

# Wpływ czynników środowiskowych na właściwości mechaniczne szczeliw konstrukcyjnych

MGR INŻ. ANNA BALON-WRÓBEL, MGR INŻ. AGNIESZKA MARCZEWSKA,  
MGR INŻ. SEBASTIAN SACHA  
INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH, ODDZIAŁ SZKŁA I MATERIAŁÓW  
BUDOWLANYCH W KRAKOWIE

Szczeliwa konstrukcyjne znajdują szerokie zastosowanie w szkleniu strukturalnym, którego istotą jest mocowanie zestawu szklanego do konstrukcji budynku. Stanowią jedyne spoiwo wiążące szkło lub szyby zespolone z konstrukcją nośną budynku. Masy uszczelniające stosowane w oszkleniach strukturalnych spełniają niezwykle odpowiedzialną funkcję w całej fasadzie i dlatego stawiane są im bardzo wysokie wymagania pod względem wytrzymałości na obciążenia mechaniczne i trwałości. Powinny wykazywać odporność na promieniowanie UV i nie mogą ulegać procesowi degradacji pod wpływem czynników klimatycznych.

Szczeliwo konstrukcyjne to materiał charakteryzujący się przede wszystkim wystarczającą adhezją do szkła i innych materiałów stosowanych w konstrukcji, odpornością chemiczną na działanie czynników środowiskowych oraz odpornością na różnice temperatur.

W Zakładzie Technologii Szkła Oddziału Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie ICiMB przeprowadzono cykl badań laboratoryjnych mających na celu sprawdzenia wpływu czynników środowiskowych na właściwości mechaniczne szczeliw konstrukcyjnych. Badania zostały wykonane zgodnie z obowiązującymi normami.

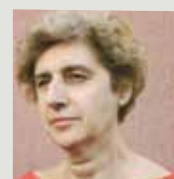
## METODYKA BADAŃ

Wytrzymałość na obciążenie mechaniczne zaliczana jest zgodnie z normą PN-EN 15434 + A1:2010 [1] do grupy zasadniczych właściwości szczeliw konstrukcyjnych. W ramach określenia zasadniczych właściwości, szczeliwa konstrukcyjne poddawane są badaniom mającym na celu określenie wytrzymałości na rozciąganie, ścinanie przy 23°C, rozdarcie, jak również określenie powrotu elastycznego, mechanicznego obciążenia cyklicznego, przemieszczenia pod trwałym obciążeniem ścinającym (pełzanie) oraz modułu sprężystości szczeliwa.

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono zgodnie z normą [1], z wykorzystaniem próbek wykonanych przez jednego z czołowych producentów szklenia strukturalnego. Próbkę wykonano z dwóch różnych mas uszczelniających (silikonu – S oraz tiokolu – T) w celu wykazania ewentualnych różnic we właściwościach zasadniczych, jakie cechują zastosowane szczeliwa. Silikon – będący syntetycznym polimerem krzemorganicznym – jest szczeliwem charakteryzującym się trwałością, elastycznością, odpornością na promieniowanie UV i zmiany temperatury oraz dużą przyczepnością do szkła. Tiokol czyli polisilarszczek alifatyczny, podobnie jak silikon jest trwały i elastyczny. Wykazuje również dobrą przyczepność do szkła.

Z uwagi na specyfikę badań wykonano dwa rodzaje próbek. Próbkę reprezentatywną dla obu rodzajów szczeliw przedstawiono

## Anna Balon-Wróbel



Asystent w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Oddziale Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, zastępca kierownika Zakładu Technologii Szkła. Zajmuje się badaniami szczeliw konstrukcyjnych

oraz wyrobów ze szkła, głównie szyb zespolonych.  
a.wrobel@icimb.pl

## STRESZCZENIE

W artykule omówiono metodykę badań szczeliw konstrukcyjnych w celu określenia ich właściwości wytrzymałościowych. Przedstawiono wymagania stawiane masom uszczelniającym, jakie muszą spełnić, aby mogły być zastosowane do szklenia strukturalnego. Zamieszczono również wyniki badań dwóch typów szczeliwa oraz dokonano oceny wpływu zastosowanych czynników starzeniowych na zasadnicze właściwości mas uszczelniających.

## SUMMARY

### The impact of environmental factors on the mechanical properties of structural sealant

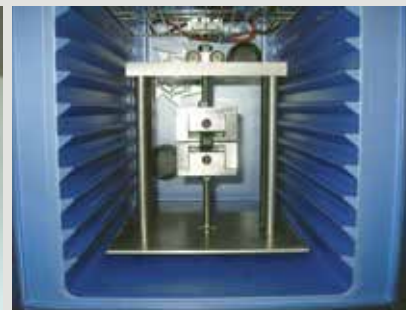
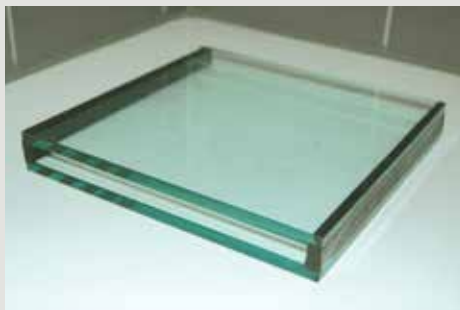
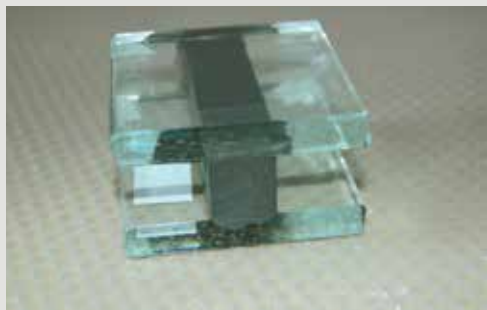
This article discusses the methodology of research the structural sealants to determine their strength properties. Presented the requirements which the masses sealing have to meet to be used in structural glazing. Also contains the results of two types of sealant and assesses the effect of the aging factor of the fundamental properties of sealants.

