

D. A. Adedokun, R. W. Salim, J. M. Ndambuki

Department of Civil Engineering, Tshwane University of Technology, Pretoria, South Africa

Przeciwdziałanie wpływowi dużej zasadowości wody zarobowej (rozpuszczony węglan sodu) na wiązanie i wytrzymałość betonu z popiołem lotnym za pomocą białego cukru

Counteracting the influence of strong alkaline substance (sodium carbonate) in mixing water, on the strength and setting properties of fly ash concrete using white sugar

1. Wstęp

Jakość wody stosowanej do produkcji betonu ma duży wpływ na jego właściwości w stanie świeżym jak i po stwardnieniu. Te właściwości obejmują także czas wiązania i przyrost wytrzymałości (1). Zanieczyszczenia zawarte w wodzie można podzielić na organiczne [na przykład algi, cukier, oliwa] (1) i nieorganiczne, do których można zaliczyć sole obojętne, substancje silnie alkaliczne, słabo kwaśne, lub o silnej kwasowości (2). Przykładami związków chemicznych są siarczany, chlorki i sól oraz potas (3). Jest mało badań wpływu dużego zanieczyszczenia sodem lub potasem na czas wiązania i przyrost wytrzymałości betonu (2). W tabelicy 1 porównano zawartości graniczne zanieczyszczeń w wodzie zarobowej w normach angielskich i amerykańskich, które określają dopuszczalne stężenie leżące w zakresie od 600 do 1500 mg/l.

Jest generalny konsensus na stosowanie wody pitnej jako wody zarobowej do betonu. Jednakże nie musi ona być zawsze przydatna, na przykład gdy zawiera duże stężenie sodu i potasu co może spowodować podatność betonu na reakcję wodorotlenkową tych pierwiastków z krzemionką w kruszywie (4).

1. Introduction

The quality of water used in the production of concrete has a significant effect on its properties at the fresh and hardened state. Some of these properties includes; the setting time and strength development respectively (1). The impurities present in water can be classified as organic (such as Algae, sugar and oil) (1), and chemical (which are grouped as neutral salts, strong alkaline substances, slightly acidic substances and strong acids) (2). Examples of chemical impurities in water are sulphates, chlorides and alkalis (3). There are limited studies on the effect of strong alkali contaminants on the setting and strength development properties of concrete (2). Table 1 compares the limits of impurities in mixing water based on the British and American standards which depicts an allowable range of 600-1500 mg/l.

There is a general consensus on the acceptability of potable water as suitable for mixing of concrete. However this may not be absolutely satisfactory when drinking water contains a high concentration of alkalis of sodium and potassium which would make the concrete prone to alkali silica reaction (4).

Tablica 1 / Table 1

DOPUSZCZALNE ZAWARTOŚCI ZANIECZYSZCZEŃ W WODZIE ZAROBOWEJ, mg/l (ppm) (4)

LIMITS OF IMPURITIES IN MIXING WATER, mg PER LITER (ppm) (4).

Impurity/Zanieczyszczenie	BS 3148:1980	BS EN 1008:2002	ASTM C1602/C1602M-06
Chloride ions / jony chlorkowe: Prestressed concrete / wstępnie sprężony beton Reinforced concrete / beton zbrojony Plain concrete / niezbrojony beton	500	500 1000 4500	500 1000
Sulfates/siarczany	1000 (SO ₃)	2000 (SO ₃)	3000 (SO ₄)
Alkalis/sód lub potas	1000	1500	600

Węglan sodu jest znanym przyspieszaczem, który powoduje szybkie wiązanie betonu (1). Wcześniejsze badania pokazały, że im większe jest stężenie Na₂CO₃ tym większy jest jego niekorzystny wpływ na rozwój wytrzymałości betonu (1, 5).

