

---

**PRACE**

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 16**  
(styczeń–marzec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

**Rok VII**

**Warszawa–Opole 2014**

---

ANNA BALON-WRÓBEL\*  
AGNIESZKA MARCZEWSKA\*\*

# Wpływ temperatur na właściwości mechaniczne mas uszczelniających stosowanych w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym

## Część 2 – Badanie powrotu elastycznego, wytrzymałości na rozdarcie i mechanicznego obciążenia cyklicznego\*\*\*

**Słowa kluczowe:** masa uszczelniająca, powrót elastyczny, wytrzymałość na rozdarcie, mechaniczne obciążenie cykliczne.

W artykule przedstawiono metodykę i wyniki kolejnych badań zasadniczych właściwości szczeliw konstrukcyjnych (powrotu elastycznego, wytrzymałości na rozdarcie oraz mechanicznego obciążenia cyklicznego) oraz wymogi, jakie muszą one spełniać zgodnie z normą PN-EN 15434 + A1: 2010 – Szkło w budownictwie. Norma wyrobu dla szczeliw konstrukcyjnych i/lub szczeliw odpornych na ultrafiolet (do stosowania w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym i/lub izolacyjnych szybach zespolonych z odsłoniętym uszczelnieniem).

## 1. Wstęp

Jak już wspomniano w pierwszej części artykułu, masy uszczelniające znajdujące zastosowanie w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym oraz w izolacyjnych szybach zespolonych z odsłoniętym uszczelnieniem muszą spełniać bardzo rygorystyczne wymagania. Związane to jest ze specyfiką konstrukcji elewacji szklanych, których jakość wykonania stanowi istotę bezpieczeństwa ich użyt-

---

\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, a.wrobel@icimb.pl

\*\* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, a.marczewska@icimb.pl

\*\*\* Część pierwsza artykułu ukazała się w „Pracach ICI MB” 2013, nr 13.

kowników. Najistotniejszą cechą, jaką muszą charakteryzować się masy uszczelniające jest ich duża odporność na obciążenia mechaniczne. Metodyka badań oraz wymagania, jakie winny spełnić szczeliwa konstrukcyjne i/lub odporne na ultrafiolet zawarte zostały w normie PN-EN 15434 +A1: 2010 [1] w grupie zasadniczych właściwości.

## **2. Metodyka badania powrotu elastycznego, wytrzymałości na rozdarcie i mechanicznego obciążenia cyklicznego**

Badania powrotu elastycznego, wytrzymałości na rozdarcie oraz mechanicznego obciążenia cyklicznego należą do grupy analiz zasadniczych dotyczących właściwości szczeliw konstrukcyjnych [1] i obok badania rozciągania oraz ścinania wykonywane są w Zakładzie Technologii Szkła.

Badanie omawiane w niniejszym artykule zrealizowane a zostały na wielofunkcyjnym stanowisku oraz na specjalnie przygotowanych próbkach [1]. Stanowisko oraz sposób przygotowania próbek omówiono w części pierwszej artykułu [3].

### **2.1. Badanie powrotu elastycznego**

Badanie powrotu elastycznego szczeliw konstrukcyjnych przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 7389: 2004 [2]. Zostało ono zrealizowane w celu oceny relaksacji po długotrwałym obciążeniu. Przed przystąpieniem do badań próbki poddano kondycjonowaniu przez 28 dni w temperaturze  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$ , a następnie dokonano w dwóch miejscach pomiaru początkowego wydłużenia badanych próbek.

Próbki kolejno umieszczano w maszynie wytrzymałościowej i obciążano je, poddając rozciąganiu z prędkością  $5,5 \pm 0,7$  mm, uzyskano w ten sposób 125% pierwotnej długości. Po upływie 16 godzin próbki odciążono i ułożono na gładkiej powierzchni o niskim tarciu i następnie dokonano pomiaru wydłużenia na obu końcach próbek.

Przebieg badania rejestrowany jest automatycznie na komputerze, dzięki czemu możliwe jest monitorowanie na bieżąco jego przebiegu oraz zapisanie uzyskanych wyników.