## SŁOWA KLUCZOWE

szkło, badania, szklenie strukturalne, szczeliwa konstrukcyjne, zasadnicze właściwości

## KEYWORDS

glass, research, structural glazing, structural sealant, intrinsic properties



Fot. 1. Reprezentatywna próbka do badania rozciągania, ścinania, powrotu elastycznego, wytrzymałości na rozdarcie oraz mechanicznego obciążenia cyklicznego. Szkło float o wymiarach 50 mm × 50 mm × 8 mm. Szczeliwo o wymiarach 12 mm × 12 mm × 50 mm.

Fot. 2. Reprezentatywna próbka do badania pełzania. Szkło float o wymiarach 200 mm × 200 mm × 8 mm. Szczeliwo o wymiarach 200 mm × 12 mm × 6 mm.

Fot. 3. Próbkę do badań m.in. rozciągania umieszczoną w specjalnych uchwytach urządzenia

na fot. 1 i fot. 2. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 8339:2005 [2], przed przystąpieniem do badań próbki kondycjonowano przez minimum 28 dni w temperaturze  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej  $(50 \pm 5)\%$  (tzn. przeprowadzono sezonowanie metodą A).

Po wstępnym sezonowaniu, próbki – po 3 sztuki dla każdego rodzaju masy uszczelniającej – poddano działaniu promieniowania ultrafioletowego, mgły solnej (5% roztwór NaCl), wilgoci (95% przy temperaturze  $52^\circ\text{C}$ ), wysokiej temperatury ( $100^\circ\text{C}$ ) oraz niskiej temperatury ( $-20^\circ\text{C}$ ). Okres oddziaływania poszczególnych czynników był różny i wynosił od 7 do 42 dni, co przedstawiono w tabeli 1.

W sumie badaniom poddano po 81 sztuk próbek wykonanych z każdego typu masy uszczelniającej. W przypadku badania powrotu elastycznego i pełzania badano próbki, które poddano działaniu jedynie wybranych czynników środowiskowych. Z uzyskanych wyników dla 3 próbek obliczono wartość średnią, co zostało przedstawione w tabelach 2–10.

Zgodnie z wymaganiem normy badanie rozciągania, ścinania, powrotu elastycznego, rozdarcia oraz mechanicznego obciążenia cyklicznego prowadzi się do momentu zerwania, które powinno być przynajmniej w 90% kohezyjne, a więc próbka powinna ulec rozrywaniu w masie, a nie oderwać się od szkła.

W przypadku zerwania adhezyjnego, masa uszczelniająca zostaje oderwana od szkła, co jest zjawiskiem niepożądanym i świadczącym o nieprawidłowym przyleganiu szczeliwa do szkła. Takie zerwanie dyskwalifikuje szczeliwo do zastosowań w szkleniu strukturalnym.

Badania mas uszczelniających wykonano na wielofunkcyjnym stanowisku, umożliwiającym wykonanie testów rozciągania, ścinania, powrotu elastycznego, rozdarcia i mechanicznego obciążenia cyklicznego oraz z zastosowaniem urządzenia do badania przemieszczenia pod obciążeniem ścinającym (pełzania). Badania zrywania przeprowadzono w temperaturze  $23^\circ\text{C}$ .

W badaniach wykonywanych na wielofunkcyjnym stanowisku (fot. 3), przebieg procesów rozciągania, ścinania, rozdarcia oraz mechanicznego obciążenia cyklicznego obserwowano na monitorze komputera w postaci wykresu zależności naprężenia [MPa] i wydłużenia [mm]. Rejestrowane były również wartości naprężeń uzyskiwanych przy wydłużeniu co 0,1 mm. Próby przeprowadzono do momentu zerwania.

Przed każdym badaniem próbki montowane były w specjalnych uchwytach w położeniu poziomym, co przedstawiono na

fot. 3. Jedynie w przypadku badania ścinania, próbki montowano w uchwytach w położeniu pionowym. Po zakończeniu każdego badania wyjmowano próbkę z uchwytów i wizualnie oceniano sposób zerwania (kohezyjny lub adhezyjny).

W przypadku badania rozciągania i ścinania z zarejestrowanych danych odczytywano wartości naprężenia przy wydłużeniach o 5%, 10%, 15%, 20% i 25% oraz wartości naprężenia i wydłużenia przy zerwaniu. Dokonano również obliczeń wartości  $R_{u,5}$ , czyli charakterystycznego naprężenia niszczącego dającego 75% ufności, że 95% wyników badań będzie większe od tej wartości.  $R_{u,5}$  stanowi kryterium oceny szczeliw do celów konstrukcyjnych, które zgodnie z normą [1] wynosi  $R_{u,5} \geq 0,5 \text{ MPa}$  (dla klasy T1).

