

Cyprian Pełczyński<sup>1</sup>

Aleksandra Pełczyńska<sup>2</sup>

Paweł Kość<sup>3</sup>

Kamil Winiarczyk<sup>4</sup>

Piotr Szczepaniak<sup>5</sup>

Daniel Pilipczuk<sup>6</sup>

## **WPŁYW ZASTOSOWANIA DOMIESZEK REDUKUJĄCYCH SKURCZ NA WŁAŚCIWOŚCI BETONU**

### **1. Wprowadzenie**

Jedną z niekorzystnych właściwości betonu stanowi skurcz, który spowodowany jest samoistnymi zmianami objętościowymi hydratyzującego zaczynu cementowego. Nadmierny skurcz prowadzi do uszkodzeń betonu, pojawienia się zarysowań, które stanowią łatwą drogę dla różnego rodzaju substancji korozyjnych, będących powodem niszczenia samego betonu, jak i stali zbrojowej, którą beton ma przez pasywację chronić [1]. Pojawienie się zarysowań w wyniku nadmiernego skurczu betonu obniża także poziom jego właściwości mechanicznych: obniża wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie.

Na całkowity skurcz betonu składają się zmiany objętościowe wynikające z procesów wiązania i twardnienia zaczynu cementowego (skurcz chemiczny i autogeniczny) oraz odkształcenia wywołane utratą wody z powierzchni betonu (początkowo skurcz plastyczny, a po stwardnieniu skurczy przy wysychaniu).

Jednym ze sposobów ograniczenia niekorzystnego zjawiska skurczu betonu jest stosowanie domieszek przeciwskurczowych, których główny mechanizm działania opiera się na

---

<sup>1</sup> mgr inż., Stachema Polska Sp. z o.o. , ul. Żwirki i Wigury 49, 21-040 Świdnik, e-mail: c.pelczynski@stachema.pl

<sup>2</sup> mgr inż., Stachema Polska Sp. z o.o. , ul. Żwirki i Wigury 49, 21-040 Świdnik, e-mail: a.pelczynska@stachema.pl

<sup>3</sup> inż., Stachema Polska Sp. z o.o. , ul. Żwirki i Wigury 49, 21-040 Świdnik, e-mail: p.kosc@stachema.pl,

<sup>4</sup> inż., Stachema Polska Sp. z o.o. , ul. Żwirki i Wigury 49, 21-040 Świdnik, e-mail: k.winiarczyk@stachema.pl,

<sup>5</sup> mgr inż., Stachema Polska Sp. z o.o. , ul. Żwirki i Wigury 49, 21-040 Świdnik, e-mail: laboratorium@stachema.pl

<sup>6</sup> mgr , Stachema Polska Sp. z o.o. , ul. Żwirki i Wigury 49, 21-040 Świdnik, e-mail: laboratorium@stachema.pl

zmniejszeniu napięcia powierzchniowego cieczy porowej w betonie [2]. Mechanizm ten ogranicza nie tylko skurcz wysychania, ale również skurcz autogeniczny.

Domieszki redukujące skurcz nie zostały dotąd objęte Normami Europejskimi, a stale rosnące zainteresowanie producentów betonu ich stosowaniem doprowadziło do podjęcia przez Komitet Techniczny Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN/TC 104/SC3 decyzji o opracowaniu niezharmonizowanej normy produktowej, dotyczącej domieszek tego typu.

## 2. Założenia i metodyka badań

Przedmiotem prowadzonych badań było określenie wpływu zastosowania domieszek redukujących skurcz na właściwości mieszanek betonowych i stwardniałego betonu. W celu oceny skuteczności działania domieszek przeciwskurczowych prace badawcze prowadzono przy udziale różnych rodzajów i dozowań domieszki SRA oraz odmiennych warunków pielęgnacji. Do wykonania mieszanek betonowych zastosowano następujące materiały:

- cement CEM I 42,5R wg. PN-EN 197-1 [3];
- piasek (0-2 mm);
- żwir (2-8 mm),
- domieszki: upłynniającą, zawierającą eter polikarboksylowy (PCE), redukującą skurcz (SRA 1 oraz SRA 2) oraz napowietrzającą (AEA). Składy mieszanek betonowych podano w Tab.1

