

Analiza właściwości szkieł z powłokami wielowarstwowymi na bazie TiO_2 poddanych działaniu promieniowania UV i mgły solnej

MGR INŻ. ANNA BALON-WRÓBEL, MGR INŻ. AGNIESZKA MARCZEWSKA

INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH, ODDZIAŁ SZKŁA I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W KRAKOWIE

1. Wprowadzenie

Współczesne budownictwo charakteryzuje się ciekawą, niekonwencjonalną architekturą umożliwiającą przedostawanie się do pomieszczeń dużej ilości światła dziennego. Jest to możliwe dzięki temu, że oszklenie ma obecnie znaczny udział w konstrukcji budynku. W dobie rozwoju budownictwa pasywnego duży nacisk kładzie się na energooszczędny charakter obiektów. Ważna jest również ich estetyka.

Rozwój przetwórstwa szkła budowlanego przyczynił się w znacznym stopniu do zwiększenia zainteresowania projektantów produktami tego przetwórstwa, głównie dzięki pojawieniu się na rynku szkła powłokowego. Szkło to otrzymywane jest w wyniku poddania powierzchni szkła float modyfikacji poprzez nałożenie nanowarstw o różnych składach chemicznych. Dzięki temu procesowi możliwe jest uzyskanie szkła o wymaganych właściwościach.

Obecnie na rynku dostępnych jest wiele rodzajów szkieł powłokowych spełniających określone funkcje. Dzięki powłokom funkcyjnym można dokonać modyfikacji charakterystyk spektralnych, zwiększać odporność mechaniczną i chemiczną, nadawać powierzchni szkła właściwości hydrofobowe czy fotokatalityczne hydrofilowe, zapobiegające zabrudzeniom i ułatwiające czyszczenie szkła, itp. [1]. W konsekwencji można uzyskiwać szkła powłokowe o właściwościach między innymi energooszczędnych, odbijających promieniowanie słoneczne, absorbujących promieniowanie ultrafioletowe, jak i samoczyszczących, znajdujące szerokie zastosowanie we współczesnym budownictwie.

Szkła powłokowe, podobnie jak inne wyroby budowlane, muszą spełniać określone wymagania, które zawarte są w normach. W przypadku tych szkieł jest to norma PN-EN 1096, w której podano klasyfikację szkła powłokowego oraz wymagania i metodykę badań dla konkretnej kategorii powłoki.

Szkło powłokowe podzielone zostało na pięć klas (A, B, C, D i S). System klasyfikacji oparto na ustaleniu możliwego lub zalecanego położenia powierzchni powlekaną, kiedy szkło powlekaną jest zaszkłone. Pozycja w oszkleniu określa typ i rozmiar oddziaływań np. wilgoć, zanieczyszczenia atmosferyczne, jakim będzie podlegała powłoka w trakcie jej okresu użytkowania [2]. Podział ten wynika z trwałości danej powłoki, co jest ściśle związane ze sposobem jej nakładania w wyniku procesu chemicznego lub procesu fizycznego.

Norma PN-EN 1096 określa metody badań i postępowania umożliwiające ustalenie trwałości szkła z powłoką klasy A, B i S [3] oraz klasy C i D [4], stosowanego w budownictwie.

mgr inż. Anna Balon-Wróbel



Asystent w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Oddziale Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, zastępca kierownika Zakładu Technologii Szkła. Zajmuje się badaniami wyrobów ze szkła, głównie szyb zespolonych oraz badaniami szczeliw konstrukcyjnych.

e-mail: a.wrobel@icimb.pl

mgr inż. Agnieszka Marczevska



Asystent w Ośrodku Certyfikacji i Normalizacji Oddziału Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie; absolwentka Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki; zajmuje się badaniami właściwości fizycznych szkieł; zainteresowania naukowe to m.in. szkła dla transmisji w bliskiej podczerwieni.

e-mail: a.marczevska@icimb.pl

STRESZCZENIE

W artykule omówiono rolę powłok stosowanych w oszkleniach budowlanych oraz wymagania, jakie muszą spełniać w świetle obowiązujących norm, ze szczególnym uwzględnieniem szkieł z powłokami samoczyszczącymi. Określono skład chemiczny i grubość powłoki z zastosowaniem mikroskopu elektronowego oraz określono parametry świetlne i energetyczne szkła samoczyszczącego. Określono stopień degradacji powierzchni tych szkieł (poprzez określenia składu chemicznego powłoki) po poddaniu działaniu czynników starzeniowych (promieniowania UV oraz mgły solnej) oraz określono wpływ tych czynników na właściwości świetlne i energetyczne. Dokonano końcowej analizy uzyskanych wyników badań.

SUMMARY

Analysis of the properties of glasses of multilayer coatings based on TiO_2 , exposed to UV radiation and salt fog.

This article discusses the role of coatings used in building glazing and the requirements that must be met according to standards in force, with particular regard to self-cleaning coatings. The chemical composition and thickness of the coating were determined using an electron microscope and the light and energy parameters of the self-cleaning glass were determined. The degree of degradation of these glass surfaces was determined by exposure to aging agents (UV radiation and salt mists) and the effects of these factors on light and energy properties were determined. A final analysis of the results obtained.

