BUDOWNICTWO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
2-B/2010
ZESZYT 4
ROK 107
ISSUE 4
YEAR 107

ŁUKASZ NOWAK, HENRYK NOWAK*

WPŁYW ZABRUDZENIA POWIERZCHNI PRZEGRODY PRZEZROCZYSTEJ NA JEJ WŁAŚCIWOŚCI RADIACYJNE

EFFECT OF DIRT ACCUMULATION ON EXTERIOR GLAZING SURFACE ON ITS RADIATIVE PROPERTIES

Streszczenie

Charakterystyki radiacyjne zestawów szyb tworzących część przezroczystą obudowy budynku są wyliczane na podstawie pomiarów spektrometrycznych właściwości radiacyjnych. Oczywisty jest fakt, że takie pomiary wykonywane są dla szkła o czystych obu powierzchniach. Rzeczywiste właściwości radiacyjne mogą się jednak zmieniać w czasie w zależności od stopnia zabrudzenia zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni, spowodowanego działaniem różnych czynników. O ile utrzymanie czystości wewnętrznej powierzchni przeszklenia jest łatwiejsze, chociażby ze względu na dostęp od strony pomieszczenia, o tyle utrzymanie czystości zewnętrznej powierzchni szyby może być utrudnione, szczególnie w budynkach z fasadami systemowymi lub o dużym stopniu przeszklenia. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów spektrometrycznych dla czystych i zabrudzonych próbek szkła budowlanego oraz określono wpływ zabrudzenia powierzchni zewnętrznej przegrody przezroczystej na jej właściwości radiacyjne.

Słowa kluczowe: przegrody przeszklone, właściwości radiacyjne szkła budowlanego, charakterystyki radiacyjne szyb, zabrudzenie powierzchni szyby

Abstract

Radiative characteristics of glazing set which are a part of glazed surface of building envelope are calculated on base of spectral measurements of glass radiative properties. It is obvious that these measurements are made for clean glass samples. Actual glazing radiative properties, could change their values in time through dirt deposition level on exterior and interior glass surface caused by different factors. Cleaning of interior glazing surface is easier to be made, than exterior, especially when there are buildings with integrated glazed façade systems or large glazed areas. The results of clean and dirty building glass spectral measurements are presented in the paper. The effect of dirt on glazing solar radiation transmittance, reflectance and absorptance is discussed.

Keywords: glazed surfaces, radiative properties of glass, glazing radiative characteristics, dirt on glazing surface

* Mgr inż. Łukasz Nowak; dr hab. inż. Henryk Nowak, prof. PWr, Instytut Budownictwa, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Oznaczenia

τ – przepuszczona przez szybę część promieniowania słonecznego
ρ – odbita przez szybę część promieniowania słonecznego
α – absorbowana przez szybę część promieniowania słonecznego

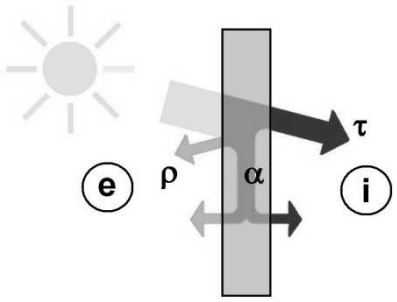
1. Wprowadzenie

Całkowite promieniowanie słoneczne padające na przegrodę przezroczystą jest częściowo przepuszczane do wnętrza, częściowo odbijane oraz częściowo pochłonięte przez szkło, a następnie wypromieniowane na zewnątrz do środowiska i do wnętrza budynku, co przedstawiono na rys. 1 i opisano za pomocą poniższej zależności

$$\tau + \alpha + \rho = 1 \tag{1}$$

gdzie:
- τ – przepuszczona (podlegająca transmisji) część promieniowania słonecznego,
- ρ – odbita (podlegająca refleksji) część promieniowania,
- α – pochłonięta (podlegająca absorpcji) część promieniowania.

Odpowiednio dobierając wzajemne proporcje tych części promieniowania słonecznego, a także ich zakresy długości fal, możemy modyfikować właściwości radiacyjne zestawów szyb.



