

Prof. dr hab. Stefania Grzeszczyk, dr Elżbieta Janowska-Renkas, mgr inż. Bartłomiej Skaliński

Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa

Właściwości reologiczne mieszanek samozagęszczalnych – wpływ wypełniaczy

The influence of mineral additions on rheological parameters of self-compacting concrete

1. Wprowadzenie

Szczególne wymagania jakie stawia się samozagęszczalnym mieszankom betonowym związane są z ich właściwościami reologicznymi. Zdolność do całkowitego wypełnienia dowolnie ukształtowanej objętości konstrukcji i niemal idealnego samopoziomowania mieszanki betonowej wymaga znacznego jej upłynnienia (1, 2).

Spełnienie wymagań stawianych mieszankom samozagęszczalnym wymaga zwiększenia udziału frakcji pylistych $\leq 0,125$ mm w składzie betonu. Znaczny udział w tych frakcjach stanowią popioły lotne, mączka wapienna i zmielony żużel wielkopiecowy.

Frakcje pyliste (cement, wypełniacze) w połączeniu z korzystną ilością wody i superplastyfikatora tworzą trwałą zawiesinę o dużej lepkości, która płynie samorzutnie, odpowietrza się i utrzymuje ziarna kruszywa, zapobiegając ich sedymentacji (3, 4). Decydujący wpływ na właściwości reologiczne mieszanki samozagęszczalnej mają frakcje pyliste, których udział w składzie mieszanki betonowej jest duży.

W pracy przeprowadzono przedstawiono wyniki badań wpływu popiołów lotnych i mączki wapiennej stosowanej jako dodatek do cementu, na właściwości reologiczne mieszanki samozagęszczalnej.

1. Introduction

The particular requirements for self-compacting concrete SCC mixes are linked with their rheological properties. The ability to fill totally freely shaped volume of construction and almost perfect self leveling of concrete mix needs it great fluidization (1, 2).

Fulfillment of requirements for self compacting mixes needs to increase of content of dust fractions, smaller than 0.125 mm in concrete. Great share in these fractions has fly ash, limestone flour and ground blastfurnace slag.

The dust fractions (cement, mineral additions) together with favourable water quantity and superplasticiser are forming stable suspension with great viscosity, which presents self flowing and vacuum processing and retains aggregate grains, preventing their sedimentation (3,4). Decisive influence upon the rheological behaviour of self-compacting mix have the dust fractions, which share in the composition of concrete is high.

In the paper the results of investigation of influence of fly ash and limestone flour applied as addition to cement, upon the rheological behaviour of self-compacting mix.

2. Charakterystyka właściwości reologicznych mieszanek samozagęszczalnych

Rozwój domieszek upłynniających pozwolił na wytwarzanie nowego rodzaju mieszanek betonowych i poprawę ich właściwości reologicznych do tego stopnia, że mieszanka betonowa ulega samorzutnemu zagęszczaniu, duża lepkość pozwala na zachowanie w procesie płynięcia niezmiennego składu.

Zwykle mieszanki betonowe charakteryzują się dużymi wartościami granicy płynięcia i ich zmniejszeniem ze wzrostem w/c oraz małymi lepkościami. Natomiast mieszanki samozagęszczalne wyróżniają się małymi wartościami granicy płynięcia i dużymi wartościami lepkości plastycznej (rysunek 1).

Pożądana wartość lepkości plastycznej dla mieszanek samozagęszczalnych wynosi według Wallevika około 40 Pa·s (3). Jak wiadomo lepkość plastyczna jest związana z granicą płynięcia. Z badań mieszanek samozagęszczalnych wynika, że gdy lepkość plastyczna osiąga wartość 70 Pa·s to granica płynięcia jest bardzo mała, lub prawie nie występuje.

