

Tomasz PONIKIEWSKI *
Politechnika Śląska

WPLYW WŁÓKIEN NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE ZAPRAW CEMENTOWYCH

Streszczenie. Celem zasadniczym prezentowanych badań było określenie właściwości reologicznych zapraw modyfikowanych włóknami. Badania zostały przeprowadzone na reometrze rotacyjnym – Viskomat NT – z wykorzystaniem włókien polipropylenowych, stalowych, węglowych oraz szklanych. Rozpatrywano różne długości włókien oraz ich udział objętościowy w matrycy jako zasadnicze czynniki wpływające na zmianę parametrów reologicznych zapraw z ich dodatkiem.

INFLUENCE OF FIBRES ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MORTAR

Summary. The main goal for the research presented was the determination of the rheological behaviour of workability fibre reinforced fresh mortar (FRFM) investigated with a rotary rheometer - Viskomat NT. An investigation was carried out to identify the real nature of the workability of FRFM. In the research, the influence of different types of fibres and their volume fraction in mixes was investigated. In the paper the results obtained for mixes with polypropylene, steel, carbon and glass fibres are presented. It has been shown that the addition of fibres to the fresh mortar changes the composite rheology.

1. Wprowadzenie

Ogólna tendencja poprawy charakterystyk fibrobetonów, m.in. wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien w mieszance, przy różnym kształcie włókien celem poprawy ich zakotwienia w matrycy czy rodzajem zastosowanego typu włókien, powoduje pogarszanie się urabialności mieszanek fibrobetonowych [2].

Z punktu widzenia badań urabialności stosowane standardowe testy jednopunktowe (np. opad stożka, metoda rozptywu) są fizycznie niejednoznaczne, a ich nieadekwatność została wykazana w wielu przeprowadzonych badaniach mieszanek fibrobetonowych [5]

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Janusz Szwabowski.

i potwierdzona m.in. w raportach *American Concrete Institute* [1]. Autor niniejszego artykułu podkreśla przydatność normowych testów urabialności m.in. w warunkach budowy, ale ważne i celowe było podjęcie badań w kierunku rozpoznania rzeczywistej natury urabialności mieszanek kompozytów o matrycy cementowej zbrojonych włóknami, w ujęciu reologicznym. Wcześniejsze badania korelacji pomiędzy wynikami testów jednopunktowych oraz testu reologicznego wykazały brak korelacji, tzn. informacje uzyskiwane testami jednopunktowymi były mniej miarodajne [3]. Miarodajnych informacji z tego zakresu mogą dostarczyć tylko badania wykonywane reometrycznym testem urabialności (RTU). Przede wszystkim pozwala on na określenie dwóch podstawowych parametrów reologicznych – granicy płynięcia g oraz lepkości plastycznej h , jednoznacznie określających zachowanie się mieszanki fibrobetonowej w zróżnicowanych warunkach obciążeń, występujących w trakcie wykonywania fibrobetonów. Wykonywanie RTU z wykorzystaniem zapraw normowych pozwala, w odniesieniu do badań mieszanek betonowych, na znaczące zredukowanie kosztu badań oraz wyeliminowanie niekontrolowanego wpływu zmian uziarnienia, przy jednoczesnej podobnej naturze zjawisk zachodzących w świeżej zaprawie i mieszance betonowej [4].

Wiadomo, że wraz ze wzrostem granicy płynięcia maleje urabialność (odkształcalność) zaprawy, natomiast zmiana lepkości plastycznej określa prędkość rozplywu zaprawy. Im lepkość mniejsza, tym prędkość rozplywu większa. Badania metodą reometryczną zostały przeprowadzone za pomocą reometru do zaczynów i zapraw na zaprawach z wykorzystaniem przede wszystkim włókien wiotkich: polipropylenowych, szklanych, węglowych oraz sztywnych - stalowych. Zaprawa była modyfikowana ze względu na zmienny w badaniach wskaźnik W/C, udział objętościowy, długość i rodzaj włókien.

2. Założenia i metodyka badań

Badania przeprowadzono na zaprawach normowych wg PN EN 196-1:1996, ze względu na podobną naturę zjawisk zachodzących w świeżej zaprawie i mieszance betonowej, przy jednoczesnym mniejszym koszcie i pracochłonności. W odniesieniu do udziału objętościowego włókien w badaniach przyjęto wspólny dla wszystkich rodzajów włókien zakres zmienności celem umożliwienia analizy porównawczej istotności ich wpływu na właściwości reologiczne zapraw.

