

Zbadanie możliwości zastosowania osadów rzecznych powstających przed tamami jako składnika samozagęszczających się betonów

Enhancing the value of dam dredged sediments as a component of a self compacting concrete

1. Wprowadzenie

Samozagęszczający się beton wyróżnia się dużą zawartością składników o znacznym rozdrobnieniu (cement i dodatki mineralne), które sięgają zwykle 500 kg/m³. W celu pokrycia zapotrzebowania rynkowego przemysł cementowy nastawia się na technologie, które poprawiają wyniki produkcyjne, lub zmniejszają koszty ich wytwarzania. Przemysł materiałów budowlanych, o dużym zużyciu energii, zmierza do zmniejszenia tego wskaźnika, co jest możliwe przez zwiększenie udziału dodatków mineralnych w cementach, których koszt wytwarzania jest znacznie mniejszy. Drugą przyczyną zwiększenia udziału dodatków mineralnych jest zasada przywiązywania w Algierii dużego znaczenia do ochrony środowiska. Erozja stanowi także problemy środowiskowe, a przede wszystkim ich bezpośrednie skutki: sedymentację i zmniejszenie pojemności tam. Ogólna masa osadów wyniosła w 2011 roku 970 hm³*, która odpowiadała wypełnieniu 12 % ogólnej objętości wynoszącej 6814 hm³ (ANBT, 2011) (rysunek1). W usuwaniu tych osadów tylko bagrowanie jest efektywnym rozwiązaniem.

Szybkość powstawania osadów wynosi rocznie 52.94 hm³; tamy wyróżniające się dużą szybkością są następujące: Tchy-Haf położona koło Bejaïa (centrum Algerii), Gargar w Relizane (Zachodnia Algeria) i Beni Amrane w Boumerdes (centrum kraju) (rysunek 2).

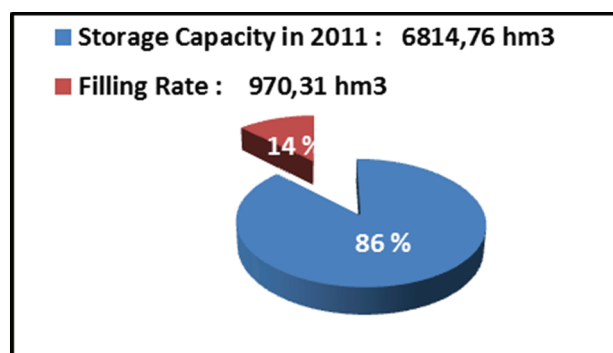
W tym aspekcie zastosowanie bagrowania osadów przed tamami, które następnie muszą być prażone co zapewni im właściwości pucolanowe stanowi obiecujące rozwiązanie. Reakcje chemiczne towarzyszące produkcji klinkieru cementowego powodują wydzielanie dwutlenku węgla, co zwiększa efekt cieplarniany, natomiast prażenie mułów jest związane głównie z powstawaniem pary wodnej. Oczywiście muł nie jest konkurencyjnym materiałem dla cementu, jednak jego dodatek do betonu może poprawić niektóre jego właściwości. Korzyści częściowego zastępowania cementu dodatkami pucolanowymi mogą być różne, lecz przede wszyst-

* hm³ = 10⁶ m³

1. Introduction

The specificity of SCC, led to the use of the quantities of fines (cement+additions) in the concrete at an average of 500 kg/m³. To adapt to the growth of the market, the cement sector oriented its technological developments toward solutions that allows either to improve the performance of the manufacture of building materials or to reduce their cost of production. The building materials sector (large consumer of energy) seeks to optimize its energy costs; thus it is moving more and more to the use of mineral additions whose cost of production is lower than that of the cement, and therefore can partially replace it.

