

## Wpływ rodzaju domieszek stabilizujących lepkość (DSL) na właściwości samozagęszczających się zapraw i betonów

### Effect of viscosity stabilizing agents on the properties of self-compacting mortars and concretes

#### 1. Wprowadzenie

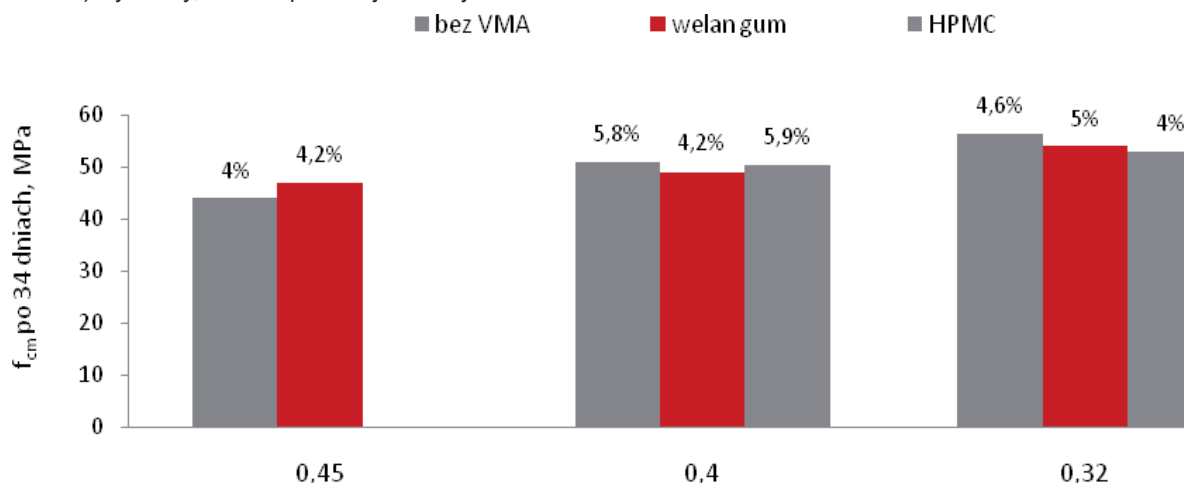
W przypadku, gdy dodanie superplastyfikatora (SP) powoduje sedymentację kruszywa w samozagęszczających się, zaprawach lub betonach można stosować domieszkę stabilizującą lepkość (DSL) (1). W literaturze znaleźć można sprzeczne doniesienia dotyczące wpływu DSL na wytrzymałość zapraw i betonów. Wyniki badań szeregu autorów (2-5) wykazują, że DSL może wpływać na wytrzymałość betonu (rys. 1). Wyniki badań Sahmarana i in. (6) potwierdzają, że wpływ DSL na rozwój wytrzymałości samozagęszczających się zapraw zależy nie tylko od rodzaju tej domieszki, ale także od rodzaju SP (rys. 2). Natomiast wyniki badań kolejnych autorów (7-9) wskazują na negatywny wpływ DSL. W związku ze sprzecznymi doniesieniami o wpływie DSL na wytrzymałość zaprawy i betonu, podjęto badania mające na celu wyjaśnienie, czy powodem zaobserwowanych niezgodności jest rodzaj stosowanej DSL.

Problematyczne jest także stosowanie domieszek DSL w przypadku napowietrzonego betonu. Uzyskane wyniki badań Lachemii i in. (3) (rysunek 3) wykazały, że DSL powoduje zmniejszenie za-

#### 1. Introduction

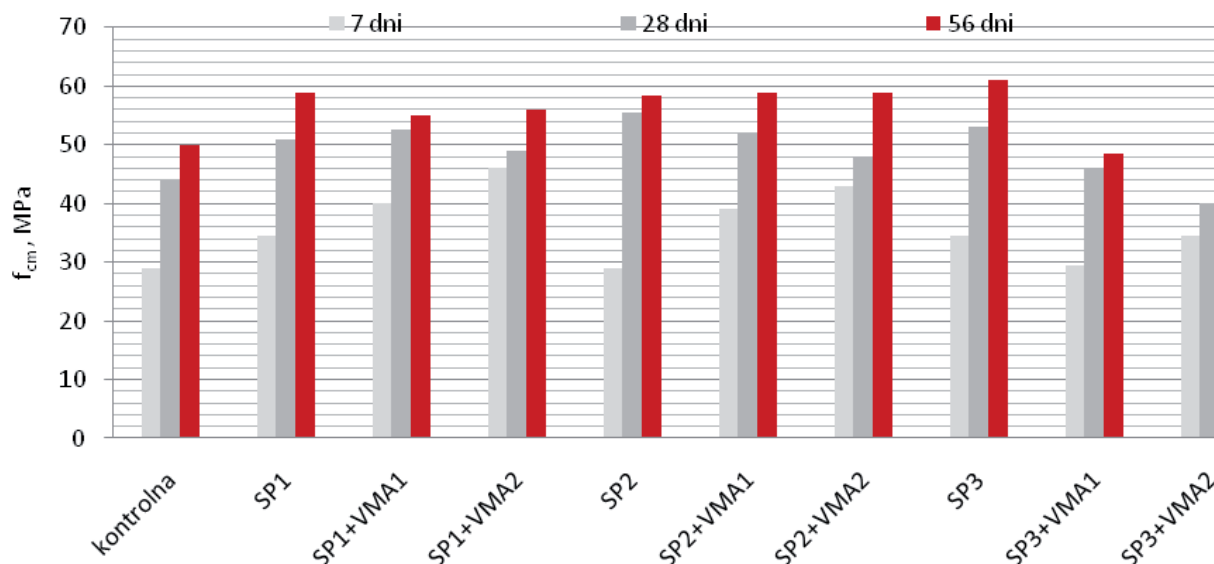
The viscosity modifying agents (VMA) can be used when the superplasticizer brings about the sedimentation of aggregate in the self-compacting mortar or concrete (1). There are some discrepancies dealing with the effect of viscosity modifying agents on the strength of mortars and concretes. As it has been shown in many reports (2-5) these admixtures can affect the strength of concrete (Fig. 1). According to Sahmaran et al. (6) the effect of viscosity modifying agents depends not only on the type of this admixture but also on the type of superplasticizer (Fig. 2). In the other works (7-9) the negative effect of VMA was proved. Because of the controversial data dealing with the relationship between the viscosity modifying agents and strength, the experiments were performed to find how the type of VMA alters the mechanical properties.