Rys. 1. Podział padającego promieniowania słonecznego na przegrodę przeszkloną na część przepuszczoną, absorbowaną i odbitą

Fig. 1. Solar radiation distribution through glazing on transmitted, absorbed and reflected part

Zmiany radiacyjnych właściwości szyb mogą jednak zachodzić niezależnie od naszych zamierzeń, wskutek działania czynników środowiskowych, które spowodują zanieczyszczenie powierzchni szyby. Zanieczyszczenie zewnętrznej powierzchni przeszklenia wynika głównie z obecności pyłu, kurzu i innych cząstek stałych w powietrzu, niesienia ich przez wiatr, deszcz lub śnieg i osiadania na wilgotnej lub suchej, gładkiej (ale jednak porowatej w skali makro) powierzchni szyby. Stopień zanieczyszczenia powierzchni szyby może być różny w zależności od wielu czynników, takich jak warunki atmosferyczne (wilgotności i temperatury powietrza), pory roku, lokalizacja obiektu (centrum miasta, bliskość obiektów

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

przemysłowych, tereny o wysokiej lub niskiej zabudowie). Problem zanieczyszczenia powierzchni szyb można rozwiązać poprzez ich okresowe czyszczenie. Jednak w budynkach użyteczności publicznej, biurowych, jak i innych o dużej kubaturze, dużym stopniu przeszklenia lub dużych wymiarach ścian poszczególnych elewacji, często użytkownik nie ma możliwości samodzielnego usunięcia zabrudzeń powstałych od strony zewnętrznej. Dostęp tam jest często niemożliwy ze względu na możliwość otwierania lub uchylania tylko wybranych pól fasady przeszklonej lub ze względu na konieczność wykonania pracy na wysokości przy odpowiednim zabezpieczeniu.

Przeprowadzone dotychczas badania wpływu zabrudzenia powierzchni przegród przezroczystych potwierdzają istotę tego zagadnienia i jego niepodważalny wpływ na właściwości radiacyjne takiej przegrody. Już w 1942 r. Hottel i Woertz [1] badali wpływ zabrudzenia powierzchni szyby w kolektorze płaskim na jego sprawność. Badano trzy kolektory, w okresie od 09.05 do 1.07.1942 r. (około 2 miesięcy) i zaobserwowano maksymalny spadek wydajności rzędu 4,7%, przy średnim spadku rzędu 1% wskutek zabrudzenia szyby w kolektorze. Garg [2] w Indiach (1974) również zajmował się zagadnieniem zanieczyszczenia powierzchni wskutek obecności przeciętnych warunków zapylenia i opadów atmosferycznych. Transmisyjność szyb zabrudzonych umieszczonych pod kątem 45°, po 30-dniowym okresie zanieczyszczania, była średnio o 8% mniejsza od około 90% transmisyjności dla szyb czystych. Nahar i Gupta [3] (1990) zajmowali się wpływem zapylenia, na jednej z bardziej pylących pustyń na świecie – pustyni Thar w Indiach, na obniżenie przepuszczalności szkła wykorzystywanego w kolektorach słonecznych. Analizowali próbki, o wymiarach 30 × 30 cm, szkła o grubości 4 mm, które umieszczono pod kątem 0°, 45° i 90° w stosunku do poziomu. Pomiary transmisyjności przed i po zanieczyszczeniu wskazały, że średnioroczny spadek przepuszczalności, przy czyszczeniu okresowym powierzchni szyb co 24 h, jest rzędu 4,26%, 2,94% i 1,36% dla powyższych kątów nachylenia. Przy założeniu tygodniowego cyklu czyszczenia wartości obniżenia dla powyższych kątów nachylenia wynosiły odpowiednio 15,06%, 9,88% i 3,23%. Podobne badania przeprowadzali również El-Nashar [4] (2003) i Bonvin [5] (1995).