SŁOWA KLUCZOWE

szkło, powłoki samoczyszczące, czynniki starzeniowe, właściwości świetlne i energetyczne, degradacja powierzchni

KEYWORDS

glass, self-cleaning coatings, aging agents, light and energy properties, surface degradation

Piłaty arkusz tej normy [5] określa metodę badania stosowaną do ustalenia właściwości samoczyszczących powłok naniesionych na szkło, wykorzystujących wpływ słońca, deszczu lub kombinacji słońca i deszczu dla zwiększenia czystości szkła. Szkło to należy do klasy A i przeznaczone jest do stosowania w zewnętrznych elementach budynków.

Obecnie, obok szkła niskoemisyjnego (energooszczędne), coraz większe zastosowanie w budownictwie znajduje szkło samoczyszczące. Wynika to z faktu, że większość budynków to obiekty charakteryzujące się wielkogabarytowymi szklanymi fasadami. Fasady te w znacznym stopniu narażone są na osadzanie zabrudzeń, a dodatkowo na skutek opadów deszczu pojawiają się trudne do usunięcia plamy i zacieki. Zabrudzenie szklanych fasad wpływa ujemnie na estetykę budynku oraz na pogorszenie parametrów spektralnych, głównie przepuszczalności światła. Koszt mycia takich fasad jest wysoki, więc celowe jest stosowanie szkła z powłokami samoczyszczącymi, dzięki czemu możliwe jest obniżenie kosztów eksploatacyjnych budynków [1].

Powłoki samoczyszczące należą do grupy powłok charakteryzujących się właściwościami katalitycznymi oraz hydrofilowymi. Działanie katalityczne jest wynikiem zachodzących reakcji utleniania i redukcji pod wpływem naświetlania promieniowaniem UV, powodującym rozkład i usunięcie zanieczyszczeń [5], które następnie podczas opadów, dzięki właściwościom hydrofilowym powłoki zostają usunięte z powierzchni fasad. Najczęściej stosowane jest szkło z fotokatalicznymi powłokami na bazie TiO_2 . W wyniku reakcji katalizy dwutlenek tytanu, na skutek działania promieniowania słonecznego (UV), powoduje degradację i rozkład znajdujących się na powierzchni szkła materiałów organicznych i innych zanieczyszczeń. Wskutek tego następuje niszczenie warstwy kontaktowej pomiędzy szkłem i osadzonymi na jego powierzchni zanieczyszczeniami. Promieniowanie słoneczne oddziałujące na dwutlenek tytanu sprawia, że powierzchnia szkła uzyskuje właściwości hydrofilowe. Tak przygotowana zabrudzona powierzchnia z łatwością zmywana jest równomiernie przez padający deszcz, rozlewający się po szkle cienką, równomierną warstwą i spływający szybko, bez pozostawiania śladów w postaci zacieków [6].

Szkło samoczyszczące otrzymywane jest w procesie produkcji „on line”, czyli bezpośrednio w linii formowania szkła float. Taki sposób wytwarzania zapewnia powłoce dużą trwałość. Norma [5] opisuje metodykę badań szkła samoczyszczących obejmującą rozpylenie znormalizowanej mieszaniny zanieczyszczeń, odtworzenie zjawiska naturalnego starzenia w wyniku naświetlania promieniowaniem UV (symulacja działania słońca) oraz rozpylania wody (symulacja deszczu). Kryterium oceny jest zmiana zamglenia między próbką po wstępnym przygotowaniu i próbką na ostatnim etapie badania.

Obecnie coraz większe zastosowanie znajduje szkło wielofunkcyjne łączące w sobie właściwości szkła samoczyszczącego, energooszczędne i przeciwsłoneczne. Z uwagi na swą specyficzną właściwość, szkło samoczyszczące coraz częściej stosuje się w szklanych fasadach, w oknach dachowych, ogrodach zimowych, oszkleniach sufitowych obiektów budowlanych w miastach oraz na terenach przemysłowych [7]. Szkło samoczyszczące narażone jest jednak na działanie czynników środowiskowych, zarówno po zamontowaniu na obiekcie, jak i w wyniku złego przechowywania. Przegląd literatury wykazał, że stosunkowo mało jest publikacji przedstawiających to zagadnienie. Opracowania dotyczące powłok samoczyszczących skupiają się głównie wokół tematyki związanej z ich skutecznością w zakresie usuwania zanieczyszczeń [8–11].

Celem pracy była ocena stopnia degradacji powierzchni szkła z powłokami wielowarstwowymi na bazie TiO_2 pod wpływem promieniowania UV oraz mgły solnej, a także określenie wpływu tych czynników na właściwości świetlne i energetyczne szkła.

