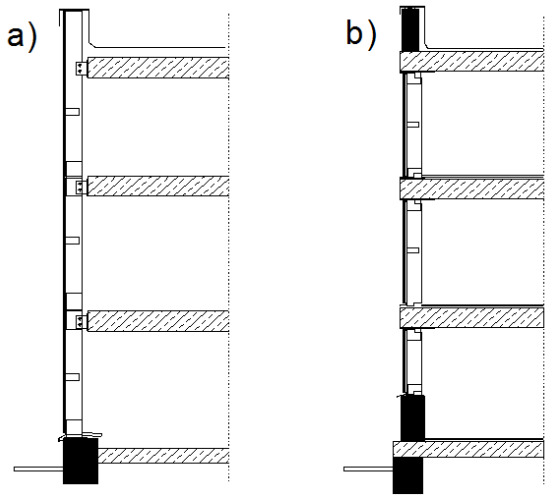
Maciej CWYL, Piotr DREWNIAK, Dawid CICHY

# SKUTKI ODDZIAŁYWAŃ TERMICZNYCH DLA FASAD METALOWO - SZKLANYCH

*W artykule omówione zostały skutki oddziaływań termicznych dla typowych konstrukcji fasad metalowo-szklanych zarówno w zakresie przyjętych rozwiązań projektowych (rodzaj ściany, schemat statyczny) jak i doboru odpowiednich materiałów. Autorzy pokazują wpływ temperatury na elementy nośne tego typu konstrukcji wraz z możliwymi konsekwencjami błędów projektowych lub wykonawczych. Artykuł zawiera wymagania stawiane przeszkleniom oraz elementom uszczelniającym ze względu na oddziaływania termiczne. Przywołane zostały również sposoby zabezpieczenia się przed niekorzystnym wpływem temperatury na etapie procesu projektowego jak i eksploatacji tego rodzaju konstrukcji.*

## WSTĘP

Struktury metalowo szklane są współcześnie najczęściej spotykanym rozwiązaniem dedykowanym dla ścian osłonowych w budynkach biurowych i użyteczności publicznej. Tego rodzaju rozwiązania charakteryzują się szeregiem zalet pod względem zarówno architektonicznym jak i konstrukcyjnym. Fasady metalowo-szklane pozwalają na uzyskanie dostępu dużej ilości światła wewnątrz budynku przy jednoczesnym zapewnieniu ochrony przed wpływem czynników atmosferycznych. Najczęstsze rozwiązania wykorzystywane w strukturach metalowo-szklanych to ściany kurtynowe oraz ściany wypełniające.




***Rys. 1.** Położenie elementów ściany kurtynowej (a) oraz wypełniającej (b) względem elementów konstrukcyjnych budynku*

Ściany kurtynowe tworzą dla zewnętrznego obserwatora jednolitą elewację budynku. Składają się z trwale ze sobą połączonych pionowych i poziomych elementów nośnych zakotwionych do elementów konstrukcyjnych budynku. Wypełnieniem jest szkło hartowane lub półhartowane, a także płyty warstwowe w przypadku pól nieprzeziernych najczęściej przesłaniających widok stropów konstrukcji. Struktura spełnia wszystkie funkcje zewnętrznej ściany budynku, jednak nie może przejmować obciążeń z konstrukcji. Najbardziej powszechnym z rozwiązań konstrukcyjnych jest projektowanie belek wieloprzęsłowych na krawędziach płyt stropowych, mocowanych na węzłach górnych w sposób nieprzesuwny. W takim rozwiązaniu elementy ściany kurtynowej przekazują na szkielet budynku ciężar własny elewacji i obciążenia klimatyczne. W zakresie elewacji kurtynowych wyróżniamy ściany elementowe oraz ściany słupowo-ryglowe. W przypadku ściany elementowej prefabrykowane wcześniej segmenty (najczęściej o wysokości jednej lub dwóch kondygnacji) łączone są ze sobą na placu budowy. Pozwala to na szybsze oraz dokładniejsze wykonanie elewacji. Ściany słupowo-ryglowe są montowane na placu budowy z prostych elementów: profili szkieletu konstrukcyjnego, listew dociskowych, pakietów szybowych itd.. Konstrukcje tego typu są bardziej narażone na wystąpienie błędów oraz niedokładności montażowych.

