

BETONY PODKŁADOWO-WYRÓWNAWCZE – MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA SKURCZU

Natalia STANKIEWICZ*, Małgorzata A. LELUSZ

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Betony podkładowo-wyrównawcze stosowane są jako warstwa wyrównawcza pod posadzki lub fundamenty. Pełnią one drugorzędą rolę w całej budowlę. Jednak ich właściwości w bardzo dużym stopniu wpływają na ogólną trwałość konstrukcji, a odkształcenia skurczowe mogą mieć negatywny wpływ na całą budowlę. Pomimo istotności zjawiska skurczu betonów podkładowo-wyrównawczych zagadnienie to nie zostało do dzisiaj dostatecznie rozpoznane. W artykule przedstawione zostaną badania mające na celu określenia wpływu współczynnika wodno-cementowego oraz ilości kruszywa na odkształcenia skurczowe zapraw cementowych. Zwiększenie stosunku zawartości kruszywa względem ilości cementu z $k/c = 4$ do $k/c = 18$ spowodowało zmniejszenie skurczu badanych próbek o około 37,5%. Natomiast wzrost wskaźnika w/c z 0,5 do 0,9 skutkowało wzrostem odkształceń nawet o 96,5%.

Słowa kluczowe: beton podkładowo-wyrównawczy, skurcz betonu, odkształcenia skurczowe.

1. Wprowadzenie

Beton podkładowo-wyrównawczy, czyli tak zwany „chudy beton” ma zastosowanie jako warstwa wyrównawcza podłoża gruntowego, na którym zostanie posadowiona budowla, jak też stosowany jest do przygotowania obudów stabilizujących przewody umieszczone w wykopach. Beton podkładowy wykorzystuje się także w budownictwie drogowym, gdzie stanowi fragment części nośnej nawierzchni drogowej. Zgodnie z normą PN-S-96013 *Drogi samochodowe. Podbudowa z chudego betonu. Wymagania i badania* podbudowa taka składa się z jednej lub dwóch warstw zagęszczonej chudej mieszanki betonowej. Jeśli chodzi o samo pojęcie „chudego betonu” to norma definiuje go, jako materiał budowlany uzyskiwany poprzez wymieszanie kruszyw mineralnych z cementem (maksymalnie 130 kg/m^3) w ilości od 5% do 7% w stosunku do masy kruszywa oraz optymalną zawartością wody, którego wytrzymałość na ściskanie f_{c28} wynosi od 6 do 9 MPa po zakończeniu procesu wiązania. Norma PN-S-96013 podaje również wymagania dotyczące materiałów stosowanych w betonach podkładowo-wyrównawczych. Należy stosować cement portlandzki lub hutniczy klasy 32,5 oraz kruszywa naturalne, łamane lub żuźlowe. W niewielu publikacjach można znaleźć informacje dotyczące właściwości chudych betonów, pomimo tego jest on wykorzystywany na każdej budowie.

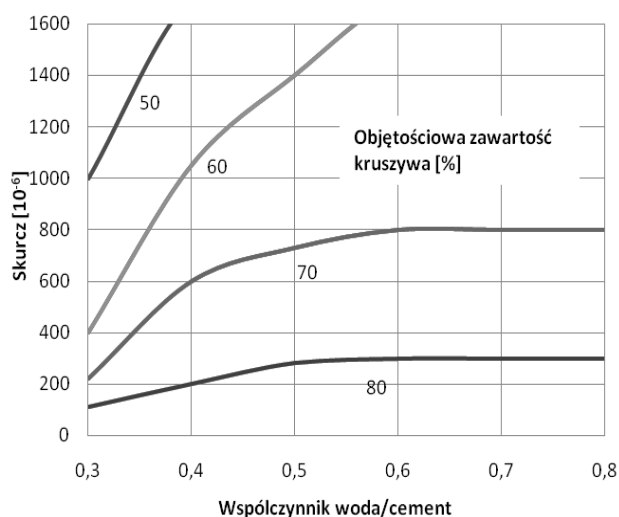
Ze względu na swój skład betony podkładowo-wyrównawcze można uznać za grunt stabilizowany cementem, dlatego też w ofercie firm budowlanych występuje on obok podbudów, stabilizacji czy podsyppek