2. Część doświadczalna

2.1. Metodyka badań

Badania przeprowadzono na próbkach szkła z powłokami samoczyszczącymi, dostarczonych przez jednego z producentów. Szkło samoczyszczące wielofunkcyjne znajdujące zastosowanie w budownictwie wpływa nie tylko na estetykę budynku, ale zapewnia również odpowiednią ochronę cieplną i przeciwsłoneczną. Wpływa to na obniżenie kosztów eksploatacji budynku, poprzez mniejsze nakłady na utrzymanie szkła w czystości oraz na ogrzewanie i/lub klimatyzację pomieszczeń.

W ramach wykonanej pracy dokonano identyfikacji powłoki poprzez określenie składu chemicznego i grubości z zastosowaniem mikroskopu elektronowego oraz określono parametry świetlne i energetyczne szkła. Po poddaniu próbek szkła działaniu promieniowania UV oraz mgły solnej określono wpływ tych czynników na stopień degradacji powłoki oraz na właściwości spektrofotometryczne. Badania SEM/EDS wykonano przy zastosowaniu elektronowego mikroskopu skaningowego JEOL JSM 5400, sprzężonego z mikroanalizatorem rentgenowskim LINK ISIS (Oxford Instruments). Kąt wychwytywania przez detektor promieniowania rozproszonego wynosił 18° . Metodą EDS wyznaczano skład pierwiastkowy (w % at.) w losowo wybranych mikroobszarach. Granica wykrywalności metody EDS wynosi 0,1% dla pierwiastków ciężkich, 0,5% dla pierwiastków lekkich.

Parametry świetlne i energetyczne określono zgodnie z normą PN-EN 410:2011 [12], wykorzystując spektrofotometr V 770 z kulą całkującą ILN-925/150 mm firmy Jasco.

Emisyjność szkła wyznaczono zgodnie z normami PN-EN 12898:2004 [13] oraz PN-EN 673:2011 [14] przy użyciu spektrometru FT/IR 6600 firmy Jasco z zastosowaniem przystawki odbiciowej.

Wpływ czynników środowiskowych na stopień degradacji powłoki i parametry świetlne oceniono po poddaniu próbek szkła samoczyszczącego procesowi przyspieszonego starzenia w warunkach oddziaływania promieniowania UV i mgły solnej.

Naświetlanie próbek promieniowaniem UV odbywało się przez okres 2000 godzin na stanowisku wyposażonym w lampy o natężeniu promieniowania 900 W/m^2 przy zachowaniu temperatury próbek 45°C .

Próbki szkła umieszczone w komorze solnej SSC-450 firmy Weiss-Technik GmbH poddano oddziaływaniu mgły solnej (5% roztworu NaCl) przez okres 28 dni.

2.2. Analiza wyników

Wyniki badań w postaci fotografii elektrono-mikroskopowych oraz punktowych analiz pierwiastkowych powierzchni szkła, na którą nie oddziaływał żaden czynnik oraz szkła poddanych procesom starzenia przedstawiono na rysunkach od 1 do 7.

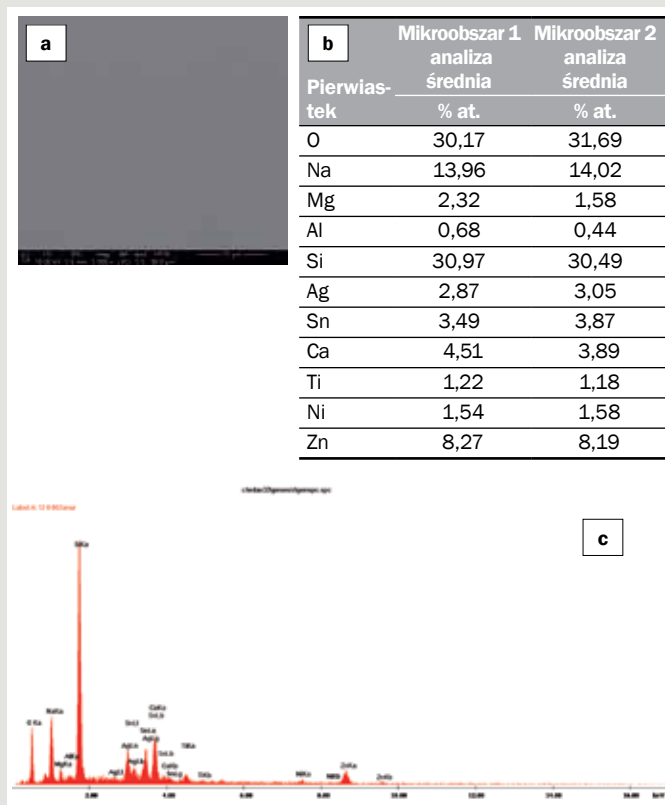
2.2.1. Identyfikacja powłoki

Z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego dokonano identyfikacji powłoki szkła samoczyszczącego nie poddanego procesowi starzenia. Określono skład chemiczny oraz grubość powłoki.