Ściany wypełniające często wykorzystywane są jako elementy zabudowy balkonów i loggi. Elementy konstrukcyjne wypełniają przestrzeń pomiędzy stropami budynku, jednak również tutaj nie może wystąpić przejmowanie obciążeń ze stropów. Narzuca to uwzględnienie w procesie projektowym wpływu temperatur i związanych z tym zmian długości elementów, a także wpływu ugięć elementów konstrukcji szkieletu budynku.

W obu typach struktur metalowo-szklanych zabezpieczenie przed skutkami oddziaływań termicznych jest jednym z najpoważniejszych wyzwań na etapie projektowania oraz wykonawstwa. Elementy fasad pracują w zakresie temperatur -30˚C - 80˚C co wiąże się z obciążeniem dla elementów konstrukcyjnych w zakresie zmian ich długości, a także przyspieszonym starzeniem się elementów uszczelniających i izolujących. Również przeszklenia wykonane z szkła hartowanego lub półhartowanego podlegają oddziaływaniu wahań temperatury, która może mieć wpływ na występowanie awarii. Kolejną ważną kwestią są różnice w charakterystykach materiałowych poszczególnych elementów fasady (elementy stopowe konstrukcji, przeszklenia, przekładki EPDM, gumowe uszczelki) które mają wpływ na rozkład temperatury na powierzchni fasady, a zatem i na współpracę komponentów ściany.

## 1. WPŁYW TEMPERATURY NA ELEMENTY FASADY

### 1.1. Wpływ na elementy konstrukcyjne

W przypadku elewacji kurtynowych, słupy konstrukcji mają długość najczęściej dwóch kondygnacji i są łączone ze sobą w węzłach przesuwnych lub uciąglających. Możliwość kompensacji odkształceń wywołanych zmianami temperatury jest bardzo ważna gdyż ewentu-

alne zblokowanie elementów w węzłach podporowych (przesuwnych) prowadzi do powstania dużych sił osiowych będących zagrożeniem dla stateczności ogólnej słupów. Również w przypadku elewacji wypełniających wpływ wydłużenia elementów słupków musi być brany pod uwagę, aby uniknąć wprowadzenia do układu ściany sił „rozporowych" pomiędzy stropami konstrukcji budynku. Taki stan może doprowadzić do zmian wartości naprężeń w pakietach szybowych, będących wypełnieniem takiej elewacji, co często skutkuje ich zniszczeniem.

Obciążenia termiczne obok obciążeń przemieszczeniem i obrotem podpór układu prętowego stanowią grupę obciążeń poza-statycznych, o charakterze wyjątkowym, które w układach statycznie wyznaczalnych powodują deformację i zmianę schematów obliczeniowych analizowanej fasady. W przypadku braku możliwości kompensacji odkształceń mamy wtedy do czynienia z układem statycznie niewyznaczalnym.

Na potrzeby obliczeń przyjmijmy metalowe elementy nośne elewacji słupowo-ryglowej. Zarówno słupek jak i rygiel zostały za-projektowane na podstawie schematu statycznego belki swobodnie podpartej. Przy prawidłowym zaprojektowaniu i wykonaniu połączenia elementów konstrukcyjnych przez zastosowanie otworów podłużnych (fasolowych) nie występują siły podłużne spowodowane obciążeniem termicznym. Ograniczenie lub uniemożliwienie przesuwu przy termicznym wydłużeniu pręta powoduje powstanie wewnętrznych sił podłużnych. Wydłużenie pręta spowodowane jego rozszerzalnością termiczną jest wprost proporcjonalne do jego długości początkowej, współczynnika rozszerzalności cieplnej oraz przyrostu temperatury, co opisuje poniższy wzór (1). Do obliczeń przyjęto słupki o długości odpowiednio 330 cm dla ściany wypełniającej oraz 720 cm dla ściany kurtynowej przyjmując zmianę temperatury o 60°C. Dla potrzeb artykułu przeprowadzono sprawdzenie dla trzech przekrojów: 180x60x3mm, 150x60x3mm oraz 70x50x4mm.

