

Dr inż. Beata Łaźniewska-Piekarczyk

Politechnika Śląska, Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych

## Wpływ domieszki przeciwpieniącej na właściwości mieszanki betonowej oraz wytrzymałość i mrozoodporność SCC

### The influence of anti-foaming agent on the properties of selfcompacting concrete

#### 1. Wprowadzenie

Jedną z ważnych właściwości samozagęszczającego się betonu (BSZ) jest samorzutne wydzielanie pęcherzyków powietrza przez mieszankę, które zostały do niej wprowadzone podczas mieszania. Na odpowietrzenie mieszanki duży wpływ wywierają jej parametry reologiczne: granica płynięcia i lepkość plastyczna. W związku z tym, że wiskozymetry do badań reologicznych betonu są trudno dostępne w praktyce budowlanej stosowane są prostsze metody do oceny konsystencji mieszanki betonowej, między innymi badanie rozplywu (tablice 1 i 2) (1). Występują związki pomiędzy tymi prostszymi metodami a parametrami reologicznymi mieszanki betonowej. Średnica rozplywu wykazuje dobrą korelację z granicą płynięcia mieszanki  $\tau_{om}$ , natomiast czas rozplywu z jej lepkością plastyczną  $\eta_{pl}$ . W przypadku BSZ średnica i czas rozplywu pozwalają na zaliczenie mieszanek do odpowiednich klas, podanych w tablicach 1 i 2. W publikacji (1) przedstawiono szczegółowe wytyczne dotyczące poszczególnych klas mieszanek BSZ oraz pozostałe metody, stosowane w badaniach technicznych tych mieszanek, w zależności od ich przeznaczenia. Trzeba jednak podkreślić, że obecnie zaleca się, aby minimalny rozplyw mieszanki samozagęszczającej się wynosił 650 mm.

Wyniki badań BSZ wykazały, że w licznych przypadkach występuje problem zbyt dużej zawartości powietrza w mieszance betonowej (2), pomimo że mieszanka wykazywała odpowiedni roz-

Tablica 1 / Table 1

KLASY ROZPŁYWU, (1)

FLOW DIAMETER CLASSES (1)

Klasa	Średnica rozplywu, mm
SF1	od 550 do 650
SF2	od 660 do 750
SF3	od 760 do 850

#### 1. Introduction

One of important property of selfcompacting concrete (SCC) is the self liberation of air bubbles introduced during mix concrete mixing. On the air liberation large influence have the rheological parameters: yield stress value and plastic viscosity. Because the viscosimeters for concrete are not easy attainable in industrial practice much simple tests for consistency of concrete mix measurement are applied e.g. slump test (Tables 1 and 2) (1). There are correlations between these simple tests and rheological parameters of concrete mixture. The flow diameter is correlated with yield stress value  $\tau_{om}$ , and flow time with plastic viscosity. In the case of SCC basing on the flow diameter and flow time they can be assigned to the respective class depicted in the Tables 1 and 2. In the paper (1) detailed data concerning different classes are given as well as other methods of these mixtures examination, depending of their destination. It should be mention that now the recommended flow diameter of SCC mixtures is 650 mm.

The examination of SCC has shown that frequently there is an issue with too high water content in the mixtures (2) independently of their suitable flow diameter and good flow time (1). Probably it is caused by superplasticizer SP addition because also another experiments showed that the new generation SP give the air entraining effect (3). Further experimental data confirm that the SP on polycarboxylate basis have high air entraining effect on SCC. The air entraining is higher in the case of high w/c ratio and can even exceeds 8%. It should be mention that the mixture with so high air content can has also relatively good flow diameter equal 660 mm which corresponds to SF 2 class. Independently of this advantageous conditions the liberation of the sufficient air quantity from the mixture does not take place. Air entrainment of the mixture was probably even higher, because the air content in hardened concrete is always smaller of 1 to 2% than in the mix.