Badanie powrotu elastycznego przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 7389:2004 [3] w celu oceny relaksacji po długotrwałym obciążeniu.

Przed przystąpieniem do badań dokonano pomiaru początkowego wydłużenia w dwóch miejscach badanych próbek. Próbki kolejno umieszczano w maszynie wytrzymałościowej (fot. 3) i obciążano je, poddając rozciąganiu z prędkością  $(5,5 \pm 0,7) \text{ mm/min}$  w ten sposób, że uzyskano 125% pierwotnej szerokości. Po upływie 24 godzin próbki odciążano i układano na gładkiej powierzchni o niskim tarciu i dokonywano pomiaru wydłużenia na obu ich końcach. Następnie określano średnią sprężystą relaksacji, która powinna wynosić przynajmniej 95% [1].

Przed przeprowadzeniem badania na rozdarcie, wykonano nacięcie na końcach szczeliwa na głębokość 5 mm, a następnie poddano je rozciąganiu aż do zniszczenia. Średnia wartość wytrzymałości na rozdarcie ( $X_{\text{mean tear}}$ ) powinna wynosić – dla próbek bez wkładki w uszczelnieniu konstrukcyjnym – przynajmniej 0,50 razy średnia wartość zmierzona w przypadku badania rozciągania w  $23^\circ\text{C}$  ( $X_{\text{mean } 23^\circ\text{C}}$ ).

Podczas badania mechanicznego obciążenia cyklicznego, próbki poddawano powtarzalnemu obciążeniu rozciągającemu 100 razy w czasie cyklu 8 s zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie [1]. Badane próbki następnie sezonowano przez 24 godziny w standardowych warunkach oraz dokonano wzrokowej oceny uszczelnienia, po czym przeprowadzono rozciąganie w temperaturze  $+23^\circ\text{C}$ . Zgodnie z wymaganiami normy obliczona wytrzymałość  $R_{u,5}$  badanych szczeliw nie powinna być niższa niż 75% średniej wartości badania na rozciąganie w  $23^\circ\text{C}$ .

Badanie przemieszczenia pod obciążeniem ścinającym, przeprowadzono z zastosowaniem urządzenia do badania pełzania (fot. 4). Zgodnie z wymaganiami normy [1] ocenie poddawano rozwój pełzania po 1 dniu, 3, 7 i 10 dniach, a następnie po każdym 7 dniach po przyłożeniu obciążenia oraz odkształcenia po 91 dniach przed odciążeniem i 24 godziny po odciążeniu próbek.

Tabela 1. Czasy działania czynników środowiskowych (w dniach)

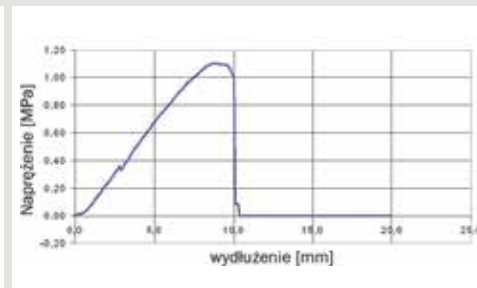
Wstępne sezonowanie	Promieniowanie UV	Mgła solna 5% roztwór NaCl	Wilgość 95%	Temp. $100^\circ\text{C}$	Temp. $-20^\circ\text{C}$
28	42	20	14	7	7



Fot. 4. Próbkki zamontowane w urządzeniu do badania pełzania



Rys. 1. Przebieg próby rozciągania próbki wykonanej na bazie szczeliwa S, poddanej działaniu promieniowania UV



Rys. 2. Przebieg próby rozciągania próbki wykonanej na bazie szczeliwa T, poddanej działaniu promieniowania UV

## ANALIZA WYNIKÓW

Wpływ poszczególnych czynników na wytrzymałość szczeliw konstrukcyjnych oceniono w zależności od rodzaju badania, biorąc pod uwagę sposób zerwania, wydłużenie i napężenie przy zerwaniu, wytrzymałość przy zerwaniu  $R_{u,5}$ , stosunek średniej wartości wytrzymałości na rozdarcie do średniej wartości zmierzonej podczas badania rozciągania w 23°C ( $\Delta X_{mean}$ ). W badaniu pełzania oceniano przemieszczenie pod wpływem obciążenia oraz po odciążeniu.

### Rozciąganie

Starzenie próbek pod wpływem działania promieniowania ultrafioletowego spowodowało, że zerwanie masy uszczelniającej S nastąpiło przy najniższym wydłużeniu tj. 33,6%, ale dużym napężeniu wynoszącym 1,14 MPa (tab. 2). Próbkki poddane działaniu wilgoci przed badaniem wytrzymałości na rozciąganie uległy zerwaniu przy najwyższym wydłużeniu wynoszącym 51,7%. W tym wypadku napężenie przy zerwaniu wyniosło 1,03 MPa.

