

# **Skurcz betonu napowietrzonego**

## SHRINKAGE OF AERATED CONCRETE

### **Streszczenie**

Praca jest wstępnym podejściem do rozpoznania zagadnienia skurczu i pęcznienia betonu napowietrzonego. Badaniom poddano betony napowietrzone i nienapowietrzone wykonane z cementu portlandzkiego CEM I 32,5R, w dwóch niezależnych seriach o wskaźniku  $w/c = 0,60$  i  $w/c = 0,50$ . W pierwszej serii pomiary odkształceń były mierzone za pomocą tensometru Demec 8'' na próbkach 8x8x32 cm, a w serii drugiej za pomocą aparatu Amslera na próbkach 10x10x50 cm. Uzyskane wyniki badań wykazują, że skurcz betonu napowietrzonego mimo jego niższej wytrzymałości jest niższy niż betonu nienapowietrzonego, pęcznienie dojrzałego betonu napowietrzonego o tym samym stosunku  $w/c$  nie jest wyższe, a nawet może być niższe niż betonu nienapowietrzonego. Istotność różnic w odkształceniach nie została jednoznacznie potwierdzona. Po dokonaniu analizy dotąd nieporuszonego w literaturze zagadnienia skurczu betonu napowietrzonego oraz otrzymanych wyników, autorzy sugerują, że badania powinny być rozszerzone dla betonów o różnym składzie i koniecznie prowadzone za pomocą aparatu Amslera na próbkach 10x10x50 cm.

### **Abstract**

The work is a preliminary approach to the identifying of the shrinkage and expansion of aerated concrete. The aerated and not-aerated concrete were made of the Portland cement CEM I 32.5R, in two independent series of the indicator values  $w/c=0,60$  and  $w/c=0,50$ . Deformations of the first series concrete and the second one were measured with the Demec 8'' (on samples 8x8x32 cm) and Amsler's (on samples 10x10x50 cm) extensometers, respectively.

According to the test results, shrinkage of aerated concretes in spite of his lower strength is lower than that of not-aerated concrete. The water expansion deformation of both aerated concretes were also lower those of not-aerated concretes. However, the significance degree of the difference in deformation is not confirmed. After making analysis until now motionless in the literature of the aerated concrete shrinkage. Much more investigations of aerated concrete shrinkage and expansion should be carried out for all the kinds of cements and aggregates.

received results examinations should be widened for concrete about the all sorts line-up and The formation tests should be led with the help of Amsler's extensometer on samples 10x10x50 cm.

## 1. Wprowadzenie

Skurczem betonu nazywamy reologiczne odkształcenie własne zależne, zachodzące w wyniku reakcji cementu z wodą i utraty przez beton wody. Proces skurczu to pochodna zmian fizyko-chemicznych zachodzących w mikrostrukturze betonu. Wraz z reakcją cementu z wodą następuje zmniejszenie objętości, które nazywane jest skurczem „chemicznym” lub kontrakcją. Zmiany objętości zależą od składu mineralnego cementu. Drugim składnikiem skurczu jest skurcz przy wysychaniu powodowany przez opuszczanie zaczynu przez wodę. Proces ten rozpoczyna się po kilku godzinach, gdy beton jest jeszcze w stanie plastycznym (mówimy wówczas o skurczu plastycznym). Wysychanie w powietrzu betonu trwa przez bardzo długi czas. Główną przyczyną jest utrata powierzchniowo zaadsorbowanej wody przez żel cementowy. Możliwe jest także, że skurcz związany jest z procesem usuwania wody wewnątrzkrystalicznej. [Neville]. Duża część skurczu zachodzi jako odkształcenie nieodwracalne związane z utratą wody międzywarstwowej, tzn. ponowne nasycenie wodą nie powoduje redukcji tej części skurczu.

Szkodliwość skurczu jest związana z wywoływaniem przez niego tzw. naprężenia skurczowego prawie zawsze rozciągającego, którego wartość w wielu przypadkach przekracza wytrzymałość betonu na rozciąganie. Z tego powodu następuje nie tylko mikrorysowanie materiału, ale także wywołuje rysy szczególnie otuliny zbrojenia, a nawet pęknięcie całych elementów, np.: nawierzchni drogowych przed ich obciążeniem [6]. Znany jest także szkodliwy wpływ skurczu na konstrukcje z betonu sprężonego, głównie jeśli rozpatrywana jest kwestia nośności elementów ściskanych i zginanych oraz mimośrodowo ściskanych z uwagi na straty siły naciągu [3].

