

mgr inż. Anna Balon-Wróbel¹⁾
dr inż. Agnieszka Marczevska^{1)*}
ORCID: 0000-0001-8736-8331

Właściwości energetyczne i spektralne powłokowego szkła niskoemisyjnego poddanego działaniu czynników symulujących przyspieszone starzenie

Energy and spectral properties of Low E coated building glass subjected to the factors simulating accelerated ageing

DOI: 10.15199/33.2020.08.06

Streszczenie. W artykule omówiono odporność szkła niskoemisyjnego na działanie czynników symulujących przyspieszone starzenie. Zakres badań obejmował poddanie przygotowanych próbek szkła działaniu warunków symulujących oddziaływanie czynników środowiskowych. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na ocenę ich wpływu na właściwości izolacyjne oraz świetlne i energetyczne szkła niskoemisyjnego. Wykazały, że np. oddziaływanie mgły solnej powoduje pogorszenie parametrów termicznych szyb. **Słowa kluczowe:** oszklenia; szkło niskoemisyjne; czynniki środowiskowe; emisyjność; współczynnik U; parametry spektralne.

Abstract. In paper resistance of low-emission glass to the effects of factors simulating accelerated ageing were discussed. The scope of research included subjecting the prepared glass samples to conditions simulating the impact of environmental factors. Obtained research results allowed to assess the impact of factors on the insulating, light and energy properties of low-emission glass. It was found that for example the effect of salt fog causes deterioration of the thermal parameters of this glass.

Keywords: construction glazing; low-emissivity glass; environmental factors; emissivity; coefficient „U”; spectral parameters.

Cechą współczesnego budownictwa są oszklenia wielkopowierzchniowe, które zapewniają odpowiedni poziom światła słonecznego oraz komfortu cieplnego pomieszczeń. Możliwe jest to dzięki obecności na rynku szkieł powłokowych o zróżnicowanych właściwościach, do których należą m.in. szkła z powłokami niskoemisyjnymi, refleksyjnymi, absorbującymi promieniowanie ultrafioletowe, samoczyszczącymi czy o właściwościach bakterioobójczych.

Coraz większe zużycie energii w sektorze budowlanym oraz emisja CO₂ do atmosfery wymusza stosowanie oszkleń z powłokami niskoemisyjnymi. Szkło takie odbija promieniowanie ciepłe (długofalowe), oddawane przez urządzenia grzejne, osoby przebywające w budynku oraz oświetlenie, z powrotem do budynku i ogrzewa go.

Jednocześnie powłoka niskoemisyjna przepuszcza do pomieszczenia promieniowanie słoneczne (krótkofalowe), którego energia pochłaniana jest przez wnętrze budynku. Energia ta wypromie-

niuje do pomieszczeń w postaci promieniowania cieplnego, które podczas próby wydostania się z budynku odbijane jest przez powłokę do jego wnętrza. Rozważając aspekt energooszczędności, celowe jest zastosowanie szkła powłokowego niskoemisyjnego (Low E) wpływającego korzystnie na bilans energetyczny budynku [6].

Szkło niskoemisyjne charakteryzowane jest przez **współczynnik emisyjności**. Im jest on mniejszy, tym oszklenie ma lepszą izolacyjność cieplną. Emisyjność jest właściwością pozwalającą na ocenę możliwości izolacyjnych oraz kontrolę warunków termicznych. Jest ona miarą zdolności szkła do ochrony przed przenikaniem promieniowania cieplnego w stronę otoczenia o niższej temperaturze. Właściwość ta wyrażana jest przez współczynniki emisyjności normalnej i skorygowanej.

Szkło niskoemisyjne uzyskuje wspomniane właściwości dzięki obecności powłoki naniesionej na powierzchnię metodami fizycznymi (tzw. powłoki miękkie). Niestety odporność tych powłok na działanie czynników środowiskowych jest bardzo mała [2, 8], dlatego też szkło niskoemisyjne znajduje zastosowanie głównie w szybach zespolonych. Szyby takie charakteryzują się

małą wartością współczynnika U oraz wysokim współczynnikiem całkowitej przepuszczalności energii słonecznej g. Tym samym wpływają na poprawę bilansu energetycznego budynku w wyniku biernego wykorzystania energii promieniowania słonecznego przepuszczanego przez oszklenie [9].