$$\Delta l = \alpha_t \cdot l_0 \cdot \Delta t \qquad (1)$$

$\alpha_t$ - współczynnik rozszerzalności termicznej [1/K]
$l_0$ - długość początkowa pręta [m]
$\Delta t$ - przyrost temperatury [K]

Rozważmy wpływ poszczególnych etapów powstawania elewacji na składowe wzoru (1). Zadaniem projektanta jest dobranie typu elewacji metalowo-szklanej oraz systemu spełniających warunki stawiane przez inwestora. Parametrami dobranych elementów konstrukcyjnych wpływających na wydłużenie pręta jest ich długość oraz materiał z którego są wykonane. Parametry materiałowe najpowszechniejszych materiałów stosowanych w konstrukcjach metalowo – szklanych zestawiono w tabeli 1.

***Tab. 1.*** *Zestawienie stałych materiałowych*

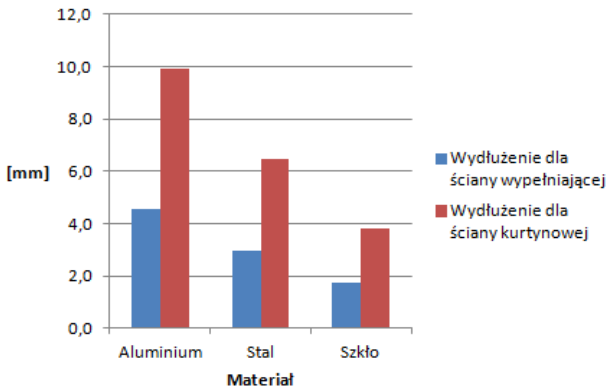
| Materiał | Współczynnik rozszerzalności termicznej α [10$^{-6}$/K] | Moduł Younga E [GPa] |
|---|---|---|
| Aluminium | 23 | 70 |
| Stal | 15 | 210 |
| Szkło | 8,8 | 70 |

Można zauważyć, że wybór typu konstrukcji elewacji kurtynowej zamiast wypełniającej powoduje zwiększenie wydłużenia słupków. Przekrój profilu pręta wpływa na siłę wewnętrzną spowodowaną ograniczonym lub uniemożliwionym przesuwem podłużnym w węźle, co opisuje wzór 2.

$$F = E \cdot A \cdot \alpha_t \cdot \Delta t \cdot \frac{(\Delta l - c)}{\Delta l} \qquad (2)$$

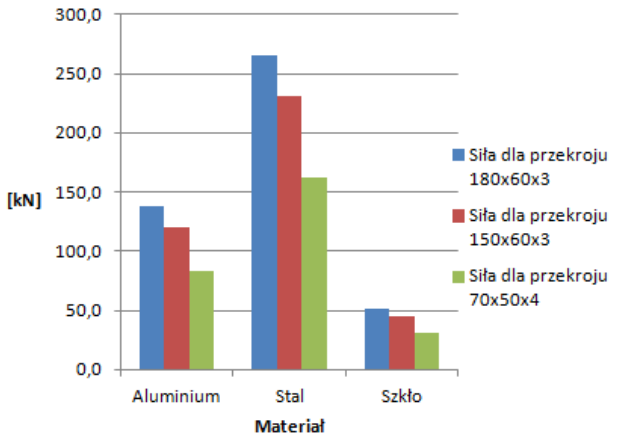
E - moduł sprężystości podłużnej [GPa]
A - pole przekroju poprzecznego [m2]
αt - współczynnik rozszerzalności termicznej [1/K]
Δt - przyrost temperatury [K]
Δl - wydłużenie pręta [m]
c - swobodny przesuw łącznika w węźle [m]