Zależność pomiędzy granicą płynięcia i lepkością plastyczną z zaznaczoną średnicą rozplywu mieszanek samozagęszczalnych pokazano na rysunku 2. Podawane wartości lepkości plastycznej mieszanek samozagęszczalnych obejmują dość szeroki zakres. Wallevik (5) w swoich badaniach otrzymywał mieszanki o lepkości plastycznej od 7 do 160 Pa·s. W Japonii i Szwecji stosowane są mieszanki samozagęszczalne o bardzo małym stosunku w/c, charakteryzujące się dużą lepkością, natomiast wartość granicy płynięcia w analizie wyników badań jest w tych pracach całkowicie pomijana.

W przypadku Szwajcarii, Norwegii lub Danii wytwarzane są mieszanki samozagęszczalne o małej lepkości, których granica płynięcia mieści się w granicach od 20 do 40 Pa. W tabelicy 1 podano wartości granicy płynięcia i lepkości plastycznej samozagęszczalnych mieszanek betonowych o różnym stosunku w/c w rozwiązaniach technologicznych stosowanych w różnych krajach.

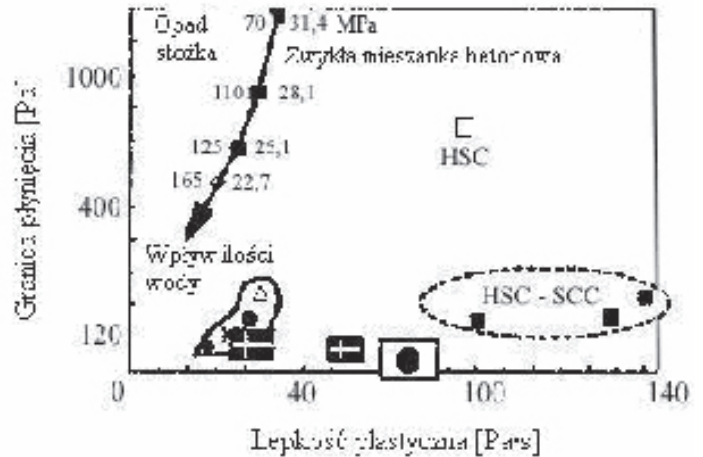
Wielu autorów uważa, że jeśli granica płynięcia przekracza wartość 10 Pa, to wówczas ma to duży wpływ na zachowanie się mieszanki w czasie przepływu (5, 6).

Jak wiadomo ważnym czynnikiem decydującym o właściwościach reologicznych mieszanki jest szybkość ścinania. Wpływ szybkości ścinania na granicę płynięcia mieszanek samozagęszczalnych o różnej lepkości pokazano rysunku 3. Jak widać w przypadku dużych prędkości ścinania (10 rad/s) naprężenia wynoszą 1000 Pa dla mieszanki o lepkości 100 Pa·s, a 300 Pa w przypadku lepkości 25 Pa·s. Natomiast gdy prędkość ścinania jest mała i wynosi 0,2 rad/s granica płynięcia może mieć decydujący wpływ na utrzymywanie się w mieszanke większych

2. The characteristic of rheological behaviour of self-compacting mix

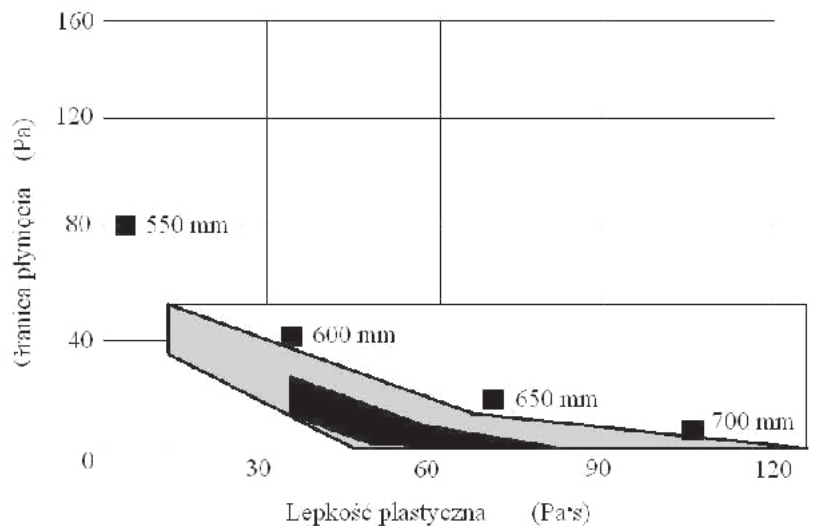
The development of fluidizing admixtures gives the possibility to produce new generation of concrete mixes and improves their rheological properties to such extent that the concrete mix became self-compacting and high viscosity enables to keep during flow process unchanged composition.