Cukier jest opóźniaczem, który stosuje się zwykle w ilości do 1% (6). W związku z jego opóźniającym działaniem wytrzymałość po 7 dniach jest obniżona, natomiast wzrost po 28 dniach jest znaczny (1). Oyekan (9) stwierdził wzrost wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach twardnienia betonu przy dodatku cukru wynoszącym 0,05% masowych spoiwa. Badania przeprowadzone przez Bloema (10) na zaprawie cementowej wykazały, że dodatek cukru wynoszący 0,2% masowych cementu zwiększył wytrzymałość na ściskanie zaprawy o 30%. Jednak rozformowanie póbek uległo opóźnieniu o ponad 24 h, w związku z przedłużeniem czasu wiązania zaprawy przez cukier.

Cukier spowalnia reakcje glinianu trójwapniowego i krzemianu trójwapniowego, które są najszybciej hydratyzującymi fazami cementu (7) i są odpowiedzialne za właściwości cementu w początkowym okresie. Po pewnym okresie hydratacja przebiega z przeciętną szybkością, w związku z objęciem tym procesem krzemianu dwuwapniowego. Wpływ cukru jako opóźniacza zaznacza się zwykle w okresie początkowych 24 godzin do 72 godzin (8) i może on zostać związany w hydratyzującym zaczynie i nie będzie miał niekorzystnego wpływu na skład i właściwości betonu.

Celem podjętych doświadczeń było zbadanie wpływu dodatku cukru do wody zarobowej o dużym zanieczyszczeniu sodem na czas wiązania i wytrzymałość betonu.

2. Materiały i metody

2.1. Materiały

W badaniach stosowano następujące materiały:

Cement

Stosowano cement portlandzki CEM 1 42,5.

Drobne kruszywo

Drobnym kruszywem był kruszony piasek dostarczony przez Afrisam Quarry w Pretorii, który miał gęstość 2,65 i stopień rozdrobnienia wyrażony modułem wynoszącym 3,05.

Sodium carbonate (Na₂CO₃) is known as an accelerator which causes rapid setting of concrete (1). Previous studies carried out indicates that the higher the concentration of Na₂CO₃ the greater its negative influence on the strength development of concrete (1, 5).

Sugar is a retarding admixture which is usually applied at a dosage not higher than 1% (6). Due to its retarding effect, the 7 day strength may be reduced while the rate of compressive strength gain at 28 days is high (1). Oyekan (9) observed a 50% increase in 28 days compressive strength of concrete with a 0.05% (by mass of binder) sugar. Research done by Bloem (10) on cement mortar indicated that a 0.2% (by mass of cement) improved the compressive strength of the mortar by 30%. However, demoulding was delayed for more than 24 hours due to the retarding effect of sugar on the setting time of the mortar.

Sugar slows the reaction of tricalcium aluminate (C₃A) and tricalcium silicate (C₃S); which are the faster hydrating cement reactant phases (7) and are responsible for the hydration process in the early stages. After some time, the hydration process continues at a normal rate due to the initially slower reacting dicalcium silicate (C₂S). The effect of sugar as a retarder is usually noticed within the first 24 to 72 hours (8) and is eventually incorporated into the hydrated cement paste with its action having no detrimental consequence to the composition or properties of the hydrated concrete.

The objective of this research was to study the effect of sugar added to high alkali contaminated mixing water, on the setting time and compressive strength of the concrete.

2. Materials, Equipment and Methods

2.1. Materials

The materials used for this research are as follows:

Cement

The cement used was the ordinary Portland cement CEM 1 42.5.

Fine aggregate

The fine aggregate used was crusher sand obtained from Afrisam Quarry in Pretoria, which had a specific gravity of 2.65 and fineness modulus of 3.05.

Tablica 2 / Table 2

SKLAD BETONU

COMPOSITION OF CONCRETE

Materials	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6	Sample 7	Sample 8	Sample 9	Sample 10
Cement, kg/m ³	293.77	293.77	293.77	293.77	293.77	293.77	293.77	293.77	293.77	293.77
Fine aggregate, kg/m ³	903.40	903.40	903.40	903.40	903.40	903.40	903.40	903.40	903.40	903.40
Coarse aggregate	1190.20	1190.20	1190.20	1190.20	1190.20	1190.20	1190.20	1190.20	1190.20	1190.20
Water, l	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
Fly ash kg/m ³	97.93	97.93	97.93	97.93	97.93	97.93	97.93	97.93	97.93	97.93
Sugar, g/l	0	0.16	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72	0.80	1.12
Sodium carbonate g/l	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20

Grube kruszywo

Grubym kruszywem był kruszony noryt [klasa gabra] o maksymalnym uziarnieniu 19 mm i gęstości wynoszącej 2,85.

