

# Problemy eksploatacyjne związane z zastosowaniem przegród szklano-metalowych w obiektach budowlanych

Dr hab. inż. Dariusz Bajno, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy,  
dr inż. Anna Rawska-Skotniczny, Politechnika Opolska

"TECH-BUD'2017"

## 1. Wprowadzenie

Przegrody szklano-metalowe zyskują w ostatnich latach coraz większą popularność w inwestycjach związanych z obiektami biurowymi i użyteczności publicznej. W myśl założeń normowych powinny one tworzyć lekkie i ciągłe przekrycia, umożliwiając dostęp dużej ilości naturalnego światła do wnętrza budynku [8]. Muszą spełniać szereg warunków technicznych charakterystycznych dla ścian zewnętrznych lub zadaszeń, w zależności od tego, do jakiej funkcji zostały przewidziane. W artykule przedstawiono wybrane problemy związane z zastosowaniem tego typu przegród przy rozbudowie zabytkowego obiektu, zlokalizowanego w ścisłym centrum miasta, przy bardzo ograniczonych możliwościach logistycznych montażu. Wnioski wynikające z artykułu mogą stać się cenną wskazówką dla projektantów, którzy podejmują się projektowania takich konstrukcji, nie mając świadomości konsekwencji późniejszej ich eksploatacji, a także możliwości napraw lub wymian elementów uszkodzonych, które na tym etapie są nieuniknione. Wady projektowe polegające na nieuwzględnieniu zewnętrznych oddziaływań na takie konstrukcje oraz procesów fizykalnych przebiegających w ich wnętrzu oraz otoczeniu przekładają się bezpośrednio na późniejszy etap wykonawstwa oraz użytkowania obiektów budowlanych. W opracowaniach projektowych podkreśla się głównie ich ozdobną oraz nośną funkcję, zapominając często o jednym z podstawowych zadań, jakie powinny pełnić takie konstrukcje, tj. ochronie budynków przed środowiskiem zewnętrznym.

Ze względu na to, że temat jest obszerny, autorzy zamierzają artykułem zapoczątkować serię publikacji, mających na celu pokazanie problemów związanych zarówno z wykonawstwem, jak i późniejszą eksploatacją, wskazując miejsca newralgiczne z punktu widzenia użytkownika takiego obiektu. W niniejszym artykule autorzy omówili problemy, które są uważane za najbardziej uciążliwe i kosztowne w użytkowaniu: pękanie szkła oraz szczelność przegród.

## 2. Wymagania dotyczące przegród budowlanych

Rozwój technologii budowlanych w ostatnich latach doprowadził do istotnych zmian w zakresie rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych przegród budowlanych, a obudowę obiektów



**Rys. 1.** Przykład kontrastującego połączenia architektury szklanej z zabytkową tkanką starego obiektu pofabrycznego w Łodzi

w wielu inwestycjach zastąpiła tzw. lekka obudowa ścienna oraz dachowa. Lekkie przegrody stosowane są jako ściany osłonowe, przekrycia dachowe, a wewnątrz jako ściany działowe, sufity podwieszane czy niewielkie ściany nośne w małych obiektach. Przegrody takie są stosowane nie tylko w nowo wznoszonych budynkach, takich jak obiekty administracyjne, banki czy hotele, coraz częściej również stają się silnie kontrastującą nową tkanką architektoniczną łączoną z przebudowywanymi obiektami historycznymi (rys. 1).

Jako elementy budynków oddzielające wnętrze od otoczenia zewnętrznego lub też wydzielające pomieszczenia wewnętrzne, muszą spełniać szereg wymagań technicznych (rys. 2). Ich ideą jest łączenie ze sobą różnych materiałów w celu uzyskania określonych właściwości i parametrów użytkowych dla spełnienia potrzeb użytkowania wznoszonych obiektów [2]. Współcześnie najczęściej stosowane materiały w nowoczesnych konstrukcjach przegród to metal i szkło, które muszą jednocześnie spełnić warunki:

- bezpieczeństwa (nośność, sztywność, odporność i ochrona przeciwpożarowa, odporność korozyjna, trwałość);
- funkcjonalno-użytkowe (szczelność, izolacyjność termiczna, izolacyjność akustyczna, estetyka, warunki higieniczne i zdrowotne).

