
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 13

ISSN 1899-3230

Rok VI

Warszawa–Opole 2013

Teksty publikowane w „Pracach Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” poddawane są procedurze recenzyjnej

Na okładce zdjęcie z artykułu Michała Stachów

„Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” ukazują się w wersji papierowej i elektronicznej (<http://icimb.pl/opole/wydawnictwa>).
Wersją pierwotną jest wersja papierowa

Opracowanie redakcyjne: Maria Szwed, Janina Drozdowska



Wydawnictwo Instytut Śląski Sp. z o.o., Opole, ul. Piastowska 17, tel. 77 4540 123
e-mail: wydawnictwo@is.opole.pl
Nakład: 130 egz. Objętość: 5,50 ark. wyd., 6,75 ark. druk.

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

Wpływ temperatur na właściwości mechaniczne mas uszczelniających stosowanych w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym Część 1 – Badanie rozciągania i ścinania

W artykule przedstawiono metodykę i wyniki badań zasadniczych właściwości szczeliw konstrukcyjnych (rozciągania i ścinania) oraz wymagania, 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). Zawarto w nim również analizę wpływu krytycznych temperatur na wytrzymałość szczeliw konstrukcyjnych.

1. Wstęp

Masy uszczelniające znajdujące zastosowanie w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym oraz w izolacyjnych szybach zespolonych z odsłoniętym uszczelnieniem muszą spełniać bardzo rygorystyczne wymagania. Wynika to ze specyfiki konstrukcji elewacji szklanych, których jakość wykonania stanowi istotę bezpieczeństwa (wadliwe wykonanie może być zagrożeniem dla zdrowia i życia ludzi). Najistotniejszą cechą, jaką muszą spełniać masy uszczelniające jest ich duża wytrzymałość na obciążenia mechaniczne. Metodyka badań oraz wymagania zawarte zostały w normie 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]. W normie tej badania wytrzymałości mas uszczelniających zakwalifikowano do grupy zasadniczych właściwości.

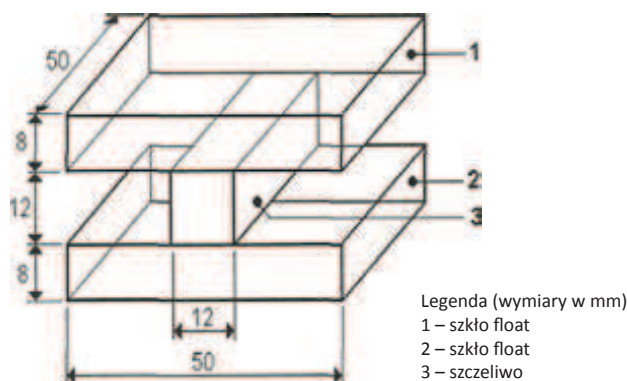
* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie.

** Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie.

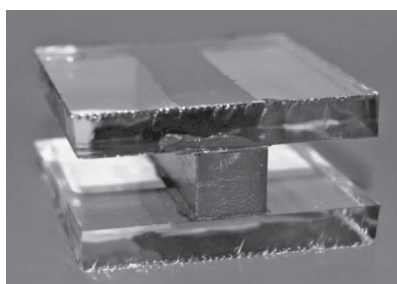
2. Metodyka badania rozciągania i ścinania

Badania rozciągania i ścinania należą, zgodnie z normą PN-EN 15434 + A1: 2010 [1], do grupy badań zasadniczych właściwości szczeliw konstrukcyjnych. Do tej grupy badań zaliczamy również badanie powrotu elastycznego, wytrzymałości na rozdarcie, mechanicznego obciążenia cyklicznego, które są wykonywane w Zakładzie Technologii Szkła, oraz badania przemieszczenia pod trwałym obciążeniem ścinającym (badanie pełzania) i modułu sprężystości szczeliwa.

Badania zasadniczych właściwości wykonane zostały na specjalnie przygotowanych próbkach, podłożem szklanym zgodnie z normą [1] było płaskie szkło float (2 szt.), pomiędzy którym znajdowała się spoina szczeliwa o wymiarach 12 mm x 12 mm x 50 mm (ryc. 1 i 2).



Ryc. 1. Standardowa próbka do badań [1]



Ź r ó d ł o: Ryciny 2–17 opracowanie własne.

