



Źródło: Michał Braszczowski

# Wpływ kamienia wapiennego na właściwości reologiczne zaczynu cementowego

*Stosowanie dodatków mineralnych do cementu stało się powszechną praktyką technologiczną. Obecnie wiele badań, w kraju i za granicą, dotyczy zagadnień związanych ze stosowaniem kamienia wapiennego jako jednego z głównych dodatków mineralnych do cementu. Realizowana tematyka jest bardzo ważna z ekologicznego, ekonomicznego i technicznego punktu widzenia. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu dodatku mielonego kamienia wapiennego na właściwości reologiczne zaczynu cementowego. Zawartość kamienia wapiennego w składzie cementu wynosiła od 5% do 50% masy. Badania prowadzono na zaczynach i zaprawach.*

*Tabela 1. Skład chemiczny cementu portlandzkiego CEM I 52,5R oraz mielonego kamienia wapiennego w % mas*

Składnik	CEM I 52,5R	Mielony kamień wapienny LL
straty prażenia	3,3	39,1
części nierozpuszczalne	0,6	-
SiO <sub>2</sub>	20,1	6,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,7	2,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,8	1,6
CaO	63,7	48,4
MgO	1,3	1,6
SO <sub>3</sub>	2,7	0,3
Na <sub>2</sub> O	0,1	0,07
K <sub>2</sub> O	0,8	0,3
Cl-	0,05	0,012

## 1. Wprowadzenie

Jedną z obecnie zauważalnych tendencji rynkowych jest wzrost produkcji cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/A,B, w tym z dodatkiem wapienia. Stosowane w różnych obszarach budownictwa cementy portlandzkie wapienne CEM II/A,B-L(LL) (beton zwykły i betony przeznaczone do specjalistycznych aplikacji [6, 8, 12]) stanowią wariantowe rozwiązania w stosunku do cementu portlandzkiego CEM I. Kamień wapienny, obok granulowanego żużla wielkopiecowego i popiołów lotnych, staje się jednym z głównych składników cementu.

Cementy portlandzkie wapienne charakteryzują się pożądanymi przez użytkowników właściwościami, takimi jak niższa wodożądność, lepsza urabialność oraz podwyższona trwałość (w kompozycji z innymi dodatkami mineralnymi) [4, 5, 7, 9, 11].

Właściwości cementów portlandzkich wapiennych CEM II/A,B-LL(L) zależą od powierzchni właściwej cementu i mielonego kamienia wapiennego oraz składu chemicznego i fazowego klinkieru portlandzkiego [1, 2].

Wpływ kamienia wapiennego na właściwości reologiczne cementów zależy głównie od współczynnika wodno-cementowego i ilości wapienia w składzie cementu. Prowadzone prace badawcze w zakresie właściwości reologicznych zaczynów z cementów portlandzkich wapiennych wskazują na znaczny wzrost lepkości plastycznej i spadek granicy płynięcia w porównaniu do cementu portlandzkiego CEM I [5, 10, 12].

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości reologicznych zaczynów i zapraw cementowych, które sporządzono z dodatkiem mielonego kamienia wapiennego (LL). Ilość wapienia w składzie cementu (do 50%) wykraczała poza graniczną wartość określoną w normie dla cementu portlandzkiego wapiennego CEM II/BLL(L) (35%).

## 2. Część doświadczalna

### 2.1. Materiały stosowane w badaniach

W badaniach użyto cement portlandzki CEM I 52,5R o powierzchni właściwej według Blaine'a  $4300 \text{ cm}^2/\text{g}$  i gęstości właściwej wynoszącej  $3,1 \text{ g/cm}^3$  oraz mielony kamień wapienny o powierzchni właściwej  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$  i gęstości właściwej  $2,72 \text{ g/cm}^3$ . W badaniach stosowano także dodatkowo rozdrobniony wapień o powierzchni właściwej  $10000 \text{ cm}^2/\text{g}$  (cementy z tym wapieniem oznaczono literą „d” – LLd). Skład chemiczny cementu i wapienia pokazano w tabeli 1.