Another reason is induced by the evolution of the Algerian policy toward the protection of the environment. The erosion causes environmental problems and among its immediate consequences: sedimentation and reduction of the capacity of the dams. The quantity of sediments deposited in 2011 was of 970 hm³, corresponding to the filling of 12% of the total capacity of 6814 hm³ (ANBT, 2011)



Rys. 1. Szybkość wypełniania się koryta rzek przed tamami w stosunku do ogólnej ich pojemności w Algierii

Fig. 1. The rate of filling dams relatively to their total capacity in Algeria

* hm³ = 10⁶ m³

kim wymienić można zwiększenie odporności betonu na korozję, zmniejszenie jego przepuszczalności, a więc wzrost trwałości, a także przeciwdziałanie reakcji wodoretlenków sodu i potasu z kruszywem (Bessa i in., 2004, Bich, 2005).

Niniejsza praca poświęcona jest zbadaniu możliwości wykorzystania wydobytych osadów rzecznych, po ich wyprażeniu, jako sztucznej pucolany do produkcji samozagęszczających się betonów.

2. Materiały i metody

2.1. Materiały

2.1.1. Cement

Stosowano cement portlandzki CEM I 42.5 o powierzchni właściwej [Blaine] 3180 cm²/g. Jego skład fazowy podano w tablicy 1. Table 1 / Tablica 1

PHASE COMPOSITION OF CEMENT, % (BOGUE)

SKŁAD FAZOWY CEMENTU [BOGUE]

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	free CaO	SO ₃
53	23	7	12	< 0.1	2.7

2.1.2. Muł (wydobyty osad)

Muł wydobywano z koryta rzeki, poniżej tamy. Miał on powierzchnię właściwą według Blaine'a wynoszącą 6740 cm²/g.

Z mułu przygotowano sztuczną pucolanę stosując następującą przeróbkę:

- suszenie w suszarce w 105°C, po czym próbki mielono i przesiewano. Frakcja, która przechodziła przez sito 80 μm i stanowiła więcej niż 95% materiału poddawano prażeniu.
- próbki prażono w 750°C, przetrzymując w tej temperaturze przez 5 godzin (Semcha, 2006) przy czym stosowano powolny wzrost temperatury wynoszący 5°C na minutę.
- materiał po prażeniu zabezpieczano przed wilgocią. Na rysunku 3 pokazano schematycznie proces przeróbki próbek.

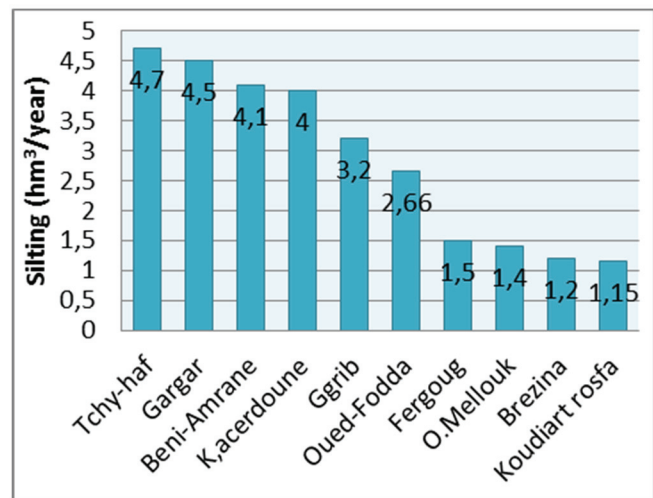
2.1.3. Pucolana

Stosowano także naturalną pucolanę, która miała powierzchnię właściwą według Blaine'a wynoszącą 4450 cm²/g. Była ona dostarczana jako pokruszona skała rodzaju pumeksu, o uziarnieniu w przedziale od 5 do 10 mm. W celu zastosowania w spoiwie suszono ją w 105°C, mielono i przesiewano. Frakcję przechodzącą przez sito 0,08 mm stosowano jako zamiennik cementu, w różnej ilości.

Skład chemiczny obu pucolan podano w tablicy 2.

2.1.4. Kruszywo

W doświadczeniach stosowano kruszywa sporządzone z wapienia, a mianowicie piasek 0/4 i dwa kruszywa grube 3/8 i 8/15. Ponadto stosowano piasek morski.



Rys. 2. Roczna sedymentacja w rzekach przed tamami w Algierii

Fig. 2. Silting/year of Algeriens dams

(Fig. 1). Therefore to eliminate these sediments, only the dredging remains the effective solution.