The interaction of VMA with aerated concrete mixture leads to the reduction of air content, as it has been shown by Lachemia et al. (3) (Fig. 3). The results of Khayat (10) seem to support this conclusion too. However, in our studies some declinations from this rule have been found.



Rys. 1. Wytrzymałość zapraw po 34 dniach twardnienia; podano zawartość powietrza (2)

Fig. 1. Compressive strength of concrete after 34 days of hardening; air volume is also given (2). Welan gum - an anionic, long-chain biopolymer with saccharose backbones substituted with saccharose side chains, high molecular weight (around 2 million) polysaccharide produced by a controlled aerobic fermentation process, HPMC - hydroxypropyl methyl cellulose



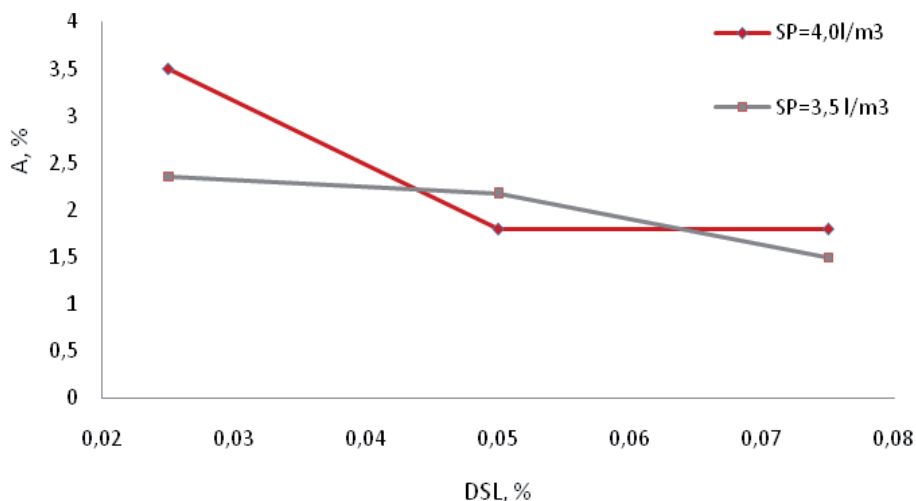
Rys. 2. Wpływ domieszek na wytrzymałość samozagęszczających się zapraw (6)

Fig. 2. Influence of admixtures on the strength of self-compacting mortar (6). SP1, SP2 – Polycarboxylate Ether, SP3 – Melamine Formaldehyde, VMA1 – Aqueous Dispersion of Microscopic Silica, VMA2 – High Molecular Weight Hydroxylated Polymer

wartości powietrza w napowietrzonej mieszance. Również wyniki badań przeprowadzone przez Khayata (10) są zgodne z tym wnioskiem. Natomiast wyniki badań autorki prowadzą do wniosku, że w pewnych warunkach występują odstępstwa od tej reguły.

Z kolei wyniki badań Kamela i Kayata (2) wskazują na korzystny wpływ DSL na wskaźnik trwałości betonu ("Durability Factor" DF) (14).

W celu zbadania wpływu rodzaju i ilości dodanego DSL na właściwości zapraw oraz napowietrzonych i nienapowietrzonych BSZ, przeprowadzono doświadczenia, których wyniki przedstawiono w artykule.



Rys. 3. Wpływ dodatku DSL na zawartość powietrza w betonie (3)

Fig. 3. Effect of DSL quantity on the air content of concrete (3). A SP composed of naphthalene formaldehyde, DSL - polysaccharide-based admixture (suspension in water)

## 2. Materiały i metody

W celu oceny wpływu domieszek na właściwości zaprawy i betonu przyjęto jeden, niezmienny udział głównych ich składników (tablica 1 i 2, rys. 4). w/c utrzymywano na stałym poziomie, uwzględniając zawsze jej ilość wprowadzoną z domieszkami.

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD ZAPRAW

THE MORTARS COMPOSITION

CEM II 32,5 B-S	Piasek / Sand	w*/c
kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	
744,30	1224,5	0,40

\*woda + zawartość wody w domieszkach

\*water + water introduced with admixture

The beneficial role of viscosity stabilizing agents from the durability point of view ("Durability Factor" DF increase) was derived by Kamel and Khayat (15).