Tabela nr 1. Składy mieszanek betonowych

Składnik	Nr mieszanki betonowej					
	1	2	3	4	5	6
	Zawartość, kg/m <sup>3</sup>					
CEM I 42,5 R	350					
Piasek (0-2 mm)	850					
Żwir (2-8 mm)	920					
Superplastyfikator (PCE)	1,4					
Domieszka napowietrzająca (AEA)	-	0,250	-	-	-	-
Domieszka redukująca skurcz (SRA 1)	-	-	3,5	7,5	-	-

Domieszka redukująca skurcz (SRA 2)	-	-	-	-	3,5	7,5
Woda	190					
w/c	0,54					
Projektowana zaw. powietrza, %	3,0	4 - 6	3,0	3,0	3,0	3,0
Projektowana klasa konsystencji	S3 - S4					

W ramach prac przeprowadzono następujące badania:

1. Badania mieszanki betonowej:

- Badanie początkowej konsystencji metodą opadu stożka zgodnie z normą PN-EN 12350-2 [4];
- Badanie gęstości objętościowej betonu zgodnie z normą PN-EN 12350-6 [5];
- Badanie zawartości powietrza metodą ciśnieniową zgodnie z normą PN-EN 12350-7 [6];

2. Badanie wytrzymałości na ściskanie zgodnie z normą PN-EN 12390-3 [7] po 2, 7, 28, 56 i 90 dniach;

3. Badanie nasiąkliwości betonu zgodnie z normą PN-B 06250 Beton zwykły [8];

4. Badanie mrozoodporności betonu F150 zgodnie z normą PN-B-06265 [9];

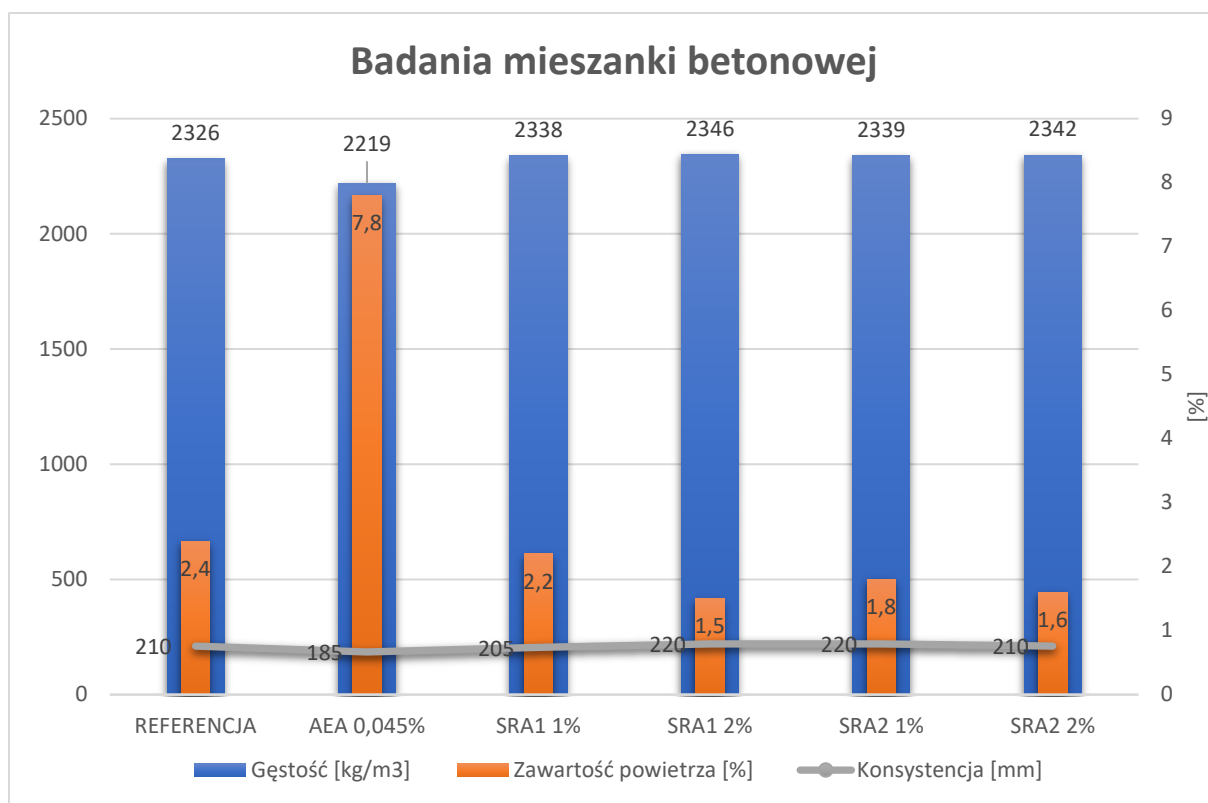
5. Badanie struktury porowatości stwardniałego betonu wg PN-EN 480-11 [10]

