnych szyb zespolonych, które były zainstalowane przez dziesięć lat w oknach budynku. Zmierzone wartości

okazały się mniejsze o współczynnik 10 w porównaniu z wartościami zmierzonymi na szybach o takiej samej konstrukcji po sztucznym starzeniu.

Na podstawie tego doświadczenia przyjęto, że w przypadku szyby izolacyjnej o prawidłowej szybkości wypływu gazu po sztucznym starzeniu, ubytek gazu wynosi mniej niż 5% i jest porównywalny z ubytkiem gazu w szybach zainstalowanych w budynku przez ponad 25 lat. Dla większej pewności tego oszacowania przyjęto, że szybkość wypływu gazu w przypadku zabudowanych szyb podwaja się co 10 lat. W szybach o typowej nominalnej koncentracji gazu (argonu) 90% i możliwej realnej koncentracji 85%, koncentracja gazu po 25 latach wynosi powyżej 80%.

5.6. Arkusz PN-EN 1279-4:2004 „Metody badania fizycznych właściwości uszczelnień obrzeży”

Masy uszczelniające stosowane w produkcji szyb zespolonych są komponentami decydującymi w głównej mierze o szczelności szyb, a więc w bardzo dużym stopniu wpływają na ich ogólną jakość. Muszą zatem być objęte szczególnym nadzorem i podlegać obowiązkowym badaniom. Zapewnienie szybie zespolonej trwałej szczelności wymaga przede wszystkim zastosowania bariery dla przenikania gazów, którą powinien być materiał o własnościach trwale elastycznych, odporny na działanie czynników atmosferycznych.

Masy uszczelniające stosowane w produkcji szyb zespolonych muszą więc charakteryzować się następującymi właściwościami:

- 1) wysoką izolacyjnością i odpornością chemiczną na obecność i działanie czynników zewnętrznych, takich jak wszelkie czynniki agresywne pochodzące z atmosfery;
- 2) odpornością na promieniowanie słoneczne – nie mogą ulegać procesowi degradacji;
- 3) odpornością na różnice temperatur – muszą zachowywać właściwości mas elastycznych w zakresie różnic temperatur występujących w danym klimacie i powodujących powstawanie naprężeń w miejscach styku ramek ze szkłem, a szczególnie w narożach szyb;
- 4) odpornością na wszelkiego rodzaju naprężenia mechaniczne związane z hałasem komunikacyjnym i przemysłowym.

Norma PN-EN 1279-4:2004 [7] opisuje metody badań trzech parametrów charakterystycznych dla uszczelnień obrzeża szyby zespolonej. Są to badania:

- 1) wytrzymałości uszczelnionego obrzeża – adhezji szczeliwa do szkła,
- 2) szybkości przepuszczania pary wodnej przez szczeliwo,
- 3) przepuszczalności gazu przez warstwę szczeliwa,

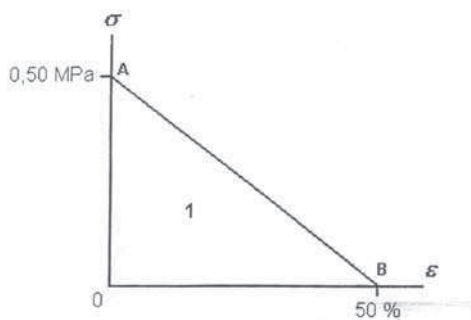
Przy wstępnym badaniu typu wymagana jest tylko analiza wytrzymałości uszczelnionego obrzeża.

Badanie adhezji szczeliwa do szkła obejmuje badanie wytrzymałości na rozciąganie pod obciążeniem przygotowanych próbek, stanowiących połączenia szkło – szczeliwo – szkło, przed i po starzeniu. Starzenie próbek polega na poddaniu ich działaniu następujących czynników:

- ciepła – wystawienie na działanie ciepła w zamkniętym piecu w temperaturze $(60 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ w czasie (168 ± 5) h;
- wody – zanurzenie w jednym lub dwóch litrach wody destylowanej lub zdejonizowanej przez (168 ± 5) h w standardowych warunkach pokojowych;
- promieniowania UV – poddanie działaniu promieniowania UV w czasie (96 ± 4) h, promieniami prostopadłe padającymi na szkło, o natężeniu w zakresie UVA równym (40 ± 5) W/m^2 według EN 412.