plyw, w zadowalającym czasie (1). Przymuszczenie jest to spowodowane dodatkiem superplastyfikatora (SP), bowiem również inne doświadczenia (3) dowodzą, że nowe SP wykazują działanie napowietrzające. Dalszy materiał doświadczalny (4) potwierdza, że SP nowej generacji, zawierający eter poliakarboksylowy powoduje znaczne napowietrzenie BSZ. Napowietrzenie betonu jest większe w przypadku większego stosunku w/c, i może nawet przekraczać 8%. Należy podkreślić, że mieszanka o tak dużym napowietrzeniu miała także stosunkowo duży rozptyw, wynoszący 660 mm, co odpowiada klasie SF2. Pomimo tych korzystnych właściwości reologicznych nie nastąpiło odpowiednie, samoczynne odpowietrzenie mieszanki. Napowietrzenie mieszanki było prawdopodobnie jeszcze większe gdyż zawartość powietrza w stwardniałym betonie jest przeważnie mniejsza o 1 do 2% niż w mieszance.

Zbyt duża zawartość powietrza w betonie, powoduje znaczne zmniejszenie wytrzymałości, gdyż wytrzymałość betonu zależy głównie od zawartości makroporów. Już wzrost zawartości tych porów o 5% może zmniejszyć wytrzymałość aż o 30%, a nawet wzrost o 2%, pod wpływem SP, może spowodować spadek wytrzymałości o 10% (5). Jest to zgodne z klasycznym wzorem Fére-ta, wiążącym wytrzymałość z sumą objętości wody i powietrza w stwardniałym betonie. Grodzicka (6) przytacza wyniki badań Fagerlunda, wykazujące, że zwiększenie napowietrzenia BWW z 2% do 5% powoduje zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie o 20%, modułu sprężystości o 5%, a ścieralności o około 20%.

Ponadto, oprócz objętości sumarycznej porów ważnymi czynnikami są także ich kształt i wielkość. Większe pory, na przykład powstałe w wyniku zbyt małego zagęszczenia mieszanki, prowadzą do większego zmniejszenia wytrzymałości betonu niż mniejsze pory, będące efektem działania domieszki napowietrzającej (5, 7). Z tego względu ważne znaczenie ma problem eliminacji efektu napowietrzającego SP, gdyż pory powstałe pod jego wpływem, mają większe rozmiary (2, 8).

W oparciu o omówione wyżej wyniki wnioskować można, że powszechnie przyjęte metody badań BSZ są w tym zakresie niewystarczające i opieranie się na tych wynikach nie zapewnia skutecznego, samorzutnego odpowietrzenia mieszanki. Można go uzyskać zwiększając płynność mieszanki większym dodatkiem SP, jednak może to powodować jej segregację. W związku z tym, w celu zapobiegania nadmiernemu napowietrzeniu mieszanki, należy przede wszystkim stosować SP nie tylko kompatybilne z cementem, ale także nie wywołujące napowietrzenia zaczynu (9). W celu przeciwdziałania nadmiernemu napowietrzeniu można też stosować domieszki przeciwpianujące (DPS), przeciwdziałające powstaniu pęcherzyków powietrza (10). Ponadto dodatek DPS mogą znacznie zwiększyć płynność BSZ (11). Nie wiadomo jednak, jaki wpływ mają DSP na wytrzymałość i mrozoodporność BSZ. W celu wyjaśnienia tego wpływu autorka przeprowadziła badania, których wyniki analizowane są w niniejszym referacie.

Tablica 2 / Table 2

KLASY LEPKOŚCI, (1)

VISCOSITY CLASSES (1)

Klasa	Czas rozptywu	
	T500, s	V-funnel, s
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	>2	9 do 25

Excessive air content in concrete causes a significant decrease of strength which is chiefly dependent of macroporosity. Already the increase of porosity of about 5% can decrease the strength of about 30%, and even the increase of porosity of 2% can cause the decrease of strength of about 10% (5). It is consistent with Féret equation which links the strength with total volume of water and air in hardened concrete. Grodzicka (6) cites the Fagerlund's work results showing that the increase of HPC air entrainment from 2 to 5% causes the decrease of compressive strength of 20%, elasticity coefficient of 5% and grindability of about 20%.