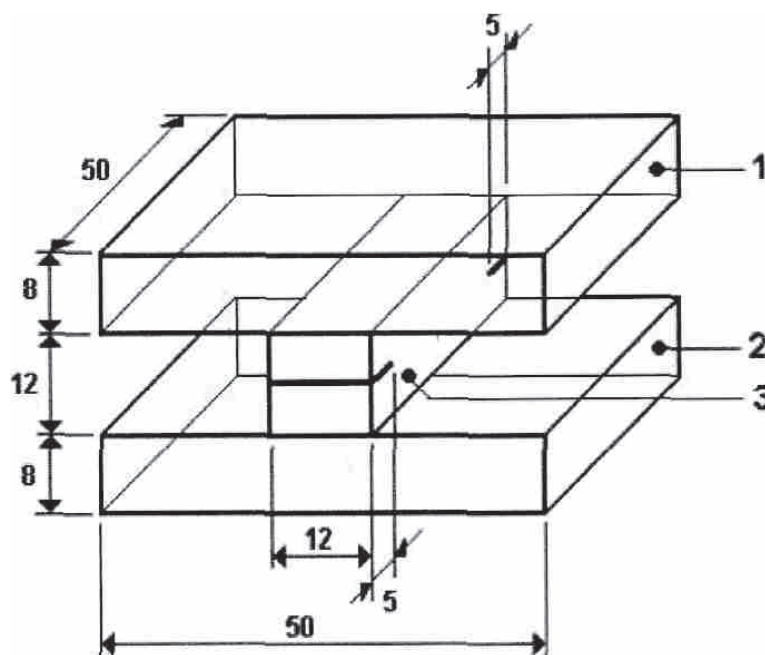
Zgodnie z wymaganiami normy zanotowano:

- początkowe naprężenie i wydłużenie,
- końcowe naprężenie i wydłużenie,
- wydłużenie.

Warunek, jaki miały spełnić badane próbki to w przypadku szczeliwa do celów konstrukcyjnych średnia sprężystej relaksacji, która powinna wynosić przynajmniej 95% [1].

## 2.2. Wytrzymałość na rozdarcie

Celem badania wytrzymałości na rozdarcie było określenie sposobu propagacji nacięcia w szczeliwie konstrukcyjnym. Do analiz przygotowano standardowe próbki [3], które po utwardzeniu nacięto na końcach szczeliwa, jak pokazano na rycinie 1.



Legenda (wymiary w milimetrach)

1 - szkło float

2 - szkło float

3 - szczeliwo z nacięciami o głębokości 5 mm na końcach

Ryc. 1. Próbka do badania wytrzymałości na rozdarcie [1]

Próbki rozciągano do zniszczenia w temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Zgodnie z wymaganiem normy zerwanie powinno być przynajmniej w 90% kohezyjne (zerwanie w masie szczeliwa konstrukcyjnego, brak oderwania szczeliwa od szkła).

## 2.3. Mechaniczne obciążenie cykliczne

Badanie mechanicznego obciążenia cyklicznego zrealizowano w celu dokonania oceny skutku naprężeń zmęczeniowych na resztkową wytrzymałość mechaniczną wiązania szczeliwa.

Próbki poddawano powtarzalnym obciążeniom rozciągającym o czasie cyklu 8 s (ryc. 2):

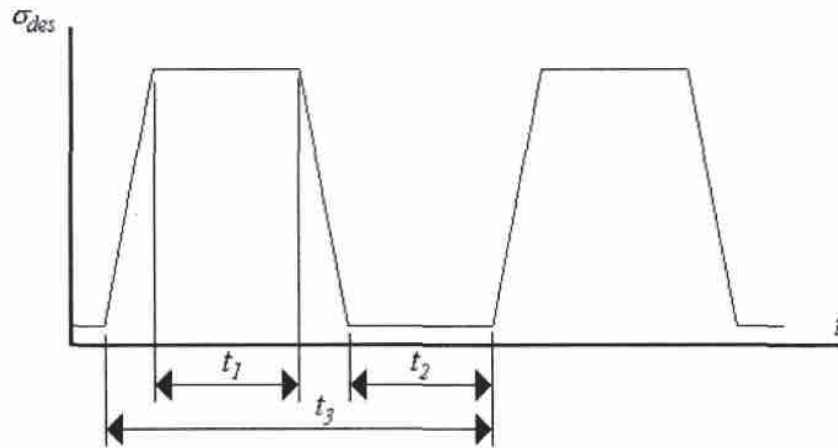
- 100 razy od  $0,1 \sigma_{des}$  do naprężenia projektowego  $\sigma_{des}$ ,
- 250 razy od  $0,1 \sigma_{des}$  do  $0,8$  naprężenia projektowego  $\sigma_{des}$ ,
- 5000 razy od  $0,1 \sigma_{des}$  do  $0,6$  naprężenia projektowego  $\sigma_{des}$ ,