W badaniach uwzględniono wpływ następujących zmiennych czynników:

- wskaźnik W/C 4 poziomy - 0.53; 0.50; 0.47; 0.45;
- udział objętościowy włókien 3 poziomy - 0.1; 0.3 i 0.5% obj. zaprawy;
- długość włókien 1-2 poziomów - wg tablicy 1
- rodzaj włókien 4 poziomy - wg tablicy 1

Zestawienie badanych włókien przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Właściwości badanych włókien

Rodzaj włókna	Kształt włókien	Gęstość pozorna (kg/m ³)	Moduł sprężystości (GPa)	Cena [euro] (kg włókien/ 1% włók. w 1m ³ betonu)	Długości włókien (mm)	Oznaczenie włókien
Polipropylenowe	fibrylowane	900	4	8 / 75	6, 12	[Har6/Har12]
Polipropylenowe	pojedyncze	900	4	8 / 75	6, 12	[Fib6/Fib12]
Stalowe	pojedyncze, proste	7850	200	0,75 / 60	6, 13	[Stal6/Stal13]
Szklane	pasma włókien	2700	70	7 / 182	13	[Sz13]
Węglowe typu „pitch”	pojedyncze	1630	30	35 / 560	6, 10	[W6/W10]

Temperatura zarobów w trakcie pomiarów wynosiła 20±2°C. Zawartość superplastyfikatora FM 34 była stała i wynosiła 1% zawartości cementu. W badaniach zastosowano cement portlandzki drogowy siarczanoodporny CEM I MSR 42.5. Sposób mieszania składników zaprawy odpowiada PN EN 480-1 z wyjątkiem włókien, które dodawano do suchych składników (włókna stalowe, szklane) lub mieszano najpierw z wodą i superplastyfikatorem (włókna polipropylenowe, węglowe), a następnie dodawano do piasku i cementu. Maksymalny udział objętościowy włókien ograniczono do 0.5% objętości zaprawy ze względu na trudności pomiarowe w przypadku większej zawartości włókien.

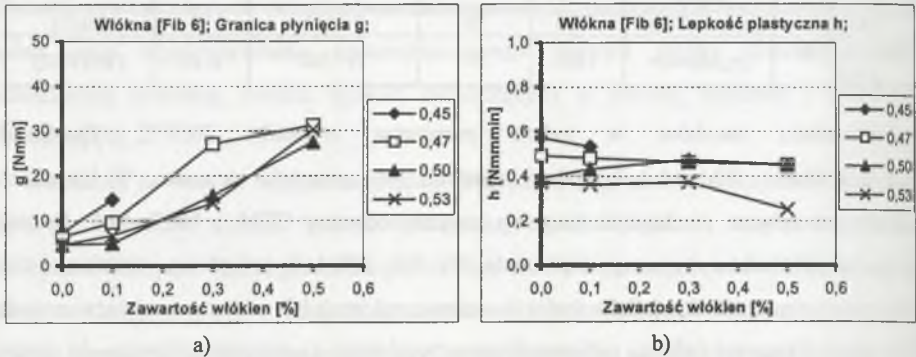
Właściwości reologiczne zapraw z dodatkiem włókien określono, stosując reometryczny test urabialności (RTU), omówiony szczegółowo w [4]. Badania przeprowadzono na wiskozymetrze rotacyjnym Viskomat NT. Prędkość obrotowa sondy zmieniała się w przedziale od 10 do 120 obr/min. Wyniki przedstawiono dla prędkości malejących.

3. Wyniki badań i ich omówienie

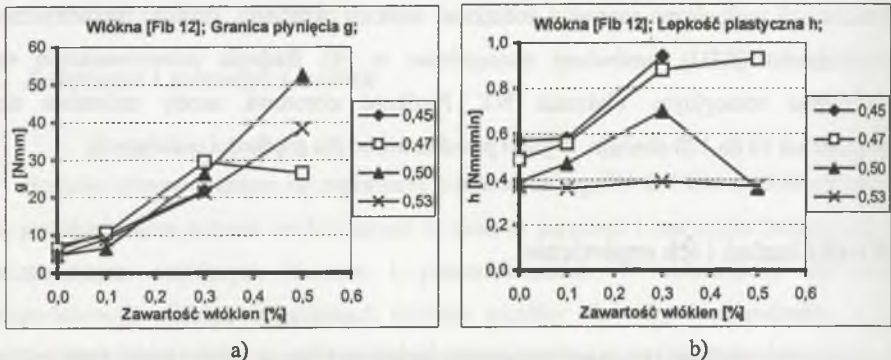
Z przedstawionych na rysunkach rezultatów badań wynika, że właściwości reologiczne zapraw różnią się istotnie, zależnie od zastosowanych włókien oraz ich udziału objętościowego w zaprawie. W przypadku zapraw bez włókien obserwujemy niewielki