cementowo-piaskowych. Są to materiały o podobnym składzie: niewielka ilość cementu względem zawartości kruszywa oraz woda. Te mieszanki kruszywowo-cementowe po odpowiednim zagęszczeniu stosowane są jako różnego rodzaju podbudowy drogowe, warstwy wyrównujące i wzmacniające podłożę pod posadzki lub nawierzchnie brukowe, jak również podczas wymiany gruntów pod fundamentami bezpośrednimi. Przed ułożeniem mieszanki i w trakcie robót przeprowadzane są badania kontrolne. Sprawdzana jest wilgotność, wskaźnik zagęszczenia, wytrzymałość stwardniałej mieszanki po 7 i 28 dniach, a czasem również mrozoodporność. Wytrzymałość po 28 dniach podbudów i stabilizacji wahają się od 0,5 do 9 MPa, natomiast w podsypkach cementowo-piaskowych parametr ten zmienia się w zakresie od 1,5 MPa do 25 MPa, w zależności od stosunku cement-kruszywo (Pisarczyk, 2005). Badania bieżące nie obejmują kontroli odkształceń skurczowych, które są wielokrotnie źródłem uszkodzeń całej konstrukcji, zwłaszcza w przypadku wielkopowierzchniowych podbudów.

Większość badań dotyczących oceny wpływu skurczu betonu na jego właściwości dotyczy betonów konstrukcyjnych. Stwardniały zaczyn cementowy jest głównym źródłem skurczu w kompozycie cementowym. Można go jednak ograniczyć poprzez zastosowanie odpowiedniej ilości drobnego i grubego kruszywa. Zależność skurczu od współczynnika wodno-cementowego oraz ilości objętościowej kruszywa przedstawia rysunek 1. Im wyższa zawartość kruszywa w betonie, tym mniejsze odkształcenia skurczowe przy

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: n.stankiewicz@pb.edu.pl

stałym wskaźniku w/c. Im wyższa zawartość wody względem masy cementu przy stałej ilości kruszywa, tym większy skurcz (Brooks, 2015). Wpływ skurczu określany jest głównie w mieszankach betonowych, w których kruszywo stanowi maksymalnie 80% (rys. 1). W mieszankach kruszywowo-cementowych zawartość ta sięga nawet 90%. Ze względu na to, że chude betony zawierają dużo kruszywa, wpływ odkształceń skurczowych na ich właściwości powinien być niewielki. Jednakże warunki pracy podbudowy z chudego betonu nie są w pełni jednoznaczne.



Rys. 1. Wpływ współczynnika w/c i ilości kruszywa na skurcz kompozytów cementowych (Brooks, 2015)

Przyczyną uszkodzeń podbudów są głównie obciążenia zewnętrzne, aczkolwiek w nieobciążonym gruncie występują naprężenia powstałe na skutek skurczu, pęcznienia lub zmian temperatury. Źródłem odkształceń objętościowych w betonie jest ruch wody, gdy gruncie wysycha następuje skurcz, gdy pochłania wodę – pęcznieje. Zmiany zachodzące w podbudowie zależą w dużej mierze od wilgotności podłoża. Ewentualne podciąganie kapilarne wody może spowodować wzrost zawartości wody w mieszance. Może dochodzić do pęcznienia w dolnych warstwach podbudowy oraz do skurczu w górnych warstwach. Powstają spękania na skutek nierównomiernych zmian objętościowych (Pieczara, 1975). Naprężenia, głównie rozciągające powodują mikrozarzysowania, które dalej prowadzą do rys, a nawet spękań całego elementu. To one mogą być źródłem uszkodzeń konstrukcji, zwłaszcza w przypadku podbudów lub warstw wyrównawczych o dużej powierzchni.

Pomimo istotności zjawiska skurczu betonów podkładowo-wyrównawczych, zagadnienie to nie zostało do dzisiaj dostatecznie rozpoznane. Było to powodem podjęcia badań, których celem jest ocena wpływu współczynnika wodno-cementowego oraz ilości kruszywa na odkształcenia skurczowe zapraw cementowych zawierających dużą ilość kruszywa.