Popiół lotny

Popiół lotny dostarczył koncern Pretoria Portland Cement.

Cukier

Stosowano biały cukier.

Węglan sodu

Był to czysty węglan sodu.

Skład betonu podano w tablicy 2.

2.2. Metody

Próbki w formie kostek sześciennych o wymiarach 100 mm zarybano w formach, a do oznaczenia ich właściwości służyła maszyna wytrzymałościowa o maksymalnym nacisku 3000 kN, a czas wiązania mierzono automatycznym Vicata, zgodnego z normą SANS 50196-3:2006 (11). Stolik wstrząsowy stosowano do zgęszczania zaprawy w formach. Kostki o zaplanowanej wytrzymałości 35 MPa przygotowano dodając wodę zawierającą 3,2 g/l Na₂CO₃ i cukier w ilości 0,16; 0,32; 0,40; 0,48; 0,56; 0,64; 0,72, 0,80; 1,12 g/l.

Czas wiązania

Normalną konsystencję zaczynu cementowego wyznaczono stosując wodę dejonizowaną. Następnie przygotowano wodę zarobową o zawartości węglanu sodu i cukru, podanych w punkcie 2.2.

Wytrzymałość na ścislenie

Próbki po zagęszczeniu przykrywano w formach plastikowymi arkuszami, w celu zabezpieczenia przed parowaniem wilgoci. Po 24 godzinach dojrzewania pod przykryciem próbki z wodą wodociągową wyjmowano z form i umieszczano w wodzie o temperaturze 23°C ±2. Natomiast próbki zawierające wodę zarobową zawierającą Na₂CO₃ i cukier nie można było wyjmować z form w związku z opóźniającym działaniem cukru. W celu zapobiegania przed utratą wody powierzchni próbek pokryto mokrym piaskiem. Po 48 godzinach od zaformowania wyjęto je z form i umieszczono w wodzie. Wytrzymałość na ścislenie badano na 3 próbkach z każdej mieszanki betonu zgodnie z normą SANS 5863. 2006 (12), po 7 i 28 dniach twardnienia.

Coarse aggregate

The coarse aggregate were the crushed norite igneous rock [gabbro class] with a maximum size of 19 mm and a specific gravity of 2.85.

Fly Ash

Unclassified fly ash obtained from Pretoria Portland cement was used.

Sugar

White sugar was used.

Sodium Carbonate

Pure sodium carbonate was used.

The concrete composition is given in Table 2.

Equipment

The equipment used for casting the concrete includes (i) cube mould (ii), a compression testing machine with a load capacity of 3000 KN for compressive strength determination, (iii) 12 channel automatic Vicat apparatus conforming to SANS 50196-3:2006 (11) for setting times (iv), jointing table and (v) M35 grade concrete cubes prepared with water containing Na₂CO₃ in the concentration of 3.2 g/l and sugar in concentration of 0.16, 0.32, 0.40, 0.48, 0.56, 0.64, 0.72, 0.80, 1.12 g/l in mixing water.

2.2. Methods

Setting time

Normal consistency was determined for cement paste with deionized water as its mixing water. Thereafter, cement paste samples were mixed with Na₂CO₃ and sugar in the mixing water. The initial and final setting times of the mixes were recorded by the automatic Vicat apparatus.