In order to find the effect of type and dosage of the viscosity stabilizing agents on the properties of mortars and concretes with and without air-entraining agents the series of experiments were performed.

## 2. Materials and methods

In order to determine the effect admixtures on the properties of mortar and concrete the one version of the composition of base material was taken into account (see Table 1 and 4, Fig. 4). Water to cement ratio was kept constant; the amount introduced with admixtures was also taken into account.

Zgodnie z wymogami PN-EN 934-2:1999, superplastyfikator nie może powodować zwiększenia zawartości powietrza większej od 2%, w porównaniu do zaprawy kontrolnej. Prace Szwabowskiego i autorów (11, 12) wykazują, że w licznych przypadkach superplastyfikatory nie spełniają wymagań tej normy. W przypadku zaprawy (tablica 3) i betonu (tablica 4) stosowano SP, który nie powoduje nadmiernego napowietrzenia, co ustalono na podstawie badań wstępnych. W przypadku zapraw stosowano cztery rodzaje domieszek DSL (tablica 3), natomiast do badań betonu (tablica 4) wybrano tę, która charakteryzowała się korzystnym wpływem na właściwości badanych zapraw (tablica 3).

Założeniem doboru stosowanych ilości domieszek (tablica 4) w BSZ było zapewnienie zbliżonego rozplywu mieszanki, mieszczącego się w klasie SF2. Wpływa on bowiem na samoczynne odpowietrzenie (12). Do dwóch mieszanek betonowych dodano domieszkę napowietrzającą [DN].

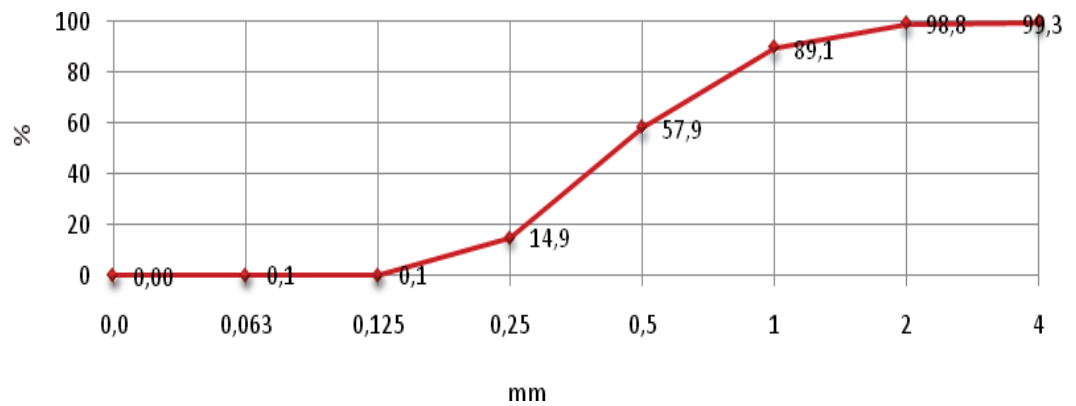
W celu przygotowania samozagęszczającej się zaprawy w pierwszej kolejności mieszano piasek z cementem. Następnie po 0,5 min dodawano wodę, w której rozpuszczano uprzednio SP. W następnej kolejności dodawano DSL. Zaprawa była mieszana zgodnie z normą PN-EN 197-1/2002.

Sporządzenie samozagęszczających się mieszanek betonowych rozpoczynano od wymieszania suchych jej składników. Następnie dodawano SP wymieszany uprzednio z wodą, po czym wprowadzano kolejne domieszki (tabl. 2) i mieszano przez 4 min.

W zaprawie zbadano zawartość powietrza według PN-EN 1015-7:2000, konsystencję na stoliku rozplywowym według PN-EN 1015-3:2000/A2:2007 oraz wytrzymałość na ściskanie i zginanie zaprawy zgodnie z normą PN-EN 1015-11:2001+A1:2007.

Właściwości mieszanki betonowej i betonu oznaczono następującymi metodami: konsystencję mieszanki metodą opisaną w publikacji (13), zawartość powietrza – metodą ciśnieniową PN-EN 12350-7:2001, wytrzymałość na ściskanie betonu zgodnie z normą PN-EN 12350-3:2001, a porowatość według PN-EN 480-11.

Wymienione badania świeżych samozagęszczających się zapraw i mieszanek betonowych wykonywano w temperaturze 20°C, co ma duże znaczenie, gdyż temperatura wpływa zarówno na właściwości reologiczne mieszanki, jak i na zawartość powietrza.