Ordinary concrete mixes have high yield value which is decreasing with increased w/c ratio and have low viscosity. However, self-compacting mixes have low yield value and high plastic viscosity (Fig. 1).



Rys. 1. Parametry reologiczne zwykłych mieszanek betonowych i mieszanek samozagęszczalnych (5)

Fig. 1. Rheological parameters of ordinary and self-compacting concrete mixes (5); X – axis plastic viscosity, Pa·s, Y – axis yield value, Pa



Rys. 2. Parametry reologiczne i odpowiadające im średnice rozplywu mieszanki samozagęszczalnej (6)

Fig. 2. Rheological parameters of self-compacting mix and flow diameters, corresponding to them (6); Y – axis yield value, Pa, X – axis plastic viscosity Pa·s

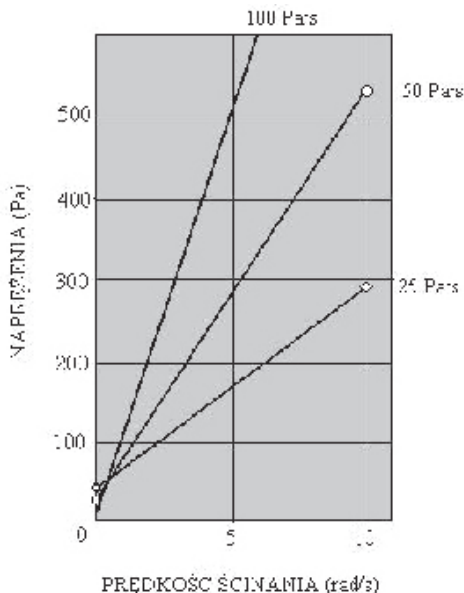
Desirable level of plastic viscosity for self-compacting mixes is equal about 40 Pa·s according to Wallevik (3). It is known that plastic viscosity is linked with yield value. From the studies of self-compacting mixes it is evident that when the plastic viscosity

ziaren i związaną z tym segregacją układu.

Uważa się, że jest pięć głównych czynników wpływających na trwałość mieszanek samożęszczalnych. Są one następujące:

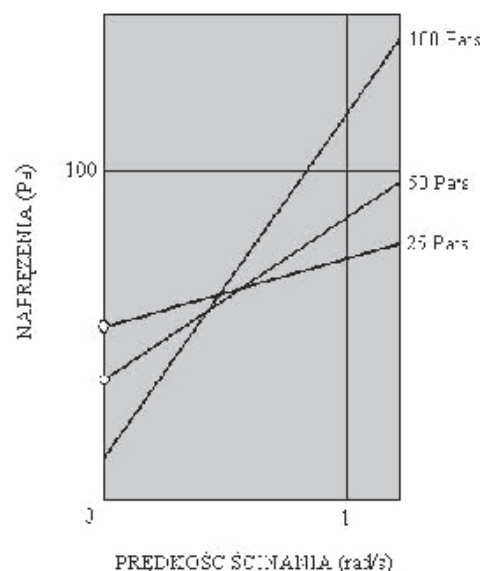
- Duża wartość granicy płynięcia (przeciwdziała sedymentacji kruszywa),
- Duża wartość lepkości plastycznej (zmniejsza prędkość sedymentacji kruszywa),
- Tiksotropia (może zapobiegać zjawisku sedymentacji),
- Proces wiązania (może zapobiegać sedymentacji),
- Mała zdolność zaczynu do migracji w strefie ścinania (zmniejsza zdolność do sedymentacji jeżeli matryca cementowa ma dużą lepkość).