Compressive strength

The concrete samples were cast in a 100 mm steel mould and vibrated on a jointing table, after which they were covered with plastic sheet to prevent moisture evaporation. After 24 hours of casting, the control concrete, which were cast with potable mixing water, were demoulded and kept in the curing bath at a temperature of 23°C ±2. However, the concrete mixtures with Na₂CO₃ and sugar could not be demoulded due to the retarding effect of sugar which prevented demoulding. Thus the exposed surfaces of

3. Wyniki i ich omówienie

Czas wiązania

Wyniki pokazane na rysunku 1 wskazują na wzrost początku wiązania cementu w miarę zwiększania dodatku cukru, przy stałym stężeniu Na_2CO_3 . W przypadku dodatku cukru w zakresie 0,035-0,045% początek wiązania utrzymuje się praktycznie na tym samym poziomie. Koniec wiązania wzrasta także do maksimum przypadającego przy dodatku wynoszącym 0,035%, po przekroczeniu którego ulega stopniowemu zmniejszaniu. Cukier przeciwdziała więc przyspieszającemu wpływowi Na_2CO_3 , zawartemu w wodzie zarobowej. Cukier jest zresztą dobrze znanym opóźniaczem wiązania betonu. W przypadku większego jego dodatku koniec wiązania ulega wydłużeniu, jednak jest krótszy od 24 godzin. Ten wpływ uwidocznił się w trakcie przygotowywania kostek betonowych, które można było rozformować dopiero po 48 godzinach. Generalnie, wpływ zanieczyszczenia wody na czas wiązania ma mniejsze znaczenie jeżeli zmiany wytrzymałości są do zaakceptowania (2).

Wytrzymałość na ściskanie

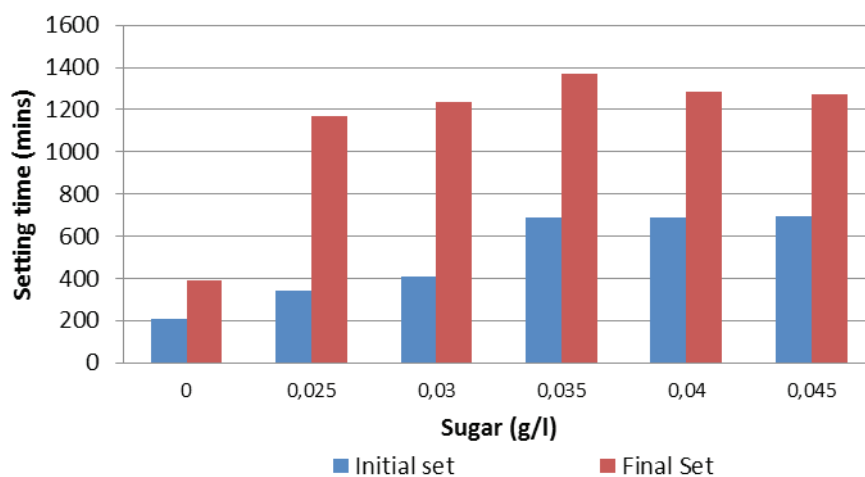
Wyniki pomiarów wytrzymałości kostek betonowych wykonanych przy stałej zawartości Na_2CO_3 i zmiennym dodatku cukru w wodzie zarobowej pokazano na rysunkach 2 i 3.

Na rysunkach 2 i 3 pokazano wyniki badań wytrzymałości na ściskanie po 7 i 28 dniach twardnienia betonu w zależności od zawartości cukru w wodzie zarobowej. Największą wytrzymałość po 7 i 28 dniach twardnienia, przekraczającą nieznacznie po tym ostatnim okresie 36 MPa, miały kostki przy zawartości cukru wynoszącej 0,64 g/l. Była one praktycznie taka sama jak w przypadku betonu wykonanego z wody zarobowej nie zawierającej tych domieszek. Wzrost wytrzymałości w okresie siedmiu do 28 dni pokazano na rysunku 4.