wzrost wartości g wraz ze spadkiem zawartości wody w mieszance, co jest zjawiskiem spodziewanym. Najwyższe wartości granicy płynięcia g , czyli najgorszą urabialność uzyskano w przypadku zapraw z dodatkiem włókien polipropylenowych elementarnych (rys.1a i 2a) oraz węglowych (rys.8a i 9a). Wartość granicy płynięcia zapraw z tymi rodzajami włókien wzrasta ze wzrostem udziału objętościowego włókien w zaprawie, szczególnie od wartości 0.3%. Najniższe wartości granicy płynięcia, czyli najlepszą urabialność uzyskano w przypadku zapraw z dodatkiem włókien polipropylenowych fibrylowanych (rys.3a i 4a) oraz włókien stalowych (rys.6a i 7a).

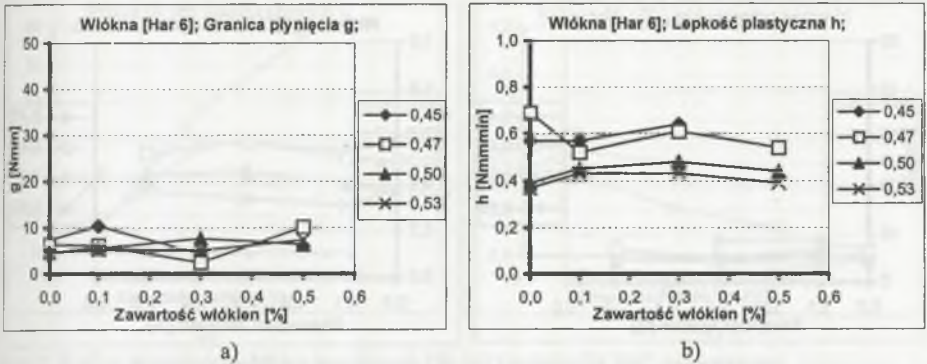
Wyniki badań dla lepkości plastycznej h włókno-zapraw nie są tak jednoznaczne jak w przypadku granicy płynięcia. Zaprawy bez włókien charakteryzują się niewielkim wzrostem lepkości h wraz ze spadkiem zawartości wody w mieszance. Podobną tendencję obserwujemy w przypadku zapraw z dodatkiem 0.1% wszystkich rodzajów włókien.



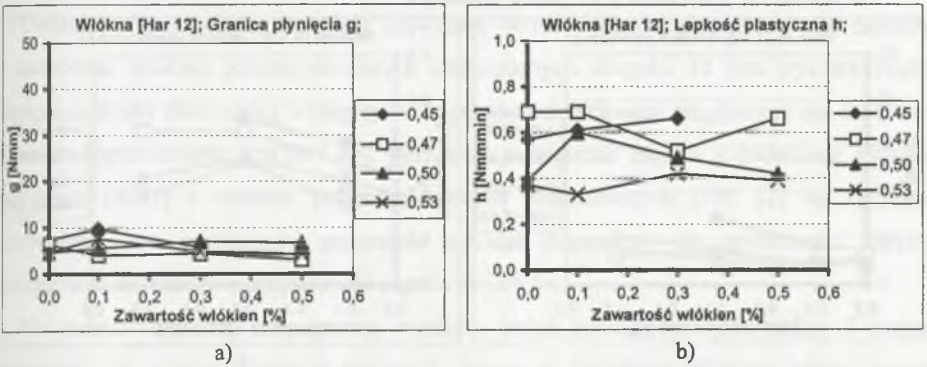
Rys. 1. Wpływ zawartości włókien polipropylenowych elementarnych [Fib 6] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne włókno-zapraw: a) granica płynięcia g ; b) lepkość plastyczna h
 Fig. 1. Influence the volume fraction of fibres [Fib6] and W/C ratio on rheological parameters of Mortar: a) yield value g ; b) plastic viscosity h



