

---

***PRACE***

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 11**

ISSN 1899-3230

**Rok V**

**Warszawa–Opole 2012**

---

TADEUSZ LATUSZEK\*  
MIROŚLAW WŁODARCZYK\*\*

# Badania przemysłowego mieszalnika do wytwarzania zawiesin wysokorozdrobnionych materiałów mineralnych w wodzie

**Słowa kluczowe:** mieszalnik do wytwarzania zawiesin.

W artykule przedstawiono wyniki badań mieszalnika, zaprojektowanego do wymieszania w krótkim czasie kilku składników mineralnych o dużym rozdrobnieniu w środowisku wody. Potrzeba stosowania takiego mieszalnika występuje między innymi w przemysłowej produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego. Wśród składników mieszanych były cement i wapno, w sposób znaczący zmieniające właściwości mieszaniny w czasie mieszania. W trakcie realizacji pracy sprawdzono skuteczność różnych rozwiązań mieszadeł.

## 1. Wprowadzenie

Operacja mieszania składników występuje przy wytwarzaniu wielu wyrobów. Jest to przeważnie czynność wymuszona z doprowadzeniem energii z zewnątrz, przekazywanej materiałom mieszanym za pośrednictwem mieszadeł. Głównym celem jest wytworzenie jednorodnej mieszaniny i utrzymanie jej w takim stanie przez czas określony w technologii. Uzyskanie w wyniku mieszania w pełni jednorodnej mieszaniny wielu składników (w tym składników stałych) jest niezwykle trudne, ponieważ wykazują one naturalną skłonność do samoistnego rozwarstwiania się. Skuteczne mieszanie układów wielofazowych dla uzyskania jednorodnej zawiesiny (szczególnie w przypadku znacznej różnicy gęstości mieszanych składników, ograniczeniu czasu mieszania i zachodzących reakcjach chemicznych między składnikami) jest poważnym wyzwaniem. Potwierdzają to

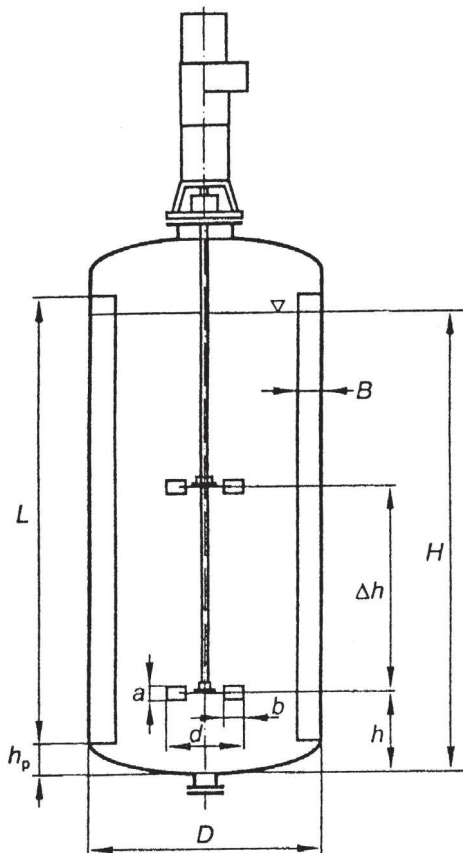
---

\* Inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Centrum Badań Betonów CEBET w Warszawie.

\*\* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Centrum Badań Betonów CEBET w Warszawie.

dostępne źródła literaturowe i obserwacje poczynione w wytwórniach betonu komórkowego [1, 4]. W wytwórniach betonu komórkowego mieszanie składników jest trudne między innymi dlatego, że w porcji mieszanej jest znaczna ilość wapna i cementu, które szybko wchodzi w reakcję z wodą i powodują gęstnienie zawiesiny. Ponadto, proces mieszania utrudniany jest przez skłonność wapna do aglomeracji (zlepianie się cząstek w trudne do rozbicia większe skupiska), szczególnie jeśli w fazie magazynowania wapna jest ono zawilgocone.

