

# Wpływ domieszek na urabialność, porowatość i wytrzymałość SCC

*W tekście przedstawiono wyniki badań wpływu domieszek upłynniających, napowietrzających, przeciwpianających i stabilizujących (SP, AEA, AFA, VMA) na zawartość powietrza w mieszance, jej urabialność oraz wytrzymałość na ściskanie i charakterystykę porowatości stwardniałego betonu samozagęszczalnego. Rezultaty badań wykazały, że wymienione domieszki znacząco wpływają na badane właściwości oraz charakterystykę porowatości według PN-EN 480-11.*

## 1. Wprowadzenie

W przypadku samozagęszczalnego betonu (SCC) uzyskanie pożądanych parametrów struktury jego porowatości, ze względu na mrozoodporność, jest problematyczne [15]. Na skutek znacznej płynności mieszanki pęcherzyki powietrza ulegają niekontrolowanemu zachowaniu, np. koalescencji, zanikaniu czy też wypływaniu pod wpływem siły wyporu [6], [7], [11]. Ponadto, niektóre rodzaje superplastyfikatorów (SP) powodują powstanie nadmiernej zawartości powietrza w samozagęszczalnej mieszance [15], pomimo tego, że zawierają już w swym składzie domieszkę przeciwpianającą [ang. *anti-foaming admixtures (AFA)*]. Domieszki przeciwpianające skutecznie obniżają nadmierną zawartość powietrza [9], lecz ich dodanie, w pewnych przypadkach, może powodować segregację samozagęszczalnej mieszanki. Wtedy stosuje się domieszki zwiększające lepkość (VMA).

W przypadku celowo napowietrzonego SCC problem doboru odpowiedniej domieszki jest także złożony. Zawartość powietrza w stwardniałym betonie, będąca efektem działania superplastyfikatora nadmiernie zwiększającego zawartość powietrza, może wynosić aż 8% i więcej [15]. Niemniej jednak tak powstałe pory powietrzne charakteryzują się zbyt dużymi rozmiarami (przeważnie ok. 1 mm, rys. 1), żeby były korzystne z uwagi na mrozoodporność betonu, i przyczyniają się tylko do obniżenia jego wytrzymałości i zwiększenia nasiąkliwości. Alternatywą jest stosowanie SP niezwiększającego zawartości powietrza i dodanie AEA. W pewnych przypadkach

wprowadzenie AEA może spowodować nadmierne upłynnienie mieszanki, gdyż AEA jest środkiem powierzchniowoczynnym. W takiej sytuacji należy stosować kolejną domieszkę, czyli VMA. Stosowanie AFA i VMA, zależnie od rodzaju SP, może powodować istotne zmiany założonych właściwości mieszanki oraz napowietrzonego i nienapowietrzonego SCC. Celem prezentowanych badań było określenie wpływu wymienionych układów domieszek (tabl. 2) na urabialność i zawartość powietrza w mieszance i stwardniałym SCC oraz na wytrzymałość i charakterystyki porowatości (według PN-EN 480-11) stwardniałego SCC.

## 2. Metodyka badań

Do projektowania i wykonania mieszanek betonowych (tabl. 1) zastosowano cement CEM II B-S 32,5R, mączkę wapienną, kruszywo żwirowe frakcji 2/8 mm, piasek frakcji 0/2 mm. Kruszywo i piasek były suszone w suszarce przez dobę, a przed badaniami wystudzone. W badaniach zastosowano następujące domieszki: SP1 (powodujący powstawanie nadmiernej zawartości powietrza), SP2 (niepowodujący powstawania nadmiernej zawartości powietrza), AFA i VMA (wybrane jako najbardziej efektywne na podstawie wcześniejszych badań) oraz AEA (tabl. 2).