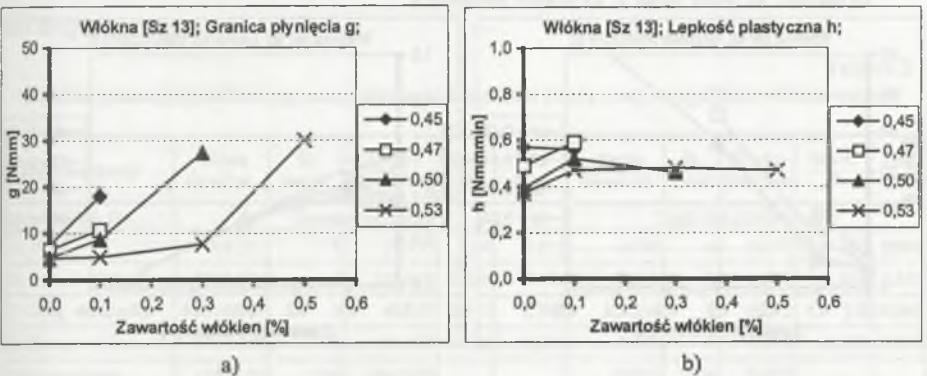
Rys. 2. Wpływ zawartości włókien polipropylenowych elementarnych [Fib 12] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne włókno-zapraw: a) granica płynięcia g ; b) lepkość plastyczna h
 Fig. 2. Influence the volume fraction of fibres [Fib12] and W/C ratio on rheological parameters of mortar: a) yield value g ; b) plastic viscosity h



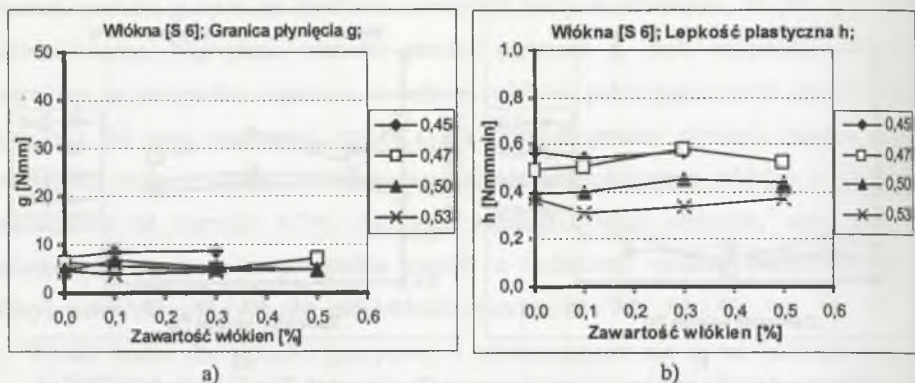
Rys. 3. Wpływ zawartości włókien polipropylenowych fibrylowanych [Har 6] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne włókno-zapraw: a) granica płynięcia g; b) lepkość plastyczna h
 Fig. 3. Influence the volume fraction of fibres [Har 6] and W/C ratio on rheological parameters of mortar: a) yield value g; b) plastic viscosity h



Rys. 4. Wpływ zawartości włókien polipropylenowych fibrylowanych [Har 12] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne włókno-zapraw: a) granica płynięcia g; b) lepkość plastyczna h
 Fig. 4. Influence the volume fraction of fibres [Har 6] and W/C ratio on rheological parameters of mortar: a) yield value g; b) plastic viscosity h

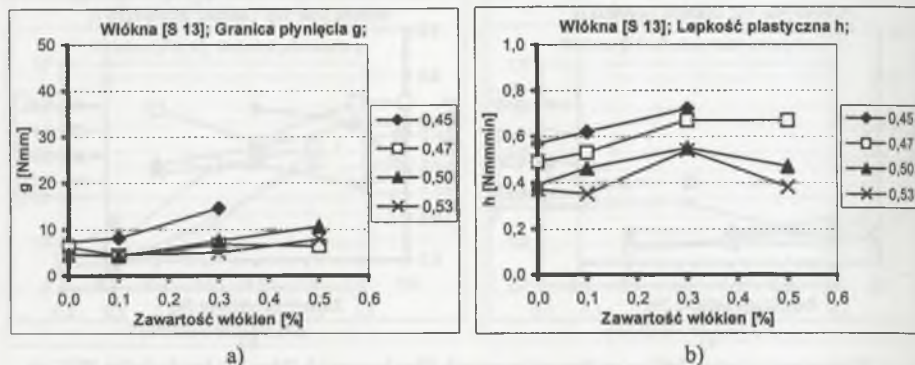


Rys. 5. Wpływ zawartości włókien szklanych [Sz 13] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne włókno-zapraw: a) granica płynięcia g; b) lepkość plastyczna h
 Fig. 5. Influence the volume fraction of fibres [Sz 13] and W/C ratio on rheological parameters of mortar: a) yield value g; b) plastic viscosity h