Stosowane dotychczas przy wytwarzaniu betonu komórkowego mieszalniki są rozwiązaniami niezapewniającymi dostatecznie krótkiego czasu mieszania,

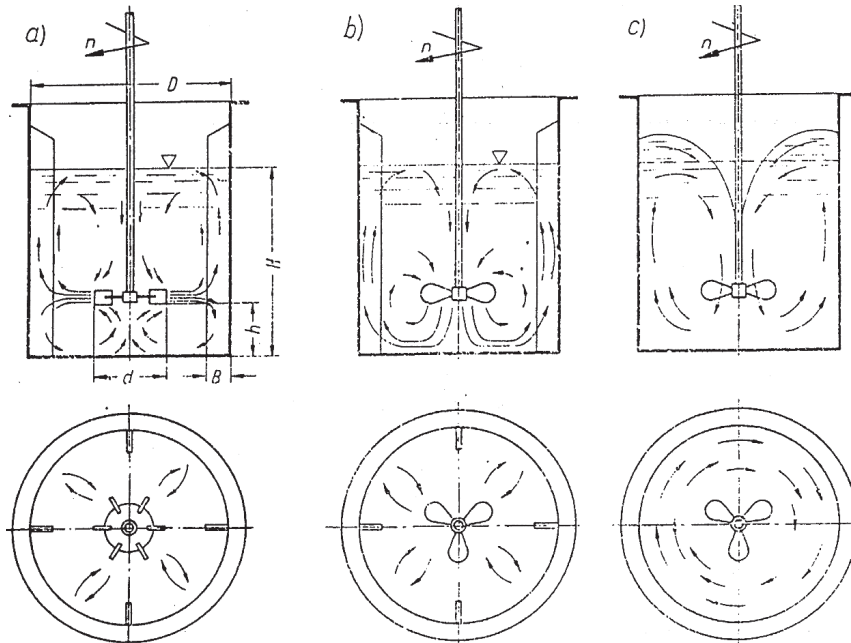


Ryc. 1. Geometria mieszalnika [2]

zgodnego z rytmem pracy innych urządzeń linii produkcyjnej, a także wymaganej jednorodności mieszaniny. W dobrze zmechanizowanych i zautomatyzowanych wytwórniach betonu komórkowego mieszalniki ograniczają możliwości produkcyjne w porównaniu do czasów przebiegu innych operacji produkcyjnych, cykle mieszania są za długie (obecnie wynoszą od 10 do 12 min). Podejmowane w ograniczonym zakresie usprawnienia istniejących mieszalników nie przyniosły wystarczającej poprawy.

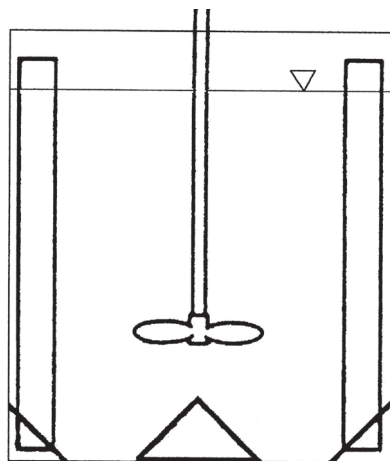
W literaturze [2–3] dotyczącej mieszania podkreśla się, że jego efekt zależy od konstrukcji mieszadła i jego usytuowania w zbiorniku mieszalnika oraz od częstości obrotów mieszadła. Nie bez znaczenia pozostaje geometria zbiornika. Ogólne zależności w geometrii mieszalnika według [2] przedstawiono na rycinie 1. Do wytworzenia zawiesin stosuje się mieszadła wymuszające silną cyrkulację i osiowy lub promienio-

wo-osiowy przepływ cieczy. Wpływ konstrukcji mieszadła na rodzaj cyrkulacji wyjaśnia rycina 2.



Ryc. 2. Schemat pracy mieszadeł szybkoobrotowych i śmigłowych [3]: a – mieszadło turbinowe, zbiornik z przegrodami, b – mieszadło śmigłowe, zbiornik z przegrodami, c – mieszadło śmigłowe (lub turbinowe), zbiornik bez przegród

Najbardziej efektywne do wytwarzania zawiesin ciała stałego w cieczy są mieszadła wymuszające cyrkulację osiową. Do tej grupy należą mieszadła śmigłowe. Według Kamińskiego [2] mieszadła śmigłowe pracują najlepiej, gdy ich średnica wynosi  $d = D/4 \div D/3$  i są umieszczone w odległości  $h = 0,25 D$  od dna (w przypadku stosowania dyfuzora odległość można powiększyć, a prędkości obwodowe końców łopat wynoszą  $3 \div 20$  m/s). Według tego samego źródła, do rozproszenia ciała stałego w cieczach należy stosować mieszadła wysokoobrotowe, pracujące w zbiornikach z przegrodami (brak przegród powoduje zawirowanie cieczy w mieszalniku i tworzenie się leja, jak pokazano na ryc. 2 c). Na częstość obrotów mieszadła, niezbędną do wytworzenia zawiesiny, wpływa kształt dna zbiorników mieszalników. Według Kamińskiego [2] korzystnie jest prowadzić proces w zbiornikach z dnem kulistym. Natomiast najgorszym rozwiązaniem jest zbiornik z dnem płaskim, na którym w pobliżu ściany poboczniczy oraz w środku zalegają cząstki ciała stałego. Według Kamińskiego [2] zaleca się, aby zbiorniki modernizować przez zastosowanie wstawek jak to zobrazowano na rycinie 3.