Pierwszy wykres (rys. 2) przedstawia zależność bezwzględnego wydłużenia dla ściany wypełniającej i kurtynowej w rozróżnieniu na materiał wykonania słupa nośnego na aluminium i stal. Wykresy dla szkła umieszczono wyłącznie w celu ukazania około dwu i pół krotnej różnicy w stosunku do wyników przy wykorzystaniu aluminium. Nie można pomijać takiej rozbieżności projektując kilkumetrowe układy oparte na bezpośredniej współpracy tych materiałów. Wpływ długości początkowej rozpatrywanych słupków na wydłużenie jest widoczny dla każdego materiału. Wydłużenie rzędu jednego centymetra dla rozpatrywanej ściany kurtynowej o konstrukcji nośnej ze stopów aluminiowych wymaga odpowiedniego zaprojektowania węzłów wraz z elementami zapewniającymi przesuw i swobodę wydłużeń elementów w ramach prawidłowej pracy konstrukcji. W przypadku ścian kurtynowych niezalecane jest tworzenie sztywnych węzłów uciąglających o znacznej długości, z powodu problemów z kompensacją wydłużeń tych elementów.




***Rys. 2.*** *Wydłużenie dla poszczególnych materiałów*

Druga część obliczeń pozwala porównać wartość siły ściskającej w stalowych i stopowych słupach w zależności od pola powierzchni trzech przekrojów sprowadzonych. Analogicznie do części pierwszej, szkło przedstawiono wyłącznie do określania skali zagadnienia. Analizując wyniki dla stali można założyć sobie ich niezamierzone, punktowe oddziaływanie na szklany element fasady. Lokalne zakłócenie stanu naprężeń w szkle wywołane siłą skupioną od elementu nośnego może skutkować zniszczeniem tafli szklanej. Należy unikać styku prostopadłych do konstrukcji nośnej fasady elementów pełnościennych lub kształtowników o znacznym polu powierzchni narażonych na nagrzewanie, które wywołuje powstanie niszczących wartości sił skupionych.




***Rys. 3.*** *Siły podłużne wyznaczone w elementach w zależności od materiału*

W przypadku braku możliwości kompensacji wydłużeń, w elementach wprowadzane zostają duże siły podłużne (osiowe), mające wpływ na stateczność ogólną pręta ściskanego. Może prowadzić to do wyboczenia słupków i rygli, a także uszkodzenia pozostałych komponentów struktury. Spaczenie elementów mocujących liniowo szyby, zmienia ich schemat statyczny i grozi obluzowaniem lub utratą szczelności na przenikanie wody.

***Rys. 4.*** *Spaczony element maskownicy, widoczne dodatkowe, nieujęte w projekcie mocowanie za pomocą śrub, które ograniczało możliwość odkształceń termicznych*

Duże siły podłużne występujące przy ogrzaniu struktury metalowo-szklanej mogą doprowadzić wręcz do "wciśnięcia" na siebie elementów fasady jak na rys. 4. Prowadzi to do deformacji i w konsekwencji zniszczenia elementów, może skutkować odpadaniem komponentów ściany, co jest szczególnie niebezpieczne w przypadku budynków wysokościowych i wysokich, gdyż stanowi niebezpieczeństwo dla ludzi i mienia.

***Rys. 5.*** *Elementy "wciśnięte" na siebie, co świadczy o działaniu dużych sił podłużnych*

### 1.2. Wpływ na przeszklenia

Na panele fasady składają się szyby zespolone, elementy metalowe lub płyty z poliwęglanu. Najczęściej stosowane są tafle szklane wykonane z szkła hartowanego i laminowanego. W momencie zniszczenia ulega ono całkowitej fragmentacji na nieostro zakończone kawałeczki, zmniejszając zagrożenie dla użytkowników. Szkło jest materiałem kruchym, charakteryzującym się wytrzymałością na ściskanie rzędu 1000 MPa przy 10-krotnie mniejszej wytrzymałości na rozciąganie. W celu uzyskania wysokich parametrów wytrzymałościowych elementy szklane poddaje się procesowi hartowania. Kruchość oraz hartowanie zwiększają wrażliwość szkła na lokalne zaburzenie naprężeń wewnątrz tafli pochodzące od przyległych elementów. Przyczyną powstawania niszczących naprężeń lokalnych w tafli szklanej może być siła skupiona, obciążenie powierzchniowe o dużym natężeniu rozłożone na małej powierzchni oraz wpływ temperatury na zanieczyszczenia materiału charakteryzujące się innym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej niż szkło. Przykładem takiego zagrożenia są wtrącenia kryształów siarczku niklu. Jest to polimorficzny związek chemiczny występujący w dwóch odmianach alotropowych. Poniżej temperatury 390°C kryształ występuje w odmianie alfa, a powyżej tej temperatury w odmianie β.