2. Badania własne

Zgodnie z przyjętym celem pracy zdecydowano się zbadać skurcz oraz wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych w zależności od: ilości kruszywa k/c oraz współczynnika wodno-cementowego w/c. Zakresy zmienności rozpatrywanych czynników podano w tabeli 1.

Tab. 1. Zakresy zmienności rozpatrywanych czynników

Czynniki zmienne	Kod	Poziom zmienności		
		-1	0	1
Ilość kruszywa (k/c)	X_1	18	11	4
Współczynnik wodno-cementowy (w/c)	X_2	0,5	0,7	0,9

Ilości cementu względem zawartości kruszywa zmieniają się w zakresie od 25% (stosunek zbliżony to stosowanego z zaprawie normowej), poprzez 9%, aż do 5,5% (zawartość cementu zgodna z recepturą chudego betonu w normie PN-S-96013). Zmienność współczynnika wodno-cementowego była uwarunkowana uzyskaniem odpowiedniej konsystencji mieszanki w celu zagęszczenia. Podwyższone zawartości wody miały też odpowiadać ewentualnemu podwyższeniu w/c mieszanki w podbudowach na placu budowy związanemu z podciąganiem kapilarnym.

Badania przeprowadzono na próbkach zapraw cementowych o składzie zgodnym z planem eksperymentu, przedstawionym w tabeli 2. Do przygotowania próbek stosowano cement CEM I 32,5 R. Jako kruszywo wykorzystywano piasek naturalny o uziarnieniu do 2 mm.

Tab. 2. Plan eksperymentu oraz składy zapraw cementowych

Nr serii	X_1	X_2	Cement [kg/m ³]	Kruszywo [kg/m ³]	Woda [dm ³ /m ³]
1	-1	-1	118	2127	59
2	0	-1	181	1991	90
3	+1	-1	386	1544	193
4	-1	0	115	2073	81
5	0	0	174	1914	122
6	+1	0	355	1422	249
7	-1	+1	112	2021	101
8	0	+1	167	1842	151
9	+1	+1	329	1318	296

Każdą z zapraw przygotowano zgodnie z normą PN-EN 196-1 *Metody badania cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*. W formach trójdzielnych formowano próbki-beleczki o wymiarach 40×40×160 mm. Zagęszczanie zapraw przeprowadzono na wstrząsarce. Próbki rozformowano po 24 godzinach dojrzewania Beleczki do badań wytrzymałościowych umieszczono w komorze klimatycznej w temperaturze 20±2°C oraz wilgotności 95±5%. Natomiast próbki do badania skurczu ze stalowymi czopikami zabetonowanymi na końcach beleczek po rozformowaniu przechowywano

w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ oraz wilgotności $65 \pm 5\%$.

Badania wytrzymałości na ściskanie oraz na rozciąganie przy zginaniu po 28 dniach dojrzewania przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 196-1 w prasie hydraulicznej. Badanie skurczu zostało wykonane według normy PN-EN 13454-2 *Spoiwa, spoiwa wieloskładnikowe oraz otrzymywane fabrycznie mieszanki na podkłady podłogowe na bazie siarczanu wapnia. Część 2: Metody badań z wykorzystaniem aparatu Graff-Kaufmana*. Odształcenia skurczowe monitorowano przez 120 dni. Pierwszy pomiar wykonano po 48 godzinach od zaformowania, następne codziennie przez 14 dni, po czym odczyty ograniczono do jednego w tygodniu. Wartości skurczu kompozytów cementowych obliczano według wzoru:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l} = \frac{L_i - L_0}{l} \quad (1)$$

gdzie: ΔL jest zmianą długości próbki w mm, l jest długością próbki w mm, L_0 jest długością początkową próbki w mm, a L_i jest długością próbki w dniu pomiaru w mm.