W przypadku, gdy na powierzchnię tego szkła oddziaływać będą czynniki środowiskowe, to nastąpi degradacja jego powierzchni, która może wpłynąć również na pogorszenie emisyjności szkła Low E oraz na właściwości spektralne, odgrywające bardzo ważną rolę w oszkleniu.

Prace związane z określeniem wpływu czynników środowiskowych na funkcjonalność szkieł budowlanych z rodziny solar-control, niskoemisyjnych i samoczyszczących prowadzone były w wielu laboratoriach. Uzyskane wyniki wykazały, że największy wpływ oddziaływania dużej wilgotności oraz mgły solnej na zmianę parametrów świetlnych oraz termicznych zauważalny był w przypadku szkieł niskoemisyjnych wykonanych na bazie srebra [1, 7]. Celem badań prezentowanych w artykule było określenie odporności szkła niskoemisyjnego na działanie czynników symulujących przyspieszone starzenie. Próbkę szkła poddano działaniu warunków symulujących oddziaływanie

¹⁾ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie;

^{*}) Adres do korespondencji: agnieszka.marczevska@icimb.lukasiewicz.gov.pl

czynników środowiskowych oraz określono wpływ tych czynników na właściwości energetyczne oszklenia.

Metoda badań

Badaniom poddano próbki szkła powłokowego niskoemisyjnego, po starzeniu w warunkach oddziaływania mgły solnej, niskiej temperatury (-20°C) oraz temperatury 58°C i podwyższonej wilgotności (90%) przez okres czterech tygodni (tabela 1), a następnie określono parametry charakteryzujące to szkło. Ocenę wpływu oddziaływania czynników środowiskowych (tabela 1) wykonano przez wyznaczenie takich parametrów, jak emisyjność, współczynnik przenikania ciepła oraz właściwości świetlne i energetyczne. Charakterystyki spektralne wyznaczono zgodnie z PN-EN 410:2011 [3], wykorzystując spektrofotometr z kulą całkującą.

Emisyjność powłoki określono zgodnie z normami PN-EN 12898:2004 [4] oraz PN-EN 673:2011 [5] z wykorzystaniem spektrometru wyposażonego w przystawkę odbiciową. Wartość współczynnika przenikania ciepła U wyznaczono, korzystając z programu obliczeniowego opracowanego na podstawie normy PN-EN 673:2011 [5].

Analiza wyników

W tabelach 2 i 3 przedstawiono współczynniki emisyjności oraz izolacyjności cieplnej szyby zespolonej w sytuacji, kiedy badane szkło Low E stanowiłoby element składowy tej szyby. Przeprowadzone badania wykazały wpływ oddziaływania czynników na wzrost wartości emisyjności w porównaniu z emisyjnością szkła, na które nie oddziaływał czynnik. **Największy wzrost emisyjności nastąpił w wyniku oddziaływania mgły solnej.** Wartość emisyjności skorygowanej wyniosła 0,425. Działanie dwóch pozostałych czynników spowodowało

Tabela 1. Czynniki oddziałujące na szkło emisyjne

Table 1. Factors influencing on the emission glass

Oznaczenie próbek	Nazwa czynnika
0	brak
3	mgła solna (5% roztwór NaCl)
5	temp. -20°C
9	temp. 58°C i 90% wilg.

wało również wzrost emisyjności, ale w mniejszym stopniu, osiągając wartości 0,203 (-20°C) oraz 0,104 (58°C i 90%). Znalazło to odzwierciedlenie w wartości współczynnika U. Szyba zespolona ze szkłem Low E, na które oddziaływała mgła solna, cechuje się najgorszą izolacyjnością termiczną – wartość $U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (obliczenia wykonano w przypadku szyby zespolonej o budowie 4Float/16 90% Ar/4Low E). Pozostałe czynniki w mniejszym stop-

Tabela 2. Emisyjność badanego szkła Low E
Table 2. The emissivity of the tested Low E glass