***Tab. 2.*** *Zestawienie właściwości siarczku niklu i szkła*

| Materiał | Współczynnik rozszerzalności termicznej α [$10^{-6}$/K] | Moduł Younga E [GPa] |
|---|---|---|
| Siarczek niklu odmiana α | 16,3 | 80 |
| Siarczek niklu odmiana β | 14,5 | 80 |
| Szkło | 8,8 | 70 |

Podczas procesu hartowania pod wpływem wysokiej temperatury kryształ zmienia się w wysokotemperaturową odmianę beta o mniejszej objętości. Już przy studzeniu kryształ dąży do pierwotnej odmiany alfa, którą utrudniają naprężenia powstałe przy hartowaniu elementu. Zwiększenie temperatury podczas użytkowania elementu ułatwia przekształcenie się kryształu, któremu towarzyszy około 3% wzrost objętości. Skutkiem zmian jest powstanie naprężeń rzędu 50 MPa, które powodują zniszczenie elementu poprzez lokalne zaburzenie stanu naprężeń panujących w tafli. Problemy z pękającymi szybami mogą ujawnić się nawet kilka lat po zamontowaniu ich w konstrukcji, w przypadku konstrukcji ze szkła hartowanego dochodzi

do zniszczenia całego przeszklenia, w przypadku szkła typu float możliwe są punktowe odpryski jak na rys. 6.

***Rys. 6.*** *Odprysk szkła charakterystyczny dla wtrąceń niklu*

Innym przykład oddziaływania temperatury na przeszklenia ma związek z ograniczeniem swobody odkształceń wynikających z ogrzania szkła. Zamocowanie w okuciach szkła, bez zastosowania elastycznych przekładek lub pustki powietrznej pozwalającej skompensować wydłużenie tafli, prowadzić będzie do ściskania tafli szklanej oraz docisku elementów okucia szyby. Stan taki może być powodem kruchego pęknięcia.

***Rys. 7.*** *Brak elastycznych przekładek kompensujących wpływ temperatury na długość tafli oraz zabezpieczających przed lokalnym dociskiem elementów okucia*

### 1.3. Wpływ na elementy uszczelek i izolatorów

Fasada metalowo szklana obok własnej konstrukcji nośnej, elementów wypełniających i osłonowych składa się również z uszczelek i izolatorów, które zapewniają odpowiednią odporność na przenikanie wody oraz redukują wpływ mostków termicznych. Uszczelki przez swoją ciągłość i trwałość zapewniają równomierne podparcie tafli szklanych. Dokładne uszczelnienie uniemożliwia penetrację wody i powietrza zewnętrznego, zapewniając komfort użytkowania oraz lepsze parametry z zakresu fizyki budowli. Uszczelki i izolatory są narażone na działanie skrajnych temperatur oraz przegrzewanie. Skutkiem jest utrata plastyczności, deformacja i spękanie elementu. Po deformacji elementu liniowego uszczelki zostaje zmieniony schemat podparcia tafli, który zaburza naprężenia wewnętrzne i może powodować zniszczenie elementu szklanego.

***Rys. 8.*** *Sparciała wykruszająca się uszczelka, zacieki świadczą o przenikaniu do środka wody*

Z drugiej strony w przypadku nieciągłości uszczelek nie będzie zapewniona szczelność fasady. Możliwa będzie penetracja wody, a chłodne i wilgotne powietrze zewnętrzne może schłodzić elementy poniżej temperatury „punktu rosy". Podobnie w przypadku degradacji izolatorów, następuje obniżenie temperatury powierzchni elementów fasady. Efektem może być wykraplanie pary wodnej w miejscach trudnodostępnych, pogorszenie warunków użytkowania oraz przyspieszenie korozji konstrukcji. Dlatego dla większości fasad metalowo-szklanych niezbędna jest wymiana uszczelek i izolatorów co ok. 15-20 lat.