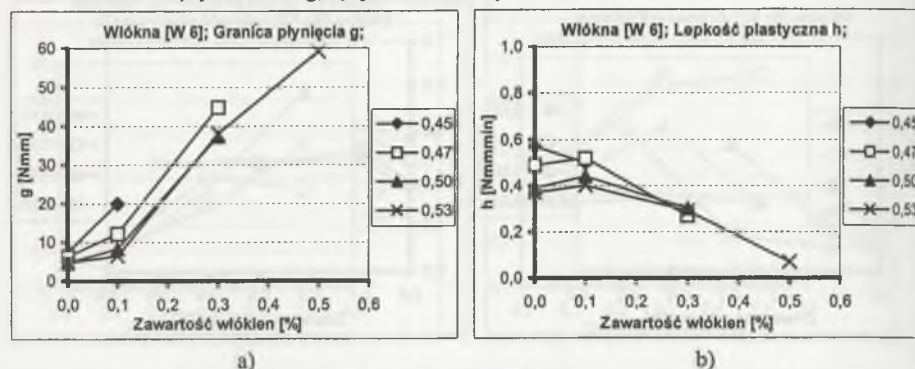
Rys. 6. Wpływ zawartości włókien stalowych [S 6] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne wólkno-zapraw: a) granica płynięcia g; b) lepkość plastyczna h

Fig. 6. Influence the volume fraction of fibres [S 6] and W/C ratio on rheological parameters of mortar: a) yield value g; b) plastic viscosity h



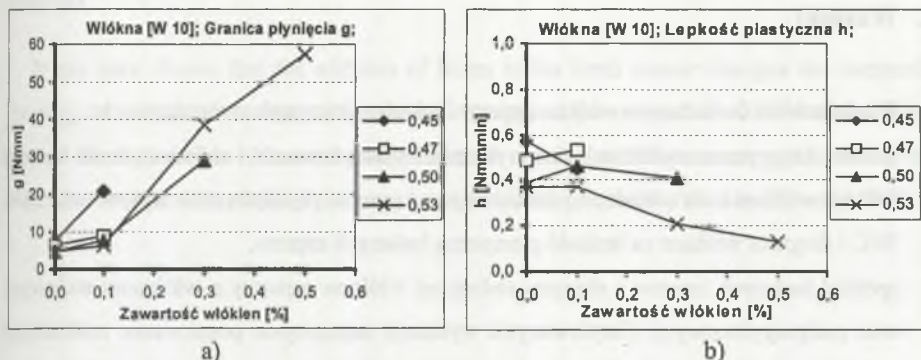
Rys. 7. Wpływ zawartości włókien stalowych [S 13] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne wólkno-zapraw: a) granica płynięcia g; b) lepkość plastyczna h

Fig. 7. Influence the volume fraction of fibres [S 13] and W/C ratio on rheological parameters of mortar: a) yield value g; b) plastic viscosity h



Rys. 8. Wpływ zawartości włókien węglowych [W 6] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne wólkno-zapraw: a) granica płynięcia g; b) lepkość plastyczna h

Fig. 8. Influence the volume fraction of fibres [W 6] and W/C ratio on rheological parameters of mortar: a) yield value g; b) plastic viscosity h



Rys. 9. Wpływ zawartości włókien węglowych [W 10] i wskaźnika W/C na parametry reologiczne włókno-zapraw: a) granica płynięcia g; b) lepkość plastyczna h

Fig. 9. Influence the volume fraction of fibres [S 10] and W/C ratio on rheological parameters of mortar: a) yield value g; b) plastic viscosity h

Dodanie 0.3% włókien powoduje najwyższy wzrost lepkości plastycznej dla zaprawy z dodatkiem włókien polipropylenowych elementarnych długości 12 mm (rys.2b). Niska wartość lepkości plastycznej występuje w zaprawach z włóknami węglowymi dla 0.5% ich udziału objętościowego (rys.8b i 9b). Parametry reologiczne zapraw z dodatkiem włókien szklanych [Sz13] i włókien polipropylenowych elementarnych [Fib 12] są zbliżone. Reologiczny test urabialności generalnie wykazał pogarszanie się urabialności zapraw z dodatkiem włókien w odniesieniu do zapraw świadków.