The rate of silting is about 52.94 hm³ a year; the dams which have high rates are Tchy-Haf located in Bejaïa (center of Algeria), followed by Gargar dam in Relizane (west of Algeria) and Beni Amrane dam in Boumerdes (center of the country) (Fig. 2).

In this context, the introduction of the dredged sediments of dams that must be calcined to become reactive with cement seems to be an advantage. The chemical reactions which are developed during the manufacture of cement clinker, release carbon dioxide (CO₂) thus contributing to the increase of the greenhouse effect whereas the calcination of the mud generate chiefly water vapor. Indeed, the mud does not compete with the cement but its addition can improve some cement properties. The benefits of partial substitution of the cement with pozzolanic materials are various: increase of the resistance to chemical attack, impermeability and durability of the mortar, reduction of alkali reactions with the aggregates (Bessa et al., 2004) (Bich, 2005).

The present work aim to contribute to the development of dam dredged sediment subjected to a thermal process (calcination), as artificial pozzolanas usable in the self compacting concrete.

2. Materials and methods

2.1. Materials

2.1.1. Cement

The cement used is a CPA CEMI 42.5 ES (Selenide waters). Its specific Blaine surface is 3180 cm²/g. The phase composition is given in Table 1.

2.1.2. Mud (dredged sediments)

All the quantity of mud is taken from the discharge area downstream of the dam. It has a specific Blaine surface equal to 6740 cm²/g.

2.1.5. Superplastyfikator

Stosowano jeden superplastyfikator w celu wyeliminowania segregacji.

2.1.6. Mieszanki betonowe

W tablicy 3 podano skład trzech betonów samozagęszczających się. Pierwszy beton zawiera 20% mułu (SCC_M), drugi 20% naturalnej pucolany (SCC_P), a ostatni, który jest betonem wzorcowym (SCC_C), nie zawiera dodatków mineralnych.

2.2. Metody

Zbadano szereg właściwości BSZ, stosując następujące metody:

- rozplływ stożka (stosowano stożek Abramsa),
- skrzynkę L,
- pierścień J,
- wydzielanie mleczka.

Szczegółowy opis tych metod jest podany w następujących częściach normy EN-1250: EN-1250-8 do EN-1250-12.

Wytrzymałość betonu na ściskanie badano zgodnie z normą NF P 18-406 na kostkach 7x7x7 cm³, które przechowywano w powietrzu w temperaturze 20±2°C i WW=55±5%. Badania przeprowadzono po 3, 7, 14, 28, 60, 90 i 150 dniach twardnienia.

Table 3 / Tablica 3

COMPOSITION OF THE SCC

SKŁAD BSZ

Components kg/m ³	SCC_C	SCC_M	SCC_P
Cement	448.16	407.96	410.23
Mud	/	81.59	/
Pozzolana	/	/	82.05
Water	224.08	203.98	205.12
Superplasticiser*	8.20	10.61	9.64
Sea Sand	560	560	560
Crushed Sand	251	251	251
Gravel 3/8	333	333	333
Gravel 8/15	499	499	499

*SP content, % to cement was 1.83, 2.60, 2.35

3. Wyniki doświadczeń

3.1. Mieszanki betonowe

Wyniki badań trzech mieszanek BSZ podano w tablicy 4.

3.1.1. Pomiar rozplwyu stożka

Wyniki zebrane w tablicy 5 pokazują, że wszystkie trzy mieszanki spełniają warunki rozplwyu podane w zaleceniach AFGC: 60 cm ≤ Ø ≤ 75 cm (1) (rysunek 4). Uzyskane średnice rozplwyu mie-

Tablicy 2 / Table 2

SKŁAD CHEMICZNY PUCOLAN. %

CHEMICAL COMPOSITION OF ADDITIONS, %

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Loi
Calcined mud	51.69	15.49	7.53	18.06	3.08	0.23	2.99	0.41	1.87
Pozzolana	42.96	16.32	8.41	9.72	4.57	0.11	1.59	0.47	4.85



Rys. 3. Etapy przygotowania mułu

Fig. 3. Steps of preparation of the mud

From the mud an artificial pozzolana was produced after the thermal treatment according to the following steps:

- after drying in a drying chamber at 105°C, the sediments were crushed and sieved by dry way. The fraction which was passing through 80 µm and which represent more than 95% of the removal are recovered for burning,
- the operations of calcination required some care to avoid thermal shocks, the heating rate was then regulated to 5°C per minute and the calcination temperature of 750°C was maintained constant for 5 hours (Semcha, 2006).
- the product thus obtained (calcined mud) has been protected again moisture.