## 2. ZABEZPIECZENIE PRZED NIEKORZYSTNYM WPŁYWEM TEMPERATURY

### 2.1. Ściany kurtynowe

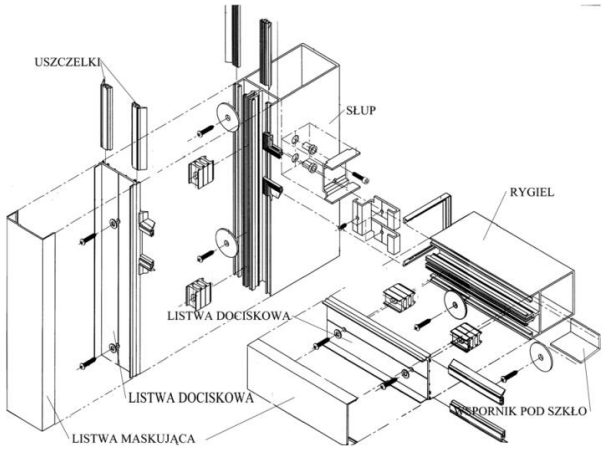
Powyższe przykłady pokazują jak duży jest wpływ temperatury na prawidłowe funkcjonowanie struktury metalowo-szklanej. Niepoprawne zaprojektowanie lub niewłaściwy montaż konstrukcji może doprowadzić do awarii lub obniżenie komfortu korzystających z budynku użytkowników. Szczególnej uwadze powinny podlegać elementy detali połączeń słupów i rygli konstrukcji fasady kurtynowej, a także połączenie całości struktury z konstrukcją szkieletu budynku. Wszystkie te rozwiązania muszą zapewniać możliwość kompensowania odkształceń spowodowanych zmianami temperatury.

Połączenia słupów fasady z budynkiem realizowane są zazwyczaj poprzez podwieszenie do elementów konstrukcji. Struktura metalowo-szklana ma za zadanie przenieść swój ciężar własny oraz przekazać obciążenie od wiatru na szkielet budynku. Słupy zazwyczaj są punktowo zamocowane na szczycie budynku, a potem przegubowo podpierane wzdłuż ich wysokości. Realizowane jest to przez wykonanie połączeń z użyciem otworów fasolowych pozwalających

na przemieszczenia pionowe słupów ściany. Przykład połączenia słupa fasady aluminiowej z słupem stalowym konstrukcji obiektu jest widoczny na rys. 9.

Połączenia rygiel-słup które realizowane są za pomocą łączników umieszczanych w otworach fasolowych zapobiegają zblokowaniu rygla pomiędzy słupami co prowadziłoby do jego wyboczenia. Innym rozwiązaniem są przekładki z miękkich materiałów zapewniające możliwość odkształcenia. Przykład poprawnego rozwiązania takiego detalu znajduje się na rys. 10.

Równie ważne są połączenia słup-słup gdyż wpływ temperatury determinuje konieczność wykonania dylatacji. Najczęściej tego rodzaju połączenia wykonywane są co dwa piętra. Pozwala to uniknąć sytuacji widocznej na rys. 5 gdzie elementy konstrukcji wraz z elementami osłaniającymi oddziałują na siebie z dużą siłą co prowadzi do ich zniszczenia. Słupy łączone są ze sobą za pomocą systemowych łączników z pozostawieniem szczeliny dylatacyjnej zabezpieczonej taśmą uszczelniającą.