Na podstawie analizy statystycznej wyników badań przedstawionej w tabelicy 2 można stwierdzić, że granica płynięcia badanych zapraw z dodatkiem włókien zależy przede wszystkim od rodzaju włókien i ich udziału objętościowego w zaprawie. W przypadku lepkości plastycznej badanych zapraw zasadniczy wpływ na jej zmianę ma wskaźnik W/C oraz długość włókien.

Tabela 2

Analiza wariacji (ANOVA) granicy płynięcia i lepkości plastycznej wszystkich włókno-zapraw

Źródło wariacji	Suma kwadrat.	St. swob.	Średni kwadrat	Wart. F	Poz. istot.	Suma kwadrat.	St. swob.	Średni kwadrat	Wart. F	Poz. istot.
ANOVA dla :	Granicy płynięcia g					Lepkości plastycznej h				
A: W / C	102.211	4	25.553	0.24	0.915	0.788	4	0.197	27.304	0.000
B: Rodzaj włókien	2761.854	3	920.618	8.655	0.000	0.040	3	0.013	1.844	0.143
C: Dług. włókien	310.149	7	44.307	0.417	0.891	0.146	7	0.021	2.9	0.008
D: Zawar. włókien	4564.446	3	1521.482	14.30	0.000	0.061	3	0.020	2.821	0.042
Błąd resztkowy	13189.70	124	106.3685			0.895	124	0.007		
Błąd całkowity	22008.74	141				2.296	141			

4. Wnioski

W odniesieniu do badanych włókno-zapraw i ich charakterystyk stwierdzono, że:

- analiza statystyczna wyników badań wykazała wysoką istotność i równorzędność wpływu rodzaju włókien i ich udziału objętościowego na granicę płynięcia oraz wpływ wskaźnika W/C i długości włókien na lepkość plastyczną badanych zapraw,
- spośród badanych zapraw z różnymi rodzajami włókien zaprawy z włóknami stalowymi oraz polipropylenowymi fibrylowanymi wykazują najmniejsze pogorszenie urabialności wywołane obecnością włókien w zaprawie w badanym zakresie ich udziału objętościowego i długości,
- w przypadku włókien polipropylenowych pojedynczych, węglowych oraz szklanych pogorszenie urabialności spowodowane jest głównie wzrostem udziału objętościowego włókien w zaprawie.

LITERATURA

1. ACI Committee 544.2R-88: Measurements of Properties of Fiber Reinforced Concrete. ACI Materials Journal, Nov.-Dec., 1988, p. 583-594.
2. Jamróży Z.: Betony ze zbrojeniem rozproszonym. XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, 20-23 lutego 2002.
3. Ponikiewski T.: Plastyczność włókno-zaprawy a jej właściwości reologiczne. III Seminarium Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Gliwice-Wisła, 21-22.11.2002, s. 465-474.
4. Szwabowski J.: Reologia mieszanek na spoiwach cementowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
5. Szwabowski J., Ponikiewski T.: Rheological properties of fresh concrete with polypropylene fibres. 3rd International Conference: Concrete&Concrete Structures, Žilina, Slovakia, 24-25.04.2002, p. 331-338.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Michał Glinicki

Abstract

It has been shown that the addition of fibres to the fresh mortar changes the composite rheology. Analysis of variance of obtained rheological parameters for FRFM showed that type of fibres and fibre volume fraction have the significant influence on yield value τ_0 but W/C ratio and fibre length have the significant influence on plastic viscosity of tested FRFM.

WPLYW WŁÓKNI NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE ...

Wykazano, że dodanie włókien do świeżego zaprawy zmienia reologię kompozytu. Analiza wariancji otrzymanych parametrów reologicznych dla FRFM wykazała, że rodzaj włókien i frakcja objętościowa włókien ma istotny wpływ na wartość τ_0 , natomiast stosunek W/C i długość włókien ma istotny wpływ na lepkość plastyczną testowanych FRFM.

WPLYW WŁÓKNI NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE ...

Wykazano, że dodanie włókien do świeżego zaprawy zmienia reologię kompozytu. Analiza wariancji otrzymanych parametrów reologicznych dla FRFM wykazała, że rodzaj włókien i frakcja objętościowa włókien ma istotny wpływ na wartość τ_0 , natomiast stosunek W/C i długość włókien ma istotny wpływ na lepkość plastyczną testowanych FRFM.

1. Wstęp

Wstępny opis... (faint text describing the study's context and objectives)