Za negatywne zjawiska występujące w mieszankach samożęszczalnych uważa się dilatancję i segregację. Dilatacja może znacząco wpłynąć na właściwości reologiczne mieszanki w przypadku gdy zawartość kruszywa w mieszance jest duża, natomiast zawartość zaczynu cementowego jest mała. Wyraźna segregacja mieszanki występuje gdy zawartość domieszki upłynniającej zostanie przekroczona (7).



Rys. 3. Wpływ prędkości ścinania na granicę płynięcia mieszanek samożęszczalnych (5)

Fig. 3. Influence of shear rate on yield value self compacting mixes (5); Y – axis stress, Pa, X – axis shear rate, rad/s



Tablica 1 / Table 1

PARAMETRY REOLOGICZNE MIESZANEK SAMOŻĘSZCZALNYCH O RÓŻNYM w/c W WYBRANYCH KRAJACH

RHEOLOGICAL PARAMETERS OF SELF-COMPACTING MIXES WITH DIFFERENT w/c IN SOME COUNTRIES

Kraj Country	Stosunek wodno – cementowy w/c ratio	Granica płynięcia, Pa Yield value, Pa	Lepkość plastyczna, Pa·s Plastic viscosity, Pa·s
Szwecja/Sweden	0,33	0-30	50-100
Holandia/Holland	0,35	0-10	60-120
Japonia/Japan	0,31	0-30	50-120
Francja/France	-	0-10	> 60
Szwajcaria/Switzerland	0,44	0-50	10-20
Norwegia/Norway	0,38	10-50	30-45
Dania/Denmark	0,40	30-60	> 40
Wielka Brytania/Great Britain	0,42	10-50	50-80
Niemcy/Germany	0,36	0-10	60-90
USA	0,38	0-20	40-120

achieves 70 Pa·s then the yield value is very small, practically non existing.

The relation between the yield value and plastic viscosity, with marked flow diameter, self-compacting mixes are shown in Fig. 2. The mentioned values of plastic viscosity of self-compacting mixes have a relatively large range. Wallevik (5) in his studies produced mixes with plastic viscosity from 7 to 160 Pa·s. In Japan and Sweden the applied self-compacting mixes with very low w/c ratio, have a high viscosity, however, the yield value is totally omitted in the discussion of experimental results.

In Switzerland, Norway and Denmark the self-compacting mixes are produced with low viscosity, which yield value is in the range from 20 to 40 Pa. In table 1 the yield value and plastic viscosity of self-compacting mixes with different w/c ratio are given, which are produced in different countries.

Many authors present the opinion that when the yield value is greater than 10 Pa then it has a great influence on behaviour of the mix during its flow (5, 6).

It is known that the rate of shear has a decisive influence on rheological properties of the mix. The influence of shear rate upon the yield value of self-compacting mixes with different viscosity is depicted on Figure 3. As it

is evident in case of high shear rate (10 rad/s) the stress is 1000 Pa for the mix having viscosity equal 100 Pa·s, and 300 Pa in

3. Badania wpływu wypełniaczy w cemencie na właściwości reologiczne mieszanek samozagęszczalnych

3.1. Materiały do badań

Do badań użyto cementu portlandzkiego 32,5 sporządzony laboratoryjnie z klinkieru portlandzkiego. Do cementu wprowadzono dodatek mineralny w postaci mączki wapiennej i popiołu lotnego.

Badaniami reologicznymi zaczynów cementowych objęto cementy zawierające 40% objętościowych mączki wapiennej lub popiołu lotnego przy zachowaniu $w/c = 0,35$. Powierzchnia właściwa cementu według Blaine'a cementu wynosiła $320 \text{ m}^2/\text{kg}$, natomiast powierzchnia właściwa mączki wapiennej $390 \text{ m}^2/\text{kg}$, a popiołów lotnych $300 \text{ m}^2/\text{kg}$. Mieszanki betonowe sporządzono z zachowaniem zasad projektowania określonych w japońskiej metodzie Okamury i Ozawy (2). Skład mieszanek betonowych podano w tablicy 2.