Wpływ działania na próbki wszystkich czynników przyspieszających starzenie (poza promieniowaniem UV) spowodował, że ich zerwanie nastąpiło przy większym wydłużeniu w porównaniu do próbek poddanych jedynie wstępnemu sezonowaniu. Podobna sytuacja wystąpiła dla wartości napężenia przy zerwaniu. W tym wypadku jedynie działanie wilgoci (jako czynnika symulującego

warunki rzeczywiste) nie wpłynęło na zmianę napężenia niszczącego. Pozostałe czynniki spowodowały wzrost napężenia przy zerwaniu. Przykładowy wykres przebiegu próby rozciągania próbki wykonanej na bazie szczeliwa S, poddanej działaniu promieniowania UV, przedstawiono na rysunku 1.

Analizując spełnienie wymagań co do kryterium dla szczeliw do celów konstrukcyjnych tj. wartość  $R_{u,5} \geq 0,5$  MPa należy stwierdzić brak negatywnego wpływu czynników środowiska na parametr  $R_{u,5}$ , określony podczas rozciągania szczeliwa. Wszystkie próbki uzyskały wartość  $R_{u,5}$  (tab. 2) wyższą od wymaganej i zerwały się w sposób kohezynny.

Działanie mgły solnej spowodowało, że zerwanie próbek wykonanych z masy uszczelniającej T poddanych działaniu tego czynnika osiągnęło najmniejsze wydłużenie (53,9%) spośród badanych próbek, ale przy średnim napężeniu wynoszącym 0,98 MPa (tab. 3). Próbkki, które sezonowano przez oddziaływanie wilgoci, uległy zerwaniu przy najwyższym spośród badanych wydłużeniu wynoszącym 138,0%. W tym wypadku napężenie przy zerwaniu osiągnęło najniższą wartość tj. 0,70 MPa.

Jedynie wpływ działania wilgoci i wysokiej temperatury spowodował, że zerwanie próbek podczas rozciągania nastąpiło przy większym wydłużeniu w porównaniu do próbek poddanych jedynie wstępnemu sezonowaniu. Napężenie przy zerwaniu było największe dla próbek przetrzymywanych w wysokiej temperaturze. Wszystkie pozostałe czynniki środowiskowe wpłynęły na obniżenie wartości napężenia w porównaniu do próbek poddanych jedynie wstępnemu sezonowaniu. Przykładowy wykres przebiegu próby rozciągania próbki wykonanej na bazie szczeliwa T, poddanej działaniu promieniowania UV, przedstawia rysunek 2.

W przypadku próbek wykonanych ze szczeliwa T, poddanych działaniu czynników symulujących przyspieszone starzenie, parametr  $R_{u,5}$  był  $\geq 0,5$  MPa.

Wszystkie próbki uzyskały wartość  $R_{u,5}$  wyższą od wymaganej, ale jednak uległy zerwaniu w sposób adhezyjny, co powoduje negatywny wynik badania.

### Ścinanie

Najniższym wydłużeniem przy zerwaniu (83,9%) charakteryzowały się próbki ze szczeliwem S po napromieniowaniu, przy napężeniu zrywającym zbliżonym do napężenia dla próbek po sezonowaniu (0,76 MPa) (tab. 4).

Atmosfera mgły solnej wpłynęła na uzyskanie przez próbki podczas ścinania najwyższych wartości wydłużenia (147,5%) i napężenia (0,83 MPa) spośród wszystkich badanych próbek.

Tabela 2. Wyniki badania rozciągania próbek wykonanych na bazie szczeliwa S

Czynnik środowiskowy	Wydłużenie przy zerwaniu [%]			Napężenie przy zerwaniu [MPa]			Wytrzymałość przy zerwaniu $R_{u,5}$ [MPa]
	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	
Wstępne sezonowanie	36,7	35,9	1,4	1,06	1,03	0,06	0,88
	36,7			1,06			
	34,2			0,96			
Promieniowanie ultrafioletowe	31,7	33,6	2,1	1,21	1,14	0,07	0,97
	35,8			1,08			
	33,3			1,14			
Mgła solna 5% roztwór NaCl	34,2	37,2	5,3	1,12	1,15	0,05	1,03
	34,2			1,12			
	43,3			1,20			
Wilgoć 95%	43,3	51,7	8,0	1,20	1,03	0,16	0,64
	52,5			0,89			
	59,2			0,99			
Temperatura 100°C	35,0	45,0	10,0	1,06	1,13	0,07	0,96
	45,0			1,15			
	55,0			1,19			
Temperatura -20°C	40,0	38,9	5,2	1,23	1,10	0,13	0,78
	39,2			1,09			
	31,7			0,98			

Tabela 3. Wyniki badania rozciągania próbek, wykonanych na bazie szczeliwa T

Czynnik środowiskowy	Wydłużenie przy zerwaniu [%]			Naprężenie przy zerwaniu [MPa]			Wytrzymałość przy zerwaniu $R_{u,5}$ [MPa]
	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	
Wstępne sezonowanie	77,5			1,11			1,07
	67,5	73,6	5,4	1,14	1,12	0,02	
	75,8			1,12			
Promieniowanie ultrafioletowe	74,2			1,10			0,87
	71,7	62,4	18,4	1,14	1,07	0,08	
	41,2			0,98			
Mgła solna 5% roztwór NaCl	45,0			0,85			0,70
	60,0	53,9	7,9	1,05	0,95	0,10	
	56,7			0,95			
Wilgość 95%	120,0			0,75			0,58
	135,8	138,0	19,2	0,69	0,70	0,05	
	158,3			0,66			
Temperatura 100°C	96,7			1,18			1,07
	98,3	97,8	0,9	1,12	1,14	0,03	
	98,3			1,12			
Temperatura -20°C	78,3			1,14			0,88
	80,0	72,2	12,1	1,12	1,08	0,08	
	58,3			0,99			