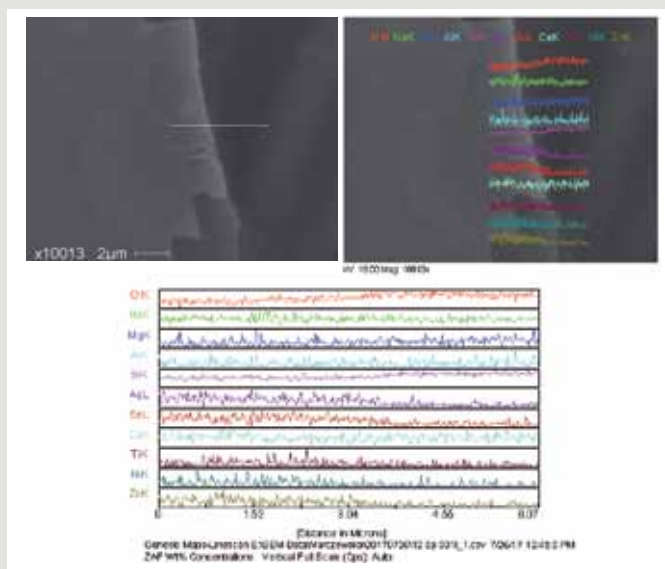
Analiza powierzchni szkła wykazała obecność podstawowych składników podłoża szklanego, takich jak: O, Si, Na, Mg, Ca, Al oraz składników stanowiących nanowarstwę na powierzchni szkła utworzoną na bazie Ag (2,87% at. – 3,05% at.), Sn (3,45% at. – 3,87% at.), Ti (1,18% at. – 1,22% at.), Ni (1,54% at. – 1,58% at.) oraz Zn (8,19% at. – 8,27% at.) (rysunek 1). Zmiany składu pierwiastkowego na przekroju szkła wykazały wzrost zawartości pierwiastków stanowiących skład nanowarstwy (rysunek 2). Grubość powłoki określona przy powiększeniu $10000\times$ wynosiła ok. 250 nm (rysunek 3).

2.2.2. Określenie składu chemicznego szkła niskoemisyjnego poddanego działaniu czynników środowiskowych

Wpływ oddziaływania promieniowania UV i mgły solnej na szkło samoczyszczące przedstawiono na rysunkach od 4 do 7.



Rys. 1. Wyniki badania SEM/EDS powierzchni próbek szkła samoczyszczącego nie poddanego działaniu czynników środowiska a) mikrofotografia SEM z powierzchni powłoki (pow. 5000×), b) wyniki średniej analizy pierwiastkowej wykonane dla dwóch wybranych mikroobszarów, c) EDS dla mikroobszaru 1.



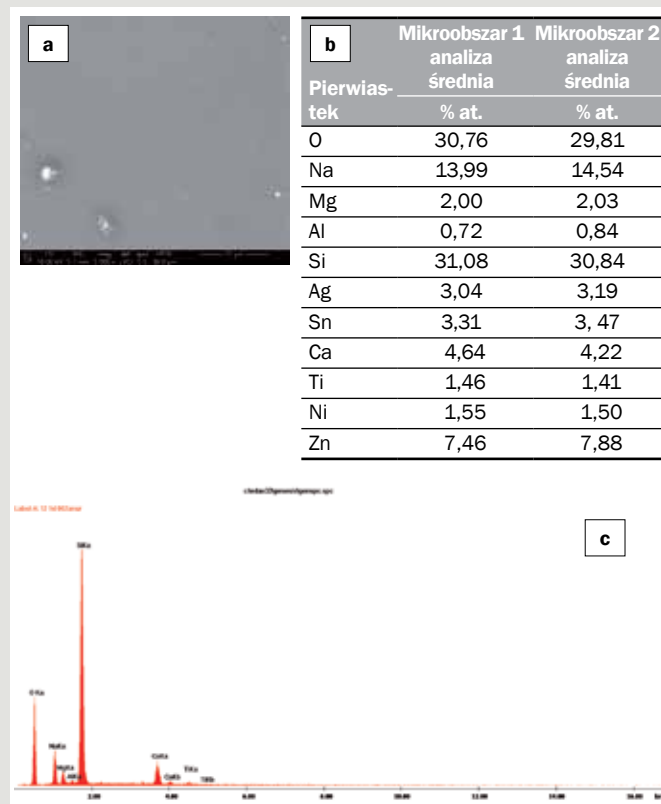
Rys. 2. Wyniki badania SEM/EDS powierzchni próbek szkła samoczyszczącego nie poddanego działaniu czynników – zmiany składu pierwiastkowego na przekroju szkła z uwzględnieniem warstwy powierzchniowej.



Rys. 3. Mikrofotografia SEM przedstawiająca grubość powłoki szkła samoczyszczącego nie poddanego działaniu czynnika (pow. 10 000×).