Ryc. 3. Zalecana modernizacja płaskiego dna mieszalnika [2]

Realizując opracowanie nowoczesnej konstrukcji mieszalnika założono, że badania skuteczności mieszania będą prowadzone z zastosowaniem różnych (wymiennych) zespołów mieszających i zapewnieniem możliwości stosowania zmiennych prędkości obrotowych mieszadeł, a także z możliwością montowania do płaszcza mieszalnika różnych konfiguracji łopat intensyfikujących mieszanie.

## 2. Badania wstępne, oznaczenie lepkości zawiesin

Przy wyborze sposobu mieszania i typu mieszalnika należy uwzględniać właściwości reologiczne mieszaniny składników, a przede wszystkim jej lepkość. Wpływają one w istotny sposób na konstrukcję mieszalników (geometria, wymiary, częstość obrotów mieszadła i jego położenie w mieszalniku).

Wytwarzane w procesie produkcyjnym betonu komórkowego zawiesiny bardzo drobnych materiałów mineralnych w wodzie, zwane powszechnie masą zarobową betonu, mają specyficzne właściwości. Po podaniu do mieszalnika kolejnych składników wzrasta ich gęstość. Wapno szybko podnosi ich temperaturę, a porcja proszku Al (na skutek reakcji chemicznej i gazowania) powoduje przyrost objętości.

Gęstość zastępcza zawiesin przy wytwarzaniu betonu komórkowego jest znana i wynosi ok.  $1,7 \text{ kg/dm}^3$ . Natomiast ich lepkość w kolejnych fazach przemysłowego wytwarzania (przy dodawaniu porcji kolejnych składników) nie była dotychczas badana – ustalano ją w ramach niniejszej pracy w czynnej wytwórni betonu komórkowego. W badaniach używano cyfrowego, rotacyjnego lepkościomierza firmy Brookfield typu DV-II+PRO z zasadą pracy opartą na pomiarze siły niezbędnej do pokonania oporów ruchu wrzeczona zanurzonego w medium. Lepkościomierz współpracuje z komputerem i zapewnia ciągły odczyt oraz rejestrację i przedstawienie w postaci graficznej następujących parametrów:

- lepkość [cP],
- temperatura [°C lub °F],

- prędkość obrotowa [obr/min],
- prędkość ścinania [1/s] lub naprężenie styczne [dyna/cm<sup>2</sup> lub N/m<sup>2</sup>],
- % maksymalnego momentu skręcającego [%].

Lepkościomierz firmy Brookfield typu DV – II + PRO przedstawiono na rycinie 4, a przykładowe, zarejestrowane przez niego przebiegi na rycinach 5 i 6.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Lepkościomierz cyfrowy firmy Brookfield typu DV – II + PRO przygotowany do badania i rejestracji lepkości próbki

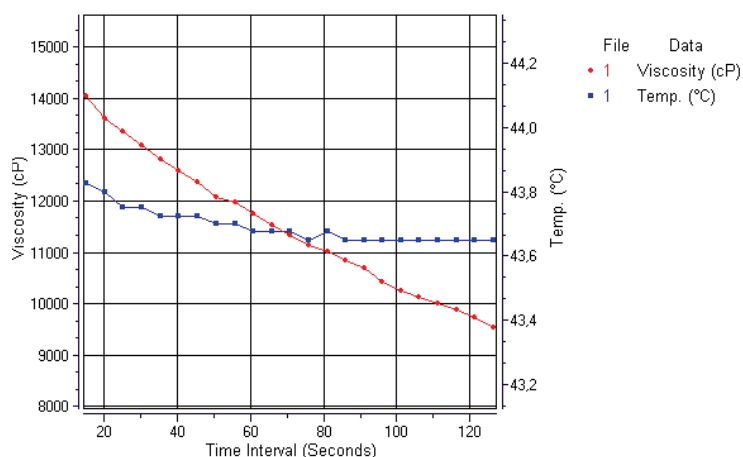
Materiałem poddanym badaniu lepkości\* były zawiesiny (masy zarobowe betonu) o składzie odpowiednim do uzyskania betonu komórkowego klasy gęstości 600. Zawiesiny zawierały:

- szlam piaskowy (piasek mielony w środowisku wody),
- środki powierzchniowo czynne,
- wodę korekcyjną (w przypadku potrzeby),
- spoiwo (wapno palone mielone + cement), niektóre porcje masy zarobowej wykonywane były (w ramach prac badawczych wytwórni) ze znaczną ilością gipsu,
- środki porotwórcze (proszek Al),

\* Ustalano tzw. lepkość pozorną, tj. właściwość zawiesiny mierzona lepkościomierzem obrotowym i określaną przez stosunek naprężenia stycznego do szybkości ścinania. Jednostką jest mPa·s lub cP.

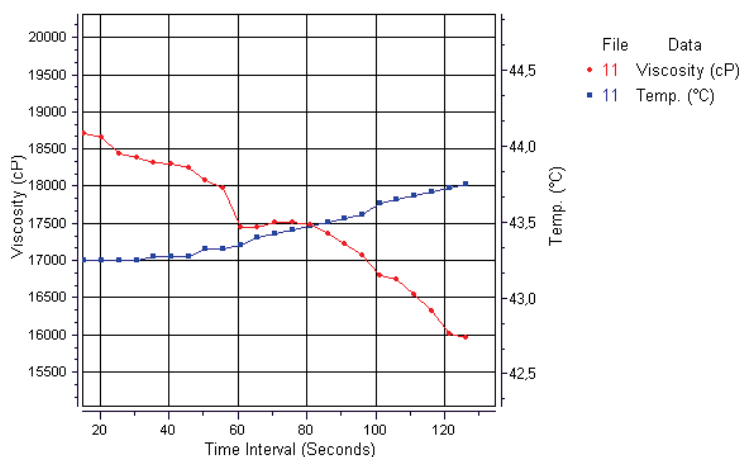
Procedura badawcza obejmowała:

- przygotowanie stanowiska (połączenie lepkościomierza z komputerem, wpisanie do programu przebiegu badania i rejestracji, zerowanie urządzenia),
- pobór próbki zawiesiny do naczynia o pojemności 600 ml i przeniesienie jej pod wrzeczono lepkościomierza,
- zanurzenie wrzeczona w badanej próbce na wymaganą głębokość i włączenie lepkościomierza.



Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 5. Lepkość pozorna i temperatura masy betonowej bezpośrednio po dodaniu porcji spoiwa (cement + wapno)



Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 6. Lepkość pozorna i temperatura zawiesiny po dwóch minutach od zakończenia dodawania porcji spoiwa (cement + wapno)

Obserwowany spadek lepkości masy betonowej w miarę upływu czasu wynika ze stopniowego niszczenia jej struktury w sąsiedztwie wrzeczona. W związku z tym za lepkość zawiesiny w poszczególnych fazach mieszania przyjęto rejestrowane wartości początkowe. W badaniach ustalono, że lepkość pozorna masy betonowej zmienia się w granicach od ok. 15 Pa·s do ok. 25 Pa·s w miarę dodawania do mieszalnika kolejnych składników i upływu czasu mieszania. Temperatura badanych próbek najczęściej nieznacznie wzrasta. Rozlewność masy betonowej ze spoiwem zawierającym cement i wapno, sprawdzana metodą Gardnera według [5], wynosiła 9,0–10,5 cm (próbki pobierano po wlewniu masy do formy); temperatura masy po wlewniu do formy – ok. 45°C.

### 3. Założenia projektowe budowy prototypu mieszalnika

Na podstawie studiów literaturowych [2–3], uzyskanych informacji technicznych, doświadczeń i obserwacji własnych, uwzględniając potrzebę prowadzenia badań w szerokim zakresie zmian parametrów mieszania, oraz biorąc pod uwagę uwarunkowania technologiczne i lokalizacyjne w wytwórni, w której prowadzono badania mieszalnika – przyjęto następujące założenia dla budowy prototypu mieszalnika o nowoczesnej konstrukcji:

1) produktem mieszania będzie jednorodna zawiesina – masa zarobowa autoklawizowanego betonu komórkowego klasy gęstości 600 (gęstość betonu komórkowego najczęściej produkowanego w kraju) – w ilości przewidzianej do napełnienia jednej formy odlewniczej (ok. 6,9 m<sup>3</sup>). Składniki zawiesiny:

- szlam piaskowy  $\gamma = 1,61 \text{ kg/dm}^3$ ,
- woda korekcyjna,
- środek powierzchniowo czynny,
- cement,
- wapno palone mielone,
- zawiesina aluminium

w ilościach określonych recepturą;

2) mieszalnik zapewni transport produktu mieszania w rejon formy odlewniczej i napełnienie nim formy;

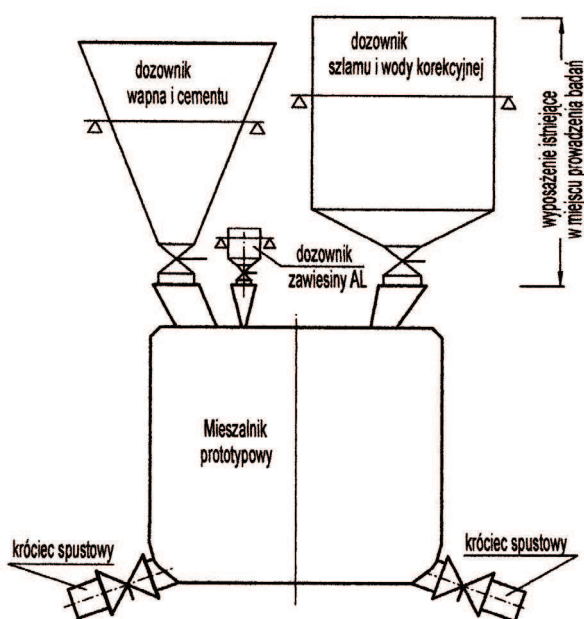
3) zbiornik mieszalnika ma postać walca usytuowanego pionowo z pochylonym na zewnątrz dnem i dwoma wylotami zapewniającymi dobre jego opróżnianie;

4) czas mieszania przyjęto wstępnie na 5 min;

5) przewidziano mocowanie do ściany walcowej mieszalnika łopat stałych i łamaczy fal, a do dna wymienne dyfuzory z regulacją ich położenia w stosunku do tegoż dna;



- 6) w trakcie realizacji projektu badaniom i ocenie poddane zostaną różne zespoły mieszające;
- 7) konstrukcja mieszalnika zapewni możliwość sprawnego montażu poszczególnych badanych zespołów mieszających, a także poboru próbek zawiesiny z różnych poziomów mieszalnika;
- 8) zastosowanie układów sterujących napędami pozwoli na regulację prędkości obrotowej zespołów mieszających i prędkości przejazdu mieszalnika.



Ź r ó d ł o: Jak w ryc. 4.

Ryc. 7. Schemat stanowiska do badań prototypowego mieszalnika

W oparciu o powyższe założenia opracowano dokumentację techniczną i wykonano prototyp mieszalnika oraz stanowisko do jego badań (ryc. 7).

#### 4. Badanie prototypu mieszalnika

Dla realizacji badań prototypu (ryc. 8) przyjęto program obejmujący następujące analizy, pomiary i obserwacje:

- Badanie efektywności mieszania zawiesiny wysokorozdrobnionych materiałów mineralnych w wodzie (o składzie stosowanym w wytwórni ABK, w której prowadzono badania) przy stosowaniu zespołów mieszających wyposażonych

w różne mieszadła i przy różnych prędkościach obrotowych tych mieszadeł – przeprowadzono je z zastosowaniem następujących mieszadeł:

- łopatego,
  - wirnikowego,
  - wirnikowego z zestawem łopat mocowanych do płaszcza mieszalnika,
  - śmigłowego o skoku zwoju równym średnicy mieszadła  $S = D$  i skoku  $S = 2D$ .
- Dla wybranego, najbardziej skutecznego zespołu mieszającego i dobranej prędkości obrotowej:
    - zbadano możliwości skrócenia czasu mieszania zawiesiny do 5 min,
    - zbadano możliwości zmniejszenia ilości dozowanego do zawiesiny wapna,
    - przeprowadzono pomiary czasu spustu zawiesin do form i oceniono możliwość jego skrócenia,
    - przeprowadzono pomiary poboru mocy w trakcie mieszania zawiesiny,
    - przeprowadzono pomiary hałasu podczas pracy mieszalnika.
  - Oceniono:
    - konstrukcję mieszalnika wraz z podwoziem,



- zużycie elementów mieszających na podstawie wstępnych obserwacji części i zespołów narażonych na silne ścieranie (płaszcz, zespół mieszający, łopaty),
- łatwość okresowego czyszczenia, konserwacji i napraw mieszalnika.