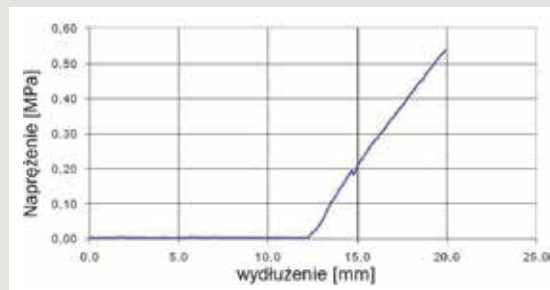
Tabela 4. Wyniki badania ścinania próbek wykonanych na bazie szczeliwa S

Czynnik środowiskowy	Wydłużenie przy zerwaniu [%]			Naprężenie przy zerwaniu [MPa]			Wytrzymałość przy zerwaniu $R_{u,5}$ [MPa]
	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	
Wstępne sezonowanie	110,0			0,84			0,69
	82,5	105,3	20,8	0,77	0,79	0,04	
	123,3			0,76			
Promieniowanie ultrafioletowe	78,3			0,80			0,64
	93,3	83,9	8,2	0,76	0,76	0,05	
	80,0			0,71			
Mgła solna 5% roztwór NaCl	143,3			0,84			0,76
	155,8	147,5	7,2	0,80	0,83	0,03	
	143,3			0,85			
Wilgość 95%	—	nie określono	—	—	brak zerwania	—	—
	—			—			
	—			—			
Temperatura 100°C	126,7			0,67			0,57
	109,2	114,2	10,9	0,79	0,72	0,06	
	106,7			0,69			
Temperatura -20°C	111,7			0,75			0,66
	110,0	104,7	10,6	0,73	0,76	0,04	
	92,5			0,81			

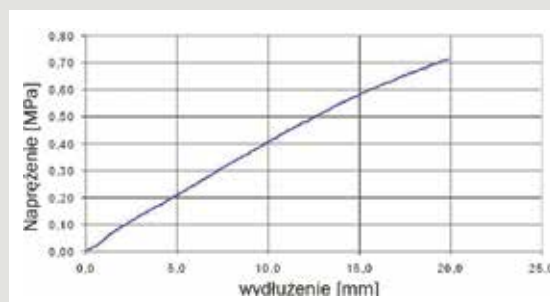
Wszystkie badane próbki uzyskały zbliżone wartości naprężenia podczas prób ścinania. Należy zwrócić uwagę, że próbki poddane działaniu wilgoci nie uległy zerwaniu w trakcie ścinania w ramach założonych parametrów (20 mm). Przykładowy wykres przebiegu próby ścinania próbki wykonanej na bazie szczeliwa S, poddanego działaniu mgły solnej, przedstawiono na rysunku 3.

Wszystkie próbki wykonane na bazie szczeliwa S i poddane działaniu czynników środowiskowych, spełniły wymagania dotyczące  $R_{u,5}$  i uzyskały wartość  $R_{u,5}$  wyższą od wymaganej oraz uległy zerwaniu w sposób kohezynny.

W przypadku zastosowania szczeliwa T, zerwaniu uległy jedynie próbki, które poddano działaniu niskiej temperatury (tab. 5). Zerwanie nastąpiło przy średnich wartościach wydłużenia wynoszącym 165,0% oraz naprężenia 0,96 MPa. Wilgość i wysoka temperatura spowodowały, że żadna z badanych próbek podczas prób



Rys. 3. Przebieg próby ścinania próbki wykonanej na bazie szczeliwa S, poddanego działaniu wilgoci



Rys. 4. Przebieg próby ścinania próbki wykonanej na bazie szczeliwa T, poddanego działaniu wilgoci

ścinania nie uległa zerwaniu w ramach założonego parametru wydłużenia (20 mm), co przedstawiono na rysunku 4. W przypadku pozostałych próbek nastąpiło zerwanie adhezyjne.

#### Powrót elastyczny

Średnia sprężystej relaksacji dla wszystkich próbek wykonanych z zastosowaniem szczeliwa S, uzyskała tę samą wartość tj. 97% (tab. 6). Działające czynniki środowiskowe nie wpłynęły na elastyczność materiału.

Średnia sprężystej relaksacji dla próbek wykonanych z zastosowaniem szczeliwa T uzyskała zbliżone wartości tj. (97–99)%. W tym przypadku zauważalny jest niewielki wpływ działania promieniowania UV, mgły solnej, wilgoci, wysokiej i niskiej temperatury na elastyczność materiału.

Średnie sprężystej relaksacji zarówno dla szczeliwa S, jak i szczeliwa T, osiągnęły wartość powyżej 95%, czyli zostały spełnione wymagania zawarte w normie [1].