Wśród czynników zewnętrznych najistotniejszym jest środowisko zewnętrzne otaczające beton. Odkształcenia własne w środowisku nieagresywnym są generowane przede wszystkim przez wilgotność powietrza lub wodę. Odkształcenia własne typu: skurcz i pęcznienia są częściowo odwracalne. W przypadku bezpośredniego kontaktu z wodą beton ulega pęcznieniu w wyniku absorbowania wody przez mikrostrukturę stwardniałego zaczynu cementowego. Natomiast w powietrzu beton zmniejsza swoją objętość w czasie. W tym przypadku o wielkości odkształceń skurczowych decyduje wilgotność powietrza i temperatura. Wraz z wysychaniem betonu podczas hydratacji powstają wewnątrz betonu niestacjonarne i nieliniowe pola wilgotności i temperatur wywołujące naprężenia [2]. Szczególnie w początkowym okresie hydratacji pole temperatur jest najbardziej niebezpieczne, co dotyczy przede wszystkim elementów masywnych, które zwiększa naprężenia skurczowe, ponieważ zarówno pole wilgotności i temperatur na powierzchni zewnętrznej elementu wywołują odkształcenia ujemne.

Odkształcenia spowodowane przez skurcz i pęcznienie betonu klas od C12/15 do C50/60 wystawionego na oddziaływanie powietrza o średniej wilgotności względnej RH mieszczącej się w granicach 40-100% można obliczać wg wzoru [2]:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cso} * \beta_s * (t - t_s);$$

gdzie:

$\varepsilon_{cso}$  – podstawowe odkształcenie skurczowe –  $\varepsilon_{cso} = \varepsilon_s(f_m) * \beta_{RH}$ ,

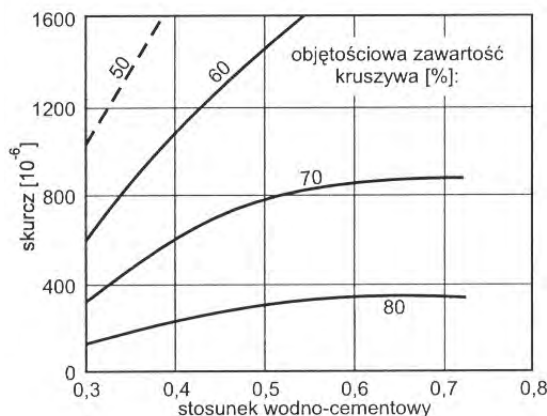
$\beta_s$  – współczynnik określający postęp skurczu,

t – wiek betonu w rozatrywanej chwili w dniach,

$t_s$  – wiek betonu,

Istnieje cały szereg czynników wewnętrznych decydujących o wielkości skurczu, wśród których należy koniecznie uwzględnić stosunek  $w/c$  i ilość cementu na  $1 \text{ m}^3$ , ilość wody, rodzaj i ilość kruszywa i dodatków mineralnych.

Najistotniejszym czynnikiem wpływu na wielkość skurczu jest stosunek  $w/c$ , który w sposób bezpośredni kształtuje strukturę porów, rozkład wielkości porów i porowatość zaczynu cementowego oraz warstwy kontaktowej kruszywo-zaczyn. Jednoznacznie ustalono, że duży udział porów kapilarnych wywołuje duży skurcz. Czyli rozważając wpływ porowatości kapilarnej na skurcz, można analizować wpływ stosunku  $w/c$  na skurcz. Zagadnienie to zostało najszerzej opracowane w badaniach i literaturze fachowej. Stosunek wpływu wielkości wartości  $w/c$  i zawartości kruszywa został zobrazowany przez A.M. Neville w [1]. Pokazane na rysunku 1 wartości są typowe dla wysychania betonu w klimacie umiarkowanym i nie zawierają zależności  $w/c$ , zawartości kruszywa od wpływu wprowadzonego powietrza.



Rys. 1. Wpływ stosunku  $W/C$  i zawartości kruszywa na skurcz betonu

Analizując obecną literaturę fachową można stwierdzić, że o ile znane są: matematyczne metody obliczania skurczu, wpływ stosunku  $w/c$ , wpływ rozkładu i wielkości porów kapilarnych, o tyle powstają pytania odnośnie skurczu betonów napowietrzonych, których porowatość jest większa nawet o 4,0%. Czy wprowadzenie dodatkowych porów w mikrostrukturę betonu również zwiększa skurcz, a co za tym idzie jaki będzie to miało wpływ na rysowanie się konstrukcji?