We współczesnych obiektach budowlanych fasady szklane nie tylko zapewniają dopływ światła dziennego do pomieszczeń i wydzielają wnętrze obiektu od otoczenia, ale są elementami mającym wiele cech i funkcji, dzięki czemu spełniają różne wymagania techniczno-funkcjonalnie związane z zapewnieniem bezpieczeństwa i komfortu użytkownikom.

**WYMAGANIA:**

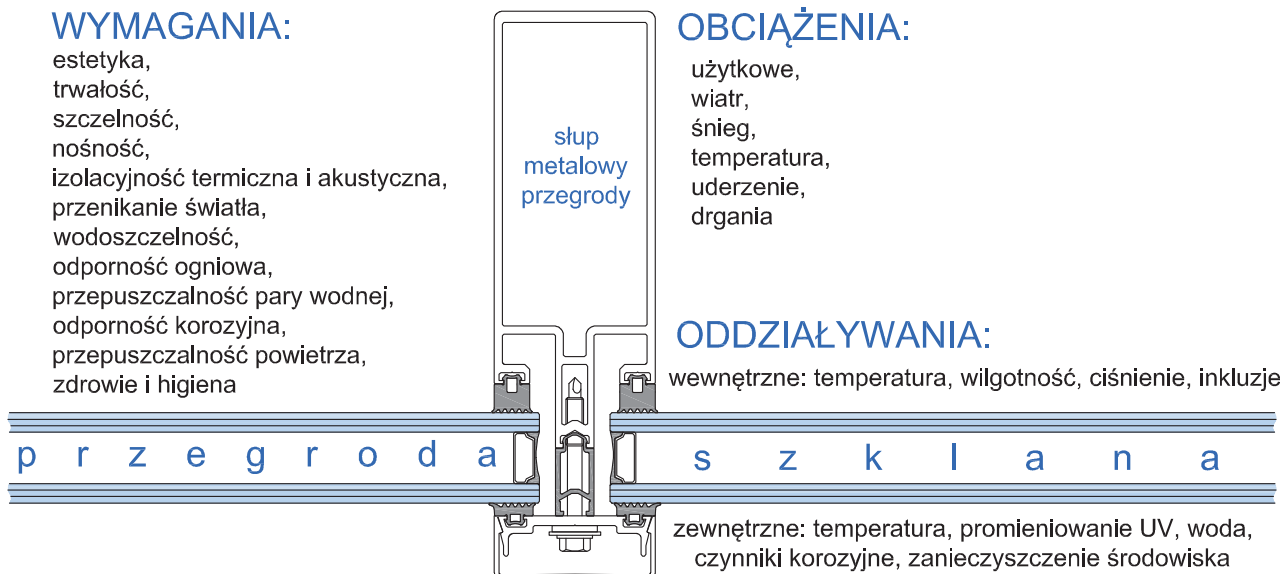
estetyka,  
 trwałość,  
 szczelność,  
 nośność,  
 izolacyjność termiczna i akustyczna,  
 przenikanie światła,  
 wodoszczelność,  
 odporność ogniowa,  
 przepuszczalność pary wodnej,  
 odporność korozyjna,  
 przepuszczalność powietrza,  
 zdrowie i higiena

**OBCIĄŻENIA:**

użytkowe,  
 wiatr,  
 śnieg,  
 temperatura,  
 uderzenie,  
 drgania

**ODDZIAŁYWANIA:**

wewnętrzne: temperatura, wilgotność, ciśnienie, inkluzje



**Rys. 2.** Wymagania dotyczące materiałów stosowanych w lekkich przegrodach ze względu na warunki eksploatacji, wg [4]

Często jednak architekci nie zdają sobie sprawy, jak złożonym zagadnieniem jest kształtowanie architektury szklanej z uwzględnieniem wszystkich wymagań technicznych, które musi ona spełniać. Papier jest ciepły i przyjmie każde, nawet najbardziej niezasadne rozwiązanie, jednak próba wykonania obiektu i jego użytkowanie szybko staje się testem ujawniającym wszelkie niedokładności i błędy rozwiązań projektowych. Na etapie wykonania kierownik budowy może domagać się wyjaśnień od autora projektu, zobowiązanego do pełnienia nadzoru autorskiego, choć nie zawsze ta współpraca odbywa się płynnie i terminowo. Jednak już na kolejnym etapie życia budynku – użytkowaniu – jego zarządca lub właściciel jest najczęściej pozostawiony samemu sobie. Projektantom dosyć często brakuje wyobraźni, a także wiedzy dotyczącej eksploatacji obiektu, nie są zatem w stanie przewidzieć problemów, jakie pojawiają się już po oddaniu obiektu do eksploatacji, a ujawniają się najczęściej zimą. Nader często zapomina się o naprawach i remontach takich konstrukcji, a przede wszystkim dostępu do nich już na etapie eksploatacji.