gdzie:

$$\sigma_{des} = R_{u,5}/6,$$

$R_{u,5}$  – charakterystyczne naprężenie niszczące, które daje 75% ufności, że 95% wyników badań będzie większe od tej wartości.

Po 24-godzinnym sezonowaniu w temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$  oraz po wzrokowej kontroli uszczelnienia, próbkę poddano badaniu na rozciąganie.



Legenda

- $t_1$  – czas trwania piku obciążenia  $\geq 2$  s
- $t_2$  – czas odpoczynku  $\geq 2$  s
- $t_3$  – czas okresu cyklu  $\leq 8$  s

Ryc. 2. Cykl naprężeń w badaniu zmęczeniowym [1]

Wymagania, jakie powinny zostać spełnione są następujące:

- w przypadku szczeliwa do celów konstrukcyjnych:
  - moduł sztywności: średni nie powinien odbiegać więcej niż 25% od modułu sztywności zmierzonego podczas badania rozciągania w  $23^\circ\text{C}$ ,
  - wytrzymałość:  $R_{u,5}$  nie powinna być niższa niż 75% średniej wartości badania na rozciąganie w  $23^\circ\text{C}$ ,
  - zerwanie powinno być przynajmniej w 90% kohezyjne;

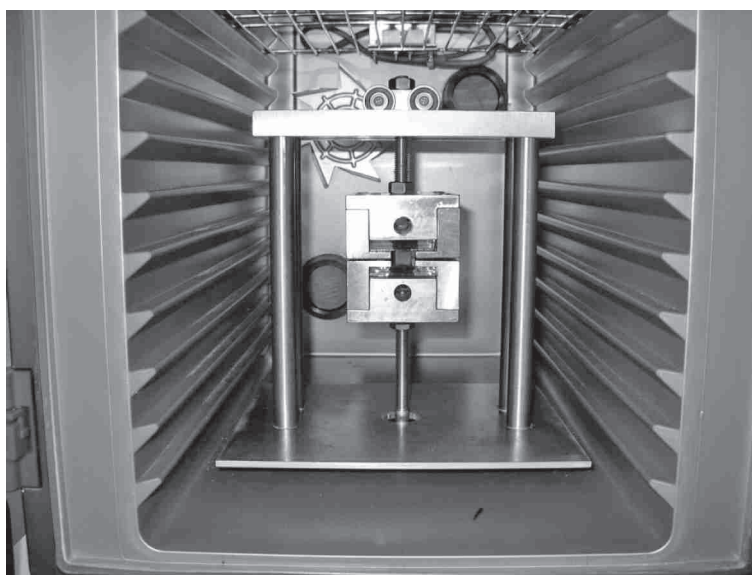
- w przypadku zewnętrznego uszczelnienia szyby zespolonej bez funkcji konstrukcyjnej:
  - wytrzymałość i kryteria wydłużenia powinny być zgodne z PN-EN 1279-4:2004 [4].

### 3. Przeprowadzenie próbnych testów oraz analiza otrzymanych wyników

Próbné testy przeprowadzono w Zakładzie Technologii Szkła na próbkach wykonanych zgodnie z normą [1]. Próbki przygotowano z zastosowaniem dwóch rodzajów mas uszczelniających – oznaczonych jako szczeliwo A i szczeliwo B. Po zakończeniu sezonowania próbki poddano próbie powrotu elastycznego, wytrzymałości na rozdarcie i mechanicznego obciążenia cyklicznego.