Ryc. 2. Standardowa próbka do badań rozciągania

Badania wykonywano na specjalnie przygotowanym wielofunkcyjnym stanowisku (ryc. 3), spełniającym wymagania przedmiotowej normy PN-EN 15434 + A1: 2010 [1].



Ryc. 3. Ogólny widok na wielofunkcyjne stanowisko badawcze

2.1. Badanie rozciągania

Badania rozciągania szczeliw konstrukcyjnych przeprowadzono zgodnie z normą EN ISO 8339: 2005 [2], poddając próbki utwardzaniu przez okres 28 dni w temperaturze $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności $(50 \pm 5)\%$.

Po sezonowaniu badanych próbek dodatkowo przez 24 godziny poddano je rozciąganiu w następujących temperaturach (klasa T1): -20°C , $+23^{\circ}\text{C}$, $+80^{\circ}\text{C}$.

Badanie przeprowadzono na 10 próbkach (dla każdej temperatury), a po jego zakończeniu dokonano wzrokowej kontroli sposobu zerwania szczeliwa oraz oceny zgodnie z kryteriami ujętymi w normie PN-EN 15434 + A1: 2010, które dla klasy T1 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Kryteria dla szczeliw do celów konstrukcyjnych [1]

	Kryteria
Klasa T1	
80°C	$\Delta X_{\text{mean}} \geq 75\%$
23°C	$R_{u,5} \geq 0,5 \text{ MPa}$
-20°C	$\Delta X_{\text{mean}} \geq 75\%$

Gdzie:

$$\Delta X_{\text{mean}} = X_{\text{mean,c}} / X_{\text{mean,n}},$$

$$R_{u,5} = X_{\text{mean}} - \tau_{\alpha\beta} \cdot S,$$

$X_{\text{mean,n}}$ – średnie naprężenie niszczące pod wpływem rozciągania lub ścinania w stadium początkowym,

$X_{\text{mean,c}}$ – średnie naprężenie niszczące pod wpływem rozciągania lub ścinania po sezonowaniu i starzeniu,

$R_{u,5}$ – charakterystyczne naprężenie niszczące o poziomie ufności 75% zapewniające, że 95% wyników badań będzie większe od tej wartości,

$\tau_{\alpha\beta}$ – rozrzut 5% dla 75% przedziału ufności,

S – standardowe odchylenie rozważanej serii.

Przebieg badania rejestrowany był na komputerze, co zapewniało monitorowanie badania i zapisywanie na bieżąco uzyskanych wyników, takich jak:

- typ zerwania (kohezyjny lub adhezyjny),
- naprężenia przy wydłużeniach o 5%, 10%, 15%, 20% i 25%,
- naprężenie i wydłużenie przy zerwaniu, tylko dla próbek do badań sezonowanych w +23°C.

Próby przeprowadzano do chwili zerwania.

2.2. Badanie ścinania

Badania ścinania przeprowadzono zgodnie z normatywnym Załącznikiem B normy [1]. Badane próbki umieszczano w systemie rozciągającym wykonanym z części nieruchomej i ruchomej, które są połączone z elementem utrzymującym próbkę. System ten pozwolił na:

- centralizację próbki w urządzeniu badawczym oraz stabilne jej utrzymanie przez cały czas trwania badania,
- przemieszczenie przy stałej szybkości 5,5 mm/min części ruchomej względem części nieruchomej,
- dokładny pomiar siły,
- dokładny pomiar względnego przemieszczenia dwóch części urządzenia badawczego,
- zapis krzywej naprężenie–odkształcenie.

Badaniu poddano po 10 próbek dla temperatur: -20°C, +23°C, +80°C. Podczas badania oceniono:

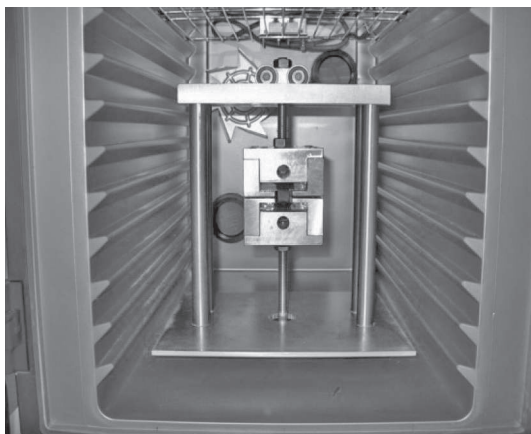
- przemieszczenie przy ścinaniu (kryteria są identyczne jak w przypadku badania rozciągania),
- typ zerwanie (kohezyjny lub adhezyjny).