Figure 3 shows the steps of the mud preparation.

2.1.3. Pozzolana

The natural pozzolana was used with a specific surface (Blaine) equal 4450 cm²/g.

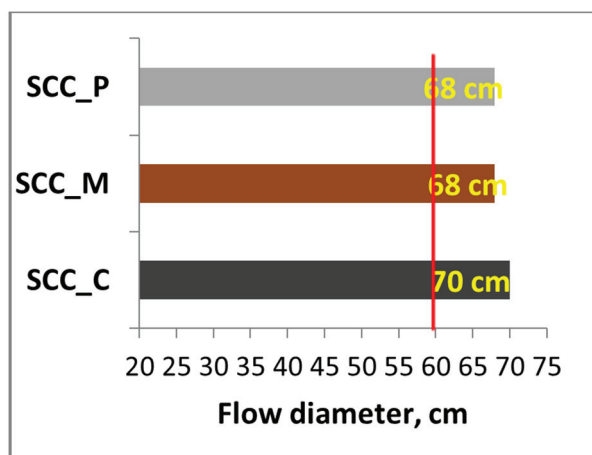
It is supplied in the form of crushed rock of pumice type with diameters between of 5 to 10 mm and was prepared for cement repla-

Table 4 / Tablica 4

THE RESULTS OF SCC MIXES TESTS

WYNIKI BADAŃ MIESZANEK BSZ

Test		SCC_C	SCC_M	SCC_P
Slump flow	Ø, cm	70	68	68
	T50, s	3.56	3.83	3.69
L- Box	h ₂ /h ₁ , %	89	83	86
	T20	2.39	2.58	2.41
	T40	3.76	3.98	3.80
J-Ring	Ø, cm	62	58	59
	2Hr, cm	0.73	0.69	0.69
	HM, cm	0.54	0.51	0.50
	2Hr-hm, cm	0.92	0.87	0.88
Sieve stability	%	6.91	5.11	5.87
Bleeding	‰	1.21	1	1.09



Rys. 4. Średnice rozplywu mieszanek

Fig. 4. Results of slump flow test

szanek: 70 cm w przypadku SCC_C, 68 cm dla SCC_M i SCC_P spełniają wymagania dla samozagęszczających się, w przypadku nie utrudnionego rozplywu.

Także wyniki t50 są zgodne z najczęściej spotykanymi wartościami znajdowanymi w przypadku mieszanek BSZ ($3s \leq t50 \leq 5s$) (1).

Równocześnie nie następowała separacja kruszywa w trakcie rozplywu i pozostawało ono równomiernie rozmieszczone w matrycy cementowej.

3.1.2. Wyniki doświadczeń z zastosowaniem skrzynki L

Sprawdzenie segregacji w warunkach dynamicznych, w trakcie rozplywu, przeprowadzono w skrzynce L dla wszystkich trzech mieszanek BSZ. Wszystkie trzy mieszanki wykazały szybkość wypełnienia większą od 80% (rysunek 5). Potwierdza to dobrą płynność mieszanek w warunkach utrudnionego rozplywu, gdy utrudnienie spowodowane jest zbrojeniem betonu.

cement. First it was dried at 105°C in order to eliminate moisture and facilitate grinding and sieving. The fraction passing through the sieve 0.08 mm was used for cement replacement in different proportions.

The chemical composition of the two additions is given in Table 2.

2.1.4. Aggregates

The aggregates used in this study were produced of limestone (sand and gravel (0/4, 3/8 and 8/15).

2.1.5. Superplasticiser

One superplasticiser has been used in the SCCs, in order to reduce the segregation.