#### Rozdarcie

Najniższym wydłużeniem przy zerwaniu (26,4%), ale najwyższym naprężeniu zrywającym (0,68 MPa) (tab. 7) charakteryzowały się próbki ze szczeliwem S, które poddane zostały działaniu mgły solnej. Próbki poddane oddziaływaniu wilgoci (95%) wykazały największe wydłużenie (36,1%) i jednocześnie najniższe naprężenie (0,53 MPa) spośród badanych próbek. Wydłużenie przy zerwaniu osiągnęło taką samą wartość dla próbek sezonowanych, jak i poddanych działaniu wysokiej temperatury. Wszystkie badane próbki spełniły wymagania normy [1] tzn. uległy zerwaniu w sposób kohezynny oraz średnia wartość wytrzymałości na rozdarcie  $X_{mean\ tear}$  dla próbek bez wkładki w uszczelnieniu konstrukcyjnym była większa od połowy średniej wartości, zmierzonej w przypadku badania rozciągania w 23°C.

Tabela 5. Wyniki badania ścinania próbek wykonanych na bazie szczeliwa T

Czynnik środowiskowy	Wydłużenie przy zerwaniu [%]			Naprężenie przy zerwaniu [MPa]			Wytrzymałość przy zerwaniu $R_{u,5}$ [MPa]
	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	
Wstępne sezonowanie	—	139,2	—	—	0,95	—	—*
	—						
	139,2						
Promieniowanie ultrafioletowe	154,2	159,6	7,1	1,05	1,03	0,03	0,96***
	—						
	165,0						
Mgła solna 5% roztwór NaCl	—	158,3	—	—	0,78	—	—**
	—						
	158,3						
Wilgoć 95%	—	—*	—	—	—*	—	—*
	—						
	—						
Temperatura 100°C	—	—*	—	—	—*	—	—*
	—						
	—						
Temperatura -20°C	165,0	165,0	0,0	1,00	0,96	0,06	0,81
	—						
	165,0						

\*żadna próbka nie uległa zerwaniu

\*\*zerwaniu uległa jedna próbka

\*\*\*zerwaniu uległy dwie próbki

Tabela 6. Wyniki badania powrotu elastycznego próbek wykonanych na bazie szczeliwa S

Rodzaj szczeliwa	Średnia sprężystej relaksacji [%]			
	Czynnik środowiskowy			
	Sezonowanie	Promieniowanie UV	Mgła solna	Wilgoć
S	97	97	97	97
T	97	98	98	99

Tabela 7. Wyniki badania rozdarcia próbek wykonanych na bazie szczeliwa S

Czynnik środowiskowy	Wydłużenie przy zerwaniu [%]			Naprężenie przy zerwaniu [MPa]			$\Delta X_{mean}^*$
	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	
Wstępne sezonowanie	25,8	27,2	1,3	0,66	0,64	0,03	0,73
	27,5						
	28,3						
Promieniowanie ultrafioletowe	27,5	30,8	2,9	0,65	0,63	0,02	0,65
	32,5						
	32,5						
Mgła solna 5% roztwór NaCl	26,7	26,4	0,5	0,62	0,68	0,05	0,66
	26,7						
	25,8						
Wilgoć 95%	37,5	36,1	1,7	0,48	0,53	0,06	0,83
	34,2						
	36,7						
Temperatura 100°C	28,3	27,2	0,9	0,58	0,53	0,05	0,55
	26,7						
	26,7						
Temperatura -20°C	30,8	31,4	0,5	0,69	0,62	0,06	0,79
	31,7						
	31,7						

\* $\Delta X_{mean} = X_{mean\ tear} / X_{mean}$  23°C

Najniższym wydłużeniem przy zerwaniu (55,6%) charakteryzowały się te próbki ze szczeliwem T, które poddane zostały tylko sezonowaniu oraz próbki po przebywaniu w niskiej temperaturze (55,8%), co przedstawiono w tabeli 8. Wpływ niskiej temperatury przyczynił się jednak do osiągnięcia przez nie najwyższego naprężenia (0,70 MPa). Największe wydłużenie (94,2%) i najniższe naprężenie (0,42 MPa) stwierdzono dla próbek poddanych oddziaływaniu wilgoci przed badaniami wytrzymałościowymi.

Dla wszystkich badanych próbek średnia wartość wytrzymałości na rozdarcie  $X_{mean\ tear}$  była większa od połowy średniej wartości zmierzonej w przypadku badania rozciągania w 23°C. Wszystkie próbki uległy zerwaniu w sposób adhezyjny.

#### Mechaniczne obciążenie cykliczne

Najniższym wydłużeniem przy zerwaniu (28,6%) charakteryzowały się próbki ze szczeliwem S, które poddano działaniu niskiej temperatury (tab. 9).

Próbki starzone przez działanie wilgoci (95%) wykazały natomiast podczas zrywania największe wydłużenie (40,6%), ale najniższe naprężenie (1,15 MPa). Najwyższą wartość naprężenia posiadały próbki po sezonowaniu oraz po oddziaływaniu promieniowania UV uzyskując stosunkowo duże wydłużenie.

Wszystkie badane próbki spełniły wymagania normy [1] tzn. uległy zerwaniu w sposób kohezyjny oraz obliczona wytrzymałość  $R_{u,5}$  badanych szczeliw była wyższa niż 75% średniej wartości badania na rozciąganie w 23°C.