6. Badanie zmian liniowych (skurczu) aparatem Graf Kaufmana zgodnie z normą PN-EN 12390-16 [11] i instrukcją pracy IP-04/23 [12], w ustalonych czasookresach przez co najmniej 90 dni.

**3. Wyniki badań i ich omówienie**

3.1. Badania mieszanki betonowej.

Wyniki badań parametrów świeżej mieszanki betonowej przedstawiono na wykresie Rys. 1.



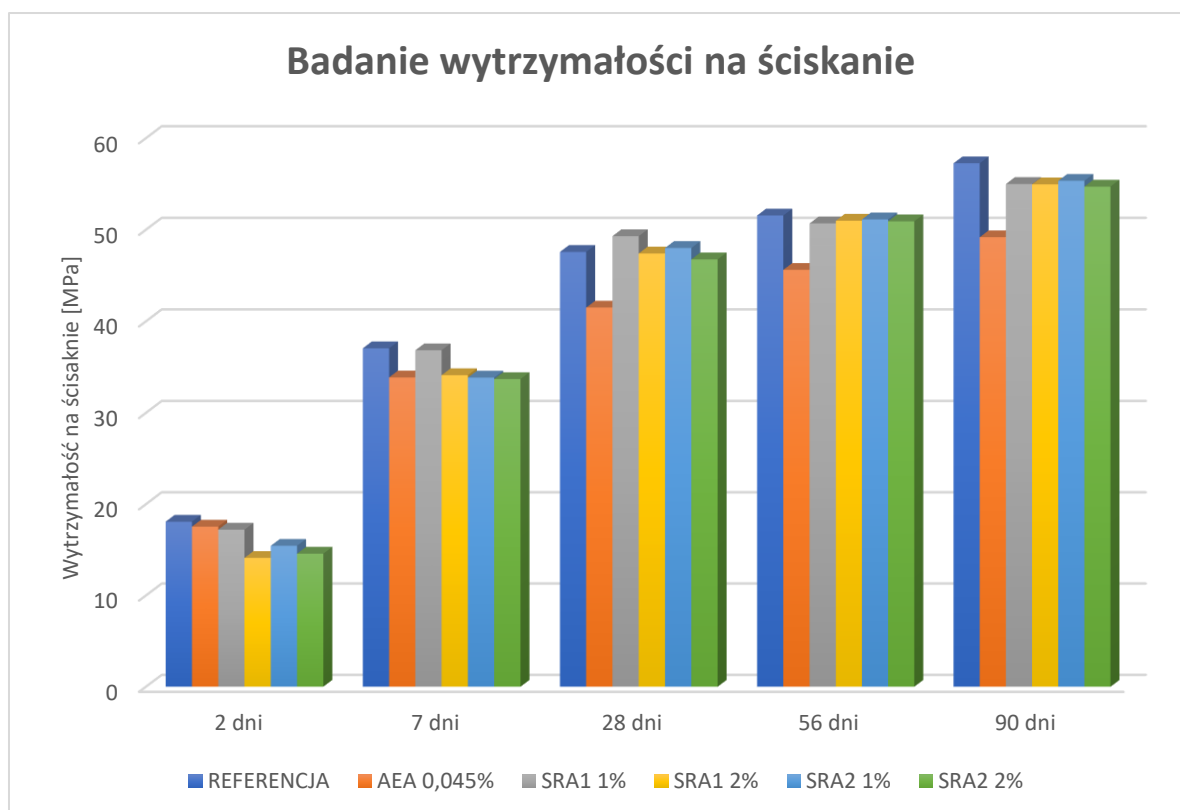
Rys. nr 1. Wyniki badania mieszanki betonowej.