2.2.2.1. Oddziaływanie promieniowania UV

Analiza powierzchni szkła wykazała obecność podstawowych składników podłoża szklanego, takich jak: O, Si, Na, Mg, Ca, Al. W przypadku składników stanowiących powłokę na powierzchni szkła, ilość poszczególnych składników była porównywalna ze składnikami szkła nie poddanego działaniu czynników środowiskowych: Ag (3,04% at. – 3,19% at.), Sn (3,31% at. – 3,47% at.) Ti (1,41% at. – 1,46% at.), Ni (1,50% at. – 1,55% at.) oraz Zn (7,46% at. – 7,88% at.) (rysunek 4).



Rys. 4. Wyniki badania SEM/EDS powierzchni próbki szkła samoczyszczącego poddanego działaniu promieniowania UV a) mikrofotografia SEM z powierzchni powłoki (pow. 5000×), b) wyniki średniej analizy pierwiastkowej wykonane dla dwóch wybranych mikroobszarów, c) EDS dla mikroobszaru 1.

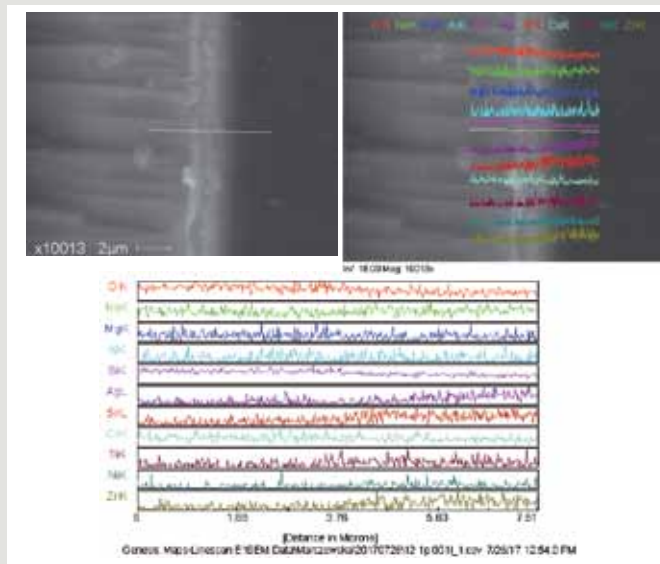
Nie stwierdzono znaczących zmian w składzie ilościowym pierwiastków stanowiących powłokę.

2.2.2.2. Oddziaływanie mgły solnej

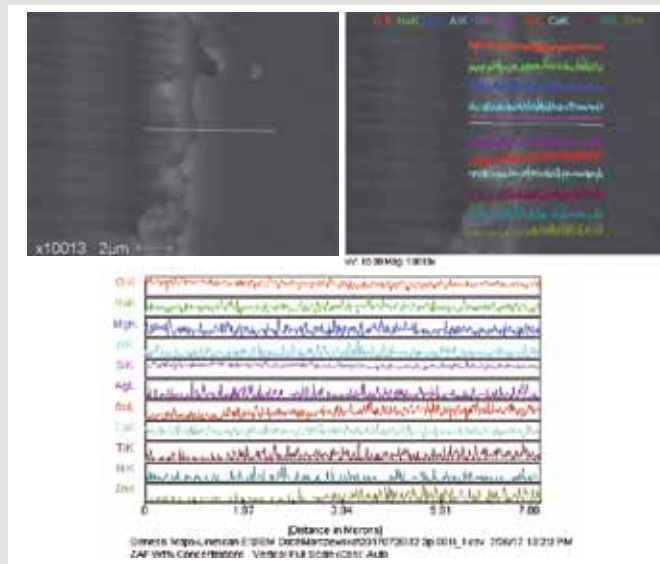
Analiza powierzchni szkła wykazała obecność podstawowych składników podłoża szklanego, takich jak: O, Si, Na, Mg, Ca, Al. W przypadku składników stanowiących powłokę na powierzchni szkła nastąpił spadek ilości Ag (0,30% at. – 1,08% at.) i Zn (4,41% at. – 5,48% at.). Pozostałe składniki pozostały na porównywalnym poziomie w stosunku do szkła „wyjściowego”: Sn (2,96% at. – 3,36% at.) Ti (1,10% at. – 1,29% at.), Ni (1,19% at. – 1,36% at.) oraz Zn (4,41% at. – 5,48% at.) (rysunek 6).

Badania zmiany składu pierwiastkowego na przekroju szkła wykazały spadek zawartości Ag i Zn, stanowiących skład nanowarstwy (rysunek 7).