#### 3.1. Powrót elastyczny

Badanie próbek zrealizowano w komorze badawczej na próbkach zamocowanych w specjalnych uchwytach (ryc. 3).



Ź r ó d l o: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Standardowa próbka do badań powrotu elastycznego umieszczona w specjalnych uchwytach urządzenia przed wykonaniem próby

Badanie wykonano zgodnie z zaleceniami normy [1] w temperaturze  $+23^{\circ}\text{C}$ .

Po dokonaniu w dwóch miejscach pomiaru początkowego wydłużenia obciążano próbkę przez 16 godzin w ten sposób, że uzyskano 125% pierwotnego wydłużenia. Po odciążeniu próbkę położono na płycie szklanej pokrytej talkiem. Po jednej godzinie dokonano pomiaru wydłużenia na obu końcach próbek.

Otrzymane wyniki badań szczeliwa A i szczeliwa B podano w tabelach 1 i 2.

Tabela 1

Wyniki badania elastycznego dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A

Miejsce	Wydłużenie początkowe [mm]	Wydłużenie końcowe [mm]	Średnia relaksacji [%]
1	12,26	12,57	102,52
2	12,48	12,83	102,80

Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku szczeliwa A przy wydłużeniu 125% końcowe naprężenie wynosiło 0,57 MPa. Średnia sprężystej relaksacji wynosiła odpowiednio dla miejsca 1 – 102,52%, a dla miejsca 2 – 102,80%.

Tabela 2

Wyniki badania elastycznego dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa B

Miejsce	Wydłużenie początkowe [mm]	Wydłużenie końcowe [mm]	Średnia relaksacji [%]
1	12,47	12,71	101,92
2	13,28	13,58	101,19

Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku szczeliwa B przy wydłużeniu 125% końcowe naprężenie wynosiło 0,70 MPa. Średnia sprężystej relaksacji wynosiła odpowiednio dla miejsca 1 – 101,92%, a dla miejsca 2 – 101,19%.

Na podstawie wykonanych badań powrotu elastycznego stwierdzono, że:

- średnia sprężystej relaksacji dla próbek wykonanych z zastosowaniem szczeliwa A i B kształtowała się na niemal tym samym poziomie i wynosiła odpowiednio dla szczeliwa A: miejsce 1 – 102,52%, miejsce 2 – 102,80%, natomiast dla szczeliwa B: miejsce 1 – 101,92%, miejsce 2 – 101,19%;
- średnie sprężystej relaksacji zarówno dla szczeliwa A, jak i dla szczeliwa B osiągnęły wartość powyżej 95%, czyli zostały spełnione wymagania zawarte w normie PN-EN 15434 + A1: 2010 [1].

### 3.2. Wytrzymałość na rozdarcie

Badanie rozdarcia wykonano zgodnie z wymaganiami normy [1] w temperaturze +23°C.

Po utwardzeniu próbki nacięto na końcach szczeliwa na głębokość 5 mm, a następnie poddano je rozciąganiu aż do zniszczenia.

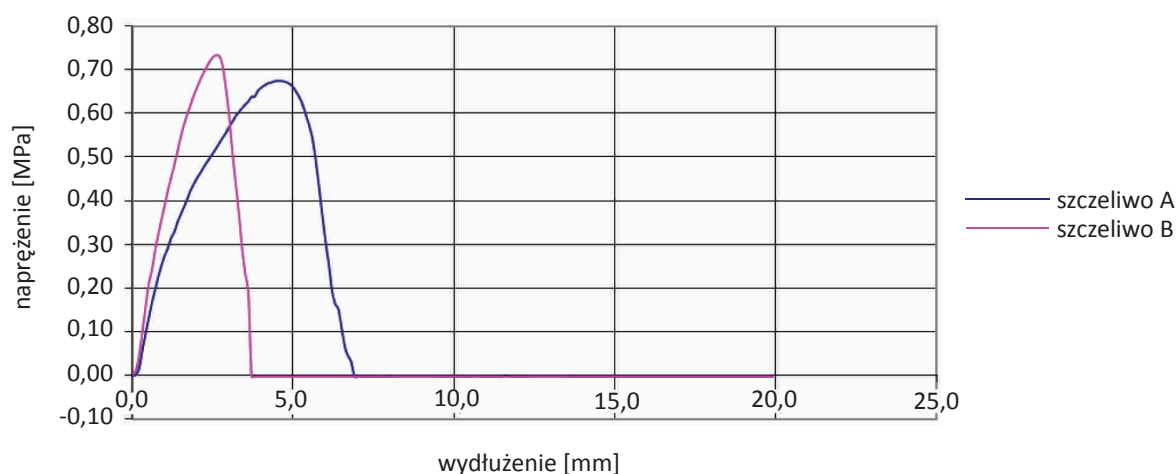
Analizę wyników badań zaprezentowano w tabeli 3 i na rycinie 4.