Podczas stosowania domieszek SRA nie obserwuje się wyraźnego wpływu na parametry świeżej mieszanki betonowej takiej, jak konsystencja, gęstość objętościowa oraz zawartość powietrza. Zgodnie z oczekiwaniami najbardziej wyraźny wpływ na badane parametry mieszanki betonowej miało zastosowanie domieszki napowietrzającej.

### 3.2. Badania wytrzymałości na ściskanie.

Na Rys. 2 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie po 2, 7, 28, 56 i 90 dniach.

Widoczny jest tutaj wyraźny wpływ domieszki redukującej skurcz na wytrzymałość na ściskanie. Ulega ona obniżeniu, która szczególnie widoczna jest po 2 i 7 dniach, zwłaszcza przy dozowaniu domieszki SRA w ilości 2% masy cementu. Niekorzystny wpływ spadku wytrzymałości na ściskanie ulega zmniejszeniu w czasie – ze średniego spadku wytrzymałości 20% w stosunku do betonu referencyjnego, po 90 dniach spadek wytrzymałości na ściskanie przy zastosowaniu domieszki SRA utrzymuje się na poziomie 4 %.



Rys. nr 2. Wyniki badania mieszanki betonowej.

### 3.3. Badanie nasiąkliwości i wodoszczelności betonu.

W Tab. 1 zestawiono wyniki badania nasiąkliwości i wodoszczelności betonu wykonanych zgodnie z normą PN 88/B-06250 [8].

Tabela nr 2. Wyniki badań nasiąkliwości i wodoszczelności betonu wg. PN 88/B-06250 [8].

Właściwość	Beton 1	Beton 2	Beton 3	Beton 4	Beton 5	Beton 6
	REFERENCJA (PCE)	PCE+ AEA 0,045%	PCE+ SRA1 1%	PCE+ SRA1 2%	PCE+ SRA2 1%	PCE+ SRA2 2%
Nasiąkliwość śr. [%]	6,26	6,39	6,32	6,31	6,36	6,86
Głębokość penetracji [mm]	24,33	18,67	25,33	23,67	24,67	23,00

Stosowanie domieszek SRA nie wpływa znacząco na zmianę parametrów nasiąkliwości oraz wodoszczelność betonu, czego potwierdzeniem są wyniki pomiarów z przeprowadzonych badań. Średnia nasiąkliwość betonu referencyjnego oraz zawierającego w składzie domieszkę

redukcją skurcz mieści się w granicach 6-7%, a wodoszczelność wyrażona za pomocą pomiaru głębokości penetracji wody między 23 – 25mm.

### 3.4. Badanie mrozoodporności betonu F150 wg. PN-B-06265 [9].

W Tab. 2 przedstawiono wyniki mrozoodporności betonu F150 zgodnie z normą PN-B-06265 [9].

Tabela nr 2. Wyniki badania mrozoodporności betonu wg. PN 88/B-06250 [8].

Właściwość	Beton 1	Beton 2	Beton 3	Beton 4	Beton 5	Beton 6
	REFERENCJA (PCE)	PCE+ AEA 0,045%	PCE+ SRA1 1%	PCE+ SRA1 2%	PCE+ SRA2 1%	PCE+ SRA2 2%
Ubytek masy śr. [%]	0,29	0,30	-0,09	-0,17	-0,04	0,17
Spadek wytrzymałości śr. [%]	6,09	1,69	26,43	28,77	21,66	22,97

Zaprojektowany stopień mrozoodporności F150 nie został osiągnięty w przypadku betonów zawierających domieszkę SRA w obydwu dozowaniach, czego potwierdzenie stanowi obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do wytrzymałości próbek niezamrażanych betonu referencyjnego wynoszących więcej niż 20%.