## 2. Cel, materiały i metody badań.

### 2.1. Cel badań

Celem badań jest wstępne rozpoznanie zagadnienia **skurczu betonów napowietrzonych** (o podwyższonej odporności mrozowej) ze względu na brak informacji na ten temat w literaturze naukowo-technicznej.

## 2.2. Materiały i metody badań

Badania były przeprowadzane w dwóch niezależnych od siebie seriach. Do wykonania betonu w obu seriach użyto cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R. W każdej z serii wykonywano zarówno bez domieszki napowietrzającej oraz z domieszką napowietrzającą, w ilości 0,20% masy cementu.

Podczas badań w serii pierwszej wykorzystano beton o stosunku wodno-cementowym  $w/c = 0,60$ , na bazie kruszywa łamanego wapiennego (Trzuskawica) (2,00-16,00 mm) a w serii drugiej o stosunku wodno-cementowym  $w/c = 0,50$ , na bazie kruszywa grubego łamanego dolomitowego (2,00-16,00 mm) oraz naturalnego piasku kopalnianego (0,0-2,0 mm). W serii drugiej procentowa zawartość kruszyw w stosie okruszowym kształtowała się następująco: piasek – 33,0%, kruszywo średnie 30,0%, kruszywo grube 37,5%. Skład mieszanek przedstawiał się następująco:

Tablica 1. Skład mieszanek betonowych na 1 m<sup>3</sup>, [kg]

beton zwykły $w/c=0,60$	beton napowietrzony $w/c=0,60$	beton zwykły $w/c=0,50$	beton napowietrzony $w/c=0,50$
W=210	W=210	W=190	W=190
C= 350	C= 350	C= 380	C= 380
K <sub>2-8</sub> = 540	K <sub>2-8</sub> = 540	K <sub>2-8</sub> = 531	K <sub>2-8</sub> = 531
K <sub>8-16</sub> = 625	K <sub>8-16</sub> = 625	K <sub>8-16</sub> = 660	K <sub>8-16</sub> = 660
P= 650	P= 650	P= 600	P= 600
	D <sub>m</sub> = 0,70		D <sub>m</sub> = 0,76

Konsystencja mieszanki w serii pierwszej była półciekła, a w drugiej plastyczna.

W badaniach wykonano następujące oznaczenia: **gęstości objętościowej mieszanki betonowej, zawartości powietrza metodą ciśnieniową, wytrzymałości na ściskanie** oraz pomiary **odkształceń własnych – skurczu i pęcznienia**. Dla betonów w serii drugiej otrzymano gęstości: dla betonu nienapowietrzonego – 2,602 kg/dm<sup>3</sup> oraz dla betonu napowietrzonego – 2,488 kg/dm<sup>3</sup>. W obu seriach w betonie nienapowietrzonym otrzymano zawartość powietrza 2,1% natomiast w betonie napowietrzonym w serii pierwszej zawartość powietrza wynosiła 6,4, a w serii drugiej 6,1%.

Po rozformowaniu próbek wystąpiły problemy z zachowaniem stałego poziomu wilgotności ze względu na brak komory. Próbki w serii pierwszej były przechowywane w wilgotności 35-50%, a w serii drugiej w wilgotności 30-45%. Próbki były przechowywane w temp. 18±2°C. W serii pierwszej okres przechowywania próbek wynosił 400 dni oraz 150 dni zanurzenia w wodzie, a w serii drugiej okres przechowywania 210 dni oraz 28 dni zanurzenia w wodzie. W obu seriach do każdego oznaczenia wykorzystano po 3 próbki (3 próbki dla betonu bez napowietrzenia i 3 próbki dla betonu z napowietrzeniem.)