***Rys. 10.*** *Przykład połączenia rygiel-słup*

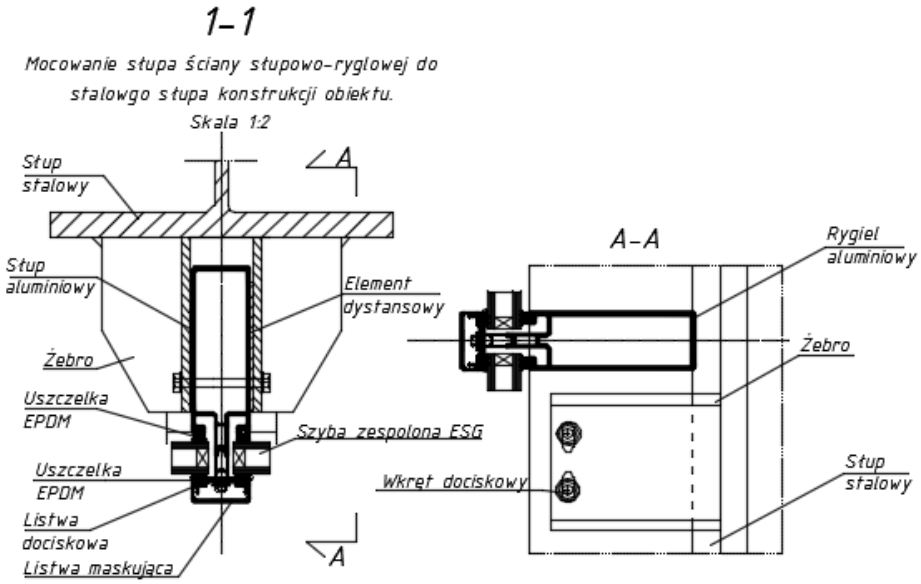
Dobra praktyka projektowania struktur metalowo – szklanych fasad polega na likwidowaniu w modelach obliczeniowych zwolnień wybranych połączeń przesuwnych, traktując taki schemat statyczny jako wyjątkowy. Projektant zyskuje wtedy wiedzę o możliwych konsekwencjach wystąpienia awaryjnie „zatarcia się" lub „zblokowania" połączenia dla projektowanego schematu statycznego. Wywołane, dodatkowe wartości sił w układzie statycznym powalają na oszacowanie stopnia wytężenia elementów fasady i określenia możliwego zakresu uszkodzeń elewacji.

### 2.2. Ściany wypełniające

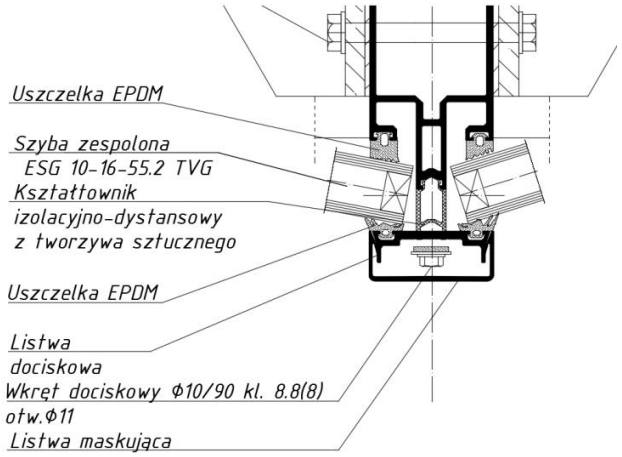
W przypadku ścian wypełniających kluczowym jest dobranie właściwej wysokości ściany ze względu na odpowiednio dobraną dylatację konstrukcyjną. Najlepszym rozwiązaniem jest, gdy całość konstrukcji jest podwieszona na prowadnicach/ryglach do stropu wyższej kondygnacji. Dolne prowadnice służą tylko do utrzymania przeszkleń w pionie i przekazania sił od wiatru na konstrukcje budynku. W takiej sytuacji elementy ściany przenoszą jedynie obciążenie od ciężaru własnego i mają możliwość kompensacji wydłużeń spowodowanych zmianami temperatury, a także nie są wrażliwe na ściskanie spowodowane ugięciami stropów. Podwieszenie konstrukcji ściany pozwala również na swobodę korzystania z elementów przesuwnych - do ich otwierania nie jest konieczne używanie dużej siły. Poprawia też warunki w jakich pracują uszczelki, które nie są zgniatane przez oddziaływanie od okuć szyb.

### 2.3. Przeszklenia, elementy uszczelek oraz izolatorów

Elementy przeszkleń muszą być zabezpieczone przed dociskiem do elementów okucia wywołanych rozszerzeniem się elementów aluminiowych lub samego szkła. Zabezpieczenie to realizowane jest poprzez zastosowanie przekładek z elastycznych materiałów lub pustek powietrznych, co zapobiega lokalnemu dociskowi okuć lub łączników i w konsekwencji chroni szybę przed kruchym zniszczeniem. Przykład odpowiednio zabezpieczonej szyby widać na rys. 11.