### 3.5. Badanie struktury porowatości stwardniałego betonu wg PN-EN 480-11 [10]

W Tab.3 przedstawiono wyniki z badania struktury porowatości stwardniałego betonu. Poprawność napowietrzenia w stwardniałym betonie kontroluje się przez oznaczenie całkowitej zawartości powietrza ( $A$ ), zawartość porów mniejszych niż 0,300 mm ( $A_{300}$ ), powierzchni właściwej porów ( $\alpha$ ) oraz współczynnika rozmieszczenia ( $\bar{L}$ ). Z każdego betonu wykonano serię próbek do oznaczenia porowatości stwardniałego betonu.

Tabela nr 3. Wyniki badań struktury porowatości stwardniałego betonu wg. PN-EN 480-11 [10].

Właściwość	Beton 1	Beton 2	Beton 3	Beton 4	Beton 5	Beton 6
	REFERENCJA (PCE)	PCE+ AEA 0,045%	PCE+ SRA1 1%	PCE+ SRA1 2%	PCE+ SRA2 1%	PCE+ SRA2 2%

Całkowita zawartość powietrza (A), %	3,30	7,97	6,51	4,81	5,39	2,07
Powierzchnia właściwa porów ( $\alpha$ ) [mm <sup>-1</sup> ]	13,78	23,47	18,52	17,05	17,42	15,03
Współczynnik rozmieszczenia porów ( $\bar{L}$ ) [mm]	0,48	2,38	0,242	0,302	0,282	0,924
Zawartość porów < 300 $\mu$ m (A300), [%]	0,444	0,163	1,21	0,97	1,27	0,16

Powyższe wyniki jednoznacznie wskazują, że struktura porów w stwardniałym betonie zależy nie tylko od obecności domieszki napowietrzającej, ale również od obecności rodzaju i dozowania domieszki SRA. Powyższe wyniki sugerują, że dodatek domieszek SRA nie wpływa korzystnie na mrozoodporność betonu. Świadczą o tym wartości współczynnika rozmieszczenia porów przekraczające 0,200 mm oraz zawartość mikroporów mniejszy niż 300 $\mu$ m, która nie przekraczała 1,6%.

3.6. Badanie zmian liniowych (skurczu) aparatem Graf Kaufmana zgodnie z normą PN-EN 12390-16 [11] i instrukcją pracy IP-04/23 [12], w ustalonych czasookresach przez co najmniej 90 dni.

W ostatnich kilkudziesięciu latach opracowano szereg metod badawczych skurczu betonu za pomocą, których można określić intensywność oraz zakres wartości tego zjawiska w betonie [13]. Niestety w aktualnie obowiązujących i wykorzystywanych normach brakuje informacji na temat domieszek redukujących skurcz oraz metod badawczych, oceniających ich skuteczność.

W związku z powyższym na potrzeby realizacji omawianej pracy opracowano procedurę badawczą oznaczenia zmian liniowy zapraw i betonów aparatem Graf Kaufmanna (Rys. nr 3) opartą w głównej mierze na zapisach normy PN-EN 12390-16 [11].



Rys. nr 3. Aparat Graf Kaufmanna.



Rys. nr 4. Pielęgnacja próbek  
w komorze wilgotnej.