Projektowanie mieszanki betonowej przeprowadzono metodą doświadczalną. Celem doboru udziału domieszek (tabl. 2) w SCC było zapewnienie zbliżonego rozplywu mieszanki (mieszczącego się w klasie SF2, gdyż decyduje on o efekcie jej samo zagęszczenia [15]. Przygotowanie mieszanek rozpoczynano od wymieszania suchych jej składników. Następnie dodawano SP rozproszony uprzednio w wodzie, po czym stosowano kolejne domieszki, w zależności od badanego przypadku (tabl. 2). Mieszankę mieszano przez 4 min. Ponieważ efektywność działania SP zależy od czasu, badania mieszanki przeprowadzono po upływie 20 min, licząc od czasu dodania do niej wody. Właściwości mieszanki betonowej oznaczono następującymi metodami: test konsystencji mieszanki według procedury opisanej w publikacji [1], zawartość powietrza – metodą ciśnieniową PN-EN 12350-7:2001. Wymienione badania samozagęszczalnych mieszanek betonowych wykonywano w temperaturze 20°C, co jest szczególnie istotne, gdyż temperatura zarówno wpływa na właściwości reologiczne mieszanki, jak i na zawartość powietrza w jej objętości. W ramach badań betonu wykonano badanie wytrzymałości na ściskanie według PN-EN 12350-3:2001 oraz oznaczenie charakterystyki porowatości SCC według PN-EN 480-11.

## 3. Wyniki badań i ich dyskusja

W tablicy 3 zestawiono wyniki badań właściwości samozagęszczalnej mieszanki. Tak jak wspomniano uprzednio, celowo zastosowano taką ilość domieszek, aby nie wprowadzać kolejnego zmiennego czynnika wpływającego na porowatość SCC,

Tablica 1. Skład SCC

CEM 32,5 B-S	Mączka wapienna	w/c	w/s	Piasek	Żwir 0-8 mm	V zaczynu
442,40	190,00	0,45	0,31	693,20	866,49	41,10 %

Tablica 2. Rodzaj domieszek zastosowany w SCC

Rodzaj domieszek	Badany efekt wpływu domieszek
brak	Próbka odniesienia, beton bez domieszek zagęszczany wibracyjnie
SP1 „napowietrzający”	SCC napowietrzony (nie celowo), w wyniku działania SP1
SP1+AFA	Eliminacja napowietrzenia powstałego w wyniku działania SP1
SP1+AFA+VMA	Przeciwdziałanie segregacji powstałej w wyniku działania SP1+AFA
SP2 „nienapowietrzający”	SCC nienapowietrzony
SP2+VMA	Przeciwdziałanie segregacji powstałej w wyniku działania SP2
SP2+AEA	Celowo napowietrzony SCC
SP2+AEA+VMA	Przeciwdziałanie segregacji powstałej w wyniku działania SP2 +AEA

Główne bazy chemiczne domieszek: SP1; SP2- eter polikarboksylowy; VMA- syntetyczne kopolimery; AFA - polialkohole; AEA- tensydy syntetyczne.

Tablica 3. Rezultaty badań SCC

Symbol	D [mm]	T500 [s]	Ac [%]
B0	-	-	3,8
B1	730	3	8,0
B1A	705	2	2,7
B1VA	710	5	3,1
B2	715	2	2,1
B2V	710	4	2,5
B2A	640	2	5,0
B2AV	690	4	5,0

którym jest płynność mieszanki (mierzona średnicą rozptywu D). Z tego powodu rozptywy SCC nie są istotnie zróżnicowane (tabl. 3). W przeciwnym przypadku, wpływ stosowanych domieszek na urabialność SCC jest znaczny.

Po analizie obserwowanego wpływu domieszek na zawartość powietrza w SCC (tabl. 3) nasuwają się następujące spostrzeżenia.

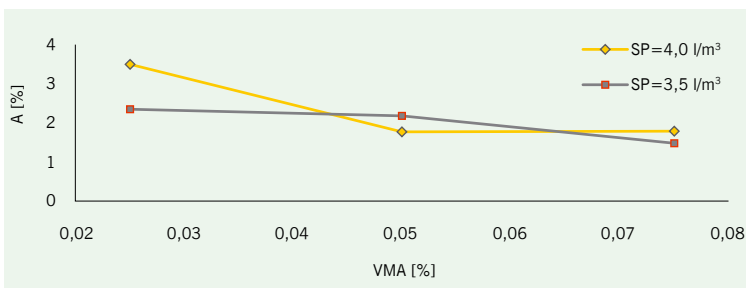
Wpływ rodzaju SP jest zasadniczy dla całkowitej zawartości powietrza w mieszance, pomimo zbliżonego jej rozptywu. Zaskakujące jest, że zawartość powietrza w mieszance wynosi aż 8% podczas??, bez istotnej zmiany rozptywu (D=730 mm).