Rys. 4. Krzywa uziarnienia piasku

Fig. 4. Curve of sand grading

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD BSZ

THE SCC COMPOSITION

CEM II 32,5 B-S	Mączka wapienna Limestone powder	w*/c	w*/s	Piasek / Sand	Żwir / Gravel 0-8 mm
kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>			kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
442,40	190,00	0,45	0,31	693,20	866,49

\*woda+domieszki

\*water + admixtures

Tablica 3 / Table 3

RODZAJ I ILOŚĆ DOMIESZEK STOSOWANYCH W ZAPRAWACH

MORTARS ADMIXTURES TYPE

Oznaczenie zaprawy Designation	Rodzaj domieszki Type of admixture	Ilość domieszek, % mas. cementu Dosage, % by mass of cement	
		SP	DSL
Z	SP	0,77	-
ZV1a	SP+DSL1	0,90	1,41
ZV1b			0,70
ZV2	SP+DSL2		1,41
ZV3	SP+DSL3		0,05
ZV4	SP+DSL4		0,05

Bazy chemiczne domieszek: SP – eter poliakryboksylowy, DSL1 i DSL 2 – kopolimery, DSL3 i DSL 4 – metyloceluloza

Chemical bases of admixtures: SP – polycarboxylate aether, VMA1 and VMA 2 - synthetic co-polymers, VMA3 and VMA 4 – methylcelulose

According to the PN-EN 934-2:1999 standard, the superplasticizer should not enhance the air content higher than 2%, as compared with the reference sample. Szwabowski and Łażniewska-Piekarczyk (11, 12) reveal that in many cases the superplasticizers do not comply with this standard requirement. The superplasticizer used in these experiments as an admixture to mortar (Table 3) or to concrete (Table 4) does not cause any excess air entrainment, as it has been controlled in preliminary studies. The four VMA types (Table 3) were added to mortars; one of them, with the most

Tablica 4 / Table 4

RODZAJ DOMIESZEK ZASTOSOWANY W BSZ

SCC ADMIXTURES TYPE

Oznaczenie Designation	Rodzaj domieszek Type of admixture	Badany efekt wpływu domieszek Effect of admixture
B2	SP „nienapowietrzający” SP with no air-entrainment	BSZ bez domieszki napowietrzającej SCC with no VMA
B2V	SP+DSL SP+VMA	Przeciwdziałanie segregacji powstałej w wyniku działania SP2 Counteraction against SP2 induced segregation
B2A	SP+DN SP+AEA	Celowo napowietrzony SCC aerated
B2AV	SP+DN+DSL SP+AEA+VMA	Przeciwdziałanie segregacji powstałej w wyniku działania SP2 +DN Counteraction against SP2 + AEA induced segregation

Bazy chemiczne domieszek: SP1; SP2 – eter polikarboksyloowy; DSL – kopolimery; DN – dodatek powierzchniowo czynny

Chemical bases of admixtures: SP1; SP2 – polycarboxylate aether; VMA – synthetic co-polymers; AEA – synthetic thickening agent

### 3. Wyniki badań samozagęszczającej się zaprawy i betonu oraz ich dyskusja

Na rysunkach 3-5 pokazano wyniki badań właściwości zaprawy. Ilość i rodzaj DSL ma duży wpływ na właściwości zaprawy z dodatkiem SP (tablica 5). Rodzaj DSL ma znaczny wpływ na zawartość powietrza w zaprawie. Jego zawartość wzrasta w przypadku dodatku metylcelulozy [DSL 3 i 4]. Natomiast kopolimery mają duży wpływ na średnicę, a nie mają na czas rozplywu (tablica 5). Właściwości mechaniczne stwardniałych zapraw zostały zestawione w tablicy 6.

Uzyskane wyniki pokazują, że DSL ma duży wpływ na wytrzymałość zaprawy z dodatkiem SP (tablica 6), która jest większa w przypadku kopolimerów. Natomiast zaprawy ZSV3 i ZSV4 mają mniejszą wytrzymałość, przy czym w ich przypadku zastosowano domieszki na bazie metylcelulozy. Natomiast o niekorzystnym wpływie tej domieszki donoszą inni autorzy (7, 9).

Również korzystny jest wpływ DSL na wytrzymałość zapraw na zginanie (tablica 6). Wniosek ten dotyczy także DSL na bazie metylcelulozy (ZV3 i ZV4).

W tablicy 7 zestawiono wyniki badań właściwości samozagęszczalnej mieszanki betonowej. Tak jak wspomniano uprzednio, celowo zastosowano taką ilość domieszek, aby nie wprowadzać kolejnego, zmiennego czynnika wpływającego na porowatość BSZ, którym jest granica płynięcia mieszanki. Z tego powodu utrzymywano stały rozplyw mieszanek BSZ, pomimo zastosowania różnych domieszek (tablica 7). W przeciwnym przypadku, stosowane domieszki znacznie modyfikowałyby urabialność mieszanek BSZ.

Wprowadzenie DSL do mieszanki zawierającej SP (tablica 7), powoduje duże zmiany wyłącznie czasu jej rozplywu. Natomiast jak

preferable impact on concrete properties were selected as the admixture to concrete (Table 4).

The dosage of admixtures is compatible with very similar flow values determined experimentally for all the concrete mixtures (table 3), attributed to the SF2 class. As it is known, the spontaneous, self air-entrainment depends upon the percentage of admixture (12). The air entraining admixture (AEA) was introduced to the two concrete mixtures.

In order to produce the self-compacting mortar the following procedure was used: first of all the cement - sand mixture was done. In the next step the solution of water with superplasticizer was added after 0,5 min. Subsequently the viscosity modifying admixture was added. The mixing of mortar was performed according to the PN-EN 196-1/2002 standard.

The self-compacting concrete mixtures preparation commenced by mixing of dry components. Subsequently the solution of water with superplasticizer was added and then the other admixtures (Table 4); the mixture was homogenized for 4 min.