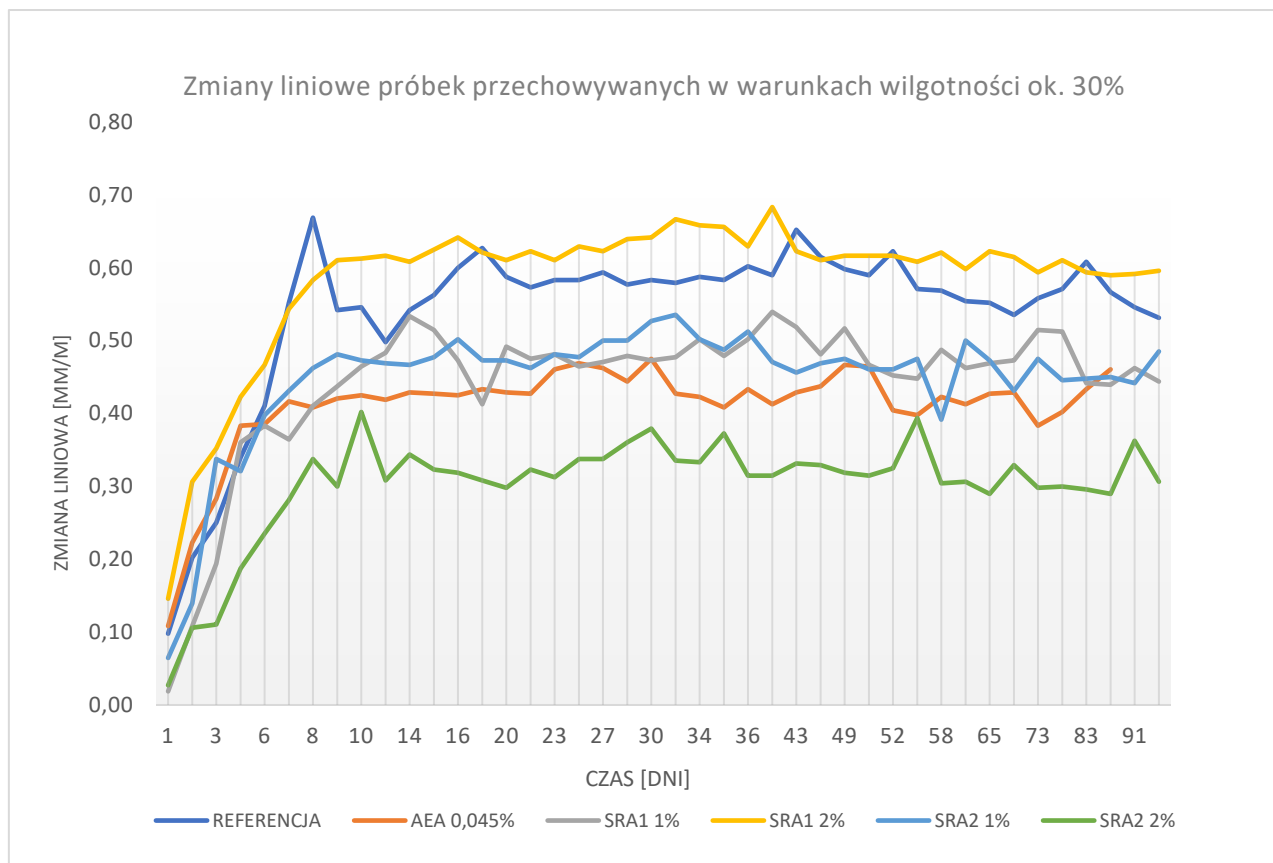


Rys. nr 5. Pielęgnacja próbek  
w eksykatorze.