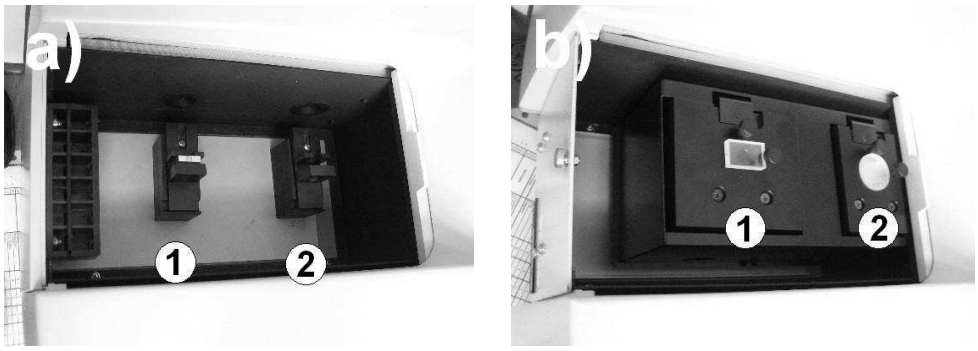
2. Opis badań

2.1. Pomiary spektrometryczne

Pomiary spektrometryczne wykonano na spektrometrze Jasco V-570 w ramach projektu badawczego pt.: *Optymalizacja wielokryterialna aktywnych i pasywnych systemów wykorzystania energii słonecznej w energooszczędnych budynkach użyteczności publicznej pod kątem oszczędności energii i komfortu cieplnego ludzi* [6]. W ramach badań wykonano pomiary przepuszczalności i odbicia promieniowania dla wszystkich próbek szyb w zakresie 300–2500 nm. Pomiary były wykonywane po uprzednim zamontowaniu odpowiedniej przystawki: do mierzenia transmisji (rys. 2a) lub do pomiaru odbicia (rys. 2b). Za każdym razem na początku serii pomiarów ustanawiano linię bazową, do której odnoszono kolejne pomierzone wartości. Ustanawianie linii bazowej w przypadku pomiaru transmisji polega na pomierzeniu przepuszczalności roztworu referencyjnego, którym jest powietrze. Wykonując pomiary odbicia, najpierw kalibrowano obie wiązki odbijane poprzez ustawienie w miejscu umieszczenia próbki, lustra identycznego jak referencyjne. Pomiary transmi-

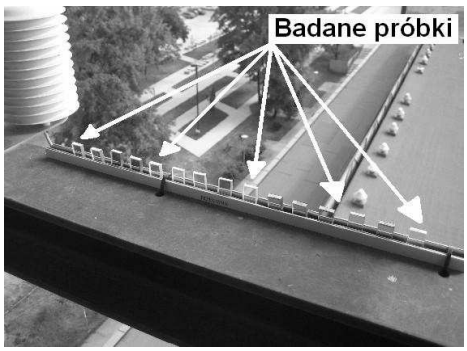
BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

sji były wykonywane z jednej strony próbki, natomiast w przypadku odbicia pomiar był z obu stron, ze względu na obecność powłok. Mierzone wartości były podawane z dokładnością do 0,0001%. Pomiary spektrometryczne przeprowadzono dla 15 różnych typów szyb, dzięki uprzejmości firmy Pilkington, która dostarczyła próbki.



Rys. 2. Spektrometr przygotowany do pomiaru transmisji (a) i do pomiaru odbicia (b): 1) badana próbka, 2) pomiar odniesienia – dla transmisji powietrze, a dla odbicia lustro

Fig. 2. Spectrometer ready for transmission (a) and reflection (b) measurement: 1) examined sample, 2) reference – air for transmittance and mirror for reflectance measurements



Rys. 3. Stanowisko zanieczyszczania powierzchni próbek szkła budowlanego

Fig. 3. Dirt accumulation on surface of glazing samples

Do analizy zabrudzenia powierzchni szyb wykorzystano wszystkie próbki szyb, które najpierw przebadano w stanie czystym, a następnie poddano procesowi zabrudzenia przez okres 1 miesiąca (połowa września–połowa października 2009 r.) na stanowisku pokazanym na rys. 3. Próbki były zorientowanie pionowo w kierunku południowo-wschodnim, czyli tak jakby były częścią przeszklenia elewacji budynku. Zabrudzenie przebiegało naturalnie wskutek działania zewnętrznych czynników atmosferycznych i odbywało się na poziomie szóstej kondygnacji budynku Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej na wysokości około 22,50 m nad poziomem terenu. Po procesie zabrudzenia wykonano ponownie pomiary spektrometryczne wszystkich próbek.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

2.2. Analizowane próbki szkła budowlanego

W związku z pewnymi charakterystycznymi cechami szyb, które wybrano do badań, można je podzielić na szyby zwykłe bezbarwne (Lp. 10 i 11 w tabeli 1), zwykłe barwione w masie (2, 3, 12, 13, 14), bezbarwne z powłoką refleksyjną (7), barwione w masie z powłoką refleksyjną (5, 6, 7, 8), bezbarwne z powłoką niskoemisyjną (9, 15) oraz szyby z powłoką samoczyszczącą (1). Cechy szyb i charakterystyki radiacyjne zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Cechy ogólne próbek szyb do badań spektrometrycznych