### 3. Cechy szkła jako materiału budowlanego

Płaskie szkło produkowane metodą float, współcześnie najczęściej stosowane do wykonywania przeszkleń obiektów budowlanych, jest generalnie materiałem kruchym, o gęstości 2500 kg/m<sup>3</sup>, zgodnie z normami PN-EN 572-1 i 572-2 [6, 7]. W jego skład wchodzi substancja szklotwórcza (krzemionka SiO<sub>2</sub> w ilości ok. 60%), węgiel sodu NaCO<sub>3</sub> (ok. 20%) i węgiel wapnia CaCO<sub>3</sub> (ok. 20%) oraz inne dodatki w mniejszych ilościach. Surowce te topi się w wysokiej temperaturze, a następnie odgazowuje i schładza według ściśle określonych procedur, mających na celu zminimalizowanie trwałych naprężeń wewnętrznych związanych z procesem stygnięcia. Stan tych naprężeń ma bowiem duży wpływ na możliwość dalszego przetwarzania i obróbki szkła do dalszych zastosowań budowlanych.

Wytrzymałość na ściskanie szkła float jest bardzo wysoka, dochodzi nawet do 1000 MPa, przy znacznie mniejszej wytrzymałości na zginanie, rzędu 40 MPa. Współczynnik rozszerzalności liniowej szkła wynosi 9·10<sup>-6</sup>/K i jest porównywalny do współczynnika rozszerzalności stali wynoszącego 12·10<sup>-6</sup>/K, dzięki czemu materiały te mogą współpracować, stanowiąc scaloną konstrukcję przegrody pionowej lub też zadaszenia. Ze względu na to, że szkło do pewnego stopnia jest materiałem sprężystym, nieulegającym trwałym odkształceniom, byłoby idealnym materiałem na konstrukcje budowlane, gdyby nie jego wrażliwość na kruche pęknięcie, które wcale nie musi być spowodowane obciążeniem lub uderzeniem. Ze względu na to, że przy rozbiciu szkła float powstają długie i ostre fragmenty, które są dużym zagrożeniem dla bezpieczeństwa i ochrony ludzi, w budynkach stosuje się częściej szkło tzw. bezpieczne, np.:

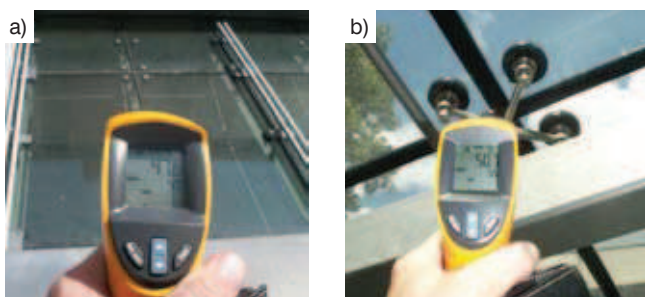
- szkło hartowane, powstające dzięki obróbce termicznej szkła zwykłego, która prowadzi do ustalenia stanu wewnętrznych naprężeń materiałowych rozłożonych na grubości obrabianej tafli szkła;
- szkło laminowane bezpieczne (VSG), które powstaje dzięki trwałemu połączeniu ze sobą tafli szkła za pomocą umieszczonej między nimi elastycznej folii z poliwinyllobutyralu. Szkło obu tych typów może pękać, jednak po rozbiciu tafli hartowanej rozpada się ona na wiele drobnych, tępych kawałków, które są mniej niebezpieczne dla ludzi. Z kolei uszkodzona szyba laminowana pozostaje w całości strukturalnej dzięki przyczepności szkła do warstwy folii.