Tablica 5 / Table 5

WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI ŚWIEŻEJ ZAPRAWY

RESULTS OF FRESH MORTARS TESTS

Oznaczenie Sample Jednostki	A <sub>c</sub>	D	T <sub>500</sub>
	%	mm	s
Z	4,0	24,0	4
ZV1a	5,0	29,5	6
ZV1b	4,0	30,0	4
ZV2	4,0	29,0	4
ZV3	5,5	23,5	5
ZV4	6,0	20,5	5

Tablica 6 / Table 6

WYNIKI BADAŃ STWARDNIAŁEJ ZAPRAWY

RESULTS OF HARDENED MORTAR TESTS

Oznaczenie Sample	F <sub>cm</sub>	F <sub>ct</sub>	F <sub>ct</sub> =%F <sub>cm</sub>
	MPa	MPa	%
Z	55	5	10
ZV1a	64	13	20
ZV1b	66	12	18
ZV2	65	12	18
ZV3	46	10	21
ZV4	40	9	22

Tablica 7 / Table 7

## WYNIKI BADAŃ BSZ

## RESULTS OF SCC INVESTIGATIONS

Oznaczenie Sample	D mm	T <sub>500</sub> s	A <sub>c</sub> %
B2	715	2	2,1
B2V	710	4	2,5
B2A	640	2	5,0
B2AV	690	4	5,0

już wspomniano ilości SP i DSL dobierano w taki sposób, aby zachować zbliżony rozptyw BSZ. Także zawartość powietrza nie ulegała większej zmianie.

Dodanie domieszki napowietrzającej do mieszanki betonowej zawierającej dodatek SP powoduje zmniejszenie średnicy jej rozptywu (tablica 7). Podobny wpływ stwierdzono we wcześniejszych doświadczeniach z BSZ (12). Trzeba podkreślić, że w literaturze spotkać można sprzeczne wyniki dotyczące napowietżenia pod wpływem DN, na rozptyw mieszanek BSZ. Niepublikowane wyniki licznych badań autorki wykazują, że charakter tego wpływu zależy do ilości dodanej domieszki napowietrzającej. W przypadku małego dodatku może następować zwiększenie rozptywu BSZ, ponieważ DN jest środkiem powierzchniowo czynnym. Jednak dalsze zwiększenie napowietżenia, w wyniku zastosowania tej domieszki daje efekt odwrotny, to znaczy zmniejszenie rozptywu BSZ (12).

Wyniki badań zestawione w tablica 7 wykazują, że zastosowanie DSL nie powoduje zmiany zawartości powietrza w napowietrzanej mieszance, oczywiście przy zachowaniu jej zbliżonego rozptywu. Uzyskane wyniki nie potwierdzają badań Alchemii i in. (3) (rys. 3), którzy stwierdzili, że DSL powoduje zmniejszenie zawartości powietrza w mieszance z dodatkiem DN. Także badania Khayata (10) nie są zgodne z wynikami badań autorki. Prawdopodobnym powodem może być rodzaj betonu zastosowanego w tych badaniach. Wobec tego, rozstrzygnięcie wpływu DSL na napowietrzony beton, wymaga dalszych badań.

W tablicy 8 i na rysunkach 5+8 zestawiono wyniki badań porowatości według PN-EN 480-11 i wyniki badań wytrzymałości na ściskanie BSZ.

Jak już wspomniano we wstępie, wyniki badań szeregu autorów wskazują na bardzo zróżnicowany wpływ DSL na wytrzymałość. Uzyskane wyniki zestawione w tablicy 8 wykazują, że zastosowanie jako DSL kopolimerów powoduje pomijalne statystycznie zmniejszenie wytrzymałości nienapowietrzonego BSZ (por. B2 i B2V).

DSL ma duży wpływ na zawartość powietrza w BSZ. Jest ona aż o około 70% wyższa w betonie z dodatkiem tego kopolimeru. Ponadto zwiększeniu ulega odległość pomiędzy porami, a zmniejszeniu ich powierzchnia, a więc także udział porów mniejszych od 300 µm.

The air content in the mortar was measured according to the PN-EN 1015-7:2000 standard, the consistency on the flow table according to the PN-EN 1015-3:2000/A2:2007, the compressive and flexural strength according to the PN-EN 1015-11:2001+A1:2007.

The properties of SCC mortar and concrete were determined with help of following methods: the consistency - according to the procedure given in (13), the air content - by pressure PN-EN 12350-7:2001 standard method, the compressive strength - according to the PN-EN 12350-3:2001 standard and porosity according to the PN-EN 480-11 standard.

The experiments were held at constant temperature 20°C; this is important because of the effect of temperature both on the rheological properties of concrete mixture as well as on the air content.

### 3. Results and discussion

In Tables 5+6 the properties of mortars are shown. The percentage and type of VMA has a great impact on the materials admixed with superplasticizer. The methyl cellulose - type VMA brings about the air content increase (Table 5). The co-polymers augment the diameter of mortar cake but not the flow time (Table 5). The mechanical properties are listed in Table 6.

As one can see the VMA have a significant impact on the strength of mortars with superplasticizers (Table 6); in the presence of co-polymers the strength values are higher. The samples with methylcellulose exhibit lower strength. These are consistent with those reported by the other authors (7, 9). However the effect of VMA on the flexural strength is positive both in case of co-polymers and methyl cellulose type admixtures (Table 6).