W badaniach właściwości reologicznych zaczynów cementowych użyto domieszki upłynniającą Addiment FM 6, której bazą chemiczną są sulfonowane polikondensaty naftalenowe i melaminowe. Domieszka charakteryzuje się gęstością  $1,15 \text{ kg/l}$  i odczynem o  $\text{pH} \sim 8$ . Zawartość chlorków jest mniejsza od 0,10%, zaś zawartość alkaliów nie przekracza 5%.

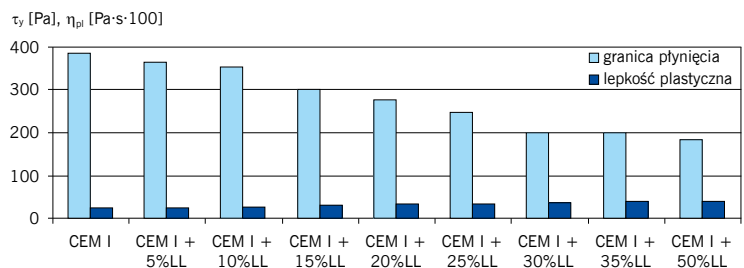
Z cementu portlandzkiego CEM I 52,5R i mielonego wapienia przygotowano cementy o zawartości wapienia wynoszącej od 5 do 50%. Cementy uzyskiwano poprzez zmieszanie wyjściowych składników w warunkach laboratoryjnych. W nazwie próbek symbol cyfrowy oznacza procentową zawartość dodatku wapienia w składzie cementu.

### 2.2. Metody badań

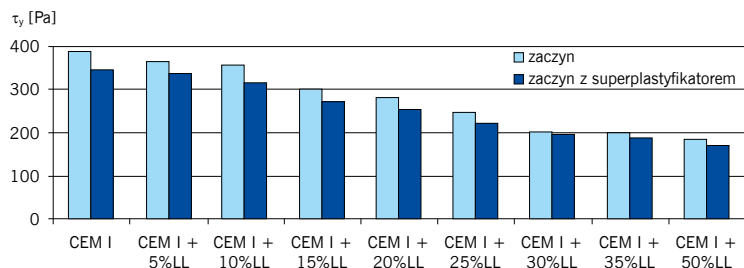
Badanie wpływu dodatku wapienia na właściwości reologiczne zaczynów cementowych określono na podstawie krzywych płynięcia uzyskanych na wiskozymetrze rotacyjnym typu RV-2 2-50 Hz, o cylindrach współosiowych. Wszystkie próbki badanych zaczynów przygotowano w ten sam sposób, zachowując jednakową kolejność dodawanych składników, intensywność i czas mieszania, temperaturę, czas kontaktu cementu z wodą do rozpoczęcia pomiarów, minutę ścinania przy najwyższej prędkości, minutę bez ścinania. Następnie wykonano pomiary w całym zakresie prędkości ścinania. Uzyskane wyniki z pomiarów przemnożono przez stałe wiskozymetru rotacyjnego, uzyskując krzywe pętli histerezy. Z powodu otrzymania niewielkich pętli histerezy wykresy krzywych płynięcia ograniczono do krzywych płynięcia opadających, z których wyznaczono binghamowskie parametry reologiczne, tj. granicę płynięcia  $\tau_y$  i lepkość plastyczną  $\eta_{pl}$ .

Dla wybranych cementów z kamieniem wapiennym określono konsystencję zaprawy zgodnie z PN-EN 1015-3:2000 „Określenie konsystencji świeżej zaprawy za pomocą stolika rozplwywu” oraz za pomocą penetrometru zgodnie z PN-EN 1015-4:2000 „Określenie konsystencji świeżej zaprawy za pomocą penetrometru”. Zaprawy z udziałem tych cementów użyto do wyznaczenia binghamowskich parametrów reologicznych na wiskomacie. Pomiar parametrów reologicznych granicy płynięcia  $\tau_y$  i lepkości plastycznej  $\eta_{pl}$  dla zapraw cementowych przeprowadzono przy użyciu wiskozymetru „Viskomat PC” ze sterowaną prędkością odkształcenia i pomiarem momentu wywołanego oporem mieszanki. Sterowanie przebiegiem badania, rejestrację i obróbkę wyników prowadzono przy pomocy programu „Visco”. W badaniach reologicznych zastosowano mieszadło o geometrii przeznaczonej do badania zapraw. Wyniki otrzymano w postaci krzywych płynięcia z wyznaczonymi parametrami reologicznymi  $\tau_y$  i  $\eta_{pl}$ , odpowiadającymi:  $\tau_y$  – binghamowskiej granicy płynięcia  $\tau_0$ ,  $\eta_{pl}$  – lepkości plastycznej  $\eta_{pl}$ . Mieszanki do pomiaru właściwości reologicznych zapraw przygotowywano w ten sam sposób: kolejność dodawania składników wszystkich zarobów jest jednakowa oraz czas mieszania składników liczony jest od chwili zmieszania cementu z wodą w celu wyeliminowania wpływu