W mieszankach zachowano taką samą zawartość objętościową wypełniacza (40% objętościowych). Założona ilość powietrza wynosiła 4,0 % objętościowych. Wymagane parametry reologiczne mieszanek samozagęszczalnych osiągnęto poprzez dodatek odpowiedniej ilości superplastyfikatora. Stosowano superplastyfikator złożony z eterów polikarboksylowych.

3.2. Metody badań

Pomiary reologiczne zaczynów przeprowadzono przy użyciu wiskozymetru rotacyjnego o współosiowych cylindrach Viscotester VT550. Właściwości zaczynów określono na podstawie wyznaczonych krzywych płynięcia dla rosnących i malejących szybkości ścinania w zakresie od 0 do 140 s^{-1} . Granice płynięcia i lepkości plastyczne wyznaczono w oparciu o model Binghama. Pomiary przeprowadzono przy zachowaniu stałego stosunku wody do fazy stałej (w/s) wynoszącego 0,3, w stałej temperaturze 21°C .

Do badań parametrów reologicznych mieszanek samozagęszczalnych stosowano najnowszy model reometru rotacyjnego ConTec Viscometer 4 SCC o cylindrach współosiowych. Każdy z cylindrów wyposażony jest w pionowe żebra zmniejszające poślizg mieszanki w czasie pomiaru. Aparat jest dostosowany do pomiaru właściwości reologicznych mieszanek betonowych o wielkości ziaren kruszywa nie przekraczających 30 mm. Wielkość naprężeń ścinających mieści się w zakresie od 0,5 do 2000 Pa , natomiast zakres prędkości obrotowych w przedziale od 0,001 do $1,9 \text{ obr/s}$ (8). Granicę płynięcia (τ_0) i lepkość plastyczną (μ) wyznaczano na podstawie pomiaru momentu obrotowego przy różnej prędkości obrotowej aparatu pomiarowego. Wyniki badań rejestrowano dla rosnących i malejących prędkości obrotowych w systemie „SCC Standard” w zakresie od 0,4 do $0,08 \text{ obr/s}$.

case of viscosity is equal $25 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. However, when the shear rate is low, equal 0.2 rad/s the yield value can have the decisive influence upon the retention of coarse grain in the mix and eventual sedimentation of aggregate.

The opinion is accepted that there is five principal factors influencing the stability of self-compacting mixes. There are the following:

- High yield value - counteracts aggregate sedimentation;
- High plastic viscosity - diminish the rate of aggregate sedimentation;
- Thixotropy - can prevent sedimentation;
- Setting - can prevent sedimentation;
- Small ability of the paste for flow in the shearing zone - smaller ability for sedimentation if cement matrix has high viscosity.

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD MIESZANEK BETONOWYCH

COMPOSITION OF CONCRETE MIXES

Składnik/Component	Mieszanka/Mix BS, P	Mieszanka/Mix BS, M	Mieszanka/Mix BS, M'
Cement	365 kg/m^3	365 kg/m^3	365 kg/m^3
Popiół lotny/Fly ash	189 kg/m^3	-	-
Mączka wapienna Limestone flour	-	213 kg/m^3	213 kg/m^3
Woda/Water	165 kg/m^3	165 kg/m^3	165 kg/m^3
Superplastyfikator/Superplasticiser	$4,4 \text{ dm}^3$	$4,4 \text{ dm}^3$	$5,5 \text{ dm}^3$
Piasek/Sand 0/2	756 kg/m^3	756 kg/m^3	756 kg/m^3
Kruszywo/Aggregate 2/16	756 kg/m^3	756 kg/m^3	756 kg/m^3
Wskaźnik w/c	0,45	0,45	0,45

As negative phenomena occurring in self-compacting mixes dilatancy and segregation are considered. Dilatancy can significantly influence upon the rheological properties of mixes in case when aggregate content in the mix is high, however, the content of cement paste is small. Distinct mix segregation occurs when fluidizing admixture addition is overdosed (7).

3. Examination of influence of mineral additions in cement on rheological properties of self-compacting mixes

3.1. Materials

Portland cement 32.5 prepared in laboratory from industrial clinker was applied. To this cement two additions were introduced, namely limestone flour and fly ash.