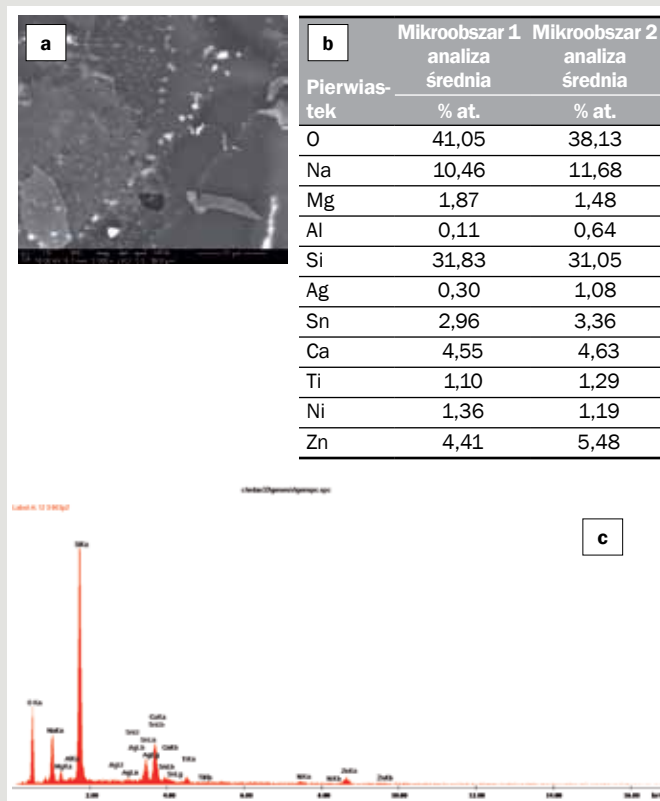
W wyniku wykonanych z zastosowaniem mikroskopu skaningowego badań szkła samoczyszczącego na bazie TiO_2 poddanego działaniu promieniowania UV i mgły solnej stwierdzono wystąpienie zmian w składzie pierwiastkowym powłoki pod wpływem oddziaływania mgły solnej. Analiza powierzchni szkła wykazała obecność podstawowych składników podłoża szklanego, takich jak: O,



Rys. 5. Wyniki badania SEM/EDS powierzchni próbki szkła samoczyszczącego poddanego działaniu promieniowania UV – zmiany składu pierwiastkowego na przekroju szkła z uwzględnieniem warstwy powierzchniowej.



Rys. 7. Wyniki badania SEM/EDS powierzchni próbki szkła samoczyszczącego poddanego działaniu mgły solnej – zmiany składu pierwiastkowego na przekroju szkła z uwzględnieniem warstwy powierzchniowej.



Rys. 6. Wyniki badania SEM/EDS powierzchni próbki szkła samoczyszczącego poddanego działaniu mgły solnej a) mikrofotografia SEM z powierzchni powłoki (pow. 5000×), b) wyniki średniej analizy pierwiastkowej wykonane dla dwóch wybranych mikroobszarów, c) EDS dla mikroobszaru 1.

Si, Na, Mg, Ca, Al, ale w przypadku składników stanowiących powłokę na powierzchni szkła nastąpił znaczny spadek zawartości Ag oraz Zn. W przypadku srebra zawartość w powłoce nie poddanej działaniu czynników środowiskowych wynosiła Ag_{sr} 2,96% at., a w wyniku oddziaływania mgły solnej uległa zmniejszeniu do zawartości Ag_{sr} 0,69% at. Obecność Zn uległa zmniejszeniu odpowiednio z wartości Zn_{sr} 8,23% at. do wartości – 4,94% at. Potwierdzeniem tego są również zmiany składu pierwiastkowego na przekroju warstwy powierzchniowej szkła, które także wykazały spadek zawartości

Ag i Zn wchodzących w skład powłoki (rysunek 7). Niewielkie wahania w składzie chemicznym badanych powłok wynikają z losowo wybranych mikroobszarów badawczych oraz z różnic grubości powłoki.

2.2.3. Parametry optyczne i energetyczne niskoemisyjnego szkła powłokowego

W tabeli 2 oraz na rysunkach od 8 do 10 przedstawiono parametry optyczne i energetyczne samoczyszczącego szkła powłokowego. Badaniom poddano 3 próbki, które nie były poddawane działaniu czynników środowiskowych, jak również 3 próbki poddane promieniowaniu UV i 3 próbki poddane działaniu mgły solnej. Zamieszczone w tabeli wyniki stanowią wartości średnie obliczone z trzech wyników. Badane szkło charakteryzowało się niską przepuszczalnością światła w zakresie widzialnym (360–760 nm), na poziomie ok. 34%. Nieznaczny wzrost przepuszczalności do wartości ok. 40% nastąpił w wyniku oddziaływania mgły solnej, która spowodowała najwyższy stopień degradacji powłoki i przyczyniła się do odsłonięcia matrycy szklanej. Stwierdzono, że transmisja światła w podczerwieni (1200–2400 nm) dla szkła nie poddanego działaniu czynników środowiskowych oraz szkła po oddziaływaniu promieniowania UV spadła do wartości praktycznie zerowej (rysunek 8). Natomiast przepuszczalność światła dla szkła po oddziaływaniu mgły solnej osiągnęła poziom transmisji dla zakresu widzialnego, tj. ok. 40%. Dla badanych szkieł „wyjściowego” i po napromieniowaniu UV odbicie światła w zakresie podczerwieni osiągało wartość ok. 100%, kiedy światło pada bezpośrednio na powłokę, natomiast szkło poddane działaniu mgły solnej charakteryzowało się odbiciem ok. 50%. Podobny przebieg mają krzywe odbicia światła w położeniu, gdy światło pada na przeciwną powierzchnię powłoki. Odbicie osiągnęło wówczas odpowiednio ok. 75% i 30%. Świadczy to o utracie przez szkło właściwości odbijających promieniowanie podczerwone.