Rodzaj oddziałującego czynnika	Emisyjność	
	normalna	skorygowana*
Brak	0,046±0,003	0,054±0,004
Mgła solna	0,414±0,029	0,425±0,030
-20°C	0,183±0,013	0,203±0,014
58°C i 90%	0,090±0,006	0,104±0,007

* parametr obliczany z wyników pomiarów emisyjności normalnej zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 12898:2004

Tabela 3. Współczynnik przenikania ciepła U szyby zespolonej o budowie 4/16 90% Ar/4 Low E

Table 3. The U heat transfer coefficient of insulating glass unit with the structure 4/16 90% Ar/4 Low E

Rodzaj oddziałującego czynnika	Współczynnik U* [W/m²K]
Brak	1,2±0,0
Mgła solna	2,1±0,1
-20°C	1,6±0,1
58°C i 90%	1,3±0,0

*obliczenia własne wg PN-EN 673:2011 w przypadku szyby zespolonej zbudowanej ze szkła float grubości 4 mm oraz szkła powłokowego niskoemisyjnego Low E grubości 4 mm, w której przestrzeń międzyszybowa wynosi 16 mm i wypełniona jest argonem w ilości 90%.

Tabela 4. Parametry spektrofotometryczne badanego szkła powłokowego

Table 4. Spectrophotometric parameters of the tested coated glass

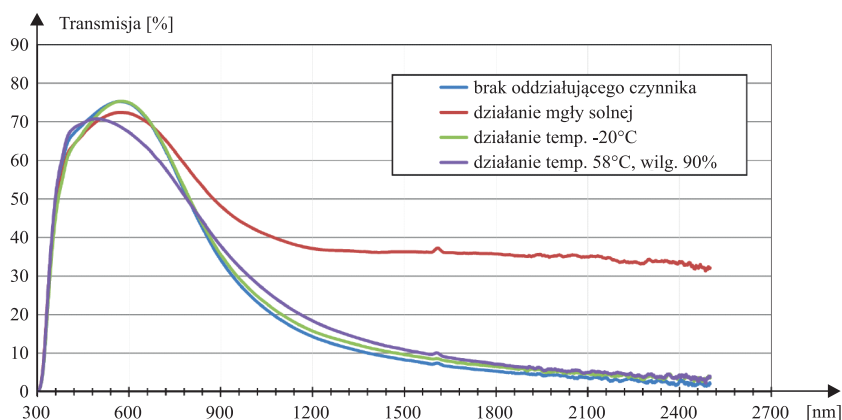
Właściwość	Rodzaj oddziałującego czynnika	Rodzaj oddziałującego czynnika			
		brak czynnika	mgła solna	-20°C	58°C i 90%
Przepuszczalność światła	τ_v	0,743±0,001	0,717±0,001	0,741±0,001	0,689±0,001
Odbicie światła	ρ_v	0,162±0,000	0,200±0,000	0,165±0,000	0,210±0,000
Bezpośrednia przepuszczalność promieniowania słonecznego	τ_e	0,492±0,001	0,566±0,001	0,493±0,001	0,485±0,001
Bezpośrednie odbicie promieniowania słonecznego	ρ_e	0,405±0,001	0,317±0,001	0,399±0,001	0,404±0,001
Bezpośrednia absorpcja promieniowania słonecznego	α_e	0,103±0,000	0,117±0,000	0,108±0,000	0,111±0,000
Współczynnik wtórnego przekazywania ciepła do wnętrza	q_i	0,024±0,000	0,028±0,000	0,025±0,000	0,026±0,000
Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (współczynnik słoneczny)	g	0,517±0,001	0,594±0,001	0,519±0,001	0,511±0,001
Przepuszczalność promieniowania UV	τ_{UV}	0,382±0,000	0,378±0,000	0,356±0,001	0,396±0,001
Współczynnik zacielenia	SC	0,590±0,001	0,680±0,001	0,600±0,001	0,590±0,001
Ogólny wskaźnik oddawania barw	R_a	98,00±0,20	98,00±0,20	98,00±0,20	96,00±0,12

niu wpłynęły na pogorszenie parametrów termicznych szyby zespolonej.