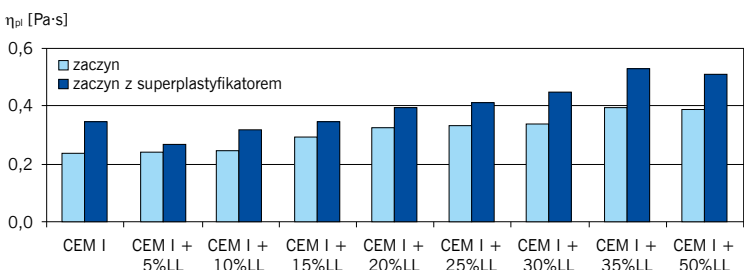
nięcia  $\tau_y$  i lepkości plastycznej  $\eta_{pl}$  dla zapraw cementowych przeprowadzono przy użyciu wiskozymetru „Viskomat PC” ze sterowaną prędkością odkształcenia i pomiarem momentu wywołanego oporem mieszanki. Sterowanie przebiegiem badania, rejestrację i obróbkę wyników prowadzono przy pomocy programu „Visco”. W badaniach reologicznych zastosowano mieszadło o geometrii przeznaczonej do badania zapraw. Wyniki otrzymano w postaci krzywych płynięcia z wyznaczonymi parametrami reologicznymi  $\tau_y$  i  $\eta_{pl}$ , odpowiadającymi:  $\tau_y$  – binghamowskiej granicy płynięcia  $\tau_0$ ,  $\eta_{pl}$  – lepkości plastycznej  $\eta_{pl}$ . Mieszanki do pomiaru właściwości reologicznych zapraw przygotowywano w ten sam sposób: kolejność dodawania składników wszystkich zarobów jest jednakowa oraz czas mieszania składników liczony jest od chwili zmieszania cementu z wodą w celu wyeliminowania wpływu



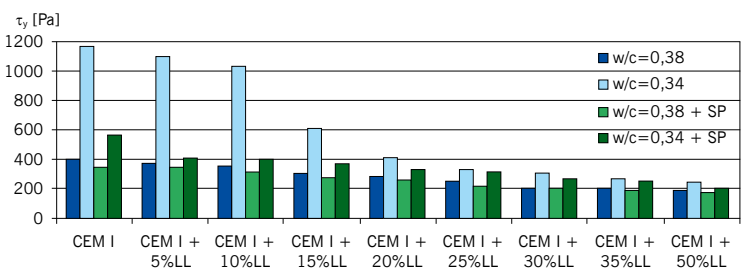
Rys. 1. Granica płynięcia  $\tau_y$  i lepkość plastyczna  $\eta_{pl}$  zaczynów cementowych z różną zawartością mielonego kamienia wapiennego ( $w/c = 0,38$ )



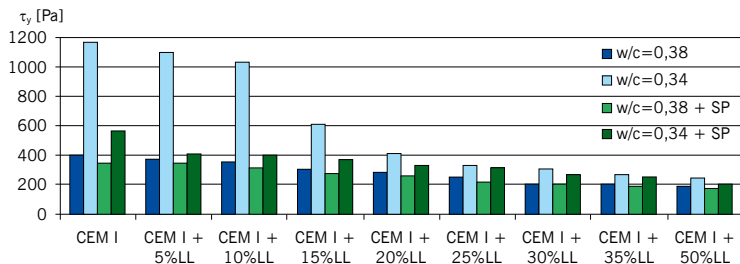
Rys. 2. Granica płynięcia  $\tau_y$  zaczynów cementowych z różną zawartością kamienia i dodatkiem superplastyfikatora ( $w/c = 0,38$ )