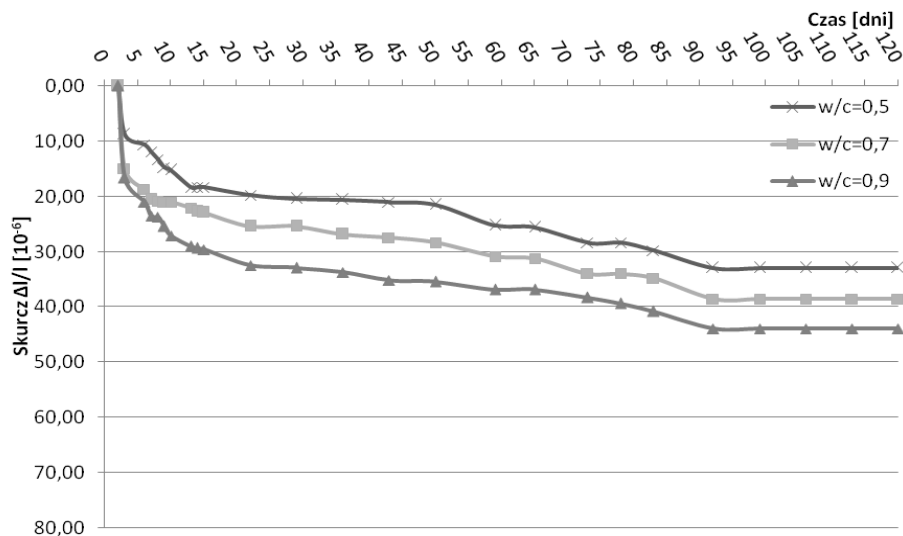
3. Wyniki badań i ich analiza

Na podstawie wyników badań odształceń skurczowych można stwierdzić, że największy wpływ miał współczynnik w/c. Bez względu na wartość współczynnika wodno-cementowego zaobserwowano zbliżony przebieg zmian objętościowych próbek w czasie. Najlepiej przedstawia to wykres zależności skurczu zapraw cementowych od czasu i wskaźnika wodno-cementowego dla $k/c = 18$ (rys. 2). Największy przyrost skurczu zanotowano w ciągu pierwszych trzech dni. Wynosił on od 25 do 35% odształceń końcowych.

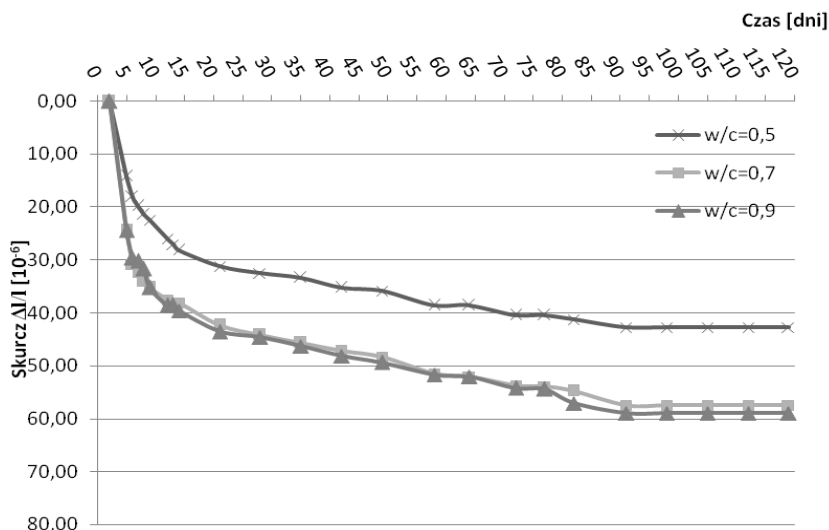
Dynamika zmian liniowych zmniejszyła się po około 15 dniach, by osiągnąć poziom około 40% zmian całkowitych. Zmiany skurczowe odnotowywano do 95-tego dnia. Można również zauważyć regularność i przewidywalność wpływu zmian zawartości wody na odształcenia skurczowe próbek z najwyższą zawartością kruszywa. Zwiększenie współczynnika wodno-cementowego wpłynęło niekorzystnie na skurcz betonów podkładowo-wyrównawczych. Jak można zauważyć na rysunkach 2-4, na których zostały przedstawione zależności skurczu zapraw cementowych od czynników zmiennych, największym skurczem charakteryzowały się próbki o najwyższej zawartości cementu oraz przy najwyższym w/c. Badania potwierdzają więc, że skurcz zależny jest głównie od ilości zaczynu cementowego w kompozytach cementowych. Największy wpływ współczynnika w/c był zauważalny w próbkach, w których kruszywa było 4-krotnie więcej niż cementu. Przy wzroście zawartości wody w składzie zaprawy wartości skurczu również rosły. Przy zmianie w/c z 0,5 do 0,7 zanotowano około 73% wzrost odształceń skurczowych, natomiast przy współczynniku wynoszącym 0,9 wzrosły one nawet o 96,5%.