Additionally apart from air pores content, the important factors are pores forms and dimensions. Big pores, formed for example due to insufficient concrete consolidation cause higher strength decrease than smaller ones, being the effect of air entrainment agent (5, 7). It is one of the reasons of SP air entraining effect, because the pores formed under its influence have larger dimensions (2, 8).

These results consideration permits to put the conclusion, that the overall accepted criteria of concrete mixes properties evaluation are insufficient in this scope and do not guarantee of self air (liberation) release. Larger pores for example formed because of too low compacting cause higher decrease of concrete strength than the smaller pores being the effect of air entraining agent (5, 7). For the reason it is important to eliminate the air entraining effect of SP, because under its influence large pores are formed (2, 8). On the basis of experimental results it can be concluded that commonly applied tests of SCC mixture are in this sphere insufficient and obtained results does not give the guarantee of proper air self escaping.

It can be achieved by increasing of the mixture flowability with increased SP addition, however, care must be preserved against segregation. Thus to prevent too great air entrainment first of all SP used must not only has good compability with cement, but also without air entraining effect (9). To avoid the excess air entraining also the anty-foaming admixture AFA can be used (10).

Additionally AFA addition can drastically increase the flowability of SCC (11). However, there is no information about the influence of AFA on strength and frost resistance. In order to find this influence the experiments were undertaken by the author which results presented in this paper.

Tablica 3 / Table 3

SKŁAD MIESZANKI BETONOWEJ, kg/ m<sup>3</sup>

COMPOSITION OF CONCRETE MIX , kg/m<sup>3</sup>

Mieszanka Mix	Cement	w/c	Piasek Sand	Żwir, 2-8 mm Gravel	Żwir, 8-16 mm Gravel	SP	DPS AFA
B1	564	0,32	900	449	289	1,31	0,00
B2	564	0,32	900	449	289	1,93	0,00
B3	547	0,34	900	449	289	1,93	1,00
B4	547	0,34	900	449	289	1,93	1,00*
C1	590	0,28	950	450	256	3,99	0,00
C2	590	0,28	950	450	256	3,99	1,49
C3	590	0,28	950	450	256	4,87	2,20
C4	610	0,26	950	450	256	3,00	4,33

\*po 20 min, DPS– modyfikowane polialkohole, AFA – modified polyalcohols

## 2. Materiały i metody

Do sporządzania mieszanek betonowych zastosowano cement hutniczy CEM III/A 32,5N-HSR/NA (tablica 4), kruszywo żwirowe frakcji 2/8 mm i 8/16 mm, piasek frakcji 0/2mm, wodę wodociągową i domieszki chemiczne: SP polikarboksyłowy oraz domieszkę przeciwspieniającą DPS.

Tablica 4 / Table 4

WŁAŚCIWOŚCI CEMENTU ZASTOSOWANEGO W BADANIACH

PROPERTIES OF USED CEMENT

Składnik	Zawartość w %							Powierzchnia właściwa, m <sup>2</sup> /kg Specific surface
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> Oe	SO <sub>3</sub>	
	29,3	50,5	6,6	1,7	4,0	0,83	3,3	380

Projektowanie mieszanki betonowej przeprowadzono metodą doświadczalną. W tablicy 3 podano składy mieszanek. Kruszywo i piasek suszono w suszarce przez 24 h, a następnie ochłodzono w powietrzu.

Właściwości mieszanki betonowej oznaczono następującymi metodami: konsystencję metodą opisaną w publikacji (1), gęstość mieszanki – metodą podaną PN-EN 12350-6:2000, zawartość powietrza – metodą ciśnieniową według PN-EN 12350-7:2001.

Wytrzymałość betonu mierzono na kostkach 10x10x10 cm, po upływie 28 dni pielęgnacji w wodzie o temperaturze 20°C, według PN-EN 12350-3:2001, a odporność na mróz według PN-88/B-06250.