3. Przeprowadzenie próbnych testów szczelin oraz analiza otrzymanych wyników

Próbne testy przeprowadzono w Zakładzie Technologii Szklanej na próbkach wykonanych zgodnie z normą PN-EN 15434 + A1: 2010 [1]. Próbki przygotowano z zastosowaniem dwóch rodzajów mas uszczelniających – oznaczonych jako szczeliwo A i szczeliwo B. Po zakończeniu sezonowania próbki poddano próbie rozciągania i ścinania.

3.1. Rozciąganie

Badania próbek przeprowadzono w komorze badawczej na próbkach zamocowanych w specjalnych uchwytach (ryc. 4).

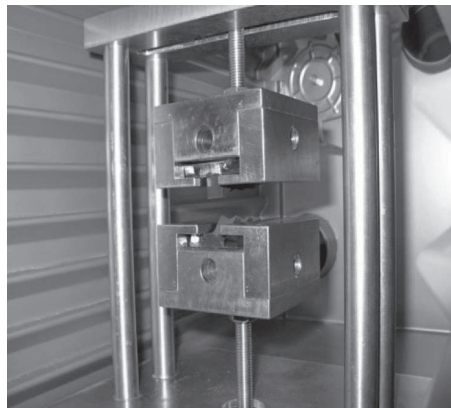


Ryc. 4. Standardowa próbka do badań rozciągania umieszczona w specjalnych uchwytach urządzenia przed wykonaniem próby rozciągania

Próby rozciągania wykonano zgodnie z zaleceniami normy [1] dla temperatur obowiązujących w klasie T1, tj. w -20°C , $+23^{\circ}\text{C}$ oraz $+80^{\circ}\text{C}$.

Zarejestrowano wartości naprężeń przy wydłużeniach o: 5%, 10%, 15%, 20% i 25% oraz wartości naprężenia i wydłużenia przy zerwaniu.

Próbki po badaniach poddano ocenie pod kątem typu zerwania: adhezyjnego lub kohezyjnego. Wszystkie badane próbki uległy zerwaniu w sposób całkowicie kohezyjny (ryc. 5), czyli spełniły wymagania normy [1], która zakłada, że zerwanie powinno być przynajmniej w 90% kohezyjne.



Ryc. 5. Próbkę po badaniu rozciągania umieszczoną w specjalnych uchwytach urządzenia

W tabelach 2–4 oraz na rycinach 6–8 przedstawiono wyniki badań rozciągania próbek wykonanych na bazie szczeliwa A i B w temperaturach klasy T1.

Tabela 2

Wyniki badań rozciągania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze +23°C

Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Naprężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Naprężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo A	5	0,14	62,50	1,10	kohezyjny
	10	0,26			
	15	0,37			
	20	0,48			
	25	0,55			
Szczeliwo B	5	0,09	36,67	1,06	kohezyjny
	10	0,38			
	15	0,57			
	20	0,73			
	25	0,87			

Źródło: Tabele 2–7 opracowanie własne.

Tabela 3

Wyniki badań rozciągania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze -20°C

Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Naprężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Naprężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo A	5	0,01	77,50	1,21	kohezyjny
	10	0,19			
	15	0,36			
	20	0,47			
	25	0,57			