Wpływ AFA na zawartość powietrza w SCC z SP powodującym nadmierne napowietrzenie jest istotny. Działanie AFA powoduje obniżenie zawartości powietrza w mieszance nawet o 5,3%, nie wywołując jej segregacji. Wpływ AFA na czas rozptywu SCC T500 jest statystycznie nieistotny.

Dodanie VMA do mieszanki z SP i AFA powoduje nieznaczne zmiany jej właściwości. Wskutek działania VMA następuje zwiększenie czasu rozptywu mieszanki, nie powodując istotnej zmiany zawartości powietrza, zredukowanego uprzednio przez AFA. Dodanie VMA do mieszanki z SP niezwiększając zawartość powietrza powoduje istotne zmiany wyłącznie czasu jej rozptywu, ze względu na taki dobór ilości SP i VMA, by zachować w przybliżeniu D=const. Zawartość powietrza nie ulega zasadniczej zmianie.

Dodanie AEA do mieszanki z SP niepowodującym powstania zbyt dużej ilości powietrza przyczynia się do zmniejszenia średnicy rozptywu SCC (tabl. 3) w większym stopniu niż zawartość powietrza, będąca efektem działania SP1. Powodem tego są inne oddziaływania występujące pomiędzy różnego pochodzenia pęcherzykami powietrza a cząstkami stałymi w SCC [15]. Ponadto, w literaturze występują sprzeczne wyniki badań w zakresie wpływu napowietrzenia, będącego efektem działania AEA, na średnicę rozptywu SCC. Rezultaty licznych badań autorów dowodzą, że charakter tego wpływu zależy od ilości zastosowanej AEA. W przypadku małych ilości AEA może następować zwiększenie rozptywu SCC, ponieważ AEA jest środkiem powierzchniowo czynnym. Jednak dalsze zwiększenie napowietrzenia, w wyniku większej ilości AEA, powoduje występowanie spójności pozornej mieszanki przez liczne pęcherzyki powietrza [15], i w związku z tym zmniejszenie rozptywu SCC.

Dodanie VMA do mieszanki z SP i AEA powoduje znaczne zmiany. Rezultaty badań [8] (rys. 1) wykazały, że VMA powoduje obniżanie zawartości powietrza w napowietrzanej celowo mieszance. Także wyniki badań przeprowadzonych przez Khay-



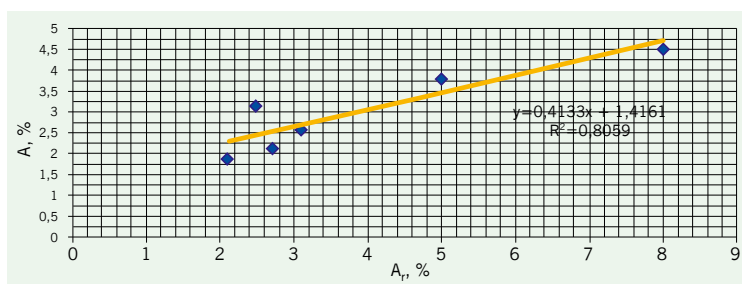
Rys. 1. Wpływ procentowej ilości VMA na zawartość powietrza [8]

Tablica 4. Charakterystyka porów powietrznych

Symbol	A, %	$\bar{L}$ , mm	a, mm-1	A300, %
B1	4,47	0,29	20,83	1,55
B1A	2,10	0,58	15,04	0,25
B1VA	2,56	0,43	18,34	0,42
B2	1,86	0,84	10,88	0,22
B2V	3,14	0,99	7,16	0,16
B2A	3,80	0,33	20,21	1,39
B2AV	3,72	0,32	20,71	1,54

ata [6] są zgodne z tym wnioskiem. Rezultaty badań zestawione w tabl. 3 i w tabl. 4 dowodzą, że zastosowanie VMA nie powoduje znacznej zmiany zawartości powietrza w napowietrzanej uprzednio mieszance i betonie, oczywiście przy zachowaniu zbliżonego rozptywu mieszanki.