In Table 7 the properties of self-compacting concrete mixtures are presented. As it has been mentioned above, the dosage of admixtures was fixed to give the same yield stress, as a porosity controlling factor. For this reason the constant value of flow diameter for the mixtures with different admixtures was maintained (Table 7). Otherwise, the admixtures would significantly modify the SCC mixture workability.

The VMA introduced to the mixture with SP (Table 7) alter the time of flow at the similar flow diameter – that was the aim of experiment. The air content is almost the same.

The air entraining admixture brings about the flow diameter decrease (Table 7). The similar effect was observed in case of self compacting concrete mixture (12). One should underline that there are some discrepancies in the reports concerning the effect of AEA on the flow diameter. The numerous, unpublished data of the author seem to point out that the effect is bound with the dosage of air entraining agent. At low percentage the higher flow can be observed because the AEA is of surface active character. However further growth of air entrainment can give the reverse effect, that is the reduction of SCC mixture flow (12).

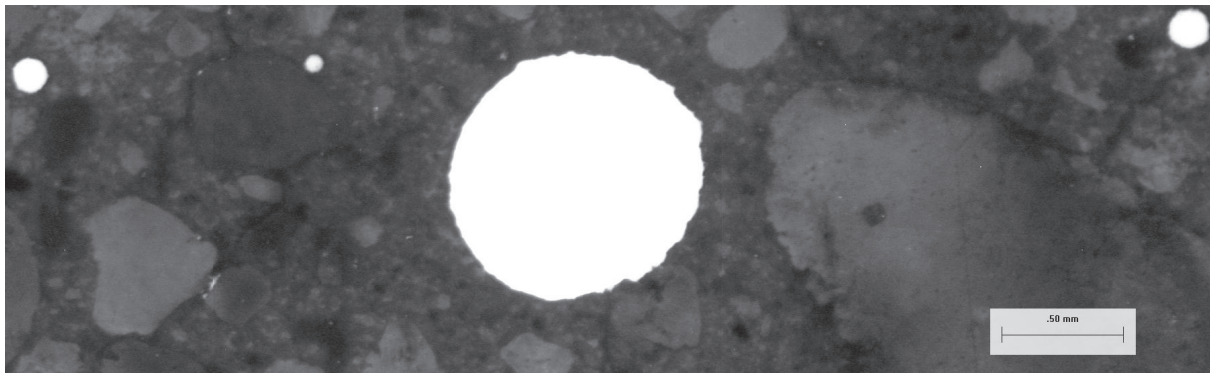
Natomiast dodatek domieszki napowietrzającej powoduje, jak można było się spodziewać znaczne zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie betonu. Napowietrzenie powoduje obniżenie jego wytrzymałości o 20 MPa, przy zwiększeniu całkowitej zawartości powietrza w stosunku do nienapowietrzonego BSZ o 1,94%. Równocześnie powierzchnia właściwa porów w betonie napowietrzonym jest niemal dwukrotnie większa, co zresztą jasno wynika z porównania mikrostruktury pokazanej na rysunkach 5 i 7. Zawartość porów mniejszych od 300  $\mu\text{m}$  [ $A_{300}$ ] jest ponad sześciokrotnie większa. Ponadto wskaźnik rozstawu porów w betonie napowietrzonym jest prawie trzykrotnie mniejszy niż w przypadku betonu nienapowietrzonego.

Tablica 8 / Table 8

CHARAKTERYSTYKA PORÓW POWIETRZNYCH I WYTRZYMAŁOŚĆ BSZ

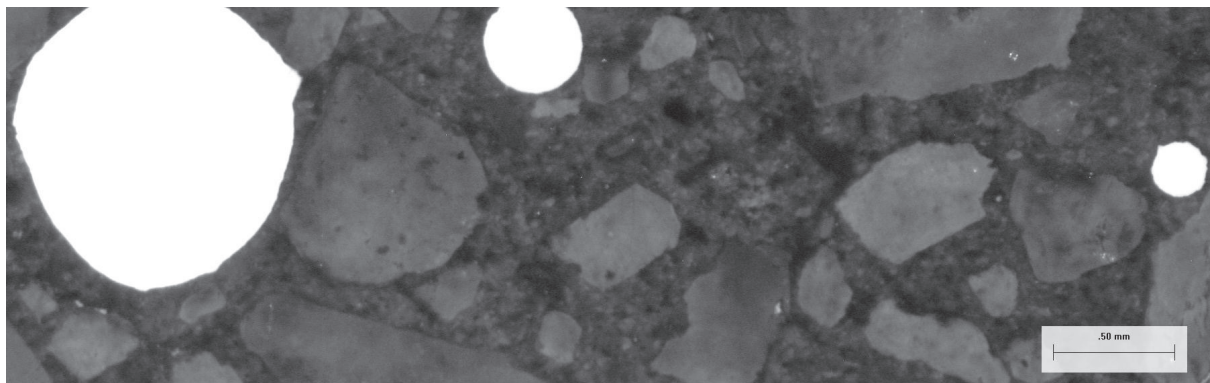
THE CONCRETE POROSITY CHARACTERISTICS AND COMPRESSIVE STRENGTH OF SCC

Symbol Sample	A %	$\bar{L}$ mm	$\alpha$ mm <sup>-1</sup>	$A_{300}$ %	$F_{cm}$ MPa
B2	1,86	0,84	10,88	0,22	75
B2V	3,14	0,99	7,16	0,16	73
B2A	3,80	0,33	20,21	1,39	56
B2AV	3,72	0,32	20,71	1,54	65