***Rys. 9.*** *Połączenie słupa ściany słupowo-ryglowej do stalowego słupa konstrukcji obiektu*




***Rys. 11.*** *Zamocowanie szyb w profilu aluminiowym. Zastosowano przekładki EPDM oraz pustkę powietrzną.*

W przypadku wtrąceń niklu rozwiązaniem jest test HST stosowany na etapie kontroli jakościowej w hutach szkła. Polega na podgrzaniu tafli szklanej do temperatury ok. 290-300˚C, w takiej temperaturze z bardzo wysokim prawdopodobieństwem dojdzie do ujawnienia zanieczyszczeń i samoistnego pęknięcia tafli szklanej. Wymaganie testu HST jest dobrym rozwiązaniem ze względu na trudności, jakie powoduje konieczność wymiany przeszkleń w budynkach będących w eksploatacji.

Dla uszczelek i izolatorów ważne są okresowe przeglądy, jakim podlega ściana metalowo-szklana. Podczas trwania okresu na który fasada została zaprojektowana najczęściej wymagane jest dwu lub trzy-krotne wymienienie elementów wykonanych z miękkich gum i EPDM. Zapewnia to szczelność ściany na przenikanie wody, odpowiednią izolacyjność termiczną zapobiegającą wykraplaniu się pary wodnej na wewnętrznych powierzchniach oraz realizacje prawidłowego, liniowego podparcia szyb.

## PODSUMOWANIE

Rynek struktur metalowo-szklanych jest rynkiem dynamicznie rozwijającym się, co sugeruje dalszy wzrost ilości wykonywanych tego typu realizacji. Ze względu na wykorzystywanie ścian kurtynowych i wypełniających zarówno w budynkach użyteczności publicznej i biurowych, jak i mieszkalnych, wszelkie awarie na etapie eksploatacji wiążą się z poważnymi problemami i kosztami dla inwestora. Dlatego proces projektowania i wykonania elewacji metalowo-szklanych jest procesem bardzo ważnym, w którym uwzględnienie wpływu temperatur jest sprawą kluczową. Nieodpowiednie przyjęcie schematów statycznych i błędne wykonanie detali połączeń może skutkować koniecznością wymiany całości fasady. Równie ważną kwestią są okresowe przeglądy i rektyfikacja tego typu konstrukcji, gdyż pominięcie wymiany elementów uszczelniających i izolujących może doprowadzić do degradacji zarówno komponentów fasady jak i konstrukcji samego szkieletu budynku.

## BIBLIOGRAFIA

1. Cwyl M., *Nieprawidłowości w realizacji przegród metalowo-szklanych*, Świat Szkła 11/2016.
2. Reben M., Wasylak J., Szumiński M., Bielecki S., *Inkluzje siarczku niklu w szkle*, Świat Szkła 1/2010.
3. Kullerud G., Yund R.A., *The Ni-S system and related minerals*, Journal of Petrology, 126-175, 1962.
4. Wienskowski K., *Materiały uszczelkowe do okien, drzwi, żaluzji i ścian osłonowych*, Świat Szkła 4/2006.
5. PN-EN 13830:2005 Ściany osłonowe. Norma wyrobu.
6. PN-EN 12154:2004 Ściany osłonowe. Wodoszczelność. Wymagania eksploatacyjne i klasyfikacja.

### Temperature effects in metal-glass facades

*Paper discussed impact of temperature effects in typical metal-glass facades on design solutions (type of facade, static scheme) and selection of proper materials. Authors explained impact of temperature on supporting elements with possible consequences of invalid design or assembly. Paper discussed also requirements for glass and gaskets and gave some solutions about protection against the unfavourable impact of temperature.*

Autorzy:
dr inż. **Maciej Cwyl** – Politechnika Warszawska,
inż. **Piotr Drewniak** – Politechnika Warszawska,
**Dawid Cichy** - Politechnika Warszawska