W tabelicy 4 zestawiono rezultaty badań charakterystyki porowatości według PN-EN 480-11. Analizując rezultaty badań zestawione na rys. 2, wnioskować można z dużą dozą prawdopodobieństwa

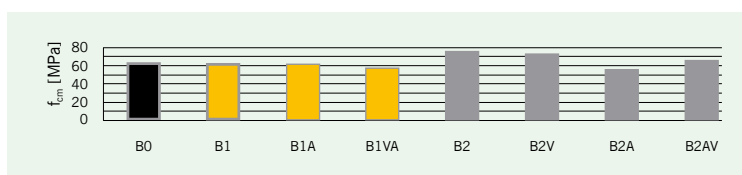


Rys. 2. Zależność między zawartością powietrza w mieszance i w stwardniałym SCC

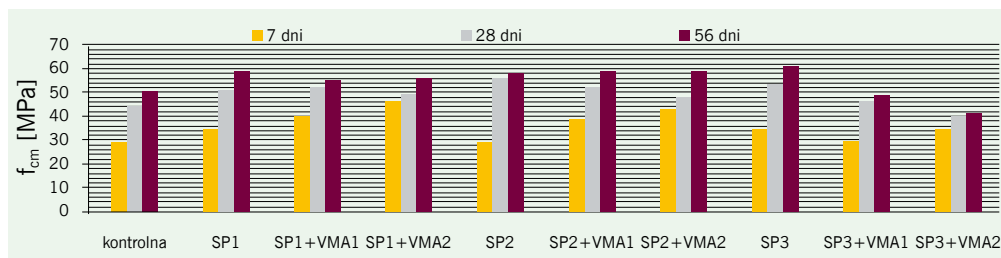
wpływ rodzaju domieszki na całkowite napowietrzenie SCC. Oczywiście, zawartość powietrza w betonie w stosunku do mieszanki jest przeważnie mniejsza, także w tym przypadku.

Wpływ rodzaju SP na wytrzymałość SCC jest istotny. Zawartość powietrza wynosząca 4,47%, która powstała na skutek działania SP1, spowodowała obniżenie wytrzymałości SCC o 13 MPa, w stosunku do SCC wykonanego z SP2 o zawartości powietrza wynoszącej 1,86%. Ponadto istnieją bardzo duże różnice pomiędzy pozostałymi parametrami porowatości SCC (tabl. 4). Wskaźnik rozstawu porów, odpowiadający betonowi wykonanemu z SP2, jest prawie trzykrotnie większy od wskaźnika rozstawu porów betonu wykonanego z SP1. Powierzchni-

Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie SCC



Rys. 4. Wpływ domieszek chemicznych na wytrzymałość samozagęszczalnych zapraw [13]



nia właściwa porów „napowietrzonego” betonu jest prawie dwukrotnie większa. Zawartość porów  $A_{300}$  w obu betonach różni się siedmiokrotnie.

Dodanie AFA do mieszanki z SP nadmiernie zwiększając zawartość powietrza nie powoduje istotnej zmiany wytrzymałości SCC, mimo prawie dwukrotnej różnicy między całkowitą zawartością powietrza w SCC. Z punktu widzenia mrozoodporności SCC pozostałe parametry uległy niekorzystnym zmianom w wyniku zastosowania AFA. Wyniki badań [9] świadczą jednak, że SCC wykonany z udziałem AFA jest bardziej mrozoodporny niż SCC wykonany wyłącznie z SP o „napowietrzającym” wpływie. Rezultaty obecnie trwających badań mrozoodporności stwierdzają, czy i w tym przypadku wpływ AFA okaże się korzystny z uwagi na mrozoodporność SCC, mimo gorszych parametrów porowatości. Wprowadzenie VMA do mieszanki z SP i AFA nie powoduje znaczącej zmiany wytrzymałości na ściskanie SCC. Wytrzymałość SCC uległa nieznacznemu pogorszeniu. Wpływ VMA na charakterystykę porowatości SCC, w stosunku do SCC z SP i AFA, jest mało znaczący, za wyjątkiem zawartości porów  $A_{300}$  (tabl. 4).