## 3. Wyniki badań

W tablicy 5 zestawiono wyniki badań wszystkich mieszanek. W przypadku mieszanek B1÷C4 uzyskane wyniki wykazały, że dodatek DPS, oprócz zmniejszenia zawartości powietrza, powoduje także zwiększenie średnicy i zmniejszenie czasu rozplywu (tablica 5). Przy czym w przeprowadzonym zakresie badań, największy wpływ DPS na średnicę rozplywu wystąpił przy w/c = 0,32.

## 2. Materials and methods

For concrete mixture production slay cement CEM III/A 32.5 N-HSR/NA (Table 4) and natural aggregate fractions 2/8 mm and 8/16 mm, sand 0/2 mm, tap water and admixtures: SP – polycarboxylate as well as AFA were used.

For designing of concrete the experimental method was applied. Sand and aggregate were dried for 24 h and cooled in air.

The properties of concrete mix were examined using the following methods: consistency described in (1), density – according PN-EN

12350-6:2000, air content – pressure method according PN-EN 12350-7:2001. Concrete strength were examined on cubes 10 x 10 x 10 cm after 28 days curing in water at 20°C according to PN-EN 12350-3:2001 and frost resistance according to PN-88/B-06250.

## 3. Results and experiments

In table 5 the properties of all mixtures are depicted. In the case of the mixes B1 to C4 the results have shown that the AFA addition, apart of air content decrease, causes also increase of flow diameter and diminution of flow time (Table 5). In the realized range of experiments the highest influence of AFA on flow diameter was found at w/c ratio equal 0.32.

It should be underlined that in order to obtain the top effect of AFA the ratio SP/AFA must be chosen, assuring the highest flow diameter of the mix with the lowest air entrainment in the mixture (compare C2-C4 in Table 5).

Comparing the results of mixtures B3 and B4 examination (Table 5) it can be concluded that the time of AFA addition is important for the effectiveness of its influence. For the lowest air entrainment and the highest flowability of the mix AFA should be added immediately

Tablica 5 / Table 5

## WŁAŚCIWOŚCI MIESZANEK

## PROPERTIES OF THE CONCRETE MIXES

Mieszanka Mix	Zawartość powietrza Air content, %	Czas rozplywu Flow time, S	Średnica rozplywu Flow diameter, Mm	Gęstość mieszanki, Mix density, kg/m <sup>3</sup>
B1	4,0	9	530	2230
B2	3,5	4	590	2270
B3	2,7	3	700	2310
B4	2,7	4	640	2260
C1	3,0	13	700	2320
C2	2,8	13	740	2350
C3	3,0	13	700	2320
C4	3,5	21	540	2300

Tablica 6 / Table 6

## WŁAŚCIWOŚCI BETONU

## THE PROPERTIES OF THE HARDENED CONCRETE

Mieszanka Mix	Gęstość betonu Concrete density, kg/m <sup>3</sup>	Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength, MPa	Spadek wytrzymałości na ściskanie po 300 cyklach zamrażania i rozmrażania Compressive strength loss after 300 cycles, %
B1	2371	67	35
B2	2420	66	16
B3	2371	59	0
B4	2360	60	16*
C1	2403	67	29
C2	2421	61	19
C3	2370	60	2
C4	2397	57	0

\*wzrost / increase

Należy podkreślić, że w celu uzyskania największej efektywności działania DPS, należy iteracyjnie dobierać stosunek SP/DPS, tak aby uzyskać największy rozplyw mieszanki przy najmniejszej zawartości powietrza w jej objętości (porównaj C2÷C4 w tablicy 5).

Porównując wyniki badań mieszank B3 i B4 ( tablica 5) wnioskować można, że czas dodania DPS jest ważny ze względu na efektywność jej działania. W celu uzyskania największego zmniejszenia zawartości powietrza i nadania mieszance maksymalnej płynności, należy DPS dodawać zaraz po SP. Wyniki innych badań (11) wykazują, że czas dodania DPS ze względu na zmniejszenie zawartości powietrza nie ma znaczenia w przypadku BSZ o większym stosunku w/c.