Parametry optyczne i energetyczne niskoemisyjnego szkła powłokowego przedstawiono w tabeli 4 oraz na rysunkach 1 ÷ 3. Analizując uzyskane wyniki, stwierdzono, że dosyć dużą przepuszczalnością światła widzialnego (na poziomie ok. 75%) charakteryzowało się szkło, na które nie oddziaływał czynnik oraz szkło po oddziaływaniu niskiej temperatury (-20°C).

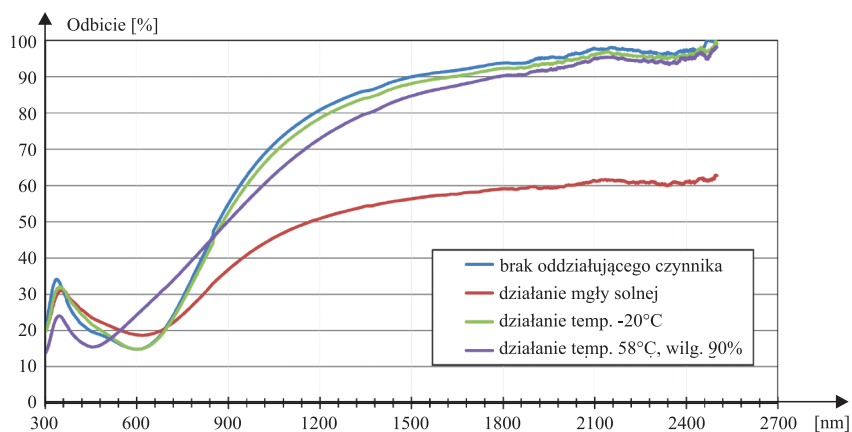
Spadek przepuszczalności do wartości ok. 70% zauważalny jest w przypadku oddziaływania na badane szkło mgły solnej oraz temperatury 58°C i wilgotności powyżej 90%. Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego badanych szkieł osiągnęła wartość ok. 50%.

W przypadku, kiedy światło padało bezpośrednio na powłokę, odbicie w podczerwieni osiągnęło wartość ok. 100% z wyjątkiem szkła, na które oddziaływała mgła solna. Czynniki te wpłynęły na obniżenie tego parametru, uzyskując wartość odbicia ok. 60%. Podobne wyniki osiągnięto, kiedy światło padało na powierzchnię szkła bez powłoki. Szkło, na które nie oddziaływał czynnik, charakteryzowało się odbiciem na poziomie ok. 80%. Nieco mniejszą wartość uzyskało szkło po oddziaływaniu niskiej temperatury (-20°C) oraz temperatury 58°C i wilgotności 90%. Znaczny spadek wartości odbicia (do ok. 60%) nastąpił w szkłe poddanym działaniu mgły solnej, która spowodowała utratę właściwości odbijania promieniowania w podczerwieni do wnętrza pomieszczenia.



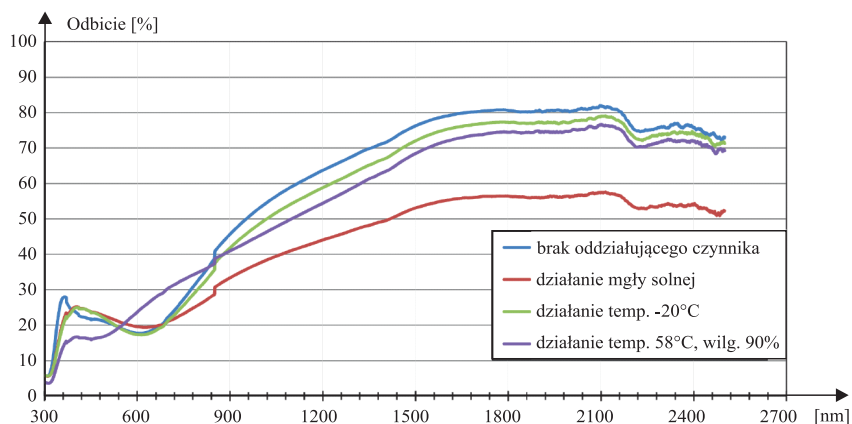
Rys. 1. Charakterystyka optyczna szkła niskoemisyjnego niepoddanego i poddanego działaniu czynników środowiskowych (tabela 1) – krzywe transmisji w przypadku, kiedy światło pada bezpośrednio na powłokę