Dodanie VMA do mieszanki z SP niezwiększającym zawartości powietrza jest nieistotne ze względu na wytrzymałość SCC. Wyniki badań [5], [8], [10], [12] (rys. 5) dowodzą, że VMA powoduje wzrost lub nie powoduje zmiany wytrzymałości betonu. Wyniki badań [13] dowodzą, że wpływ VMA na rozwój wytrzymałości samozagęszczalnych zapraw zależy nie tylko od jej rodzaju, ale także od rodzaju SP (rys. 4). Natomiast rezultaty badań [1], [2], [14] sugerują negatywny wpływ VMA. Wyniki badań zestawione na rys. 3 świadczą, że zastosowanie VMA powoduje pomijalnie statystycznie obniżenie wytrzymałości SCC w stosunku do SCC wykonanego z SP, który nie wywołuje występowania nadmiernej zawartości powietrza (por. B2 i B2V). Stosowanie VMA z SP niezwiększającym istotnie zawartości powietrza wpływa na zmianę charakterystyki porowatości SCC. Całkowita zawartość powietrza jest o 1,28% wyższa w wyniku zastosowania VMA. Ponadto wartości pozostałych parametrów struktury porowatości są nieznacznie różne, co jednak nie powoduje znaczącej zmiany wytrzymałości SCC.

Stosowanie AEA w przypadku mieszanki z SP niezwiększającym nadmiernie zawartości powie-

trza powoduje znaczące zmiany wytrzymałości na ściskanie, co nie jest zaskakujące. Napowietrzenie powoduje obniżenie jego wytrzymałości o 20 MPa, przy różnicy całkowitej zawartości powietrza względem nienapowietrzonego SCC wynoszącej 1,94%. Nie bez znaczenia, ze względu na tę różnicę wytrzymałości obu betonów, są pozostałe charakterystyki napowietrzenia, zestawione tablicy 4. Powierzchnia właściwa porów betonu napowietrzonego jest niemal dwukrotnie większa od powierzchni właściwej porów betonu nienapowietrzonego. Wskaźnik rozstawu porów betonu napowietrzonego jest prawie trzykrotnie mniejszy niż betonu nienapowietrzonego. Zawartość porów  $A_{300}$  jest ponad sześciokrotnie większa.

Dodanie VMA do mieszanki z SP i AEA powoduje istotne zmiany wytrzymałości SCC. Wpływ domieszki stabilizującej na wytrzymałość napowietrzonego uprzednio betonu jest korzystny. Zastosowanie VMA spowodowało wzrost wytrzymałości SCC o niemal 10 MPa. VMA nie spowodowało znaczącej zmiany wartości parametrów porowatości napowietrzonego uprzednio SCC. Niemniej jednak w przypadku zawartości porów  $A_{300}$  domieszka VMA spowodowała nieznaczny korzystny wzrost ich zawartości.

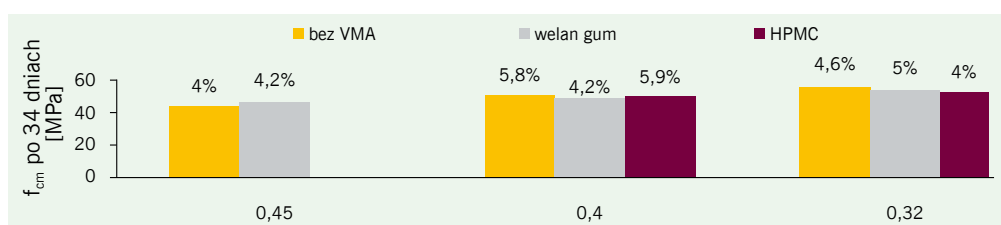
Podsumowując, korzystne i niekorzystne efekty działania domieszek potwierdziły badania charakterystyki napowietrzenia według PN-EN 480-11. Konsekwencje zmiany charakterystyk porowatości SCC przeniosły się na wytrzymałość SCC. Niestety nie można obecnie wnioskować o wpływie analizowanych domieszek na mrozoodporność SCC, ponieważ badania mrozoodporności według PN-B-06250 oraz wskaźnika trwałości (*Durability Factor DF*) obecnie są w fazie realizacji. Wyniki badań zaprezentowane na rys. 7 świadczą, że VMA korzystnie wpływa na wartość tego współczynnika w odniesieniu do wskaźnika rozstawu porów. Podobnie jak w tym przypadku, badania różnego rodzaju SCC wykazały, że beton przy znacznie większych wartościach  $\bar{L}$  niż zalecana, jest mrozoodporny [16]. Nie wiadomo jednak, co z wpływem pozostałym domieszek na tę zależność.