Rheological properties of cement paste covered cements containing 40 volume % of limestone flour or fly ash and the w/c ratio was 0.35. Blaine specific surface of cement was $320 \text{ m}^2/\text{kg}$, of limestone flour $390 \text{ m}^2/\text{kg}$ and of fly ash $300 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Do badań samozagęszczalnych mieszanek betonowych zastosowano metodę FFB (Fließmass – Fließzeit – Blocker – Test) pozwalającą na jednoczesne uzyskanie informacji o upłynnieniu, lepkości i blokowaniu się mieszanki (9). W metodzie wykorzystuje się równocześnie stożek opadowy oraz pierścieni typu J. Miarą płynności mieszanki betonowej jest średnica rozplywu, natomiast miarą lepkości jest czas jej rozplywu do osiągnięcia średnicy 500 mm (t_{500}).

4. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań reologicznych zaczynów cementowych zawierających różny rodzaj dodatku mineralnego (mączka wapienna i popiół lotny) przedstawiono na rysunku 4.

Na podstawie przeprowadzonych badań reologicznych zaczynów z cementów zawierających różny rodzaj dodatku mineralnego w takiej samej zawartości objętościowej, stwierdzono większy stopień upłynnienia zaczynu zawierającego popiół lotny ($\tau_0 = 45,1$ Pa, $\eta_p = 0,50$ Pa·s) w porównaniu do stopnia upłynnienia zaczynu zawierającego mączkę wapienną ($\tau_0 = 63,8$ Pa, $\eta_p = 0,50$ Pa·s).

Porównanie właściwości reologicznych dwóch mieszanek samozagęszczalnych (tablica 3) różniących się rodzajem dodatku mineralnego przy jednakowej jego zawartości objętościowej wykazały, że mieszanka samozagęszczalna zawierająca mączkę wapienną (BS, M) ma większą granicę płynięcia i lepkość plastyczną niż analogiczna mieszanka zawierająca popioły lotne (BS, P).

Badania mieszanek przeprowadzone za pomocą testu J wykazały ponadto że mieszanka zawierająca mączkę wapienną (BS, M) nie spełnia wymogów stawianych mieszankom samozagęszczalnym ze względu na średnicę i czas rozplywu. Dopiero wzrost zawartości superplastyfikatora w tej mieszance (BS, M') pozwolił na uzyskanie parametrów reologicznych wymaganych od mieszanki samozagęszczalnej.

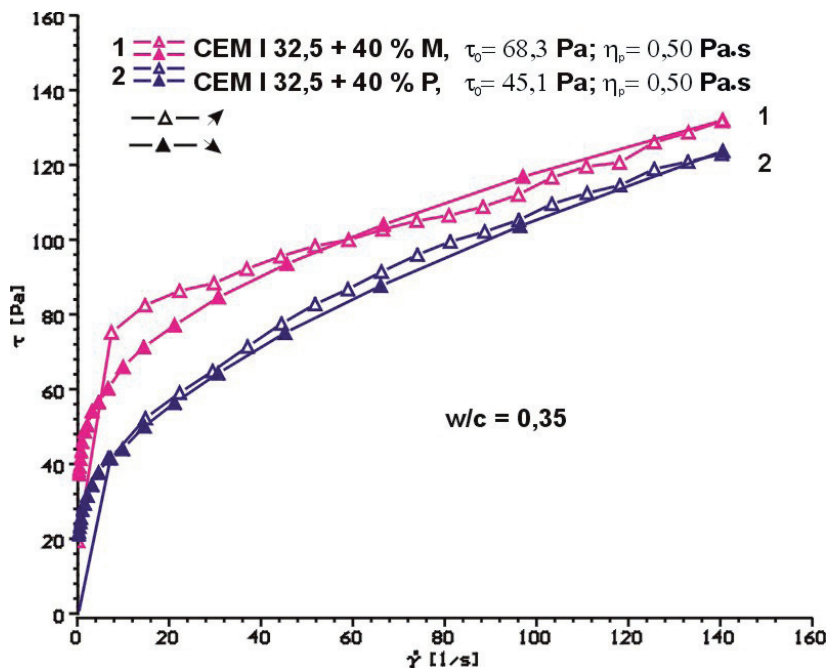
Tablica 3 / Table 3

WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE MIESZANEK SAMOZAGĘSZCZALNYCH

THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SELF COMPACTING MIXES

Rodzaj mieszanki Mix	BS, P	BS, M	BS, M'
Średnica rozplywu Flow diameter, mm	700	330	720
Czas płynięcia Time of flow, t_{500} , s	4,5	*	3,3
Granica płynięcia Yield value, Pa	43	529	4
Lepkość plastyczna Plastic viscosity, Pa·s	71,1	107,6	45,1

* - pomiar niemożliwy



Rys. 4. Krzywe płynięcia zaczynów z cementu CEM I 32,5 zawierającego 40 % obj. mączki wapiennej lub popiołu lotnego

Fig. 4. Flow curves of cement pastes of CEM I 42,5 with 40 volume % of limestone flour or fly ash

Concrete mixes were produced keeping the rules given by Okamura and Okawa (2). The composition of concrete mixes is given in Table 2.

In all mixes the volume content of mineral addition was the same, namely 40%. The established air content was 4.0% of volume. Suitable rheological properties of self-compacting mixes were assured by proper addition of superplasticiser. The applied superplasticiser was polycarboxylate.

3.2. Method

For the rheological examination of cement paste the rotation viscometer with coaxial cylinders was used type Viscotester VT550. The paste properties were measured on the basis of increasing and decreasing shear rates, in the range from 0 to 140 s⁻¹. The yield value and plastic viscosity were determined using the Bingham model. The measurements were conducted by constant w/c+add ratio equal 0.3, at constant temperature 21°C.

The measurements of rheological parameters of self-compacting mixes were made with new model of rotation reometer ConTec Viscometer 4 SCC, with coaxial cylinders. Each cylinder is equipped with vertical ribs decreasing the slide of the mix during the test. The apparatus is adapted to measurement of rheological properties of concrete mixes with aggregate granulometry not exceeding 30 mm. The shear stress is in the range 0.5 to 2000 Pa, and the range of rotation speed from 0.001 to 1.9 rot./s (8). Yield value (τ_0) and plastic viscosity (μ) were determined measuring rotation momentum for different rotation speed of apparatus. The test results were registered for increasing and decreasing rotation speed by system "SCC Standard" in the range from 0.4 rot./s to 0.08 rot./s.

Przeprowadzone badania wpływu popiołów lotnych i mączki wapiennej na właściwości reologiczne zaczynów cementowych oraz mieszanek samozagęszczalnych o jednakowym składzie wykazały, że mieszanka sporządzona z cementu, którego zaczyn ma większą granicę płynięcia, charakteryzuje się większymi wartościami parametrów reologicznych (granica płynięcia i lepkość plastyczna) w porównaniu z właściwościami reologicznymi mieszanki sporządzonej z cementu, którego zaczyn wykazuje mniejszą wartość granicy płynięcia. Wskazuje to na wpływ właściwości reologicznych zaczynów cementowych, a szczególnie granicy płynięcia, na reologiczne właściwości samozagęszczalnych mieszanek betonowych.

5. Wnioski

1. Samozagęszczalne mieszanki betonowe zawierające dodatek mineralny w postaci mączki wapiennej wykazuje mniej korzystne właściwości reologiczne niż analogiczne mieszanki betonowe zawierające popioły lotne. Można na tej podstawie wyciągnąć wniosek, że uzyskanie korzystnych właściwości reologicznych mieszanek samozagęszczalnych z dodatkiem wapienia wymaga większego dodatku superplastyfikatora.
2. Zaczyn cementowy z cementu zawierającego mączkę wapienną charakteryzuje się większą granicą płynięcia niż zaczyn z cementu z dodatkiem takiej samej ilości popiołów lotnych.
3. Właściwości reologiczne zaczynów cementowych wywierają wpływ na kształtowanie się właściwości reologicznych samozagęszczalnych mieszanek betonowych.