Jak widać z przebiegu krzywej na rysunku 4 w przedziale stężenia cukru w wodzie zarobowej od 0,48 do 0,72 g/l występuje zmniejszenie przyrostu wytrzymałości. W związku z tym, że wytrzymałość na ściskanie osiągnęła maksimum po 28 dniach w tym zakresie stężenia cukru to również wytrzymałość po siedmiu dniach była znaczna, większa od wytrzymałości w przypadku innego stężenia cukru, poza tym przedziałem. Jednak przyrost wytrzymałości po siedmiu dniach był mniejszy przy tym dodatku cukru.

4. Wnioski

Uzyskane wyniki pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:



Rys. 1. Czas wiązania cementu w zależności od zawartości cukru przy stałym dodatku Na_2CO_3

Fig. 1. Cement setting time corresponding to variation in sugar concentration at a constant Na_2CO_3 concentration

the concrete were covered with moist sand in order to prevent the water evaporation. After 48 hours of casting, they were demoulded and placed into the curing tank. The compressive strength tests were performed on 3 mixes per sample according to SANS 5863. 2006 (12), at 7 and 28 days after casting.

3. Results and discussions

Setting time

Fig. 1 indicates an increase in the initial setting time of cement with an increase in the concentration of sugar at a constant concentration of Na_2CO_3 . Between 0.035-0.045% of sugar the initial setting times are fairly constant. The final set also increased to a peak at 0.035% concentration, after which it began to decline. Sugar is seen to have counteracted the set accelerating property of the Na_2CO_3 , present in the cement mix. Sugar is widely known as a set retarding admixture of concrete.

At higher concentration of sugar, it is seen that the final setting time was very prolonged but was less than 24 hours. This was evident even during the casting of concrete where the concrete cubes could be only demoulded after 48 hours from the period of casting. Generally, the effect of water contamination on setting of concrete is unimportant if water is acceptable from strength consideration (2).

Compressive strength

The test results of the concrete cubes prepared from different concentration of Na_2CO_3 and sugar in the mixing water is presented in Figs. 2 and 3.

Figs. 2 and 3 show an increase in compressive strength with an increase in sugar concentration up to a peak compressive strength of 36.25 MPa at a sugar concentration of 0.64 g/l. This was comparable to concrete of same class 35 which had no sodium car-

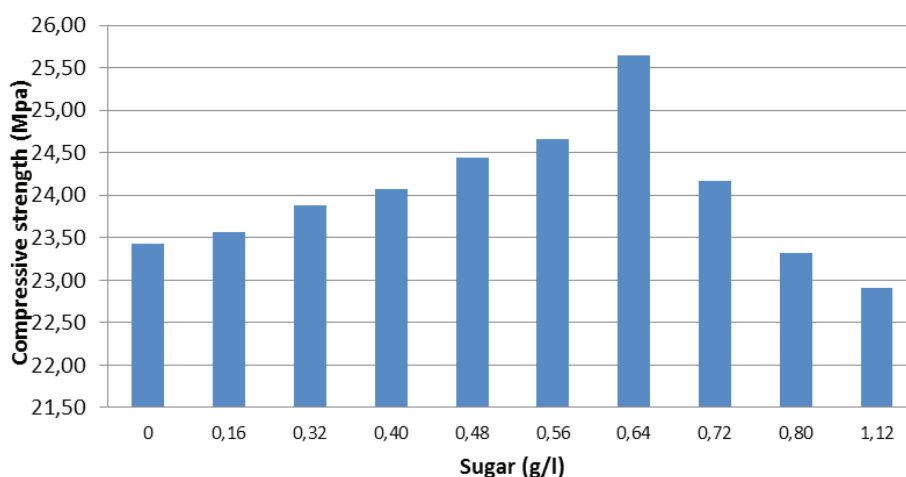
- Zawartość cukru w wodzie zarobowej wynosząca 0,64 g/l zwiększa wytrzymałość betonu na ściskanie gdy równocześnie stężenie węglańu sodu wynosi 3,2 g/l.
- W przypadku stężenia cukru w wodzie zarobowej wynoszące 0,64 g/l wytrzymałość betonu na ściskanie po 7 dniach była duża, jednak szybkość wzrostu wytrzymałości uległa zmniejszeniu. Równocześnie wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach była równa wytrzymałości betonu porównawczego, zawierającego niezanieczyszczoną wodę zarobową.
- Dodatek cukru przeciwdziałał przyspieszającemu wpływowi węglańu sodu na wiązanie betonu, powodując znaczne spowolnienie wiązania. Początek wiązania był bliski 24 godzinom, co opóźniło rozformowanie próbek mniej więcej o tyle godzin. Po 48 godzinach próbki mogły być rozformowane i umieszczone w wodzie.