### 4. Uszkodzenia spowodowane inkluzją

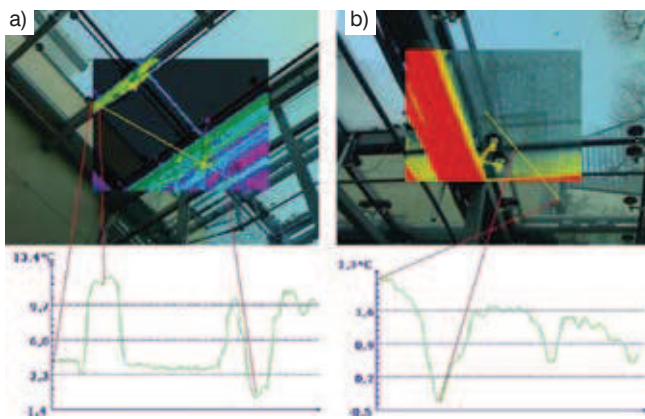
Oprócz oddziaływań zewnętrznych takich jak uderzenia czy drgania, dla szkła problemem jest zawartość przypadkowych i niechcianych zanieczyszczeń, których w procesie jego powstawania nie udało się w całości wyeliminować.



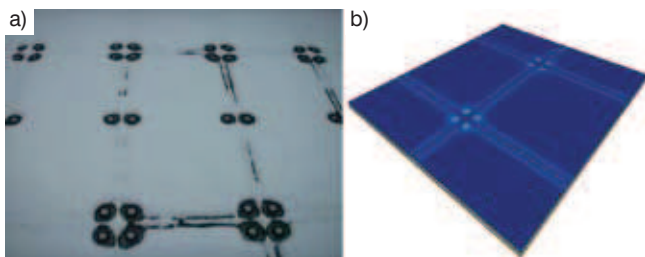
**Rys. 3.** Uszkodzenie tafli szklanej zadaszenia budynku, spowodowane zmianą objętości inkluzji siarczku niklu



**Rys. 4.** Pomiar temperatury: a) szkła, b) wsporczej konstrukcji stalowej, przy temperaturze powietrza zewnętrznego równe  $+30^{\circ}\text{C}$ ; temperatura wewnątrz przeszklonego budynku była zbliżona do zewnętrznej



**Rys. 5.** Rozkład temperatury w przegrodzie przeszklonej z wyraźnymi mostkami termicznymi w miejscach lokalizacji uszczelek i podparć [1]



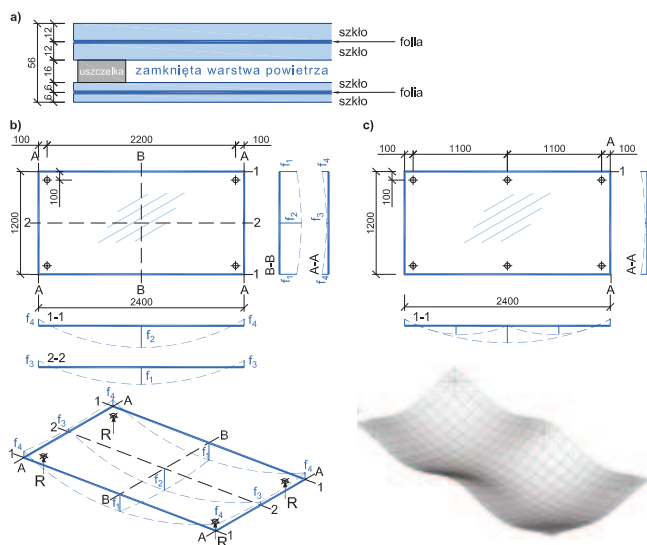
**Rys. 6.** Rozkład mostków termicznych w zadaszeniu szklanym: a) widok dachu w okresie zimowym, b) model rozkładu temperatury w przegrodzie szklanej dla warunków zbliżonych do rzeczywistych (por. rys. 5a)

Najgroźniejszym dla trwałości zanieczyszczeniem jest inkluzja siarczku niklu w szkłe hartowanym, ponieważ może prowadzić do nagłego i zaskakującego uszkodzenia tafli, gdy pozornie pozbawiona wad szyba pęka nagle, bez żadnej przyczyny. Nie jest to zjawisko powszechne, niemniej jednak pojawiające się w praktyce budowlanej, a jego eliminacja pozostaje nadal problemem nierozwiązanym [3]. Uszkodzenia spowodowane siarczkiem niklu są efektem przyrostu jego objętości o około 4%. Wywołują one dodatkowe naprężenia wewnętrzne skutkujące spękaniem szkła, nawet po kilku latach od momentu jego wbudowania. Uszkodzenia takie uwidaczniają się w postaci sprzmaczeń szkła, natomiast w miejscu występowania inkluzji pojawia się charakterystyczny wzór motylkowy, utworzony przez dwie powierzchnie pentagonalne (rys. 3). Mogą one przyjmować również kształt heksagonalny.