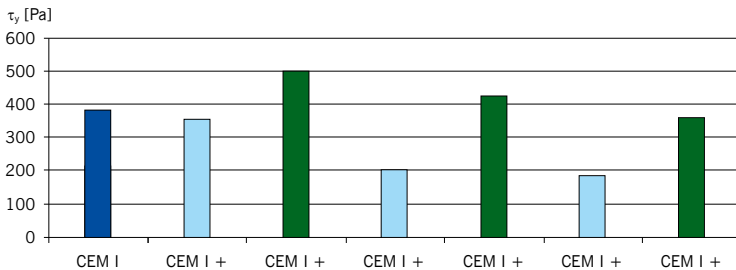
Rys. 3. Lepkość plastyczna  $\eta_{pl}$  zaczynów cementowych z różną zawartością mielonego kamienia wapiennego i z dodatkiem superplastyfikatora ( $w/c = 0,38$ )



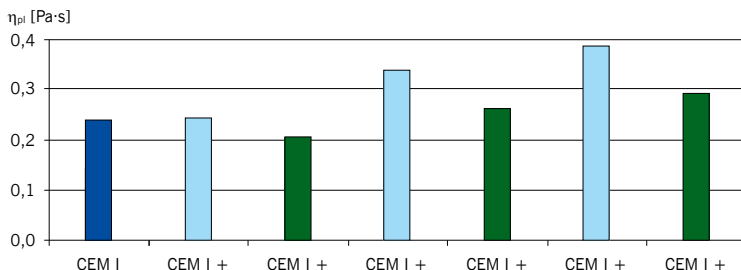
Rys. 4. Wpływ stosunku wodno-spoiwowego na granicę płynięcia zaczynów cementowych (SP – z dodatkiem superplastyfikatora)



Rys. 5. Wpływ stosunku wodno-spoiwowego na lepkość plastyczną zaczynów cementowych (SP – z dodatkiem superplastyfikatora)



Rys. 6. Granica płynięcia  $\tau_y$  zaczynów cementowych z kamieniem wapiennym o różnym stopniu zmielenia (LL – 4000 cm<sup>2</sup>/g; LL d – 10000 cm<sup>2</sup>/g; w/c = 0,38)



Rys. 7. Lepkość plastyczna  $\eta_{pl}$  zaczynów cementowych z kamieniem wapiennym o różnym stopniu zmielenia (LL – 4000 cm<sup>2</sup>/g; LL d – 10000 cm<sup>2</sup>/g; w/c = 0,38)

czynników niezwiązanych z właściwościami mieszanek.

Badania reologiczne zaczynów cementowych wykonano przy współczynniku w/c wynoszącym 0,38 oraz 0,34, natomiast badane zaprawy były zaprawami normowymi o w/c wynoszącym 0,5.

### 3. Wyniki badań i ich omówienie

#### 3.1. Reologia zaczynów cementowych

Parametry reologiczne badanych zaczynów cementowych, przy w/c wynoszącym 0,38, przedstawio-

no na rys. 1. Można zauważyć, że wzrostowi wartości kamienia wapiennego w składzie cementu towarzyszy zmniejszenie granicy płynięcia. Spadek ten jest dwukrotnie większy przy badanej maksymalnej ilości (50%) dodatku mielonego wapienia w składzie cementu. Zawartość kamienia wapiennego w cemencie ma także wpływ na lepkość plastyczną, która wzrasta wraz ze wzrostem dodatku (rys. 1).

Na rys. 2 i 3 pokazano wyniki badań wpływu superplastyfikatora (SP) polikarboksyłowanego (w ilości 1% masy cementu) na właściwości reologiczne badanych zaczynów cementowych. Uzyskane wyniki badań wykazują, że użyta domieszka chemiczna (Addiment FM 6) powoduje nieznaczne zmniejszenie granicy płynięcia (rys. 2) oraz wzrost lepkości plastycznej (rys. 3).