LITERATURA / REFERENCES

1. H. Grube, J. Rickert, Selbstverdichtender Beton – ein weiterer Entwicklungsschritt des 5-Stoff-Systems Beton. Sonderdruck aus Beton, No. 49, H. 4, s. 239-244, (1999).
2. H. Okamura, K. Ozawa, M. Ouchi, Self-Compacting Concrete. Structural Concrete, No. 1, s. 3-17, (2000).
3. K. Holschemacher, Bemessungsrelevante Eigenschaften von selbstverdichtenden Betonen, w Selbstverdichtender Beton, s. 129-143, Eds. G. König, K. Holschemacher, F. Dehn, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2001.
4. G. Spanka, H. Grube, G. Thielen, Wirkungsmechanismen verflüssigende Betonzusatzmittel. Beton No. 45, s.802-808, (1995).
5. O. Wallevik, Rheology – A Scientific Approach to Develop Self – Compacting Concrete, 3rd International Symposium on Self – Compacting Concrete, s. 23-31, Reykjavik 2003.
6. C. F. Ferraris, L. E. Brower, D. Beaupre, F. Chapdelaine i inni, Comparison of Concrete Rheometers: International tests at MB (Cleveland OH, USA), National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7154; s. 47, (2004).
7. J. Wallevik, O. Wallevik, Effect of Eccentricity and Tilting in Coaxial Cylinder Viscometers when Testing Cement Paste, Nordic Concrete Federation, no.1, (1998).
8. ConTec Ltd, The ConTec Viscometer 4,5 & 6 Operating Manual, Reykjavik 2004.
9. P. Grübl, Ch. Lemmer, Anforderungen an die Frischbetoneigenschaften von SVB, Selbstverdichtender Beton, s. 25-50, Eds. G. König, K. Holschemacher, F. Dehn, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2001.

The test FFB (Fließmass – Fließzeit – Blocker Test), which permits to obtain simultaneously information about fluidity, viscosity and self blocking of mix (9), was used to study self-compacting mixes. In this test the cone slump or ring J can also be used simultaneously. The valuation of mix fluidity is the flow diameter, however, for viscosity is the time of flow to the diameter 500 mm (t_{500}).

4. Results and discussion

The results of rheological tests of cement pastes with different mineral additions (limestone flour or fly ash were shown in Fig. 4.

On the basis of rheological measurements of cement pastes with different mineral additions in the same volumetric content the higher fluidity degree with fly ash was found ($\tau_o = 45.1$ Pa, $\eta_p = 0.50$ Pa·s) that with limestone flour ($\tau_o = 63.8$ Pa, $\eta_p = 0.50$ Pa·s).

The comparison of rheological properties of two self-compacting mixes (Table 3) which were differentiated by the kind of mineral additions, but with the same volumetric content, has shown that the self-compacting mix with limestone flour (BS, M) has a higher yield value and plastic viscosity that the analogical mix with fly ash (BS, P).

The examination of the mixes with ring J test has shown additionally, that the mix with limestone flour (BS, M) does not fulfill the requirements for self-compacting mixes which cover flow diameter and time. Only the increase of superplasticiser content in this mix (BS, M') gives the rheological parameters demanded for self-compacting mix.

The researches of influence of fly ash and limestone flour upon the rheological properties of cement paste and self-compacting mixes of the same composition have shown, that the mix prepared of cement which paste has a higher yield value shows higher values of rheological parameters (yield value and plastic viscosity) in comparison with rheological properties made of cement which paste has a lower yield value. It shows that the rheology of cement paste, and primarily the yield value, has the influence on rheological properties of self-compacting concrete mixes.

5. Conclusions

1. Cement paste of cement containing limestone flour has a higher yield value than the cement paste with the same addition of fly ash.
2. The rheological properties of cement pastes have the influence on rheology of self-compacting concrete mixes.
3. Self-compacting concrete mixes which content mineral addition as limestone flour present a less favourable than the mixes with fly ash. One can put the conclusion, that the favourable rheological properties of self-compacting mixes containing limestone needs higher addition of superplasticiser.