cd. tab. 3

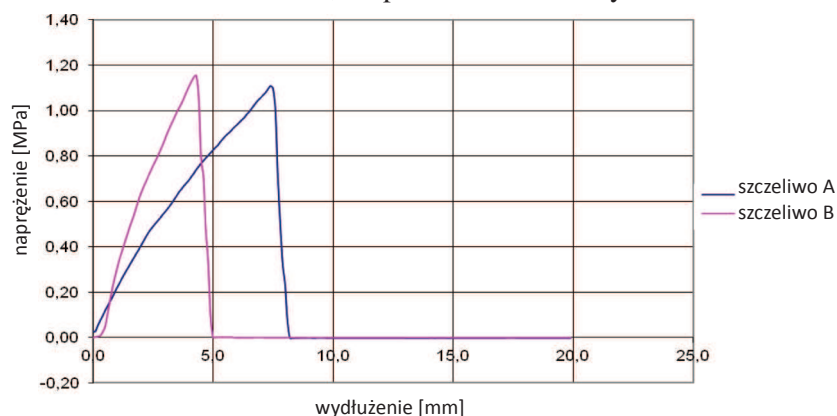
Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Napężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Napężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo B	5	0,11	56,67	1,29	kohezyjny
	10	0,34			
	15	0,49			
	20	0,64			
	25	0,79			

T a b e l a 4

Wyniki badań rozciągania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze +80°C

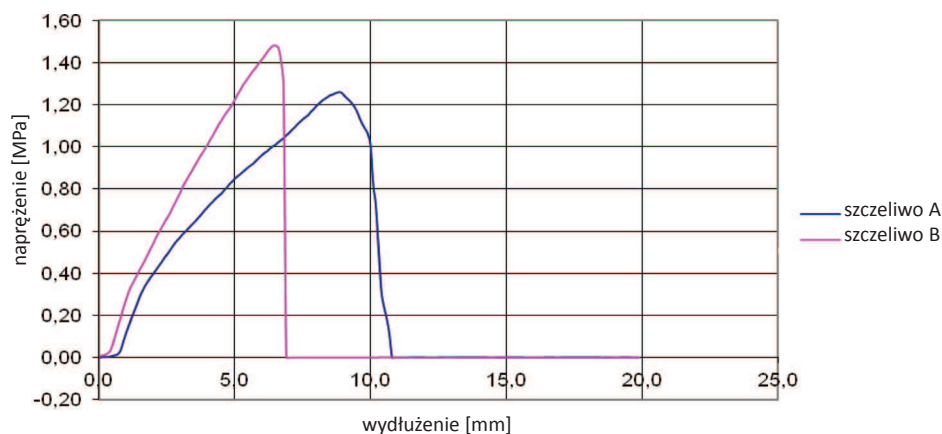
Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Napężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Napężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo A	5	0,59	47,50	0,89	kohezyjny
	10	0,23			
	15	0,36			
	20	0,48			
	25	0,57			
Szczeliwo B	5	0,00	37,50	0,93	kohezyjny
	10	0,00			
	15	0,14			
	20	0,39			
	25	0,59			

Analiza wyników zawartych w tabelach 2–4 pozwala stwierdzić, że wszystkie badane próbki wykonane na bazie szczeliwa A i B uległy zerwaniu w sposób całkowicie kohezyjny. Wartości naprężeń przy zerwaniu w temperaturze +23°C są porównywalne dla szczeliwa A i B. Należy jednak zaznaczyć, że masa uszczelniająca A podczas rozciągania uległa prawie dwukrotnie większemu wydłużeniu w porównaniu ze szczeliwem B, co przedstawiono na rycinie 6.

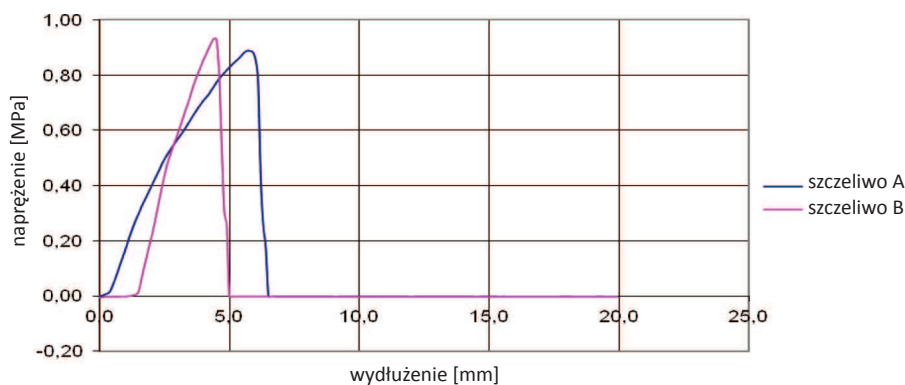


Ryc. 6. Porównanie wyników rozciągania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze +23°C

Najwyższe wartości naprężeń i wydłużeń przy zerwaniu zarejestrowano dla próbek wykonanych ze szczeliwa A i B w temperaturze -20°C (ryc. 7), a najniższe w temperaturze $+80^{\circ}\text{C}$ (ryc. 8).