Najniższym wydłużeniem przy zerwaniu (46,9%) charakteryzowały się próbki ze szczeliwem T, które poddano działaniu mgły solnej (tab. 10). Przyspieszone starzenie próbek pod wpływem wilgoci przyczyniło się do uzyskania przez nie podczas zrywania największego wydłużenia (106,4%) i najniższego naprężenia (0,88 MPa). Najwyższą wartość naprężenia posiadały próbki po sezonowaniu oraz po oddziaływaniu niskiej temperatury.

Dla wszystkich badanych próbek obliczona wytrzymałość  $R_{u,5}$  badanych szczeliw była wyższa niż 75% średniej wartości badania na rozciąganie w 23°C, jednak uległy zerwaniu w sposób adhezyjny.

#### Przemieszczenie pod trwałym obciążeniem ścinającym

Wszystkie badane próbki wykonane z zastosowaniem szczeliwa S oraz szczeliwa T, po 91 dniach obciążenia wykazały ustabilizowane przemieszczenie, nieprzekraczające 1 mm. Maksymalne przemieszczenie, po 24 godzinach po odciążeniu osiągnęło wartość niższą od 0,1 mm (tab. 11).

W przypadku szczeliwa T stwierdzono znacznie większe przemieszczenie w porównaniu ze szczeliwem S.

#### WNIOSKI

1. Szczeliwo konstrukcyjne S poddane badaniu rozciągania, ścinania, rozdarcia, powrotu elastycznego, mechanicznego obciążenia cyklicznego oraz przemieszczenia pod trwałym obciążeniem ścinającym, spełniło wymagania normy PN-EN 15434+A1: 2010, zarówno w odniesieniu do uzyskanych wartości wytrzymałości, jak i sposobu zerwania.

Tabela 8. Wyniki badania rozdzarcia próbek wykonanych na bazie szczeliwa T

Czynnik środowiskowy	Wydłużenie przy zerwaniu [%]			Napężenie przy zerwaniu [MPa]			$\Delta X_{\text{mean}}^*$
	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	
Wstępne sezonowanie	54,2	55,6	1,7	0,57	0,58	0,03	0,54
	55,0			0,62			
	57,5			0,56			
Promieniowanie ultrafioletowe	60,8	61,4	5,9	0,57	0,59	0,03	0,68
	67,5			0,59			
	55,8			0,62			
Mgła solna 5% roztwór NaCl	70,0	60,6	8,8	0,56	0,55	0,02	0,79
	59,2			0,53			
	52,5			0,55			
Wilgość 95%	84,2	94,2	8,7	0,43	0,42	0,07	0,72
	99,2			0,35			
	99,2			0,49			
Temperatura 100°C	85,0	81,4	3,1	0,58	0,54	0,03	0,51
	79,2			0,52			
	80,0			0,52			
Temperatura -20°C	49,2	55,8	8,8	0,58	0,70	0,20	0,80
	52,5			0,58			
	65,8			0,95			

$$*\Delta X_{\text{mean}} = X_{\text{mean test}} / X_{\text{mean } 23^{\circ}\text{C}}$$

Tabela 9. Wyniki badania mechanicznego obciążenia cyklicznego próbek wykonanych na bazie szczeliwa S

Czynnik środowiskowy	Wydłużenie przy zerwaniu [%]			Napężenie przy zerwaniu [MPa]			Wytrzymałość przy zerwaniu [MPa]	
	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	$R_{u,5}$	$R_{u,523^{\circ}\text{C}}$
Wstępne sezonowanie	30,8	31,9	1,0	1,29	1,33	0,03	1,25	0,88
	32,5			1,35				
	32,5			1,35				
Promieniowanie ultrafioletowe	32,5	31,4	1,9	1,35	1,34	0,02	1,30	0,97
	32,5			1,35				
	29,2			1,32				
Mgła solna 5% roztwór NaCl	36,7	31,7	4,4	1,28	1,24	0,03	1,16	1,03
	30,0			1,23				
	28,3			1,22				
Wilgość 95%	41,7	40,6	2,0	1,14	1,15	0,01	1,13	0,64
	38,3			1,15				
	41,7			1,16				
Temperatura 100°C	33,3	33,3	2,5	1,23	1,24	0,01	1,21	0,96
	35,8			1,25				
	30,8			1,23				
Temperatura -20°C	30,0	28,6	2,4	1,22	1,21	0,06	1,06	0,78
	25,8			1,15				
	30,0			1,26				

Wszystkie próbki wykonane ze szczeliwa S poddane czynnikom symulującym rzeczywiste warunki klimatyczne spełniły kryteria zawarte w przedmiotowej normie, a otrzymane wyniki badań uznano za satysfakcjonujące.

2. Otrzymane wyniki badań szczeliwa S poddanego działaniu czynników środowiskowych były porównywalne z wynikami, jakie otrzymano dla tego szczeliwa badanego po wstępnym sezonowaniu, w związku z tym stwierdzono brak istotnego wpływu działania promieniowania UV, mgły solnej, wilgoci (95%), wysokich i niskich temperatur na pogorszenie właściwości mechanicznych tego szczeliwa.