#### 4. Wnioski

Na podstawie wyników przeprowadzonych przez autorów badań stwierdzono, że:

- Wpływ rodzaju SP jest zasadniczy ze względu

Rys. 5. Wytrzymałość zapraw po 34 dniach; podano zawartość powietrza [3]



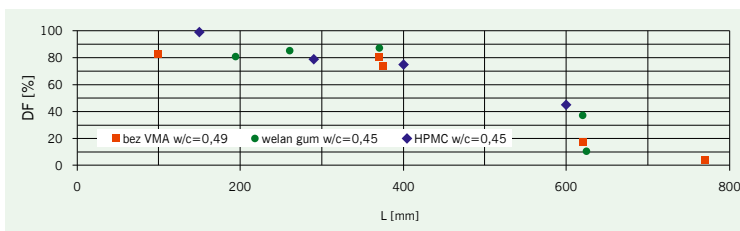
na całkowitą zawartość powietrza w mieszance, mimo zbliżonego jej rozptywu. Napowietrzenie będące ubocznym efektem działania SP może wynosić aż 8% przy rozptywie mieszanki wynoszącym ponad 700 mm. Napowietrzenie, które jest skutkiem działania SP, nie przyczynia się w tak dużym stopniu do zmniejszenia średnicy rozptywu SCC, jak napowietrzenie będące efektem działania AEA

- Wpływ AFA jest istotny ze względu na właściwości SCC. Dodanie AFA do mieszanki z SP powodującym nadmierną zawartość powietrza w jej objętości pozwala na znaczne zredukowanie jego ilości. Zastosowanie AFA nie powoduje zmiany wytrzymałości SCC, mimo prawie dwukrotnej różnicy pomiędzy całkowitą zawartością powietrza w SCC. Z punktu widzenia mrozoodporności pozostałe parametry SCC uległy niekorzystnym zmianom w wyniku zastosowania AFA.
- Dodanie VMA do mieszanki z AFA i SP nie powoduje istotnych zmian właściwości mieszanki. VMA nie powoduje znacznego zwiększenia zawartości powietrza w mieszance, oczywiście przy zachowaniu zbliżonego jej rozptywu. Ponadto zastosowanie VMA nie powoduje zmiany napowietrzenia obniżonego uprzednio w wyniku działania AEA. Wytrzymałość SCC także nie ulega znaczącym zmianom. Wpływ VMA na charakterystykę porowatości SCC, w stosunku do SCC z SP i AFA, jest mało znaczący, za wyjątkiem zawartości porów  $A_{300}$
- Wpływ VMA na właściwości mieszanki z SP niezwiększającym ilości powietrza jest istotny. Sprzeczność wyników badań cytowanych w literaturze jest spowodowana zróżnicowaniem stosowanych VMA. Wyniki przeprowadzonych przez autorów badań dowodzą, że zastosowanie VMA powoduje pomijalne statystycznie obniżenie wytrzymałości SCC. Niemniej jednak VMA istotnie wpływa na zmianę charakterystyki porowatości SCC z SP niezwiększającego zawartości powietrza
- Dodanie AEA do mieszanki z SP niezwiększającym nadmiernie ilości powietrza spowodowało istotne zmiany. Rozptyw SCC został zredukowany z powodu napowietrzenia mieszanki, które także spowodowało obniżenie jego wytrzymałości SCC o 20 MPa. Parametry porowatości celowo napowietrzonego i nienapowietrzonego SCC są znacznie zróżnicowane
- Stosowanie VMA powoduje istotne zmiany SCC z SP i AEA. VMA nie obniża ilości celowego napowietrzenia. Dodanie VMA powoduje nieznaczny wzrost wytrzymałości celowo napowietrzonego SCC. Niemniej jednak VMA nie powoduje istotnej zmiany parametrów porowatości napowietrzonego SCC.