Parametry reologiczne badanych zaczynów, z dodatkiem superplastyfikatora, uległy znacznym zmianom przy zmniejszeniu współczynnika wodno-cementowego (w/c) badanych zaczynów z 0,38 do 0,34. Rys. 4 pokazuje, że granica płynięcia dla zaczynów cementowych o w/c = 0,34 wzrosła w porównaniu do zaczynów o w/c = 0,38. Jednakże wielkość wzrostu granicy płynięcia maleje wraz ze wzrostem ilości dodatku wapienia w składzie cementu. Obniżona zawartość wody wpłynęła także na zmniejszenie lepkości plastycznej zaczynów cementowych, bez i z dodatkiem superplastyfikatora (rys. 5).

Wpływ rozwinięcia powierzchni właściwej kamienia wapiennego na właściwości reologiczne zaczynów cementowych badano dla cementów zawierających 10%, 30% i 50% wapienia (LLd) o dużej miąższości w masie cementu. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 6 i 7. Dodatkowy przemiał wapienia (10000 cm<sup>2</sup>/g) spowodował wzrost granicy płynięcia w porównaniu do zaczynów cementowych zawierających kamień wapienny o powierzchni wynoszącej 4000 cm<sup>2</sup>/g.

Jak widać z histogramu na rys. 7, lepkość plastyczna zaczynów cementowych z kamieniem wapiennym o zwiększonej powierzchni właściwej (LLd) wzrasta wraz ze wzrostem zawartości kamienia w składzie cementu, jednakże w porównaniu do zaczynów cementowych z kamieniem wapiennym o powierzchni właściwej 4000 cm<sup>2</sup>/g (LL) lepkość plastyczna jest mniejsza.

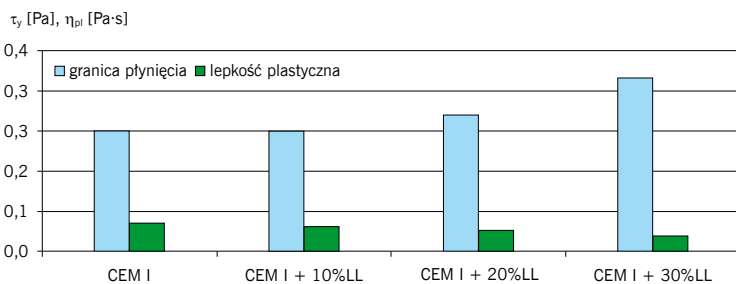
#### 3.2. Reologia zapraw cementowych

Badania reologiczne (pomiar konsystencji) zapraw dla cementów zawierających 10%, 25% i 50% dodatku wapienia wykonano poprzez pomiar głębokości penetracji wgłębnika i rozptyw na stoliku potrząsalnym. Dla zapraw z cementów zawierających 10%, 20% i 30% wapienia, wyznaczono binghamowskie parametry reologiczne. Tabela 2 przedstawia wyniki badań konsystencji zapraw na stoliku potrząsalnym i głębokości penetracji wgłębnika. Wyniki z nich, że wapień powoduje zmniejszenie rozptywu zapraw w porównaniu do cementu portlandzkiego CEM I 52,5R, natomiast głębokość penetracji wgłębnika wzrasta wraz ze zwiększeniem ilości wapienia w składzie cementu.

Rys. 8 ilustruje uzyskane binghamowskie parametry reologiczne. Dodanie 10% kamienia wapiennego w nieznacznym stopniu zmienia parametry re-

Tabela 2. Wpływ dodatku kamienia na właściwości reologiczne zapraw cementowych

Symbol	Głębokość penetracji wgłębnika [mm]	Rozptyw [mm]
CEM I	185	32
CEM I + 10%LL	190	31
CEM I + 25%LL	190	28
CEM I + 50%LL	195	26



Rys. 8. Binghamowskie parametry reologiczne zapraw cementowych

ologiczne w porównaniu z cementem portlandzkim CEM I 52,5R, natomiast zwiększenie dodatku do 20% i 30% powoduje wzrost granicy płynięcia zapraw, zaś lepkość plastyczna maleje.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że zaczyny z cementu z dodatkiem mielonego wapienia charakteryzują się mniejszą granicą płynięcia oraz większą lepkością plastyczną w stosunku do cementu portlandzkiego CEM I.