W tablicy 6 zestawiono wyniki badań wszystkich betonów. Ocena wpływu DPS na wytrzymałość BSZ prowadzi do następujących wniosków. Dodatek DSP powoduje zmniejszenie wytrzymałości o 5 do 10 MPa, większe w przypadku BSZ o mniejszym stosunku w/c. Ponadto, wpływ DPS na wytrzymałość BSZ zależy w dużym stopniu od stosunku ilościowego SP/ DPS. W przypadku zbyt małej ilości SP i zbyt dużego dodatku DPS nie następuje zwiększe-

after SP. The results of other works (11) have shown that the time of AFA addition, regarding the decrease of air entrainment, is not important in the case of SCC with higher w/c ratio.

In Table 6 the results of all concrete examination are depicted. The review of AFA influence on SCC strength give the following conclusions. AFA addition causes the strength decrease of 5 to 10 MPa, higher in the case of SCC with lower w/c ratio. Additionally the effect of AFA on the SCC strength depends drastically of the ratio SP/AFA. In the case of too small SP addition and too high ratio SP/AFA flow diameter is not increased and air entrainment is not decreased (compare C1 and C4 in Table 5). In turn too high air content and AFA addition give the strength decrease of SCC (compare C1 and C4 in Table 6).

The results show that the AFA addition influence advantageously on SCC frost resistance (Table 6). Additionally AFA addition causes concrete strength increase (even of 16%, B4 in Table 6) after 300 cycles of throwing and freezing. The

same concrete strength, but without AFA decreased of 15.5%. The advantageous AFA influence is higher in the case of SCC with lower w/c ratio, independently of air content found in the mixture (compare C1 and C3 in Tables 4 and 5). Advantageous AFA influence is increasing with the increase of its addition (compare B3 and B4 and C2-C4 in Table 6).

The air entrainment caused by SP not in all cases assures the frost resistance of SCC from CEM III/A 32.5. It is interesting that the same air content, but entrained by simultaneous SP and AFA addition, assures frost resistance of SCC (compare C1 and C3 in Table 5). The reason of this behaviour is the change of concrete porosity structure caused by AFA addition which was confirmed by author work (12).

#### 4. Conclusion

The results of experiments permit to draw the following conclusions:

nie rozplywu mieszanki i zmniejszenie napowietrzenia (porównaj C1 i C4 z tablicy 5). Z kolei zbyt duża zawartość powietrza i dodatku DPS, powoduje zmniejszenie wytrzymałości BSZ (porównaj C1 i C4 w tablicy 6).

Wyniki pokazują, że dodatek DPS korzystnie wpływa na odporność BSZ na mróz (tablica 6). Co więcej, dodatek DPS powoduje wzrost wytrzymałości betonu (nawet do 16%, B4 w tablicy 6) podczas badania odporności na mróz. Wytrzymałość tego samego betonu, lecz bez dodatku DPS, uległa zmniejszeniu o 15,5%. Ponadto, korzystny wpływ DPS zaznacza się wyraźniej w przypadku BSZ o mniejszym stosunku w/c, niezależnie od zawartości powietrza znalezionej w mieszance (porównaj C1 i C3 z tablicy 4 i 5). Korzystny wpływ DPS zwiększa się wraz ze wzrostem dodatku (porównaj B3 i B4 oraz C2 – C4 z tablicy 6).

Zawartość powietrza spowodowana wpływem SP nie we wszystkich przypadkach zapewnia dobrą odporność na mróz BSZ, wykonanego z CEM III/A 32,5. Co ciekawe, ta sama zawartość powietrza, lecz uzyskana przy równoczesnym dodatku SP i DPS, zapewnia dobrą odporność BSZ na mróz (porównaj C1 i C3 z tablicy 5). Przyczyną tych wyników jest inna struktura porowatości betonu, spowodowana przez dodatek DPS, co potwierdziły ostatnie badania autorki (12).