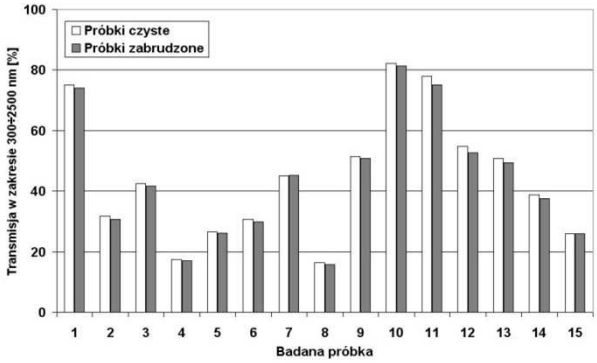
Lp.	Cechy badanej próbki szyby	Grubość	Charakterystyki radiacyjne			
			U	SHGC	DST	LT
		[mm]	[W/m^{2}K]	[–]	[–]	[–]
1	bezbarwna, powłoka samoczyszcząca	6	5,8	0,800	0,780	0,840
2	niebieska, zwykła	4	5,8	0,590	0,470	0,650
3	niebieska, zwykła	6	5,7	0,520	0,370	0,560
4	niebieska, powłoka refleksyjna	6	3,8	0,360	0,250	0,390
5	niebiesko-zielona, powłoka refleksyjna	6	3,8	0,450	0,370	0,570
6	brązowa, powłoka refleksyjna	6	3,8	0,440	0,340	0,380
7	bezbarwna, powłoka refleksyjna	6	3,8	0,620	0,580	0,670
8	zielona, powłoka refleksyjna	6	3,8	0,360	0,250	0,480
9	bezbarwna, powłoka niskoemisyjna	4	–*	0,740	0,710	0,830
10	bezbarwna, zwykła	4	5,8	0,850	0,820	0,900
11	bezbarwna, zwykła	6	5,7	0,820	0,790	0,890
12	brązowa, zwykła	6	5,7	0,580	0,450	0,490
13	szara, zwykła	6	5,7	0,580	0,450	0,430
14	zielona, zwykła	6	5,7	0,490	0,330	0,660
15	bezbarwna, powłoka niskoemisyjna	6	3,7	0,550	0,480	0,610

3. Wyniki

3.1. Wpływ zabrudzenia powierzchni na transmisyjność szkła budowlanego

Transmisyjność szyby w zakresie promieniowania słonecznego jest bardzo istotnym elementem wpływającym zarówno na ilość dostarczonego światła dziennego do wnętrza pomieszczenia, jak i na zyski cieplne wynikające z przepuszczenia części podczerwonej promieniowania słonecznego. Te podstawowe elementy wymiany ciepła przez promieniowanie wpływają w istotnym stopniu na bilans energetyczny budynku w skali roku (czyli zużycie energii na cele ogrzewania, chłodzenia lub klimatyzacji, a nawet energii na cele oświetleniowe), komfort wizualny, jak i cieplny użytkowników budynku.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 4. Transmisyjność wszystkich szyb w całym zakresie promieniowania słonecznego dla próbki czystej i zabrudzonej

Fig. 4. Total solar transmittance for clean and dirty glazing samples

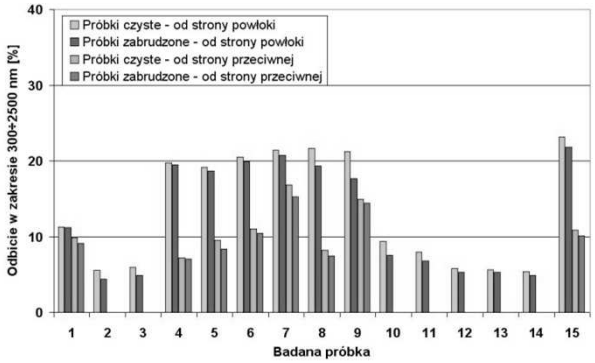
Analizując transmisyjność próbek w zakresie całego promieniowania słonecznego, przedstawioną na rys. 4, można zauważyć zbliżoną tendencję wpływu zabrudzenia zewnętrznej powierzchni na transmisję w zakresie promieniowania słonecznego. Niezależnie od rodzaju szyby następuje spadek transmisyjności w zakresie całego widma promieniowania słonecznego. Główne obniżenie ilości przepuszczonego promieniowania słonecznego odbywa się w zakresie widzialnym, czyli 380–780 nm, co można zauważyć na rys. 7. Sugeruje to zmniejszenie ilości dostępnego światła dziennego w pomieszczeniu. Obniżenie transmisji szyby wskutek zabrudzenia jest szczególnie dobrze widoczne dla próbki nr 11, która osiąga o 2,9% niższe wartości transmisyjności dla szkła zabrudzonego (próbka nr 12–2,0%, próbka nr 13–1,4%). Średni spadek transmisyjności w zakresie 300–2500 nm zanotowano na poziomie 0,9%.