Uszkodzenia tafli szklanych są szczególnie niebezpieczne w przekryciach dachowych, znajdujących się nad ciągami pieszymi w obiektach użyteczności publicznej. Szczególnie groźna może stać się tafelka podparta punktowo w czterech lub sześciu miejscach, dlatego w przypadku uszkodzenia należy szybko podjąć decyzję o sposobie zabezpieczenia samej tafli oraz przestrzeni pod nią. Ze względu na duży ciężar takiej tafli, najczęściej zespolonej, a także lokalizację w użytkowanym budynku, jej wymiana staje się sporym wyzwaniem logistycznym. Istotne są również koszty wymiany oraz problem ustalenia, kto ma je pokryć: ubezpieczyciel czy producent szyby. Pęknięcia dużych tafli są nie tylko bardzo uciążliwe, ale również zaskakujące dla użytkownika, zwłaszcza jeśli zdarzają się w miejscach pobawionych dostępu, będących pod stałą kontrolą. Szukając przyczyn uszkodzeń, podejrzewa się, że zazwyczaj jest to uderzenie w tafelkę, drgania lub przeciążenie konstrukcji, jednak w miejscach trudno dostępnych przyczyną znacznej części uszkodzeń są właśnie inkluzje.

### 5. Szczelność zadaszeń wykonywanych z elementów szklanych

Wycofana już wersja normy PN-85/B-02361 [5] zalecała wykonywanie dosyć stromego pochylecia pokryć szklanych ze szkła zbrojonego, rzędu 35–50%. W czasach gdy norma powstawała, było to uzasadnione, ze względu na niską jakość dostępnych wówczas materiałów pokryciowych i uszczelniających. Obecnie dosyć często spotyka się zadaszenia płaskie z użyciem szkła, gdzie pochylecie płaszczyzn dachu zbliżone jest do stosowanych w pokryciach papowych i wynosi 1–3%. Jednak tak płaskie dachy wymagają umiejętnego konstruowania, ze względu na szereg problemów wynikających z cech materiałów zastosowanych w pokryciu. Przykładowo, w obiekcie użyteczności publicznej z zadaszeniem szklanym o pochyleciu połączenia ok. 1,5%, już w pierwszym roku eksploatacji pojawiły się problemy związane z nieuszczelnnością pokrycia. W zależności od pory roku i zmian temperatury styki pomiędzy tafelkami szklanymi rozszczelniały się w różnych miejscach i woda przedostawała się do wnętrza obiektu. Na rysunku 4 pokazano wyniki pomiaru temperatury szkła i stalowej konstrukcji wsporczej w upalny dzień. Elementy te latem silnie się nagrzewają, z kolei w okresie zimowym podlegają znacznemu wychłodzeniu,



**Rys. 7.** Deformacje szklanej tafli zespolonej poddanej obciążeniu próbnemu, a) schemat budowy analizowanej przegrody, b) model płyty wg projektu, podpartej na 4 krawędziach, c) model przy dodatkowym podparciu punktowym w środku rozpiętości

nawet do temperatur ujemnych. Zwłaszcza konstrukcja stalowych podparć widelkowych i uszczelek butylowych przyjmuje tu temperaturę zbliżoną do temperatury otoczenia (rys. 5). Taka konstrukcja dachu powoduje znaczne nagrzewanie się pomieszczeń w okresie letnim oraz przemarzanie w okresie zimowym. W celu utrzymania odpowiedniego komfortu cieplnego pomieszczeń konieczne są spore nakłady finansowe na ich schładzanie latem i ogrzewanie zimą.