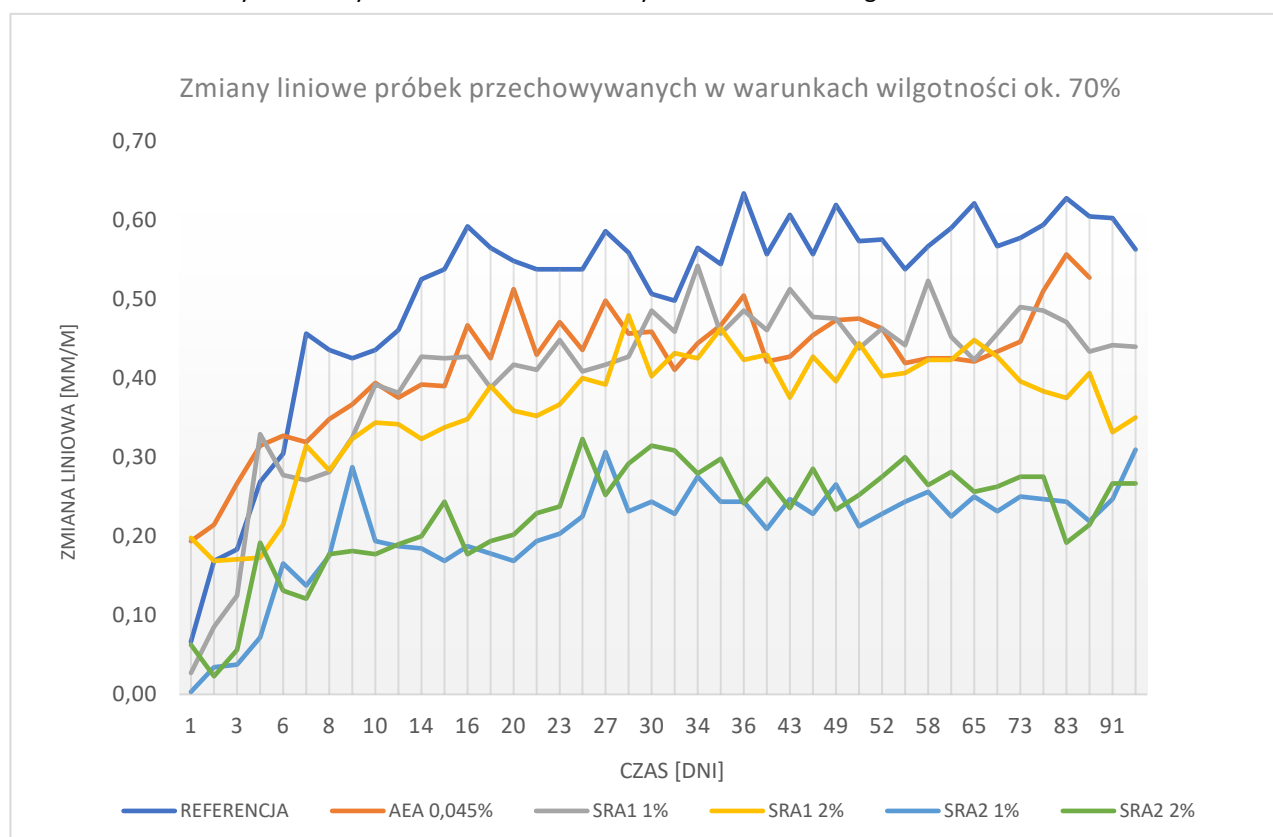
Przygotowane próbki przetrzymywano przez okres co najmniej 90 dni w odmiennych warunkach wilgotnościowych: pierwsza grupa (Rys. nr 4) – wilgotność ok. 30%, druga (Rys. nr 5) – ok. 70%.

Przebieg odkształceń skurczowych badanych próbek przedstawiono na Rys. nr 6 i Rys. nr 7. Analiza wyników badań skurczu betonów modyfikowanych dodatkiem domieszki SRA pokazuje, że wpływa ona zasadniczo na charakter odkształceń skurczowych w czasie w porównaniu do betonu referencyjnego. Wielkość tych zmian zależna jest od rodzaju bazy SRA użytej w domieszce, dozowania domieszki przeciwskurczowej oraz warunków pielęgnacji. Uzyskane wyniki jednoznacznie pokazują, że skuteczność domieszki redukującej skurcz uzależniona jest od warunków pielęgnacji betonu – przy wilgotności na poziomie 70% dla obydwu rodzajów domieszek wyraźnie widać zmniejszenie zmian liniowych w czasie w porównaniu do próbek referencyjnych – dla SRA1 spadek o średnio 30%, dla SRA2 spadek aż o ok. 65%. Dla próbek przechowywanych w warunkach wilgotnościowych ok. 30% wpływ na zmiany liniowe domieszek SRA wygląda następująco: dla SRA1 w dozowaniu 1% m. c. redukcja skurczu o ok. 20% w stosunku do betonu referencyjnego, zaś przy dozowaniu 2 % m. c. nie obserwuje się znaczących zmian liniowych w stosunku do betonu referencyjnego.