3.2. Wpływ zabrudzenia powierzchni na refleksyjność szkła budowlanego

Pomiary odbicia były prowadzone dla obu stron w przypadku szyb bezbarwnych i barwionych w masie z powłokami – od strony powłoki oraz od strony przeciwnej, a dla szyb bezbarwnych i barwionych w masie – tylko z jednej strony. W ramach tych badań zmierzono odbicie dla próbek zabrudzonych również przez okres 1 miesiąca (połowa września–połowa października 2009 r.).

Analizując wyniki, zauważono zbliżoną tendencję wpływu zabrudzenia zewnętrznej powierzchni na charakterystykę odbicia jak na charakterystyki transmisji. Podobnie jak wcześniej, niezależnie od rodzaju szyby, następuje wyraźny spadek refleksyjności w zakresie całego widma promieniowania słonecznego. Stwierdzono jednak większe zróżnicowanie wyników dla poszczególnych próbek, co po części wynika z „nierównomiernego" zabrudzenia, ale także ze specyfiki pomiaru odbicia, który ma zdecydowanie większe ryzyko wystąpienia błędu pomiarowego. Podobnie jak w przypadku transmisji, obniżenie ilości odbitego promieniowania słonecznego jest głównie widoczne w zakresie widzialnym, czyli 380–780 nm, co można zauważyć na rys. 7. Sugeruje to, wskutek również wyraźnie zmniejszonej transmisji w tym zakresie, zwiększenie absorpcyjności promieniowania przez szybę.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



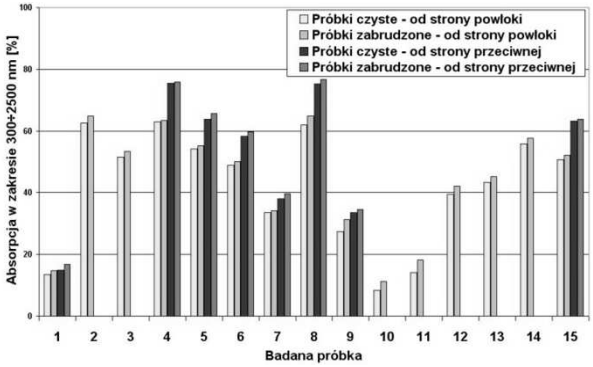
Rys. 5. Refleksyjność wszystkich szyb w całym zakresie promieniowania słonecznego dla próbki czystej i zabrudzonej

Fig. 5. Total solar reflectance for clean and dirty glazing samples

Obniżenie refleksyjności szyby wskutek zabrudzenia jest szczególnie dobrze widoczne na rys. 5 dla próbki nr 9, która osiąga o 3,5% niższe wartości transmisyjności dla szkła zabrudzonego (próbka nr 8–2,3%, próbka nr 10–1,8%). Średni spadek refleksyjności w zakresie 300–2500 nm zanotowano na poziomie 1,0%.

3.3. Wpływ zabrudzenia powierzchni na absorpcyjność szkła budowlanego

Absorpcyjność analizowanych próbek nie była bezpośrednio mierzona, w związku z czym poniższe wyniki są różnicą otrzymanych wartości dla transmisyjności i refleksyjności dla odpowiednich próbek szyb, zgodnie ze wzorem (1).