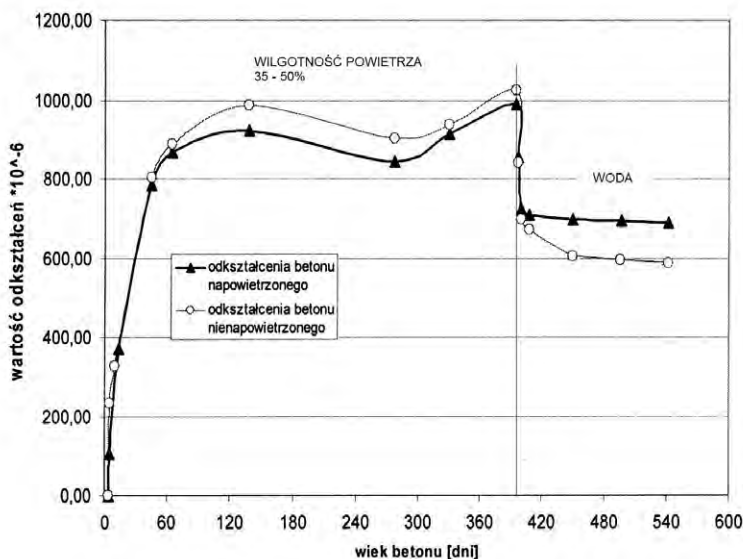
Do pomiarów skurczu w serii pierwszej użyto próbek 8x8x32 cm z czopikami naklejonymi na bocznych ścianach próbki oraz tensometru Demec 8", w serii drugiej użyto aparatu Amslera i próbek o wymiarach 10x10x50 cm z czopikami wbetonowanymi w czoła próbki na głębokość 25,00 mm. Do oznaczenia klasy wytrzymałości na ściskanie w obu seriach użyto próbek o wymiarach 15x15x15 cm.

### 3. Omówienie wyników badań i dyskusja

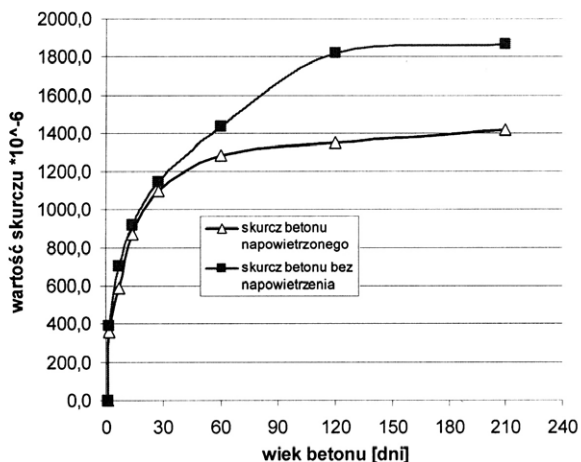
#### 3.1. Skurcz i pęcznienie

Na rysunku 2 pokazano zależności skurczu od czasu przy wilgotności względnej 35-50% i pęcznienia w wodzie dla betonu napowietrzonego i nienapowietrzonego o  $w/c = 0,60$ .

Wartości odkształceń skurczu betonów napowietrzonego i nienapowietrzonego w serii pierwszej (stosunek  $w/c = 0,60$ ) nie różniły się od siebie istotnie. Natomiast pęcznienie w wodzie betonu napowietrzonego było wyraźnie mniejsze.



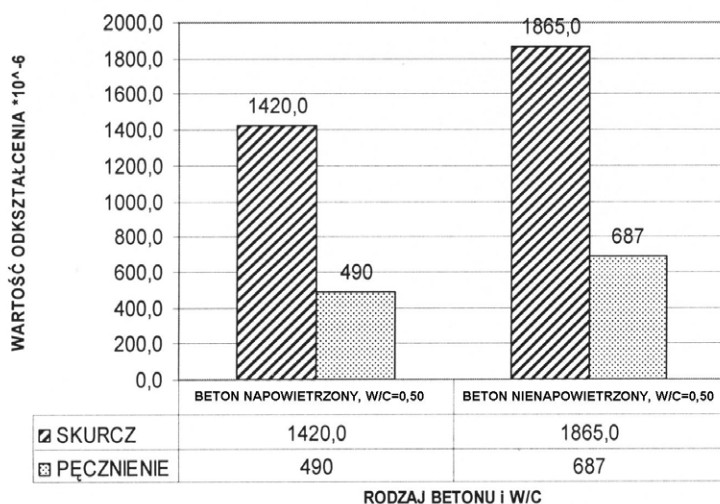
Rys. 2. Skurcz i pęcznienie betonu nienapowietrzonego i napowietrzonego o stosunku  $w/c = 0,60$  od wieku 4 dni (seria pierwsza)



Rys. 3. Skurcz betonu nienapowietrzonego i napowietrzonego o stosunku  $w/c = 0,50$  w czasie badania od wieku 1 dnia (seria druga)

Na rysunku 3 pokazano zależności skurczu od czasu przy wilgotności względnej 30-45% dla betonu napowietrzonego i nienapowietrzonego drugiej serii ( $w/c = 0,50$ ). Skurcz betonu napowietrzonego od wieku 30 dni przyrastał wolniej niż betonu nienapowietrzonego. Po 210 dniach różnica w wartościach skurczu obu betonów wynosiła  $445 \times 10^{-6}$  czyli 24%, którą należy uznać za istotną (rys. 3 i 4).