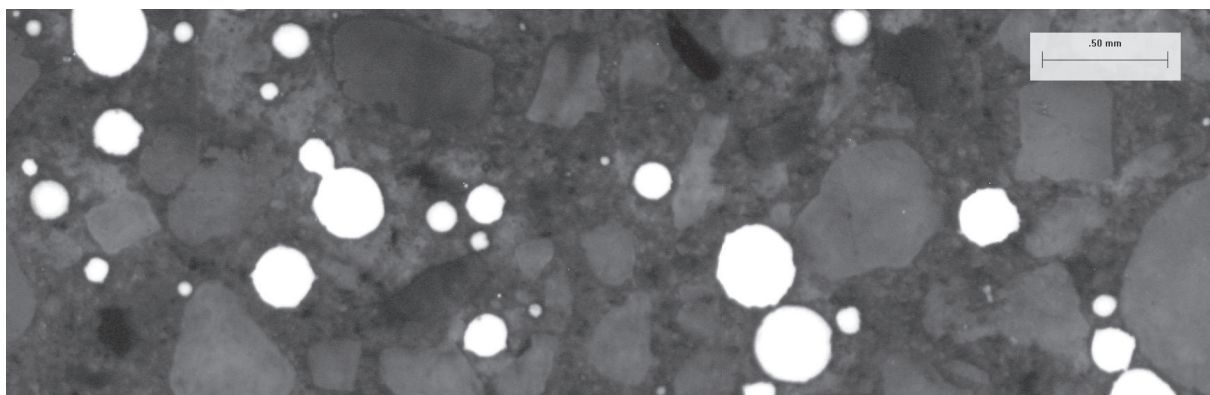
Rys. 5. Obraz mikrostruktury próbki B2

Fig. 5. Microstructure of B2 sample



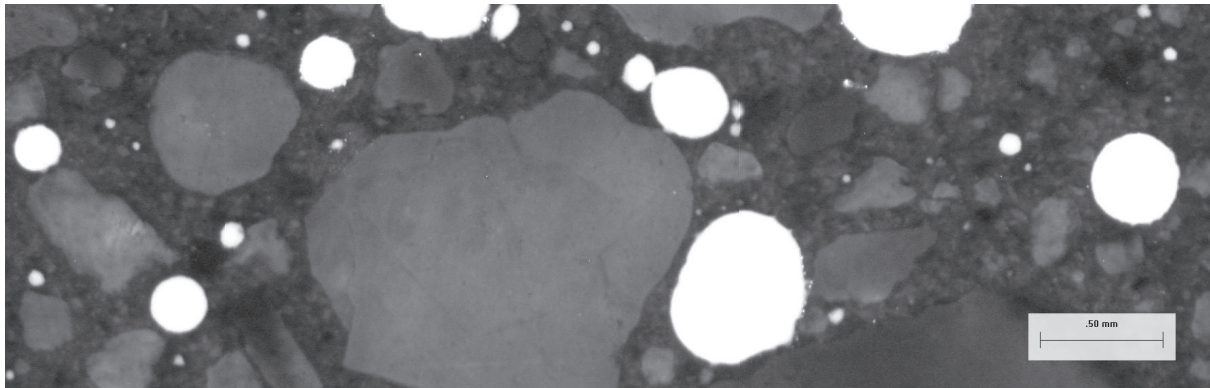
Rys. 6. Obraz mikrostruktury próbki B2V

Fig. 6. Microstructure of B2V sample



Rys. 7. Obraz mikrostruktury próbki B2A

Fig. 7. Microstructure of B2A sample



Rys. 8. Obraz mikrostruktury próbki B2AV

Fig. 8. Microstructure of B2AV sample

Dodanie DSL do samozagęszczającej się mieszanki z domieszką napowietrzającą powoduje duże zwiększenie wytrzymałości BSZ, aż o 10 MPa. Nastąpiło zmniejszenie zawartości małych porów, co nie jest niestety widoczne na rysunku 8. Uległa także pewnemu zmniejszeniu zawartość powietrza.

#### 4. Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników wpływu domieszek stabilizujących lepkość na właściwości samozagęszczających się zapraw i betonu można sformułować następujące wnioski:

- Rodzaj DSL ma różny wpływ na właściwości mieszanki zaprawy z dodatkiem SP. DSL w formie kopolimerów zwiększają znacznie wytrzymałość zapraw, a metylceluloza w mniejszym stopniu,
- Wyniki przeprowadzonych badań wykazują, że zastosowanie jako DSL kopolimerów powoduje pomijalne statystycznie zmniejszenie wytrzymałości BSZ. Natomiast ten rodzaj DSL ma znaczny wpływ na zawartość powietrza w BSZ z dodatkiem SP, zwiększając jego zawartość,
- Sprzeczne wyniki badań spotykanych w literaturze są prawdopodobnie spowodowane różnymi rodzajami stosowanych DSL,
- Dodanie domieszki napowietrzającej do mieszanki BSZ zawierającej SP, nie zwiększającym nadmiernie ilości powietrza, spowodowało zmniejszenie rozplywu tej mieszanki. Napowietrzenie BSZ także spowodowało zmniejszenie wytrzymałości o 20 MPa, czego zresztą należało oczekiwać,
- Dodatek DSL nie osłabia działania DN i nie zmniejsza napowietrzenia. Dodatek DSL powoduje nieznaczny wzrost wytrzymałości napowietrzonego BSZ.