Fig. 1. Optical characteristics of low-emissivity glass, untreated and exposed to environmental factors (table 1) – transmission curves in the case when the light falls directly on the coating



Rys. 2. Charakterystyka optyczna szkła niskoemisyjnego niepoddanego i poddanego działaniu czynników środowiskowych (tabela 1) – krzywe odbicia w przypadku, kiedy światło pada bezpośrednio na powłokę

Fig. 2. Optical characteristics of low-emissivity glass, untreated and exposed to environmental factors (table 1) – reflection curves when light falls directly on the coating



Rys. 3. Charakterystyka optyczna szkła niskoemisyjnego niepoddanego i poddanego działaniu czynników środowiskowych (tabela 1) – krzywe odbicia w przypadku, kiedy światło pada na powierzchnię szkła bez powłoki

Fig. 3. Optical characteristics of low-emissivity glass, untreated and exposed to environmental factors (table 1) – reflection curves when light falls on glass surface without coating

Wnioski

Zastosowanie w szybach zespolonych niskoemisyjnego szkła powłokowego dobrej jakości zapewnia spełnienie warunków izolacyjności cieplnej na wymaganym poziomie. W przypadku szyby zespolonej, na którą oddziałują czynniki środowiskowe, szczególnie mgła solna, jej energooszczędność ulega znacznemu pogorszeniu. Powoduje to zwiększenie zużycia energii na ogrzanie pomieszczenia.

Wysoki współczynnik całkowitej przepuszczalności energii słonecznej („solar factor” g) zapewnia poprawę bilansu energetycznego budynku dzięki wykorzystaniu energii promieniowania słonecznego. Szkła niskoemisyjne charakteryzują się dosyć dużą przepuszczalnością promieniowania w zakresie widzialnym, zapewniając duży dopływ światła dziennego do pomieszczeń, a tym samym przyczyniają się do zmniejszenia ilości energii zużytej na oświetlenie.

Ważną cechą takiego szkła jest duża zdolność do odbijania promieniowania podczerwonego do wnętrza pomieszczeń. Wpływa to korzystnie na ich komfort termiczny w okresie zimowym. W przypadku, gdyby zastosowano szkło narażone na wcześniejsze działanie mgły solnej, nie spełniałoby ono funkcji szkła energooszczędnego. Analiza uzyskanych wyników badań wykazała, że mgła solna należy do czynników, które ujemnie wpływają na właściwości szkła niskoemisyjnego.

Literatura

- [1] Ando E., M. Miyazaki. 1999. „Moisture degradation mechanism of silver-based low-emissivity coatings”. *Thin Solid Films* (351): 308 – 312.
- [2] Nocuń M. 2010. „Powłoki funkcyjne na szkle – rodzaje, właściwości i perspektywy rozwoju”. *Świat Szkła*, nr specjalny grudzień: 6 – 9, 30.
- [3] PN-EN 410:2011 – Szkło w budownictwie. Określenie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia.
- [4] PN-EN 12898:2004 – Szkło w budownictwie. Określenie emisyjności.
- [5] PN-EN 673:2011 – Szkło w budownictwie. Określenie współczynnika przenikania ciepła (wartość U). Metoda obliczeniowa.
- [6] Spectrally selective coatings onto architectural glasses: low-emissivity coatings RKM Palma, JMM Duart, AMI Riera, 1998.
- [7] Stazi F., M. Giampaoli, F. Giampaoli, C. Di Perna, P. Munafò. 2013. „Durability of different glass coatings in humid and saline environments, ageing impact on heat-light transmission and thermal comfort”. *Building and Environment* 105 (216): 210 – 224.
- [8] Żelazowska E. 2013. „Emisyjność a szkła powlekane niskoemisyjne. Część 1”. *Świat Szkła* (6): 22 – 26.
- [9] Żelazowska E. 2013. „Emisyjność a szkła powlekane niskoemisyjne. Część 3. Zastosowania”. *Świat Szkła* (12): 41 – 45.

Przyjęto do druku: 09.07.2020 r.