Rys. 6. Absorpcyjność wszystkich szyb w całym zakresie promieniowania słonecznego dla próbki czystej i zabrudzonej

Fig. 6. Total solar absorptance for clean and dirty glazing samples

Analizując kształt krzywych absorpcji, można zauważyć, że skutkiem obniżenia wartości zarówno przepuszczonego, jak i odbitego promieniowania słonecznego jest wyraźne zwiększenie absorpcyjności promieniowania przez szkło w tym zakresie. Zwiększenie

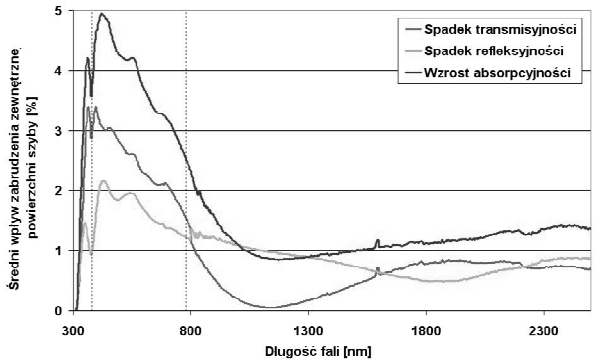
BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

absorpcji szyby wskutek zabrudzenia jest szczególnie dobrze widoczne w zakresie widzialnym, co można zauważyć na rys. 7. Zwiększenie absorpcyjności szyby wskutek zabrudzenia jest szczególnie dobrze widoczne na rys. 6 dla próbki nr 9 i 11, która osiąga o 4,0% wyższe wartości dla szkła zabrudzonego niż dla szkła czystego (próbka nr 8–3,0%, próbka nr 10–2,7%). Średni wzrost absorpcyjności w zakresie 300–2500 nm zanotowano na poziomie 1,7%.

3.4. Efekt działania zabrudzenia

Analizując różnicę między odpowiednimi wartościami transmisji, odbicia i absorpcji dla próbek czystych i zabrudzonych, a następnie uśredniając ją, otrzymamy wykres pokazujący w jakich zakresach promieniowania słonecznego następuje największa zmiana (spadek lub wzrost wartości) właściwości radiacyjnych wskutek zanieczyszczenia powierzchni szyby. Na rysunku 7 przedstawiono wyniki tych obliczeń. Efekt zanieczyszczenia zewnętrznej powierzchni szyby jest widoczny głównie w zakresie widzialnym promieniowania słonecznego, czyli w przedziale 380–780 nm.

Obniżenie wartości transmisyjności wynosi średnio 2,4% (min. 1,1%, maks. 5,7%), obniżenie refleksyjności wynosi średnio 1,7% (min. 0,3%, maks. 5,1%), co skutkuje wzrostem absorpcyjności średnio o 3,9% (min. 1,5%, maks. 7,9%). Zmniejszenie ilości przepuszczonego promieniowania słonecznego powoduje, wskutek zabrudzenia powierzchni, mniejszą przezierność szyby, głównie w zakresie 380–480 nm. Patrząc na cały zakres promieniowania słonecznego, również widać skutki zabrudzenia, które przekłada się na obniżenie wartości transmisyjności średnio o 0,9% (min. 0,1%, maks. 2,9%), obniżenie refleksyjności wynosi średnio 1,0% (min. 0,2%, maks. 3,5%), co skutkuje wzrostem absorpcyjności średnio o 1,7% (min. 0,5%, maks. 4,0%). Wzrost absorpcyjności jest najbardziej widoczny w zakresie widzialnym, lecz również jest zauważalny w zakresie podczerwieni słonecznej.



Rys. 7. Średnia zmiana transmisyjności, refleksyjności i absorpcyjności analizowanych próbek wskutek zabrudzenia powierzchni

Fig. 7. Average change in transmittance, reflectance and absorptance of glazing samples through surface dirt deposition

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

4. Podsumowanie

Zabrudzenie powierzchni zewnętrznej szyb wskutek osiadania kurzu i pyłu podczas eksploatacji budynku, jak można się było spodziewać, ma istotny wpływ na zmianę właściwości radiacyjnych szkła budowlanego, która skutkuje zmianą charakterystyk radiacyjnych zestawu szyb. Nawet krótki jednomiesięczny okres tworzenia się warstwy zanieczyszczeń powoduje wyraźne zmiany we właściwościach radiacyjnych przegrody przezroczystej.

Obniżenie wartości zarówno transmisyjności, jak i refleksyjności powoduje w efekcie większą absorpcyjność części przeszklonej elewacji. Efekt zanieczyszczenia zewnętrznej powierzchni szyby jest widoczny głównie w zakresie widzialnym promieniowania słonecznego, czyli w przedziale 380–780 nm. Obniżenie wartości transmisyjności wynosi średnio 2,4%, obniżenie refleksyjności wynosi średnio 1,7%, co skutkuje wzrostem absorpcyjności średnio o 3,9%, co przedstawiono na rys. 7.