Podziękowania

Autorzy wyrażają podziękowanie Uniwersytetowi Technologicznemu Tshwane za sfinansowanie tych badań.

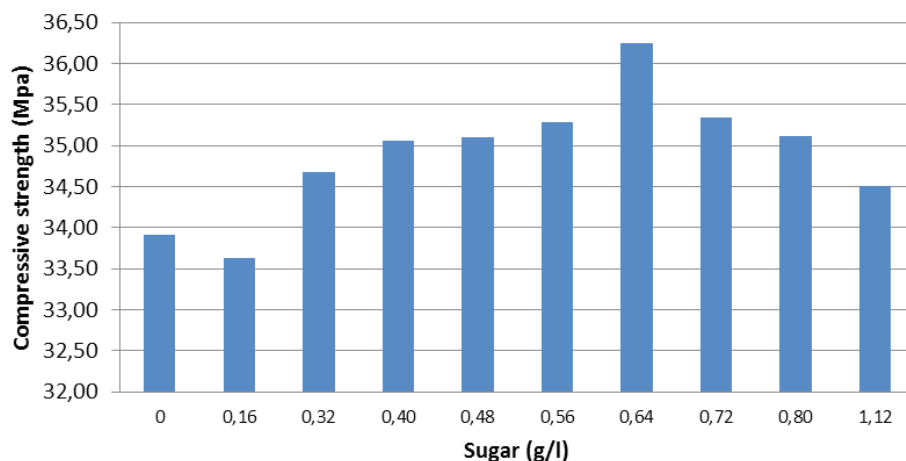
Literatura / References

1. J. Goodman, Mixing Water. In: G. Owens, (ed.), *Fulton's Concrete Technology*, 9th Ed., Cement and Concrete Institute (CNCI), Midrand, South Africa, 63-69 (2009).
2. V. V. Reddy, H. S. Rao, K. N. Jayaveera, Influence of strong alkaline substances (sodium carbonate and sodium bicarbonate) in mixing water on strength and setting properties of concrete. *Indian Journal of Engineering and Material Science*, **13**, 123-128 (2006).
3. P. Hewlett, *Lea's chemistry of cement and concrete*. 4th edition. Elsevier, London 2004.
4. A. M. Neville, J. J. Brooks, *Concrete Technology*. 2nd ed. Malaysia: Pearson education limited (2010).
5. I. Janotka, Hydration of the Cement Paste with Na_2CO_3 Addition. *Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences*, **45**, 1, 16-23 (2000).
6. A. E. Abalaka, Effects of Sugar on Physical Properties of Ordinary Portland cement Paste and Concrete. *AU J.T.*, **14**, 3, 225-228 (2011).
7. M. Collepardi, Water Reducer/Retarders. In: *Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science, and Technology*, V. S. Ramachandran, Ed. Noyes Publications, Park Ridge, NJ. 116-210 (1984).