Rys. nr 6. Wyniki badania zmian liniowych w warunkach wilgotności ok. 30%.



Rys. nr 7. Wyniki badania zmian liniowych w warunkach wilgotności ok. 70%.

#### **4. Podsumowanie**

Prowadzone prace badawcze pozwoliły na dokonanie oceny skuteczności działania domieszek SRA na skurcz betonu, w zależności od rodzaju zastosowanej domieszki, dozowania i warunków pielęgnacji. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zarówno w jednym, jak i w drugim środowisku pielęgnacji, bez względu na rodzaj i wielkość dozowania domieszki SRA, zmiany skurczowe postępują dynamicznie w pierwszym tygodniu twardnienia betonu. Oceniając skuteczność stosowania domieszek SRA, można zauważyć, że zastosowanie SRA2 w ilości 2% w stosunku do masy cementu, pozwala na spowolnienie tej dynamiki nawet o około 70% dla próbek przechowywanych w warunkach 70% wilgotności oraz o około 50% dla próbek przechowywanych w warunkach 30% wilgotności. Zastosowanie domieszki napowietrzającej również wpływa korzystnie na redukcję zmian liniowych, jednakże ze względu na jej charakter działania, jej aplikacja powoduje znaczną modyfikację parametrów mechanicznych i trwałościowych betonu. Porównując parametry mechaniczne i trwałościowe betonów można zauważyć wpływ stosowanych domieszek SRA na wytrzymałość betonu. Ich zastosowanie spowodowało obniżenie zarówno wczesnych, jak i końcowych wyników wytrzymałościowych w stosunku do betonu referencyjnego. Zastosowanie domieszek SRA nie wpływa korzystnie na parametry trwałościowe betonu takie, jak: nasiąkliwość, wodoszczelność oraz mrozoodporność, czego potwierdzeniem są uzyskane wyniki badań.

Uzyskane wyniki stanowią potwierdzenie pozytywnego wpływu zastosowania domieszek SRA na redukcję zmian liniowych podczas twardnienia betonu. Skurcz betonu jest zjawiskiem, na który ma wpływ wiele czynników, stąd istnieje konieczność dalszych, obszernych badań i analiz.

#### **Literatura**

- [1] R. Pawluk, Rodzaje skurczu betonu jego znaczenie i metody zapobiegania, CWB-4/2018, 290-297
- [2] P. Łukowski, Modyfikacja materiałowa betonu, SPC, Kraków 2016, 162-170
- [3] PN-EN 197-1:2012 Cement -- Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku

- [4] PN-EN 12350-2:2019-07 Badania mieszanki betonowej -- Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka
- [5] PN-EN 12350-6:2019-08 Badania mieszanki betonowej -- Część 6: Gęstość
- [6] PN-EN 12350-7:2019-08 Badania mieszanki betonowej -- Część 7: Badanie zawartości powietrza -- Metody ciśnieniowe
- [7] PN-EN 12390-3:2019-07 Badania betonu -- Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań
- [8] PN-B 06250 Beton zwykły
- [9] PN-B-06265:2018-10 Beton - Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A1:2016-12
- [10] PN-EN 480-11:2008 Domieszki do betonów i zaprawy i zaczynu. Metody badań. Część 11: Oznaczanie charakterystyki porów powietrznych w stwardniałym betonie
- [11] PN-EN 12390-16:2020-03 Badania betonu -- Część 16: Oznaczanie skurczu betonu
- [12] ZKP IP-04/23 INSTRUKCJA PRACY Oznaczenie zmian liniowych zapraw i betonów aparatem Graf-Kaufmanna opracowana przez Stachema Polska Sp. z o.o.
- [13] K. Kłós, G. Adamczewski, Metodyka badań skurczu betonu stosowana w praktyce inżynierskiej, ABiD 2/2020, 90-95