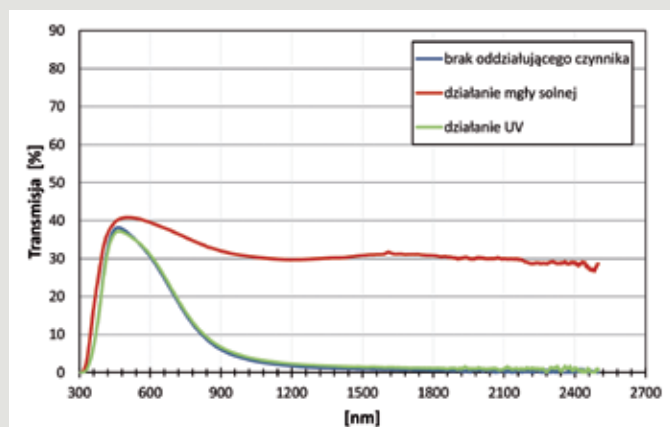
Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (współczynnik słoneczny) szkła „wyjściowego” oraz po oddziaływaniu promieniowania UV osiągnęła wartość ok. 0,290. Wpływ mgły solnej spowodował wzrost współczynnika g do wartości 0,435.

Wnioski

Analiza otrzymanych wyników badań potwierdziła, że przedmiotem badań było szkło powłokowe wielofunkcyjne wykazujące właściwości samoczyszczące, niskoemisyjne oraz przeciwsloneczne.

Tab. 1. Parametry spektrofotometryczne oraz emisyjność badanego szkła powłokowego.

Właściwość	Rodzaj oddziałującego czynnika	Rodzaj oddziałującego czynnika		
		Brak czynnika	Promieniowanie UV	Mgła solna
Przepuszczalność światła	τ_v	0,334±0,000	0,335±0,000	0,402±0,001
Odbicie światła	ρ_v	0,122±0,000	0,125±0,000	0,157±0,000
Bezpośrednia przepuszczalność promieniowania słonecznego	τ_e	0,180±0,000	0,183±0,000	0,344±0,001
Bezpośrednie odbicie promieniowania słonecznego	ρ_e	0,354±0,001	0,351±0,001	0,267±0,001
Bezpośrednia absorpcja promieniowania słonecznego	α_e	0,466±0,001	0,467±0,001	0,389±0,001
Współczynnik wtórnego przekazywania ciepła do wewnątrz	q_i	0,110±0,000	0,110±0,000	0,092±0,000
Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego (wsp. słoneczny)	g	0,290±0,001	0,292±0,001	0,435±0,001
Przepuszczalność promieniowania UV	τ_{uv}	0,056±0,000	0,056±0,000	0,126±0,000
Współczynnik zacielenia	SC	0,330±0,001	0,340±0,001	0,500±0,001
Ogólny wskaźnik oddawania barw	R_a	88,00±0,18	89,00±0,18	98,00±0,20
Emisyjność	normalna ϵ_n	0,032±0,002	0,038±0,030	0,454±0,032
	skorygowana ϵ	0,039±0,003	0,045±0,003	0,460±0,032

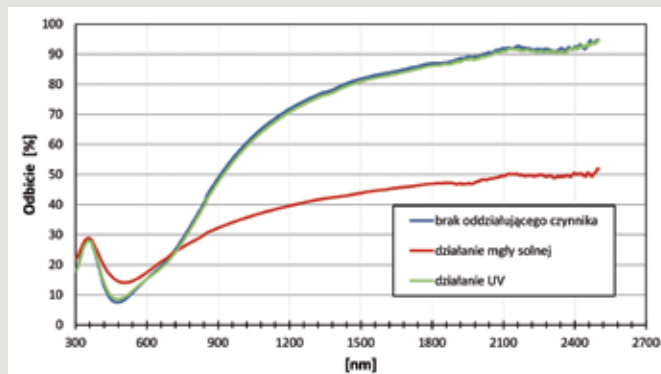


Rys. 8. Charakterystyki optyczne szkła z powłoką samoczyszczącą – krzywe transmisji w położeniu, gdy światło pada na powierzchnię powłoki samoczyszczącej (powłoka samoczyszcząca na poz.1).

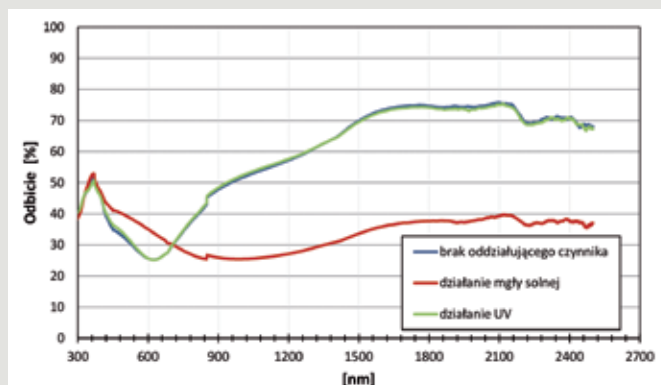
Przeprowadzona analiza SEM/EDS pozwoliła ocenić wpływ promieniowania UV i mgły solnej na skład chemiczny badanej powłoki.