2.1.6. Concrete mixes

In Table 3 the compositions of the three formulations of the SCC are given. The first mix contained 20% of mud (SCC_M), the second 20% of natural pozzolana (SCC_P) and the last one is a reference mix (SCC_C) without mineral additions.

2.2. Methods

The following properties of SCC mixes were tested:

- Slump flow (using Abram's cone)
- L. Box
- J-Ring
- Bleeding test.

The detailed description of these methods in the Standard EN-1250-8 to EN-1250-12 are given.

2.2.2. Compressive strength of concrete

To measure the compressive strength according to the NF P 18-406 standard, cubic specimens (7x7x7) cm³ have been cured in the air at T=20±2°C, HR=55±5%. The tests were performed after 3, 7, 14, 28, 60, 90 and 150 days of hardening.

3. Results and discussion

3.1. Concrete mix

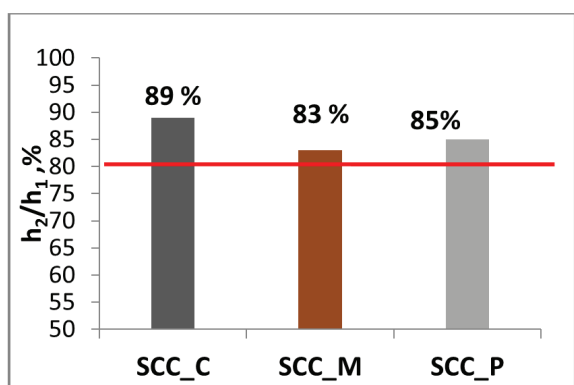
The results of the three SCC mixes examination are given in Table 4.

3.1.1. Slump flow test

The results presented in Table 4 show that the three SCC mixes meet the condition of flow diameter given in the AFGC recommendation ($60 \text{ cm} \leq \text{Ø} \leq 75 \text{ cm}$) (1) (Fig. 4).

The measured flow diameters: 70 cm for the SCC_C, 68 cm for the SCC_M and SCC_P mixes fulfill the requirements for self compacting concrete in an unconfined environment.

The values of t50 are consistent with the most common properties of a SCC mixes ($3s \leq t50 \leq 5s$) (1).



Rys. 5. Wyniki doświadczeń w skrzynce L

Fig. 5. The results of L-Box test

3.1.3. Doświadczenia z pierścieniem J

Rozplyw wszystkich trzech mieszanek BSZ nastąpił przez przegrody w pierścieniu bez trudności, a więc spełniają one warunki dla tych betonów [rysunek 6].

3.1.4. Badanie segregacji na sitach

Badanie tej właściwości dały dobre wyniki w przypadku wszystkich mieszanek: ($0 \leq \Pi \leq 15\%$) (rysunek 7).

3.1.5. Badanie wydzielania mlecza

Uzyskano dobre wyniki z wszystkimi betonami to znaczy, że wydzielanie mlecza powinno wynosić co najwyżej 3‰ objętościowe, lub mniej (rysunek 8).

3.2. Compressive strength

Wytrzymałość na ściskanie jest jedną z najważniejszych właściwości betonu. Wszystkie pomiary wykonano na trzech próbkach, a wyniki pokazano na rysunku 9.

Pomiary wykazały, że beton z dodatkiem prażonego mułu SCC_M ma największą wytrzymałość (46.5 MP po 28 dniach). Drugi w kolejności był beton SCC_P z dodatkiem naturalnej pucolany, a na trzecim miejscu uplasował się beton wzorcowy (SCC_C). SCC_M i SCC_P mają lepsze właściwości mechaniczne od betonu wzorcowego odpowiednio o 36% oraz 16% po 3 dniach, a także 33% i 21% po 28 dniach.

Po tym okresie, a szczególnie po 150 dniach wytrzymałość na ściskanie BSZ z dodatkiem mułu i naturalnej pucolany dalej przyrasta i w porównaniu do betonu wzorcowego SCC_C, ma większą wytrzymałość odpowiednio o 19% i 14%. Można to przypisać aktywności pucolanowej tych dodatków, która zaznacza się wyraźniej po dłuższym okresie hydratacji.