**dr inż. Beata Łażniewska-Piekarczyk**  
**prof. dr hab. inż. Janusz Szwabowski**  
**Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa,**  
**Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych**

#### Literatura

- 1 X FU, D.D.L. CHUNG, *Effect of methylcellulose on the mechanical properties of cement*, *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 4, pp. 535-538, 1996.
- 2 J. GOŁASZEWSKI, *Influence of viscosity enhancing agent on rheology and compressive strength of su-*



Rys. 6. Zależność pomiędzy wskaźnikiem rozstawu porów i wskaźnikiem trwałości [5]

- perplasticized mortars. Journal of Civil Engineering and Management International Research and Achievements, Vilnius: Technika, Vol 15, No 2, June 2009, pp. 181-188*
- 3 ASTM C 666, *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*, *Annual Book of ASTM Standards*, 1991
  - 4 H. KAMAL, K.H. KHAYAT, J. ASSAAD, *Air-Void Stability in Self-Consolidating Concrete*. *ACI Materials Journal*, V. 99, No. 4, July-August, 2002, pp. 408-416
  - 5 H. KAMAL, K.H. KHAYAT, *Viscosity-Enhancing Admixture for Cement-Based Materials – An Overview*, *Cement and Concrete Composites* 20, 1998, pp.171-188
  - 6 K.H. KHAYAT, *Optimization and performance of the air-entrained, self-consolidating concrete*. *ACI Materials Journal*, Vol. 97, 2000, No. 5, pp.526-535
  - 7 M. KOBAYASHI, E. NAKAKURO, K. KODAMA, S. NEGAMI, *Frost resistance of superplasticized concrete*, *ACI SP-68*, 1981, pp. 269-282
  - 8 M. LACHEMIA, K.M.A. HOSSAINA, V. LAMBROSA, P-C. NKINAMUBANZIB, N. BOUZOUBAA \*B, *Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures* *Cement and Concrete Research* 34 (2004),pp. 917-926
  - 9 B. ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK, *Wpływ domieszki zmniejszającej zawartość powietrza na właściwości mieszanki oraz samozagęszczającego się betonu*, „Cement-Wapno-Beton” 3/2010
  - 10 A. LEEMANN, F. WINNFIELD, *The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete*, *Cement & Concrete Composites* 29 (2007,)pp. 341-349
  - 11 G. LITVAN, *Air entrainment in the presence of superplasticizers*. *ACI Journal*, Vol. 80, No. 4, 1983, 326-331
  - 12 S. ROLS, J. AMBROISE, J. PÉRA, *Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete*, *Cement and Concrete Research* 29 (1999,)pp. 261-266
  - 13 M. ŞAHMARAN, H.A. CHRISTIANTO, İ. Ö. YAMAN, *Effect of chemical and mineral admixtures on the fresh properties of self compacting mortars*; *Cement and Concrete Composites*, Volume 28, Issue 5, May 2006, pp. 432-440
  - 14 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* *Cement and Concrete Research* 33 (2003) 1999-2008
  - 15 J. SZWABOWSKI, B. ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK, *Zwiększenie napowietrzenia mieszanki pod wpływem działania superplastyfikatorów karboksylowych*, „Cement-Wapno-Beton”, nr 4, 2008, s. 205-215
  - 16 J. SZWABOWSKI, B. ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK, *Wymogi względem parametrów struktury porowatości mrozoodpornego samozagęszczalnego betonu (SCC)*, „Cement-Wapno-Beton”, nr 3, 2008, s. 155