Skurcz próbek o najniższym w/c rośnie mniej gwałtownie wraz ze zwiększaniem zawartości cementu, w porównaniu z seriami o większej zawartości wody.

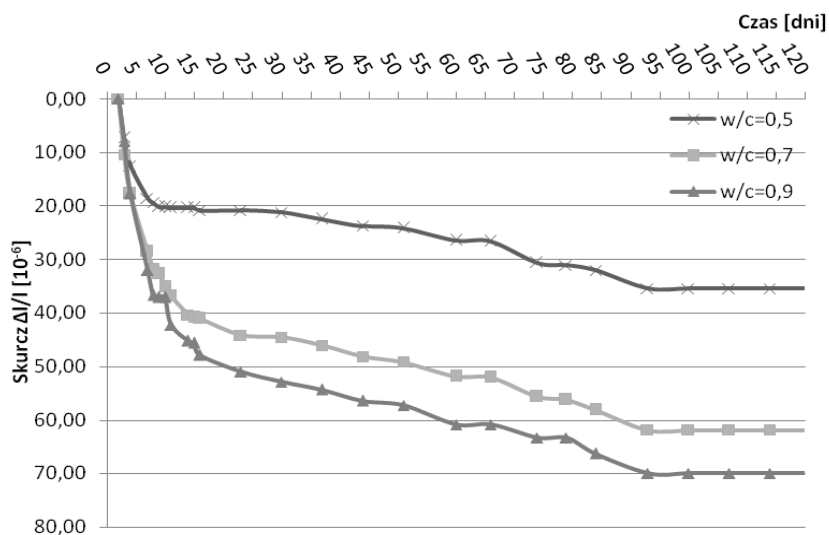
Wzrost zawartości kruszywa względem ilości cementu powodował spadek wartości skurczu. Zmiana z $k/c = 4$, do $k/c = 11$, a następnie do $k/c = 18$, spowodowała spadek odształceń o odpowiednio około 16% oraz około 37,5% w próbkach z największą zawartością wody. Najmniejsze zmiany można zauważyć w zaprawie o współczynniku wodno-cementowym wynoszącym 0,5. Odształcenia skurczowe próbek wzrosły o około 20% przy zmianie zawartości kruszywa z $k/c = 18$ do $k/c = 4$.



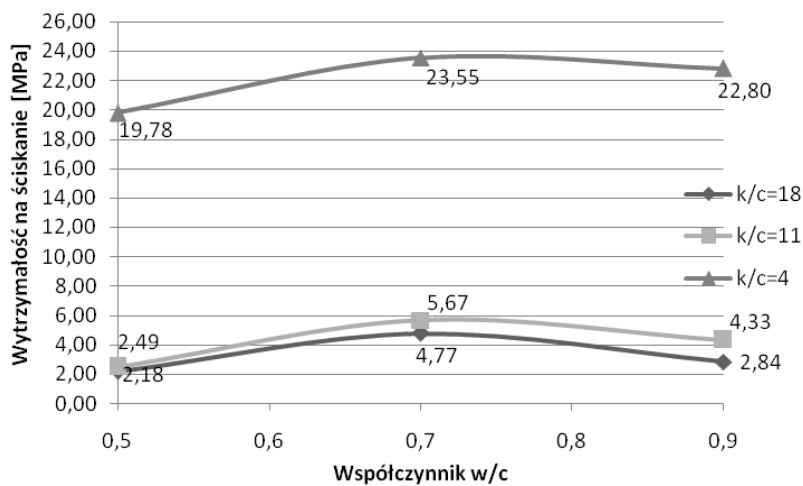
Rys. 2. Zależności skurczu zapraw cementowych od czasu i wskaźnika wodno-cementowego dla zawartości kruszywa $k/c = 18$



Rys. 3. Zależności skurczu zapraw cementowych od czasu i wskaźnika wodno-cementowego dla zawartości kruszywa $k/c = 11$