Ryc. 7. Porównanie wyników rozciągania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze -20°C

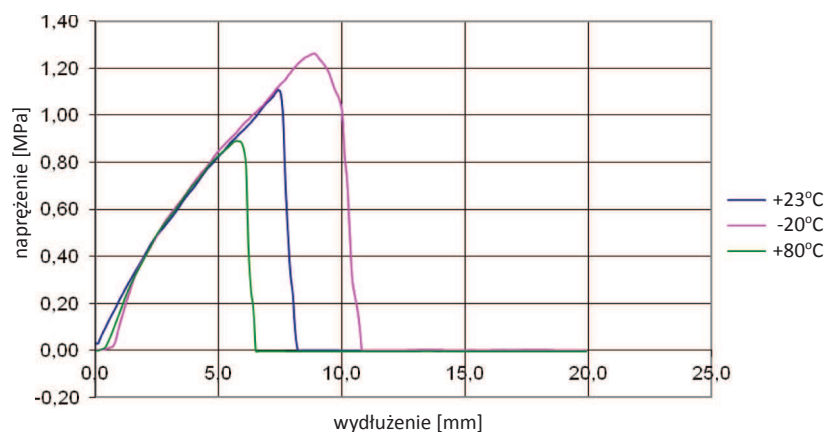


Ryc. 8. Porównanie wyników rozciągania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze $+80^{\circ}\text{C}$

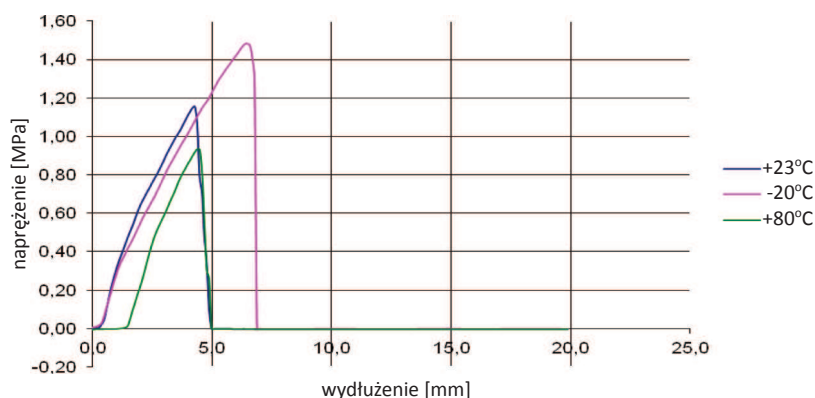
Analiza wykresów (ryc. 9 i 10) obrazujących wyniki badań rozciągania w temperaturze $+23^{\circ}\text{C}$, -20°C i $+80^{\circ}\text{C}$ dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A i B pozwala stwierdzić, że:

- szczeliwa A i B w badaniach rozciągania osiągnęły najwyższe wartości naprężenia w temperaturze -20°C , a najniższe w temperaturze $+80^{\circ}\text{C}$;
- próbki wykonane ze szczeliwa B podczas rozciągania w temperaturach -20°C i $+80^{\circ}\text{C}$ wykazały wyższe wartości naprężenia przy zerwaniu w porównaniu ze szczeliwem A;

– próbki wykonane ze szczeliwa A w czasie rozciągania, we wszystkich wymaganych przez normę temperaturach, wykazały wyższe wartości wydłużenia przy zerwaniu w porównaniu z próbkami ze szczeliwem B.



Ryc. 9. Zestawienie wyników rozciągania próbek ze szczeliwem A w temperaturze +23°C, -20°C i +80°C



Ryc. 10. Zestawienie wyników rozciągania próbek ze szczeliwem B w temperaturze +23°C, -20°C i +80°C

3.2. Ścinanie

Próby ścinania wykonano zgodnie z zaleceniami normy [1] dla temperatur obowiązujących w klasie T1, tj. w -20°C, +23°C oraz +80°C.