Badanie wytrzymałości na rozciąganie przeprowadza się w maszynie wytrzymałościowej z zastosowaniem odpowiedniej szybkości rozdzielania.

Podstawowym wymaganiem, które musi być spełnione przez wszystkie przygotowane próbki jest odpowiednia wytrzymałość adhezyjna i kohezyjna na rozciąganie, taka aby wszystkie uszkodzenia wystąpiły poza obszarem 0AB, przedstawionym na rycinie 3.



Obszar 0AB – w obszarze tym nie dopuszcza się rozerwania przed i po starzeniu,

σ – naprężenie w szczeliwie,

ϵ – odkształcenie szczeliwa.

Ryc. 3. Trójkąt naprężeń/odkształceń

6. Podsumowanie

Atrakcyjność szyb zespolonych jako materiału budowlanego nie podlega dyskusji. Wysoka jakość tego wyrobu musi być jednak potwierdzona wynikami badań, przeprowadzanych w laboratoriach badawczych i, dla bezpieczeństwa odbiorców, udokumentowanych protokołami lub świadectwami badań [4]. Wyniki

uzyskane w trakcie przeprowadzania tych badań świadczą zarówno o jakości komponentów stosowanych w produkcji szyb zespolonych, jak o umiejętnościach i rzetelności producenta. Jednocześnie producenci szyb zespolonych powinni wdrażać ciągłą wewnętrzną kontrolę produkcji, która zapewni, że właściwości wyrobu pozostaną niezmienione w czasie [9].

Literatura

- [1] PN-EN 673: 1999 „Szkło w budownictwie – Określenie współczynnika przenikania ciepła U. Metoda obliczeniowa”.
- [2] PN-EN 674: 1999 „Szkło w budownictwie – Określenie współczynnika przenikania ciepła U. Metoda osłoniętej płyty grzejnej”.
- [3] PN-EN 675: 1999 „Szkło w budownictwie – Określenie współczynnika przenikania ciepła U. Metoda pomiaru przepływu ciepła miernikiem”.
- [4] PN-EN 1279-1: 2004 „Szkło w budownictwie – Szyby zespolone izolacyjne. Wymagania ogólne, tolerancje wymiarowe oraz zasady ustalania opisu systemu”.
- [5] PN-EN 1279-2: 2004 „Szkło w budownictwie – Szyby zespolone izolacyjne. Wymagania i długotrwała metoda badania dotycząca przenikania wilgoci”.
- [6] PN-EN 1279-3: 2004 „Szkło w budownictwie – Szyby zespolone izolacyjne. Długotrwała metoda badania i wymagania dotyczące szybkości ubytku gazu oraz tolerancje koncentracji gazu”.
- [7] PN-EN 1279-4: 2004 „Szkło w budownictwie – Szyby zespolone izolacyjne. Metody badania fizycznych właściwości uszczelnionych obrzeży”.
- [8] PN-EN 1279-5: 2004 „Szkło w budownictwie – Szyby zespolone izolacyjne. Ocena zgodności wyrobu z normą”.
- [9] PN-EN 1279-6: 2004 „Szkło w budownictwie – Szyby zespolone izolacyjne. Zakładowa kontrola produkcji i badania okresowe”.
- [10] S k a r b i ń s k i K., *Szyby zespolone* (6), „Dom pod klucz” 1996, nr 7, s. 5–7.
- [11] B a l o n - W r ó b e l A., *Co wpływa na polepszenie współczynnika przenikania ciepła „U” szyb zespolonych*, „Okno” 2001, nr 1, s. 132–134.

ANNA BALON-WRÓBEL
BARBARA MAZUR

INSULATING GLASS UNITS – ATTRACTIVE CONSTRUCTION MATERIAL

In article were presented factors which influence on insulating glass units as attractive construction material. Particularly the attention was turned on the thermal transmittance coefficient U which is the main resolving parameter of their attractiveness. The influence of different factors to its value and methods determination this one was talked over.

It was presented test methods which designed for carrying out the view of conformity insulating glass units with standard PN-EN 1279. The view of conformity carrying out by notify laboratory is a basis for drawing up declaration of conformity and marked the product with CE mark.