Ze względu na to, że na szczelność pokryć szklanych znaczny wpływ ma ich odporność na deformacje, przy ich projektowaniu należy zwrócić szczególną uwagę na obciążenie śniegiem. W przypadku dachów płaskich jest ono bowiem podstawowym oddziaływaniem, które nie tylko wpływa na nośność, ale przede wszystkim decyduje o wielkości odkształceń tafli szklanej. W przypadku analizowanego budynku dodatkowym problemem była możliwość zsuwania się znacznych mas śniegu ze stromego dachu budynku wyższego. Mało dokładny projekt, rodzaj zaprojektowanych płyt zadania (rys. 7a) oraz sposób ich podparcia wzbudził podejrzenia inspektorów nadzoru inwestorskiego już w czasie montażu, co stało się powodem dodatkowego obliczenia ugięć oraz przeprowadzenia badań in situ na elementach przewidzianych do wbudowania w konstrukcję zadania.

W celu ustalenia możliwych deformacji szklanych płyt zadania opartych po obwodzie punktowo i przegubowo wykonano model badawczy płyty poddanej obciążeniu zbliżonemu do rzeczywistego, przy założonych przez projektanta pierwotnie czterech punktach podparciach (rys. 7b). Przeprowadzone obliczenia wykazały, że wielkości ugięć przy dodatkowym, środkowym podparciu szklanej płyty mogą się zmniejszyć prawie 15-krotnie, dlatego wykonano również drugi model, zmieniając schemat płyty przez dodatkowe podparcie w środku (rys. 7c).



**Rys. 8.** Stanowisko badawcze ugięć zespolonej tafli szklanej pod obciążeniem próbnym

Badanie ugięć tafli szklanej przeznaczonej na środkowy element konstrukcyjny zewnętrznej przegrody poziomej dachu o pochyleniu 1,5%, wykonano bezpośrednio na budowie. Płytę o wymiarach 1,2 x 2,4 m podparto zgodnie z założeniami projektowymi w czterech narożnych punktach, w odległości 0,1 m od każdej z krawędzi. Pomiary wykonano w okresie letnim, w przestrzeni zadanej, osłoniętej od słońca i wiatru. Model był tu oczywiście pewnym uproszczeniem, bowiem w rzeczywistości, zgodnie z założeniami projektowymi, po wbudowaniu tafli oparta jest na stalowych wiązarach dachowych, które również podlegają deformacjom. Badany element zespolony składał się z następujących warstw (rys. 7a):

- dwie tafle hartowanego szkła 12 mm absorbującego promienie słoneczne UV, oddzielone folią,
- zamknięta przestrzeń powietrza o grubości 16 mm,
- dwie warstwy hartowanego szkła bezpiecznego 6 mm, oddzielone folią.

Ustawiono go stabilnie na czterech podpórkach i wypoziomowano, a następnie obciążono workami cementu o masie 25 kg każdy, układając po 16 worków w każdej z czterech warstw. Po obciążeniu każdą warstwą dokonywano pomiaru odkształceń tafli (rys. 8). Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 1. Symbolem „\*” oznaczono ugięcia odczytane po tygodniu pozostawienia obciążenia złożonego z trzech warstw worków na tafli szklanej (I+II+III).

Podczas próby obciążenia płyty, wielkości obciążeń charakterystycznych wyniosły:

- ciężar własny – 0,936 kN/m<sup>2</sup>,
- ciężar worków cementu w każdej z warstw – 1,389 kN/m<sup>2</sup>.

Dopuszczalne odkształcenie płaszczyzny tafli szklanej w pionie nie powinno przekroczyć wielkości  $f = 3 \text{ mm/m}$ , co przy długości 2,40 m daje wartość graniczną 7,2 mm. Wielkość obciążenia śniegiem była tu reprezentowana przez 3 warstwy worków z cementem, dla którego bezpośrednio po obciążeniu

**Tabela 1.** Pomierzone ugięcia zespolonej tafli szklanej od obciążeń próbnych

Lokalizacja punktu pomiaru	Ciężar własny (cwł)	cwł+I warstwa	cwł+I+II warstwa	cwł+I+II+III warstwa	Obciążenie po tygodniu*	cwł+I+II+III+IV warstwa	Po odciążeniu
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
	0,936	2,325	3,714	5,103	5,103	6,492	0,936
ugięcia [mm]							
1-B (f <sub>1</sub> )	3	7	11	15	17	20	6
2-B (f <sub>2</sub> )	–	–	–	–	19	27	–
2-A (f <sub>3</sub> )	–	–	–	–	2	4	1,5

odczytano ugięcie o wielkości równej 15 mm. Po pozostawieniu tego samego obciążenia na siedem dni, ugięcie tafli szklanej powiększyło się do 17 mm, co prawie 2,4-krotnie przekroczyło wielkość dopuszczalną, równą 7,2 mm. Wyniki obserwacji zamieszczono w tabeli 1. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i wykonanych pomiarów podjęto decyzję o wykonaniu dodatkowego podparcia płyt w środku rozpiętości, co znacznie zredukowało ugięcia tafli.