Na rysunku 4 dokonano porównania obu odkształceń własnych betonu napowietrzonego i nienapowietrzonego. Pęcznienie betonu napowietrzonego jest wyraźnie niższe niż pęcznienie betonu nienapowietrzonego, co potwierdza ten sam charakter zależności pomiędzy odkształceniami skurczu tych betonów.



Rys. 4. Skurcz i pęcznienie betonu napowietrzonego i nienapowietrzonego o stosunku  $w/c = 0,50$  (seria druga)

### 3.2. Określenie klasy wytrzymałości na ściskanie.

W tabelicy 2 przedstawiono wartości średnie wytrzymałości na ściskanie oraz ich klasyfikację zgodnie z PN-EN-206-1.

Tablica 2. Klasy wytrzymałości na ściskanie

Rodzaj betonu	beton zwykły $w/c = 0,60$	beton napowietrzony $w/c = 0,60$	beton zwykły $w/c = 0,50$	beton napowietrzony $w/c = 0,50$
Średnia wytrzymałość na ściskanie [MPa]	$f_{cm} = 30,5$	$f_{cm} = 24,7$	$f_{cm} = 36,0$	$f_{cm} = 28,3$
Klasa wytrzymałości	C20/25	C16/20	C25/30	C16/20

Napowietrzenie betonu spowodowało obniżenie wytrzymałości betonu o dwie klasy. Wystąpił spadek wytrzymałości na ściskanie średnio, 19,0% w serii pierwszej oraz o 21,2%, w serii drugiej, co daje 5,32% spadku wytrzymałości na 1,0 % napowietrzenia. Zgodne jest to z obserwacją podawaną przez Rusina [4]. Mimo niższej wytrzymałości betonów napowietrzonych średnio o 20,0% w badaniach nie stwierdzono zwiększenia skurczu, co podają normy i literatura techniczna. Jednak nie można zapomnieć, że w tym przypadku obniżenie wytrzymałości było związane z wprowadzeniem porów o zupełnie innej strukturze niż pory kapilarne. Stąd autorzy sugerują, aby przy projektowaniu konstrukcji uwzględnić nie tylko wytrzymałość, ale także strukturę porowatości.

## 4. Wnioski

Dokonując analizy dotąd nieporuszonego w literaturze zagadnienia skurczu betonu napowietrzonego, przeprowadzono badania własne, na podstawie których wyciągnięto następujące wnioski:

- skurcz betonu napowietrzonego mimo jego niższej wytrzymałości jest niższy niż betonu nienapowietrzonego,
- pęcznienie dojrzałego betonu napowietrzonego o tym samym stosunku w/c nie jest wyższe, a nawet może być niższe niż betonu nienapowietrzonego,
- zdecydowanie lepszą metodą badania skurczu jest wykorzystywanie aparatu Amslera tuż po rozformowaniu próbki oraz pomiar w osi próbki,
- wyjaśnienie zagadnienia skurczu betonów napowietrzonych wymaga dalszych szerokich badań,

## Literatura

- [1] Neville A.C.: Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2000.
- [2] Flaga K.: Skurcz betonu i jego wpływ na nośność, użytkowość i trwałość konstrukcji żelbetowych i sprężonych, Politechnika Krakowska, Kraków 2002.
- [3] Ajdukiewicz A., Mames J.: Konstrukcje z betonu sprężonego, PWN, Warszawa 2004.
- [4] Rusin Z.: Technologia betonów mrozoodpornych, Polski Cement, Kraków 2002.
- [5] Weigler H., Karl S.: Beton. Arten-Herstellung-Eigenschaften, Ernst und Sohn, Berlin 1989.
- [6] Giergiczny Z. i in.: Droga lokalna Ujazd-Zimna Wódka w technologii betonowej, Konf. Dni Betonu, Polski Cement 2006.