Wykonana metodą mikroskopii skaningowej analiza pierwiastkowa badanej powierzchni szkła wykazała obecność Ti, którego tlenek pod wpływem promieniowania UV i deszczu ujawnia swoje właściwości katalityczne i hydrofilowe. Obecność Ag oraz Ni świadczy o właściwościach energooszczędnych oraz przeciwsłonecznych. Potwierdzeniem właściwości energooszczędnych tego szkła jest stosunkowo niska wartość emisyjności (0,039), a właściwości przeciwsłonecznych wartość współczynnika g , tzw. *solar factor*, który osiągnął niską wartość (0,290).

Oddziaływanie mgły solnej nie wpłynęłoby przypuszczalnie na pogorszenie właściwości samoczyszczących powłoki, gdyż zawartość Ti



Rys. 9. Charakterystyki optyczne szkła z powłoką samoczyszczącą – krzywe odbicia w położeniu, gdy światło pada na powierzchnię powłoki samoczyszczącej.



Rys. 10. Charakterystyki optyczne szkła z powłoką samoczyszczącą – krzywe odbicia w położeniu, gdy światło pada na przeciwną powierzchnię powłoki samoczyszczącej.

była na porównywalnym poziomie jak w przypadku szkła, na które nie oddziaływały żadne czynniki. Szkło to jednak utraciło właściwości szkła niskoemisyjnego i znacznie pogorszyły się jego właściwości przeciwsłoneczne. Potwierdzeniem tego jest zmniejszenie zawartości Ag w składzie powłoki oraz podwyższenie wartości takich parametrów jak współczynnik emisyjności i *solar factor*. Szkło z powłokami samoczyszczącymi stanowi bardzo atrakcyjny wyrób stosowany obecnie w wielkopowierzchniowych oszkleniach, jednak aby spełniało swoje funkcje należy dołożyć wszelkich starań, aby zabezpieczyć je przed działaniem czynników w rodzaju „solanki”.

LITERATURA

- [1] Żelazowska E., Pichniarczyk P. (2015), *Powłoki funkcyjne na szkła przemysłowe*, „Świat Szkła”, nr 1, ss. 42–47.
- [2] PN-EN 1096-1:2012 – *Szkło w budownictwie. Szkło powlekane. Część 1: Definicje i klasyfikacja*.
- [3] PN-EN 1096-2:2012 – *Szkło w budownictwie. Szkło powlekane. Część 2: Wymagania i metody badania powłok kategorii A, B i S*.
- [4] PN-EN 1096-3:2012 – *Szkło w budownictwie. Szkło powlekane. Część 3: Wymagania i metody badania powłok kategorii C i D*.
- [5] PN-EN 1096-5:2016 – *Szkło w budownictwie. Szkło powlekane. Część 3: Metoda badania i klasyfikacja właściwości samoczyszczących powierzchni szkieł powlekanych*.
- [6] <https://www.thenakedscientists.com/articles/interview/self-cleaning-glass>
- [7] <https://www.pilkington.com/pl-pl/pl/produkty/funkcje-szkla/samoczyszczenie>
- [8] Pini M., Iveth Cedillo González E., Neri P., Siligardi C., Ferrari A. M. (2017), *Assessment of Environmental Performance of TiO₂ Nanoparticles Coated Self-Cleaning Float Glass*, „Coatings”, 7, 8, ss. 1–16.
- [9] Nishimoto S., Tomoishi S., Kameshima Y., Fujii E., Miyake M. (2014), *Self-cleaning efficiency of titanium dioxide surface under simultaneous UV irradiation of various intensities and water flow*, „Journal of the Ceramic Society of Japan”, 122 [6], ss. 513–516.
- [10] Middal K., Jelleab B. P. (2013), *Self-Cleaning Glazing Products: A State-of-the-Art Review and Future Research Pathways*, „Solar Energy Materials and Solar Cells”, vol. 109, ss. 126–141.
- [11] Chabas A., Lombardo T., Cachier H., Pertuisot M. H., Oikonomou K., Falcone R., Verità M., Geotti-Bianchini F. (2008), *Behaviour of self-cleaning glass in urban atmosphere*, „Building In Environment”, vol. 43, ss. 12, ss. 2124–2131.
- [12] PN-EN 410:2011 – *Szkło w budownictwie. Określenie Świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia*.
- [13] PN-EN 12898:2004 – *Szkło w budownictwie. Określenie emisyjności*.
- [14] PN-EN 673:2011 – *Szkło w budownictwie. Określenie współczynnika przenikania ciepła (wartość U). Metoda obliczeniowa*.