Innym, negatywnym zjawiskiem towarzyszącym intensywnemu obciążaniu takich elementów jak analizowane tafle, jest uniesienie się ich naroży, co skutkuje rozwarciem i rozszczelnianiem się styków międzypłytowych. Efektem takich deformacji jest przedostawanie się wody opadowej i topniejącego śniegu do wnętrza pomieszczeń, co znacznie pogarsza komfort użytkownika obiektu i zwiększa koszty jego użytkowania. Po dziewięcioletnim okresie obserwacji eksploatowanego obiektu jednoznacznie stwierdzono, że dach nie jest szczelny, co potwierdza błędnie przyjęte założenia projektowe. W tym okresie eksploatacji wymieniono w nim już trzy płyty szklane, które zostały uszkodzone wskutek zanieczyszczenia szkła siarczkiem niklu. Istotnym i kosztownym utrudnieniem jest również konieczność utrzymania tafli szklanych w czystości, zwłaszcza w okresie jesiennym, ponieważ w okolicy rośnie sporo drzew liściastych, które są nawiewane na dach. Zimą z kolei na szkło osadzają się tłuste sadze z okolicznych kominów, będące produktem spalania paliw stałych. Ze względu na dużą kubaturę budynku nie udaje się zachować właściwego komfortu cieplnego i to pomimo montażu dodatkowych grzejników i klimatyzatorów, nieuwzględnionych w projekcie.

## 6. Podsumowanie

Budowlany projekt wykonawczy nie powinien ograniczać się wyłącznie do ogólnych rozwiązań technicznych dotyczących konkretnego problemu. Powinien on również uwzględniać

zmiany w środowisku w czasie wieloletniej eksploatacji obiektu oraz jego elementów składowych, pod kątem dalszego użytkowania gwarantującego mu bezpieczeństwo i trwałość. Niezmiernie ważnym elementem tej eksploatacji jest możliwość bezkolizyjnego i bezproblemowego przeprowadzania wszelkiego rodzaju napraw i wymian elementów uszkodzonych. Zasadność zabudowania szkła na dachach i elewacjach obiektów budowlanych powinna zostać poprzedzona odpowiednią analizą wielkości strat energii na ogrzewanie w okresie zimowym i schładzania pomieszczeń w okresach ciepłych, utrzymywania szklanej obudowy w szczelności i czystości, a przede wszystkim komfortu użytkowego pomieszczeń i bezpieczeństwa użytkowników.

Referat był wygłoszony na III Konferencji TECH-BUD'2017 nt. „Nowoczesne materiały, techniki i technologie we współczesnym budownictwie”.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Bajno D., Dachy. Zasady kształtowania i utrzymywania, PWN, Warszawa, 2016
- [2] Kowalski D., Metalowe przegrody i obudowy ścian oraz dachów. Część 1–3, Builder 4/2017, 6/2017, 8/2017
- [3] Reben M. i inni, Inkluzje siarczku niklu w szkłe, Świat Szkła 1/2010
- [4] Urbańska-Galewska E., Kowalski D., Lekka obudowa, Część 1–6, Builder 6–12/2016
- [5] PN-B-02361 Pochylenia połaci dachowych, PWN, Warszawa, 2010
- [6] PN-EN 572–1 Szkło w budownictwie. Podstawowe wyroby ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego. Część 1: Definicje oraz ogólne właściwości fizyczne i mechaniczne, PWN, Warszawa, 2016
- [7] PN-EN 572–2 Szkło w budownictwie. Podstawowe wyroby ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego. Część 2: Szkło float, PWN, Warszawa, 2012
- [8] PN-EN 13830 Ściany osłonowe. Norma wyrobu, PKN, Warszawa, 2015

Za publikację w miesięczniku „Przegląd Budowlany”  
uzyskuje się 5 punktów

zgodnie z komunikatem MNiSW z dnia 23.12.2015 roku, wykaz B, pozycja 1381.