Badania próbek przeprowadzono w komorze badawczej na próbkach zamocowanych w specjalnych uchwytach (ryc. 11).



Ryc. 11. Próbkę przed badaniem ścinania umieszczoną w specjalnych uchwytach urządzenia

Próbkę ścinania przeprowadzono do momentu zerwania (ryc. 12). Następnie z zarejestrowanych danych odczytano wartości naprężenia przy wydłużeniach o: 5%, 10%, 15%, 20% i 25% oraz wartości naprężenia i wydłużenia przy zerwaniu.

Po zakończeniu badania dokonano wizualnej oceny próbek pod kątem typu zerwania. Wszystkie przebadane próbki uległy zerwaniu w sposób całkowicie kohezyjny, czyli spełniły wymagania normy [1], która zakłada, że zerwanie powinno być przynajmniej w 90% kohezyjne.



Ryc. 12. Próbkę po badaniu ścinania umieszczoną w specjalnych uchwytach urządzenia

Dokonano oceny wyników badania ścinania według kryteriów analogicznych jak dla przeprowadzonych prób rozciągania.

W tabelach 5–7 oraz na rycinach 13–15 przedstawiono wyniki badań na ścinanie w temperaturach klasy T1 próbek wykonanych na bazie szczeliwa A i B.

T a b e l a 5

Wyniki badań ścinania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze +23°C

Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Napężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Napężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo A	5	0,13	127,50	0,81	kohezyjny
	10	0,16			
	15	0,19			
	20	0,22			
	25	0,24			
Szczeliwo B	5	0,01	85,83	0,73	kohezyjny
	10	0,09			
	15	0,15			
	20	0,20			
	25	0,25			

T a b e l a 6

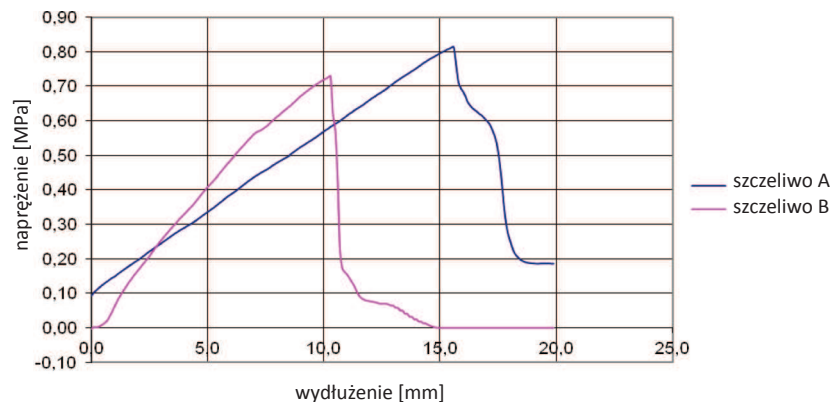
Wyniki badań ścinania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze -20°C

Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Napężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Napężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo A	5	0,08	145,00	0,94	kohezyjny
	10	0,13			
	15	0,17			
	20	0,20			
	25	0,23			
Szczeliwo B	5	0,00	124,17	1,02	kohezyjny
	10	0,01			
	15	0,05			
	20	0,10			
	25	0,14			

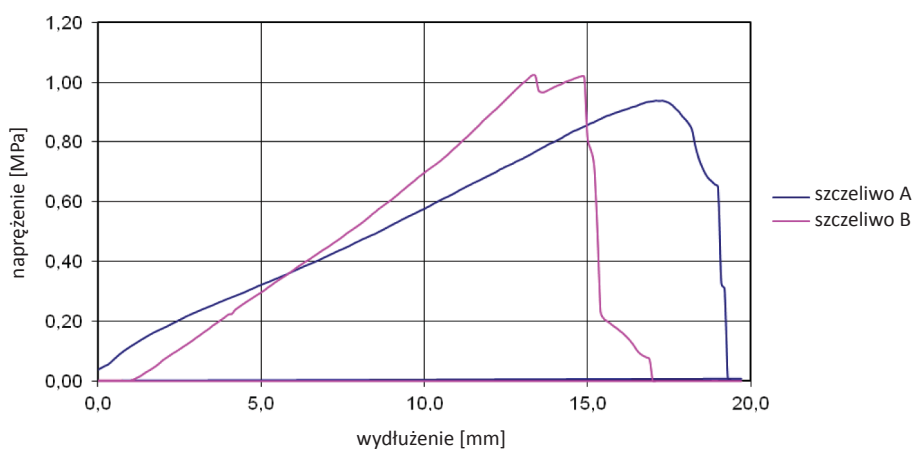
T a b e l a 7

Wyniki badań ścinania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze +80°C