Trzeba podkreślić, że dodatek mułu do samozagęszczającego się betonu ma korzystny wpływ na jego właściwości mechaniczne we wszystkich badanych okresach. Może to być spowodowane nie tylko przez pucolanową reakcję lecz także w wyniku działania

However, the aggregates show no separation and were uniformly distributed in the cake formed by the mix as a result of flow.

3.1.2. L-Box test

The dynamic segregation of the three SCC mixes is characterized by the L-Box test. The three formulations show a filling rate greater than 80% (Fig. 5). Therefore, these concretes have good mobility in a confined environment i.e. when the reinforcements are presenting the obstacles.

3.1.3. J-Ring test

The three SCC mixes pass without locks through the frames and satisfy the condition of the test (Fig. 6).

3.1.4. Sieve stability test

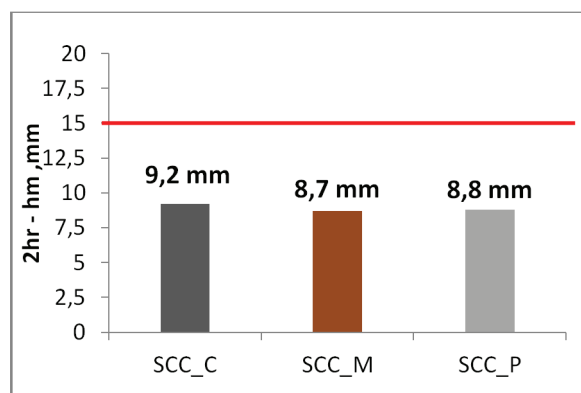
The results of the tests of sieve stability show that the three compositions tested have a good stability ($0 \leq \Pi \leq 15\%$) (Fig. 7).

3.1.5. Bleeding test

All the concretes comply with the condition of this test whose value must be less or equal to 3‰ in volume (Fig. 8).

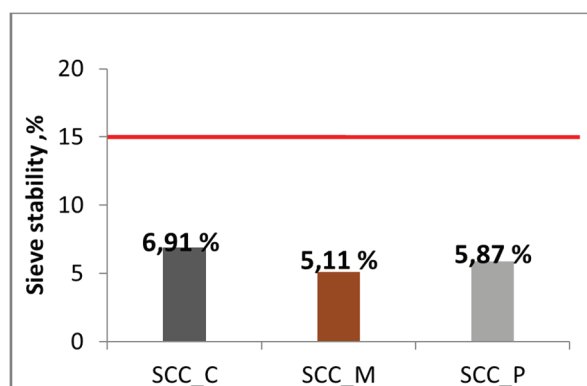
3.2. Compressive strength

The compressive strength of concrete is one of the basic parameter of this study. It was measured after different time of hardening



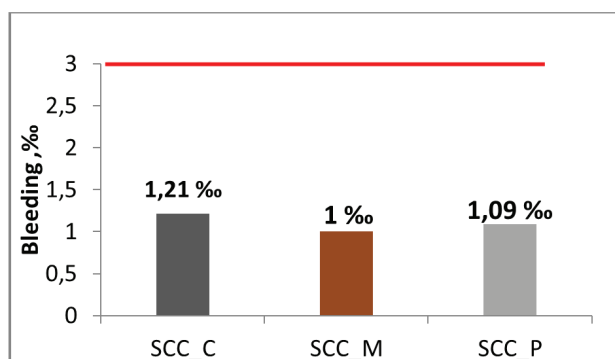
Rys. 6. Wyniki doświadczenia w pierścieniu J

Fig. 6. The results of J-Ring test



Rys. 7. Wyniki oznaczeń segregacji na sitach

Fig. 7. The results of sieve stability test



Rys. 8. Wydzielanie mleczka

Fig. 8. The results of bleeding test

wypełniacza złożonego z twardych okrągłych cząstek, wzmacniającej matrycę cementową (Belguesmia 2011).