Rys. 4. Zależności skurczu zapraw cementowych od czasu i wskaźnika wodno-cementowego dla zawartości kruszywa $k/c = 4$



Rys. 5. Zależności wytrzymałości na ściskanie próbek zapraw cementowych od wskaźnika w/c przy różnych zawartościach kruszywa k/c

Wytrzymałość na ściskanie badanych próbek zapraw cementowych była ściśle związana z zawartością kruszywa w zaprawie (rys. 5). Najwyższe wytrzymałości uzyskały serie próbek o najniższej zawartości kruszywa i najwyższej ilości cementu z zaprawie, charakteryzowały się one również największymi zmianami skurczowymi. Próbki zawierające większe ilości kruszywa miały kilkakrotnie niższe wytrzymałości na ściskanie, ale również mniejsze odkształcenia skurczowe. Można również zauważyć, że podwyższenie współczynnika w/c do 0,9 spowodowało spadek wytrzymałości we wszystkich seriach próbek zaprawy. Za optymalny wskaźnik w/c uznano 0,7 w rozpatrywanym zakresie zmian czynników.

4. Podsumowanie

Betony podkładowo-wyrównawcze często nie są poddawane pełnej kontroli technicznej, mimo że są szeroko stosowane w budownictwie. Odkształcenia skurczowe, które występują w tych warstwach o dużej zawartości kruszywa, mogą mieć negatywny wpływ na całą budowlę.

Na podstawie wyników badań odkształceń skurczowych zapraw cementowych można stwierdzić, że zwiększenie zawartości wody powodowało wzrost skurczu, natomiast im wyższy był wskaźnik kruszywo-cement, tym odkształcenia skurczowe były mniejsze. Zwiększenie stosunku kruszywa względem ilości cementu z $k/c = 4$ do $k/c = 18$ spowodowało spadek skurczu badanych próbek o około 37,5%. Natomiast wzrost wskaźnika w/c z 0,5 do 0,9 skutkowało wzrostem odkształceń nawet o 96,5%. Wyniki badań potwierdzają, że zwiększenie zawartości kruszywa względem ilości cementu prowadzi do redukcji skurczu. Równoczesne zmniejszenie współczynnika wodno-cementowego również pozytywnie wpływa na ograniczenie odkształceń skurczowych w zaprawach cementowych o dużej zawartości kruszywa. Zatem jednym ze sposobów ograniczenia skurczu betonów podkładowo-wyrównawczych jest zwiększenie zawartości kruszywa, przy równoczesnym zmniejszeniu ilości cementu. Trzeba jednak wziąć również pod uwagę zawartość wody, która w bardzo dużym stopniu wpływa na odkształcenia

skurczowe. Wskaźnik wodno-cementowy jest szczególnie ważny w warstwach podkładowych, w których może dochodzić do podciągania kapilarnego wody. W związku z tym, należy większą wagę przywiązywać do przeprowadzania bieżącej kontroli betonów podkładowo-wyrównawczych, ze szczególnym uwzględnieniem odkształceń skurczowych.

Literatura

- Brooks J.J. (2015). Concrete and Masonry Movements. *Elsevier*.
 Pieczara H. (1975). Tensometryczne badanie odkształceń w podbudowach z gruntów spoistych stabilizowanych cementem. *Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.
 Pisarczyk S. (2005). Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego. *Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa.

LEAN CONCRETES – POSSIBILITIES TO REDUCE SHRINKAGE

Abstract: Lean concretes fulfil a secondary role in the whole building. However, their properties have a huge impact on the overall durability of the structure. These concretes are most often used as an equalising layer under the floor or as a base for the foundations. Shrinkage deformations of the lean concrete, which is an essential part of every construction site, may have a negative impact on the entire building. Despite the significance of the lean concrete shrinkage phenomenon, this issue has not been sufficiently recognised to this day. A study to determine the effect of water-cement ratio and the amount of aggregate on shrinkage cement mortars deformations is presented in the paper. It is shown that the increase of the aggregate-cement ratio from $k/c = 4$ to $k/c = 18$ decreases the shrinkage of tested samples of approximately 37.5%. The increase in water-cement ratio from 0.5 to 0.9 causes an increase in shrinkage deformations up to 96.5%.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy numer S/WBiŚ/1/16 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.