Tabela 3

Wyniki badania wytrzymałości na rozdarcie w temperaturze +23°C dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A i B

Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Naprężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Naprężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo A	5	0,18	42,50	0,67	kohezyjny
	10	0,32			
	15	0,42			
	20	0,50			
	25	0,57			
Szczeliwo B	5	0,24	21,67	0,73	kohezyjny
	10	0,45			
	15	0,61			
	20	0,72			
	25	0,60			

Źródło: Opracowanie własne.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Porównanie wyników badań rozdarcia w temperaturze +23°C dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A i B

Na podstawie wykonanych badań rozdarcia w temperaturze +23°C stwierdzono, że:

- wszystkie próbki wykonane zarówno ze szczeliwa A, jak i ze szczeliwa B podczas badania uległy rozerwaniu w sposób kohezyjny;
- wyższą wartość naprężenia przy zerwaniu uzyskała próbka wykonana ze szczeliwa B (ryc. 4);
- wyższą wartość wydłużenia przy zerwaniu uzyskała próbka wykonana ze szczeliwa A (ryc. 4) [5].



### 3.3. Mechaniczne obciążenie cykliczne

Podczas badania próbki poddawano powtarzalnemu obciążeniu rozciągającemu o czasie cyklu 8 s odpowiednio 100, 250 i 5000 razy zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie [1].

Następnie próbki były sezonowane przez 24 godziny w standardowych warunkach oraz poddane wzrokowej ocenie uszczelnienia, po czym próbki rozciągano w temperaturze +23°C.

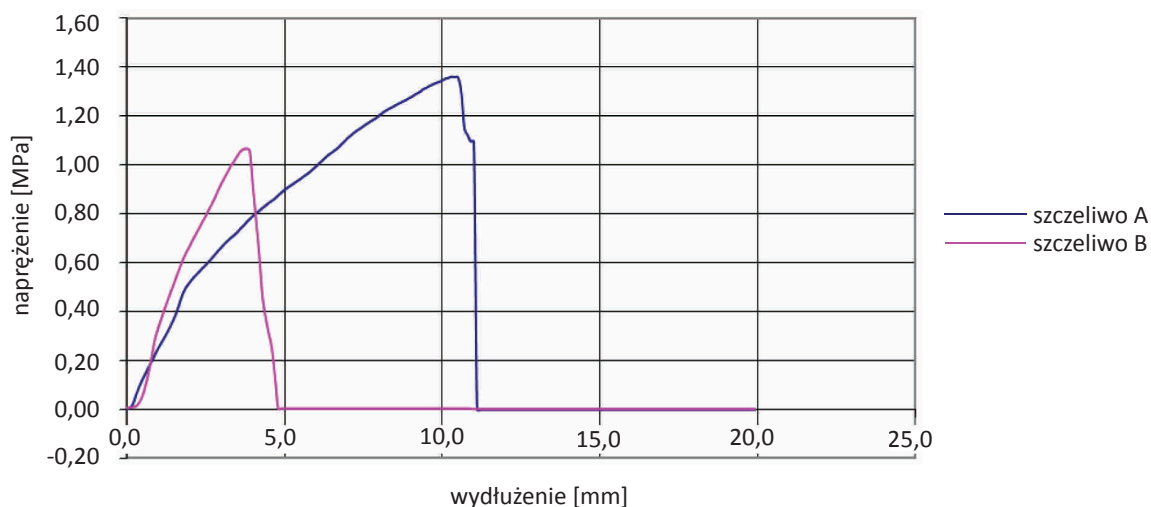
Porównanie wyników badań obciążenia cyklicznego w temperaturze +23°C dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A i B przedstawiono w tabeli 4 i na rycinie 5.