Zmniejszenie współczynnika wodno-cementowego (z w/c 0,38 na 0,34) powoduje wzrost granicy płynięcia, która malała wraz ze wzrostem ilości wapienia w składzie cementu. Mniejszy stosunek w/c wpłynął także na zmniejszenie lepkości plastycznej zaczynów cementowych. W cementach z dodatkiem wapienia o wyższej powierzchni właściwej zaobserwowano wzrost granicy płynięcia i zmniejszenie lepkości plastycznej w porównaniu do zaczynów cementowych zawierających kamień wapienny o mniejszej powierzchni właściwej. Parametry reologiczne zaczynów można modyfikować poprzez dodatek superplastyfikatora, szczególnie przy niższym w/c.

Badania reologiczne zapraw na cementach z dodatkiem wapienia wykazały różny jego wpływ na konsystencję. Zaprawy z cementów z wyższą zawartością wapienia charakteryzowały się mniejszym rozplywem w porównaniu do zapraw z cementu portlandzkiego CEM I, zaś głębokość penetracji węgelnika wzrastała wraz ze wzrostem ilości wapienia w składzie badanego cementu.

Binghamowskie parametry reologiczne zapraw przy 10% zawartości wapienia w składzie cementu są zbliżone do wyników uzyskanych w przypadku cementu portlandzkiego CEM I, natomiast wraz ze wzrostem ilości wapienia w składzie cementu następuje wzrost granicy płynięcia i spadek lepkości plastycznej zapraw.

**mgr inż. Magdalena Piechówka**  
**Politechnika Wrocławska**  
**dr hab. inż. Zbigniew Giergiczyński prof. PŚ**  
**Politechnika Śląska, Górażdże Cement SA**

#### Literatura

- 1 O. Esping, *Effect of limestone filler BET(H<sub>2</sub>O) – area on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete*, *Cement and Concrete Research* 38 (2008), 938-944
- 2 Z. Giergiczyński, M. Sokółowski, *Limestone as a component of composite cement*, *3rd International Symposium Non-traditional cement and concrete*, Brno 2008, 272-281
- 3 M. He, Y. Wang, E. Forsberg, *Parameter studies on the rheology of limestone slurries*, *International Journal of Mineral Processing* 78 (2006), 63-77
- 4 P. Poitevin, *Limestone aggregate concrete, usefulness and durability*, *Cement and Concrete Composites* 21 (1999), 89-97
- 5 M. Schmidt, *Cement with interground additives*, *Zement-Kalk-Gips* 4/1992, 87-92, 8/1992, 216-220
- 6 M. Sokółowski, D. Dziuk, P. Grabarczyk, R. Czołgasz, *Cement portlandzki wapienny CEM III/A-LL 42,5R w budownictwie*, *Konferencja „Dni Betonu”*, Wisła 2008, 639-648
- 7 S. Tsvivilis, E. Chaniotakis, G. Kakali, G. Batis, *An analysis of the properties of Portland limestone cements and concrete*, *Cement and Concrete Composites* 24 (2002), 371-378
- 8 S. Tsvivilis, E. Chatoniakis, G. Kakali, N. Voglis, *Portland –limestone cements. Their properties and hydration compared to those of other composite cements*, *Cement and Concrete Composition* 27 (2005), 191-196
- 9 S. Tsvivilis, N. Voglis, J. Photou, *A study on the parameters affecting the properties of Portland limestone cements*, *Cement and Concrete Composites* 21 (1999), 107-116
- 10 H. Vikan, H. Justnes, *Rheology of cementitious paste with silica fume or limestone*, *Cement and Concrete Research* 37 (2007), 1512-1517
- 11 T. Vuk, V. Tinta, R. Gabrovsek, V. Kaucic, *The effects of limestone addition, clinker type and fineness on properties of Portland cement*, *Cement and Concrete Research* 31 (2001), 135-139
- 12 A. Yahia, M. Tanimura, Y. Shimoyama, *Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio*, *Cement and Concrete Research* 35 (2005), 532-539

Artykuł opublikowany w materiałach konferencyjnych Dni Betonu 2010