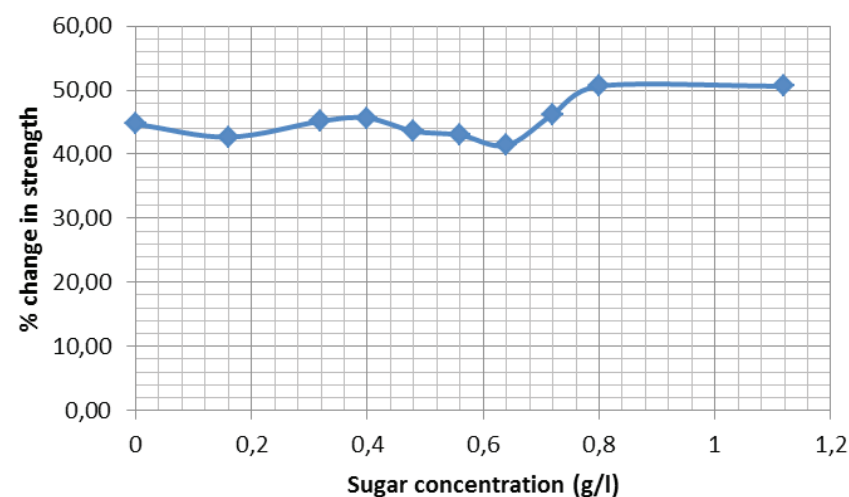
Rys. 2. Wytrzymałość betonu po 7 dniach przy zawartości Na_2CO_3 wynoszącej 3,2 g/l i zmiennym dodatku cukru do wody zarobowej

Fig. 2. Compressive strength of concrete after 7 days of hardening with 3.2 g/l Na_2CO_3 in mixing water and varying concentration of sugar



Rys. 3. Wytrzymałość betonu po 28 dniach twardnienia przy zawartości Na_2CO_3 wynoszącej 3,2 g/l i zmiennym dodatku cukru do wody zarobowej

Fig. 3. Compressive strength of concrete after 28 days of hardening with 3.2 g/l Na_2CO_3 in mixing water and varying concentration of sugar



Rys. 4. Procentowy wzrost wytrzymałości betonu pomiędzy 7 a 28 dniami twardnienia

Fig. 4. Percentage change in compressive strength of concrete between 7 and 28 days of hardening

8. D. P. Whitney, Chemical admixtures. In: Nawy E.G. (ed.) Concrete Construction Engineering Handbook. Published by: Taylor & Francis CRC Press, 1-20 (2008).
9. G. L. Oyekan, Effect of admixtures on the compressive strength of sandcrete blocks. In: CI-Premier Pte. Ltd., 32nd Conference on our world in concrete and structures, Singapore, 28 – 29 (2007).
10. B. L. Bloem, Preliminary Tests of Effect of sugar on Strength of Mortar. National Ready Mixed Concrete Association, Washington, D. C., 1-4 (1959).
11. SANS 50196-3:2006. Methods of testing cement, Part 3: Determination of setting times and soundness. South African Bureau of Standards. Pretoria 2006.
12. SANS 5863:2006. Concrete Tests - Compressive strength of hardened concrete. South Africa Bureau of Standards, Pretoria 2006.

bonate and sugar which yielded a 28-day compressive strength of 36.31 MPa. The 7 to 28 days strength gain is also depicted in Fig. 4.

As it is seen from Fig.4, between 0.48 and 0.72 g/l of concentration of sugar in mixing water, there exists a dip in the strength gain of concrete,. Though this range had the maximum of compressive strength after 28 days, it implies that, the 7-day compressive strength was higher within 0.48- 0.72 g/l concentration of sugar than at other concentrations, outside this range. However, the strength development within this range between 7 and 28 days is lower compared to the other concrete mixes outside the range.

4. Conclusion

From the results obtained, the following conclusions were drawn

- A sugar concentration of 0.64 g/l boosted the compressive strength of concrete casted with mixing water which had a sodium carbonate contamination of 3.2 g/l.
- At 0.64 g/l concentration of sugar, the 7-day compressive strength of the concrete was higher, but the rate of strength gain was reduced. However, after 28 days, the compressive strength attained was equal to that obtained by the control mix which had no sodium carbonate contamination of mixing water.
- There was a counteracting effect of set acceleration due to sodium carbonate by the sugar added, which retarded the setting time of the concrete mix significantly. The final set of the mix was achieved before 24 hours, which delayed demoulding by 24 hours. However, after 48 hours of casting, the concrete gained sufficient strength to be demoulded and water cured.

Acknowledgement

The authors would like to express their sincere gratitude to Tshwane University of Technology for financing this research.