#### Literatura / References

1. Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures For Concrete September 2006, EFNARC [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org).
2. H. Kamal, K. H. Khayat, Viscosity-Enhancing Admixture for Cement-Based Materials – An Overview, *Cem. Concr. Comp.* 20, 171 (1998).

The data listed in Table 7 show that the VMA does not result in the air content change, obviously at constant flow diameter. These results are not consistent with those of Lachemia et al. (3) (Fig. 3) in which the VMA reduced the air content in the mixtures with AEA. The results reported by Khayat (10) are not consistent with the data of the author. This could be the consequence of different concrete mixture composition. Therefore the VMA effect on the properties of air entrained concrete should be further investigated.

In Table 8 and in Figs 5÷8 the porosity (according to the PN-EN 480-11 standard) and compressive strength of SCC are presented.

As it has been mentioned above, the data relating to the effect of VMA on strength of concrete are different as one can find in numerous reports. The results given in table 8 show that the copolymer type VMA bring about the negligible, from statistical point of view, strength lowering of SCC with no air entrainment (see the data for B2 and B2V).

VMA has a great impact on the air content in SCC; the values for concretes with co-polymer are about 70% higher. The space ratio increases and the surface of pores decreases, therefore the ratio of pores smaller than 300  $\mu\text{m}$  decreases too.

The air entraining admixture brings about, as one could expect, the significant reduction of compressive strength. The compressive strength is about 20 MPa lower at the air content increase of 1.94%. Simultaneously the specific surface of pores in concrete with AEA is almost twice higher; this was found during the examination of microstructure, illustrated as Figs 5 and 7. The content of pores smaller than 300  $\mu\text{m}$  [ $A_{300}$ ] is over six times higher. Moreover, the space ratio of pores in the concrete with AEA is nearly three times lower than in the case of concrete with no AEA.

The VMA added to the self-compacting mixture with AEA results in a substantial compressive strength growth, of 10 MPa. The reduction of smaller pores takes place, however, this is not visible in Fig. 8. The air content is a little reduced.

3. M. Lachemia, K. M. A. Hossaina, V. Lambrosa, P.-C. Nkinamubanzib, N. Bouzoubaa<sup>a,b</sup>, Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures, *Cem. Concr. Res.* 34, 917 (2004).
4. A. Leemann, F. Winnfield, The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete, *Cem. Concr. Comp.* 29, 341 (2007).
5. S. Rols., J. Ambroise, J. Péra, Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete, *Cem. Concr. Res.* 29, 261 (1999).
6. M. Şahmaran, H.A. Christianto, İ. Ö. Yaman, Effect of chemical and mineral admixtures on the fresh properties of self-compacting mortars, *Cem. Concr. Comp.*, 28, 432 (2006).
7. X. Fu, D. D. L. Chung, Effect of methylcellulose on the mechanical properties of cement, *Cem. Concr. Res.*, 26, 535 (1996).
8. J. Gołaszewski, Influence of viscosity enhancing agent on rheology and compressive strength of superplasticized mortars, *Journal of Civil Engineering and Management International Research and Achievements*, Vilnius: Technika, 15, 181 (2009).
9. M. Saric-Coric, K.H. Khayat, A. Tagnit-Hamou, Performance characteristics of cement grouts made with various combinations of high-range water reducer and cellulose-based viscosity modifier, *Cem. Concr. Res.* 33, (1999).
10. K. H. Khayat, Optimization and performance of the air-entrained, self-consolidating concrete, *ACI Mat. Jour.*, 97, 526, (2000).
11. J. Szwabowski, B. Łażniewska-Piekarczyk, Air-entrainment problem in self-compacting concrete, *Journal of Civil Engineering and Management International Research and Achievements*, Vilnius: Technika, 15, No 2, 137, (2009).
12. J. Szwabowski, B. Łażniewska-Piekarczyk, Zwiększenie napowietrzenia mieszanki pod wpływem działania superplastifikatorów karboksylowych, *Cement-Wapno-Beton*, 75. 205, (2008).
13. European Project Group: The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use, 2005.
14. ASTM C 666, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, *Annual Book of ASTM Standards*, 1991.

## 4. Conclusions

Basing on the results relating to the effect of viscosity modifying admixtures on the properties of self-compacting mortars and concretes the following conclusions can be drawn:

- The properties of self-compacting mortar with superplasticizer depend on the type of viscosity modifying admixture. When VMA in the form of co-polymer is used the compressive strength significantly increases; the effect of methyl cellulose is less pronounced,
- When VMA in the form of co-polymer is used in self-compacting concrete the strength lowering is negligible from statistical point of view. On the other side the VMA has a great impact on the air content in SCC with superplasticizer; the air content in this case is much higher,
- The discrepancies between the reported data are presumably the consequence of different origin of VMA used in the experiments,
- The air entraining admixture used in SCC mixture with SP brings about the flow diameter decrease at not specially higher air content. As one could expect air entraining resulted in the reduction of compressive strength of about 20 MPa,
- The VMA does not disturb the effect of AEA and the air content. In the presence of VMA some compressive strength increase can be observed.