Tabela 4

Wyniki badania obciążenia cyklicznego w temperaturze +23°C dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A i B

Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Napężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Napężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo A	5	0,15	86,67	1,36	kohezyjny
	10	0,29			
	15	0,48			
	20	0,58			
	25	0,66			
Szczeliwo B	5	0,09	31,67	1,06	kohezyjny
	10	0,41			
	15	0,61			
	20	0,76			
	25	0,92			

Źródło: Opracowanie własne.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 5. Porównanie wyników badań obciążenia cyklicznego w temperaturze +23°C dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A i B

Na podstawie wykonanych badań obciążenia cyklicznego w temperaturze +23°C stwierdzono, że:

- wszystkie próbki wykonane zarówno ze szczeliwa A, jak i ze szczeliwa B podczas badania uległy rozerwaniu w sposób kohezyjny;
- wyższą wartość naprężenia i wydłużenia przy zerwaniu uzyskała próbka wykonana ze szczeliwa A [5].

## 4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania dostarczyły cennych informacji o kolejnych właściwościach mechanicznych mas uszczelniających.

Systematyczna kontrola szczeliw konstrukcyjnych pozwoli ocenić ich niezawodność. Jest to konieczne, biorąc pod uwagę specyfikę konstrukcji elewacji szklanych, których jakość wykonania stanowi istotę bezpieczeństwa (wadliwe wykonanie może być zagrożeniem dla zdrowia i życia ludzi).

Wykonywanie badań zasadniczych właściwości mas uszczelniających stosowanych w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddziale Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie będzie przydatne producentom tych szczeliw oraz wykonawcom oszkleń strukturalnych do prowadzenia nadzoru nad jakością mas uszczelniających.

## Literatura

- [1] PN-EN 15434 + A1: 2010 – Szkło w budownictwie. Norma wyrobu dla szczeliw konstrukcyjnych i/lub szczeliw odpornych na ultrafiolet (do stosowania w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym i/lub izolacyjnych szybach zespolonych z odsłoniętym uszczelnieniem).
- [2] PN-EN ISO 7389: 2004 – Konstrukcje budowlane. Wyroby do uszczelniania. Określenie powrotu elastycznego.
- [3] B a l o n - W r ó b e l A., M a r c z e w s k a A. *Wpływ temperatur na właściwości mechaniczne mas uszczelniających stosowanych w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym*. Część 1 – *Badanie rozciągania i ścinania*, „Prace ICiMB” 2013, nr 13, s. 7–21.
- [4] PN-EN 1279-4: 2004 – Szkło w budownictwie. Szyby zespolone izolacyjne. Część 4: Metody badania fizycznych właściwości uszczelnień obrzeży.
- [5] B a l o n - W r ó b e l A., M a r c z e w s k a A., *Zasadnicze właściwości mas uszczelniających wykorzystywanych w konstrukcjach elewacji szklanych*, [w:] *Konferencja Naukowo-Techniczna – Przemysł szklarski 2012. Materiały, Ustroń 10–12 października 2012 r.*, Śląska Rada Naczelnej Organizacji Technicznej FSNT w Katowicach, Katowice 2012, s. 199–225.

*ANNA BALON-WRÓBEL*  
*AGNIESZKA MARCZEWSKA*

INTRINSIC PROPERTIES OF SEALING COMPOUNDS USED  
IN THE CONSTRUCTION OF A GLASS FACADE

PART 2 – ELASTIC RECOVERY, TEAR STRENGTH  
AND MECHANICAL CYCLIC LOADING TESTS

**Keywords:** sealant, elastic recovery, tear strength and mechanical cyclic load.

The article presents the methodology and results of subsequent studies the intrinsic properties of structural sealant (elastic recovery, tear strength and mechanical cyclic loading) and the requirements they must meet according to requirements the standard PN-EN 15434 + A1: 2010 – Glass in building. Product standard for structural and/or ultra-violet resistant sealant (for use with structural sealant glazing and/or insulating glass units with exposed seals).