4. Wnioski

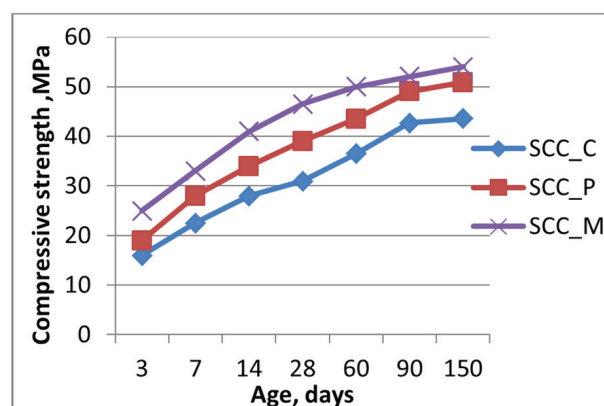
W oparciu o uzyskane wyniki można stwierdzić, że trzy przygotowane BSZ spełniają wymagania AFGC. Te dodatki mineralne mają przede wszystkim korzystny wpływ na wytrzymałość na ściskanie BSZ. Równocześnie zmniejszają lepkość plastyczną mieszanki betonowej i zmniejszają ryzyko segregacji. W końcu koszty wytwarzania betonu są również znacznie obniżone.

Te wyniki wskazują wyraźnie na celowość wykorzystania wydobytych osadów rzecznych do produkcji betonu.

Celowym będzie dalsze kontynuowanie tych badań i objęcie nimi zagadnień trwałości betonów, zawierających różny dodatek prażonego mułu, w celu ustalenia najkorzystniejszej jego zawartości.

Literatura / References

1. AFGC, Les bétons autoplaçants, Recommandations provisoires. French Association of Civil Engineering, 2000.
2. ANBT, National Agency of the dams and transfers, Algeria 2011.
3. K. Belguesmia, *Comportement vis-à-vis des attaques sulfatiques et de la carbonatation d'un béton autoplaçant à base de sédiment de dragage*, Magister Thesis, University of Mostaganem, Algeria 2011.
4. A. Bessa, J. P. Bigas, J. L. Gallias, 2004. Evaluation de la contribution liante des additions minérales à la porosité, à la résistance en compression et à la durabilité des mortiers. *22nd academic meetings of civil engineering*, 1-8, 2004.
5. C. Bich, *Contribution à l'étude de l'activité thermique du kaolin : Evolution de la structure cristallographique et activité pouzzolanique*, Doctoral dissertation, national institute of applied sciences of Lyon, 44-45, 2005.
6. A. Semcha, *Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug*. Phd thesis, University of Reims Champagne-Ardenne 2006.



Rys. 9. Wytrzymałość na ściskanie BSZ

Fig. 9. Compressive strength of SCC

and represents the average for three specimens (7x7x7) cm³. The results are shown in Fig. 9.

The results of the compressive strength measurements have shown that the SCC_M with calcined mud addition had the higher strength (46.5 MPa at 28 days), on the second place was the SCC_P with natural pozzolana and on the third the reference concrete (SCC_C). SCC_M and SCC_P have better mechanical performance in relation to the reference mix in the order of 36%, 16% in 3 days and 33%, 21% in 28 days respectively.

After this age and up to 150 days the compressive strengths of the SCC with the mud and the pozzolana addition continue to increase and have, compared with the reference mix SCC_C, the strength higher of approximately 19% and 14% respectively. This can be attributed to the pozzolanic activity of these additions which is increasing with hydration time.

The addition of the mud in self compacting concrete mix has the beneficial effect of its mechanical strength after all ages. It can be caused not only by the pozzolana reaction but also by strengthening of cement matrix by the hard round particles with high fineness (Belguesmia 2011).

4. Conclusion

The tests of all three prepared SCC fulfill the requirements of the AFGC. The additions used can have both beneficial effects on the SCC costs and properties of SCC. They improve the fluidity and eliminate the risks of segregation, even in the case of superplasticizer addition.

The replacement of the cement with the additions of SCC_M and SCC_P causes a significant increase in the compressive strength up to 150 days of hardening. It is due to the increase of C-S-H formation as a result of pozzolanic reaction.

These results clearly demonstrate the interest of application of the dam dredged sediments. This investigation can be developed further embracing the durability study of concrete with different calcined mud content in order to find the best composition.