3. Szczeliwo T poddane badaniom wytrzymałościowym, wykazało w większości przypadków zerwanie adhezyjne, czyli nie zostało spełnione podstawowe wymaganie normy PN-EN 15434+A1: 2010, co powoduje jego dyskwalifikację jako materiału konstrukcyjnego w oszkleniach strukturalnych.

## POSUMOWANIE

Zastosowanie mas uszczelniających w oszkleniach ze szczeliwem konstrukcyjnym i w izolacyjnych szybach zespolonych z odsłoniętym uszczelnieniem, powoduje konieczność ciągłych badań ich właściwości.

Dzięki przeprowadzonym badaniom uzyskano istotne informacje na temat wytrzymałości stosowanych szczeliw konstrukcyjnych, a przede wszystkim odporności na działanie czynników środowiskowych.

Szklenie strukturalne staje się coraz powszechniejsze w naszym kraju i jakość mas uszczelniających ma zasadnicze znaczenie dla użytkowników szczeliw konstrukcyjnych, dlatego też w Zakładzie Technologii Szkła Oddziału Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie ICiMB podjęto się badań zasadniczych ich właściwości.

Funkcje konstrukcyjne tych materiałów w istotny sposób

Tabela 10. Wyniki badania mechanicznego obciążenia cyklicznego próbek wykonanych na bazie szczieliwa T

Czynnik środowiskowy	Wydłużenie przy zerwaniu [%]			Napężenie przy zerwaniu [MPa]			Wytrzymałość przy zerwaniu [MPa]	
	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	Próbka	Wartość średnia	Odchyl. stand.	R <sub>u,5</sub>	R <sub>u,523 °C</sub>
Wstępne sezonowanie	73,3	71,4	3,3	1,17	1,16	0,02	1,11	1,07
	73,3			1,17				
	67,5			1,14				
Promieniowanie ultrafioletowe	66,7	62,8	5,4	1,12	1,11	0,06	0,96	0,87
	56,7			1,05				
	65,0			1,17				
Mgła solna 5% roztwór NaCl	47,5	46,9	1,0	0,83	0,89	0,05	0,77	0,70
	45,8			0,93				
	47,5			0,90				
Wilgoć 95%	117,5	106,4	11,7	0,89	0,88	0,01	0,85	0,58
	107,5			0,89				
	94,2			0,87				
Temperatura 100°C	79,2	88,4	8,8	1,21	1,12	0,10	0,89	1,07
	96,7			1,02				
	89,2			1,13				
Temperatura -20°C	71,7	65,3	5,7	1,22	1,19	0,03	1,12	0,88
	63,3			1,19				
	60,8			1,16				

Tabela 11. Wyniki badania przemieszczenia pod trwałym obciążeniem ścinającym dla próbek wykonanych na bazie szczieliwa S i szczieliwa T

Rodzaj szczieliwa	Przemieszczenie po 91 dniach obciążenia [mm]			Przemieszczenie po 24 godzinach po odciążeniu [mm]		
	Czynnik środowiskowy			Czynnik środowiskowy		
	Sezonowanie	Temp. 100°C	Temp. -20°C	Sezonowanie	Temp. 100°C	Temp. -20°C
S	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
T	0,20	0,72	0,21	0,18	0,68	0,19

determinują szczególnie restrykcyjne wymagania, zwłaszcza w odniesieniu do wytrzymałości mechanicznej. Szczieliwa stosowane na fasadach narażone są na działanie niszczących czynników klimatycznych w sposób niemal bezpośredni. Promieniowanie UV, wysoka wilgotność, działanie zmiennych temperatur mogą powodować pogorszenie ich właściwości.

Odporność na działanie czynników środowiskowych staje się więc problemem nadrzędnym. Badanie wytrzymałości mechanicznej mas uszczelniających oraz sprawdzenie, czy spełniają wymagania zawarte w normie PN-EN 15434+A1: 2010 - również po symulacji warunków rzeczywistych, w jakich będą pełniły swoje funkcje

- jest czynnikiem decydującym o ich przydatności w budownictwie.

#### LITERATURA

- [1] PN-EN 15434+A1: 2010 „Szkło w budownictwie. Norma wyrobu dla szczieliw konstrukcyjnych i/lub szczieliw odpornych na ultrafiolet (do stosowania w oszkleniach ze szczieliwem konstrukcyjnym i/lub izolacyjnych szybach zespolonych z odsłoniętym uszczelnieniem)”.
- [2] PN-EN ISO 8339:2005 Konstrukcje budowlane. Wyroby do uszczelniania. Kity. Określenie właściwości mechanicznych przy rozciąganiu.
- [3] PN-EN ISO 7389:2004 Konstrukcje budowlane. Wyroby do uszczelniania. Określenie powrotu plastycznego kitów.



**S+C**  
Szkło i Ceramika

Szanowni Państwo – Profesorowie, Doktorzy, Doktoranci

Zachęcamy do nadsyłania publikacji. Także w języku angielskim.

Publikacja u nas to 4 pkt. w ocenie MNiSW. Szczegółowe informacje nt. przyjmowanych do druku tekstów znajdują Państwo na stronie szklo-ceramika.pl w zakładce „Dla Autorów”.

Z wyrazami szacunku,  
Redakcja