Rodzaj szczeliwa	Wydłużenie [%]	Napężenie [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu [%]	Napężenie przy zerwaniu [MPa]	Typ zerwania
Szczeliwo A	5	0,11	101,67	0,51	kohezyjny
	10	0,15			
	15	0,18			
	20	0,22			
	25	0,25			
Szczeliwo B	5	0,07	61,67	0,58	kohezyjny
	10	0,13			
	15	0,18			
	20	0,24			
	25	0,28			



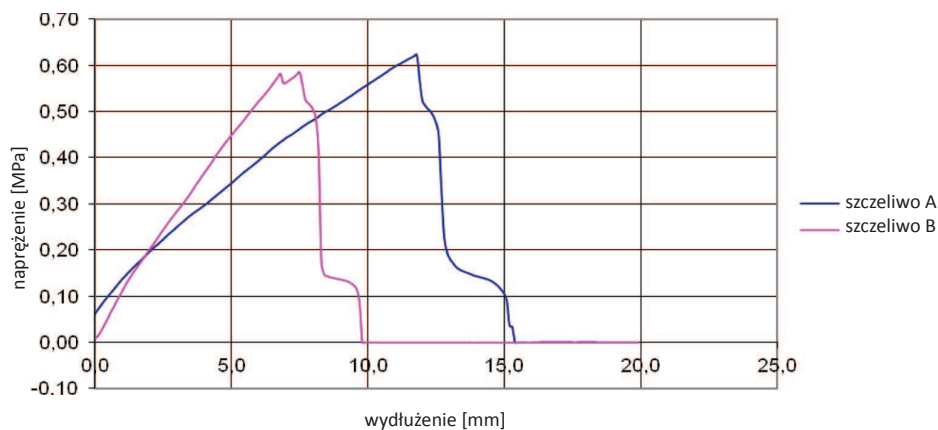
Ryc. 13. Porównanie wyników ścinania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze +23°C



Ryc. 14. Porównanie wyników ścinania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze -20°C

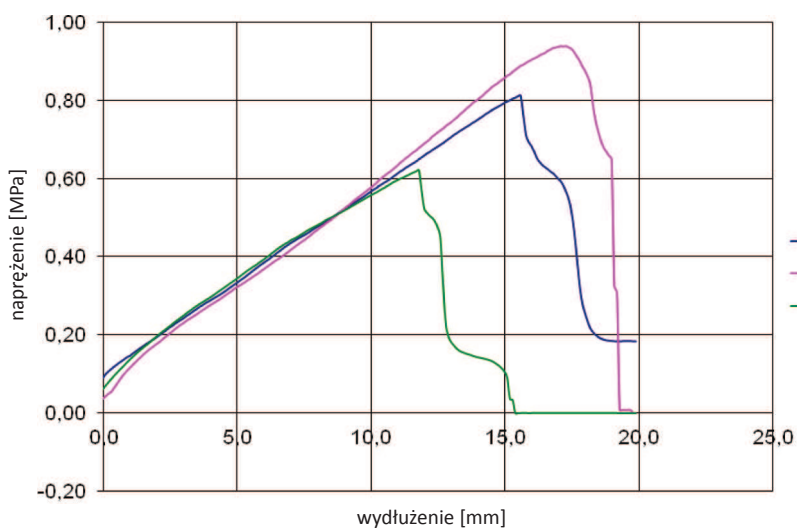
Analiza otrzymanych wyników pozwala stwierdzić, że:

- próbki wykonane ze szczeliwa A podczas ścinania w temperaturze +23°C wykazały wyższe wartości nareżenia i wydłużenia przy zerwaniu w porównaniu z próbkami ze szczeliwem B (ryc. 13);
- próbki wykonane ze szczeliwa B podczas próby ścinania w temperaturze -20°C wykazały wyższe wartości naprężenia i jednocześnie niższe wartości wydłużenia przy zerwaniu w porównaniu ze szczeliwem A (ryc. 14);
- próbki wykonane ze szczeliwa A podczas ścinania w temperaturze +80°C wykazały wyższe wartości naprężenia i wydłużenia przy zerwaniu w porównaniu ze szczeliwem B (ryc. 15).