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- 1) Dodatek DPS wpływa na zawartość powietrza w samozagęszczającej się mieszance betonowej, a ponadto przyczynia się do korzystnych zmian w urabialności mieszanki, zwiększając średnicę rozplywu i zmniejszając czas rozplywu. W celu uzyskania największej efektywności działania DPS, należy iteracyjnie dobierać stosunek SP/DPS, tak aby uzyskać największy rozplyw mieszanki przy najmniejszej zawartości powietrza. Ponadto, czas dodawania DPS ma duże znaczenie dla efektywności jej wpływu.
- 2) Dodatek DPS zmniejsza wytrzymałość BSZ o 5 do 10 MPa, przy czym spadek ten jest większy w przypadku BSZ o małym stosunku w/c. Trzeba podkreślić, że wpływ DPS na wytrzymałość BSZ zależy w dużym stopniu od stosunku ilościowego SP/DPS.
- 3) Wpływ DPS jest większy w przypadku BSZ o mniejszym stosunku w/c i rośnie z ilością dodanej domieszki. Co więcej, DPS może w pewnych przypadkach powodować znaczny wzrost wytrzymałości betonu poddanego 300 cyklom zamrażania i rozmrażania.

- 1) Addition of AFA influences on air entrainment in self-compacting concrete mixture, and additionally causes advantageous changes in the workability of ten mix increasing the flow diameter and decreasing the flow time. In order to have the highest effectiveness of AFA the ratio SP/AFA must be chosen which assures the highest flowability of the mixture with the lowest air entrainment. Additionally the time of AFA addition is very important for the effectiveness of its influence.
- 2) The AFA addition decrease the SCC strength of 5 to 10 MPa and this effect is higher in case of SCC with low w/c ratio. It should be underlined that AFA influence on SCC strength is drastically dependent of the ratio SP/AFA.
- 3) The effect of AFA is higher in the case of SCC with lower w/c ratio and is increasing with the quantity of admixture added. AFA can, in some cases cause the increase of concrete strength of concrete submitted to 300 cycles of freezing and thawing

#### Literatura / References

1. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use, May 2005.
2. J. Szwabowski, B. Łażniewska-Piekarczyk, Wymogi względem parametrów struktury porowatości mrozoodpornego samozagęszczalnego betonu (SCC), Cement Wapno Beton, 75, 3 (2008).
3. M. Mosquet, Domieszki nowej generacji, Budownictwo Technologie Architektura numer specjalny 2003.
4. T. Gorzelańczyk, Ocena metodami akustycznymi procesu niszczenia betonów samozagęszczonych, rozprawa doktorska, Wrocław 2007.
5. A. M. Neville, Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2000.
6. A. Grodzicka, Odporność betonu wysokowartościowego na działanie mrozu. Wydawnictwa Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2005.
7. E. Sakai, T. Kasuga, T. Sugiyama, K. Asaga, M. Daimon, Influence of superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement, Cement and Concrete Research, 36, 2049–2053 (2006).
8. G. Fagerlund, Trwałość konstrukcji betonowych, Arkady, Warszawa 1997.
9. J. Szwabowski, B. Łażniewska-Piekarczyk, Zwiększenie napowietrzenia mieszanki pod wpływem działania superplastyfikatorów karboksylowych, Cement Wapno Beton, 75, 4 (2008).
10. B. Łażniewska-Piekarczyk, Analysis of the influence of type, amount and way of introduction of anti-foaming admixture (AFA) on the properties of self-compacting concrete mix, Ninth International Symposium on Brittle Matrix Composites, s. 265-274, Warszawa, 25-28 X 2009.
11. B. Łażniewska-Piekarczyk, Analiza wpływu domieszek przeciwpianujących na napowietrzenie i właściwości samozagęszczalnej mieszanki betonowej, 55 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB „Krynica 2009”, 20 - 25 września 2009 r., s. 431-438.
12. B. Łażniewska-Piekarczyk, Badania niepublikowane.