Zmniejszenie zarówno wartości transmisji, jak i odbicia wskutek zabrudzenia zewnętrznej powierzchni szyby prowadzi bezpośrednio do większych wartości zaabsorbowanego promieniowania słonecznego. Skutkiem zwiększonej absorpcji jest nagrzewanie się szyby do wyższej temperatury, podczas dużego natężenia padającego promieniowania, co w efekcie może zwiększyć ryzyko termicznego pękania szyby oraz prowadzić do szybszego przegrzewania się pomieszczeń wskutek gorszego odprowadzania ciepła przez przeszklenie w okresie wysokich wartości nasłonecznienia w lecie.

Zmniejszenie wartości transmitowanego promieniowania słonecznego, głównie w zakresie widzialnym, może prowadzić do niedostatecznego poziomu natężenia oświetlenia światłem dziennym, szczególnie podczas dni pochmurnych, w okresie jesienno-zimowym przy małej dostępności promieniowania bezpośredniego. Mniejszą dostępność światła dziennego można zniwelować poprzez wykorzystanie oświetlenia sztucznego, jednak będzie to odbywać się kosztem większego zużycia energii elektrycznej. Z badań również wynika, że zmniejszenie ilości dostępnego światła dziennego w pomieszczeniu poprzez zmniejszenie jego natężenia lub skrócenie czasu jego obecności będzie powodować pogorszenie komfortu wizualnego użytkowników budynku czy nawet spadek ich wydajności pracy.

Podczas pomiarów nie stwierdzono wpływu rodzaju szyby na stopień jej zanieczyszczania, gdyż nie było to głównym celem powyższych badań. Po zabrudzeniu szyby, bez względu na to, czy była to szyba bezbarwna, barwiona, z powłokami czy bez, wszystkie próbki osiągały niższe wartości transmisyjności i refleksyjności, co skutkowało wyższą ich absorpcyjnością.

Pomimo tego, że są to procentowo niewielkie zmiany właściwości radiacyjnych, należy pamiętać, że zostały one wywołane tylko jednomiesięcznym okresem „brudzenia się" zewnętrznej powierzchni. W skrajnych przypadkach długotrwałego działania czynników zewnętrznych powodujących tworzenie się warstwy zanieczyszczenia, zjawiska te mogą być znacznie bardziej nasilone.

Obniżenie wartości zarówno transmisji, jak i odbicia jest nieduże co do wartości, ale należy pamiętać, że w przypadku szyb dobrej klasy, bawionych w masie, z obecnymi powłokami refleksyjnymi lub niskoemisyjnymi, ilość dostępnego światła dziennego jest zdecydowanie mniejsza, co może być zarówno zaletą, jak i ich wadą. W tym drugim przypadku dodatkowe zanieczyszczenie wpływa zdecydowanie ujemnie na ich wartość użytkową.

BPK BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Literatura

[1] Hottel H., Woertz B., *The performance of flat-plate solar heat collectors*, Trans. ASME, 1942, 91-104,
[2] Garg H., *Effect of dirt on transparent covers in flat-plate energy collectors*, Solar Energy 15, 1974, 299-302.
[3] Nahar N., Gupta J., *Effect of dust on transmittance of glazing materials for solar collectors under arid zone conditions of India*, Solar and Wind Technology 7, 1990, 237-243.
[4] El-Nashar A.M., *Effect of dust deposition on the performance of a solar desalination plant operating in an arid desert area*, Solar Energy 75, 2003, 421-431.
[5] Bonvin J., *Dirt deposit level measurements on different glass type in various surroundings*, In Proc. 13th European Photovoltaic Solar Energy Conf., Nice, France, Freiesleben W., Palz W., Ossenbrink H. A. and Helm P. (Eds, 1995), 740-742.
[6] Nowak H., Włodarczyk D., Nowak Ł., Śliwińska E., Staniec--Birus M., *Optymalizacja wielokryterialna aktywnych i pasywnych systemów wykorzystania energii słonecznej w energooszczędnych budynkach użyteczności publicznej pod kątem oszczędności energii i komfortu cieplnego ludzi*, Raport Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej serii SPR Nr 53/2009, Wrocław 2009.

Niniejsze badania zrealizowano w ramach zakończonego grantu badawczego własnego nr N506 086 31/3648 sfinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji [6].

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