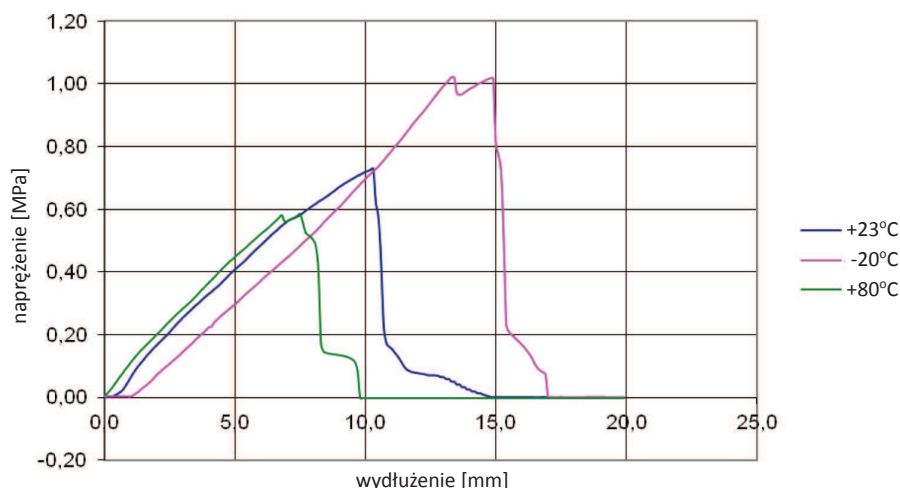


Ryc. 15. Porównanie wyników ścinania próbek ze szczeliwem A i B w temperaturze +80°C

Na rycinach 16 i 17 przedstawiono podsumowanie wyników badań ścinania w temperaturze +23°C, -20°C i +80°C dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A i B.



Ryc. 16. Podsumowanie wyników ścinania próbek ze szczeliwem A w temperaturze +23°C, -20°C i +80°C



Ryc. 17. Podsumowanie wyników ścinania próbek ze szczeliwem B w temperaturze +23°C, -20°C i +80°C

Analiza uzyskanych wyników badań ścinania w temperaturze +23°C, -20°C i +80°C dla próbek przygotowanych z zastosowaniem szczeliwa A i B (ryc. 16 i 17) pozwala stwierdzić, że najwyższą wartość naprężenia i wydłużenia przy zerwaniu uzyskały próbki wykonane ze szczeliwa A i B podczas próby ścinania w temperaturze -20°C, a najniższą podczas próby ścinania w temperaturze +80°C.

4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki badań dotyczących rozciągania i ścinania mas uszczelniających stosowanych w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym i w izolacyjnych szybach zespolonych z odsłoniętym uszczelnieniem potwierdziły ich przydatność do tego typu zastosowań. Szklenie strukturalne staje się coraz powszechniejsze w naszym kraju i dlatego też konieczne jest systematyczne kontrolowanie ich jakości.

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] EN ISO 8339: 2005 – Konstrukcje budowlane. Wyroby do uszczelniania. Kity. Określenie właściwości mechanicznych przy rozciąganiu.
- [3] Marczevska A., Balon-Wróbel A., *Właściwości szczeliw konstrukcyjnych i/lub odpornych na ultrafiolet*. Część 1: *Badanie rozciągania*, „Świat Szkła” 2012, nr 7/8, s. 18–20.

ANNA BALON-WRÓBEL
AGNIESZKA MARCZEWSKA

INTRINSIC PROPERTIES OF SEALING COMPOUNDS USED
IN THE CONSTRUCTION OF A GLASS FACADE.
PART 1 – TENSILE AND SHEAR TEST

The article presents the test methodology, the results of the intrinsic properties of structural (tensile and shear at 23°C) 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). It also contains analysis of the effect of critical temperature on the strength of structural sealants.