Ź r ó d ł o: Jak w ryc. 4.

Ryc. 8. Prototypowy mieszalnik w trakcie rozruchu mechanicznego w wytwórni betonu komórkowego

• Ocena skuteczności mieszania zawiesiny dla wszystkich badanych mieszadeł prowadzono na podstawie:

- pomiarów gęstości zawiesiny pobieranej w końcowej fazie mieszania z dwóch kurków probierczych, zamontowanych w płaszczu mieszalnika – pierwszy na wysokości 90 mm poniżej dolnej krawędzi części walcowej mieszalnika, a drugi na wysokości 450 mm powyżej tej krawędzi – w jednorodnej zawieszynie jej gęstość w każdym miejscu powinna być jednakowa, w praktyce taki stan nie jest osiągalny,
- wizualnej oceny występowania skupisk wapna w bloku betonu (widoczne po odcięciu warstw nadmiarowych),
- analizy ilościowej skupisk wapna z wykorzystaniem wykonanej dokumentacji fotograficznej i programu komputerowego Motic Images Advanced 3.2, analizowano również wyniki wytrzymałości na ściskanie gotowych wyrobów, wykonanych na linii z prototypowym mieszalnikiem. Według załącznika krajowego do normy PN-EN 771-4 – Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 4: Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego – minimalna wartość wytrzymałości na ściskanie dla elementów murowych klasy gęstości 600 określona jest na 3,0 MPa.

Dla poszczególnych mieszadeł prowadzono badania przy trzech różnych prędkościach obrotowych (tab. 1) i przy jednoczesnym stosowaniu różnych konfiguracji mocowanych do płaszczu łopat intensyfikujących mieszanie. Wnętrze mieszalnika z zamontowanymi mieszadłami pokazano na rycinie 9.

a)



b)



Źródło: Jak w ryc. 4.

Ryc. 9. Wnętrze mieszalnika: a) – z mieszadłem wirnikowym,  
b) – z mieszadłem śmigłowym

T a b e l a 1

*Parametry i skuteczność mieszania zawiesiny przy stosowaniu różnych mieszadeł*

Rodzaj zastosowanego mieszadła	Obroty mieszadła	Prędkość obwodowa	Pobierana moc	Gęstość zawiesiny	Wytrzymałość na ściskanie	Występowanie skupisk wapna
	[obr/min]	[m/s]	[kW]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[MPa]	[kg/dm <sup>3</sup> ]
Łopatowe	53,0	5,3	35,6	1,70; 1,70	4,2	0,38
	58,3	5,8	39,7	1,70; 1,70	4,1	0,39
	63,6	6,3	48,9	1,70; 1,70	4,5	0,41
Wirnikowe bez dodatkowych łopat mocowanych do płaszcza	380	14,91	32,5	1,71; 1,71	3,9	0,12
	418	16,41	35,0	1,68; 1,69	4,0	0,08
	456	17,90	39,8	1,68; 1,67	3,9	0,00
Wirnikowe 1 para o długości 900 mm i 1 para o długości 510 mm	380	14,91	51,2	1,71; 1,71	4,4	0,00
	380	14,91	51,2	1,62; 1,62	4,4	0,00
Wirnikowe z 1 parą łopat 510 mm (w pobliżu dna)	380	14,91	36,2	1,68; 1,67	3,7	0,00
	418	16,41	42,2	1,68; 1,67	3,5	0,00
Wirnikowe z zestawem dwóch par łopat o długości 255 mm	380	14,91	42,4	1,71; 1,69	4,8	0,00
	456	17,90	54,2	1,72; 1,68	4,7	0,00
Śmigłowe o skoku $S = 1D$ z 1 parą łopat 255 mm mocowaną w pobliżu dna	380	12,93	30,5	1,69; 1,70	3,3	0,00
	418	14,22	31,8	1,67; 1,68	4,1	0,00
	456	15,52	34,3	1,69; 1,71	4,2	0,00

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Badania wykazały, że przy stosowaniu zespołów mieszających wyposażonych w mieszadło śmigłowe lub mieszadła wirnikowe i dodatkowo zamocowaną do płaszcza jedną parą łopat skupiska wapna nie występują (tab. 1). Przy stosowaniu mieszadła wirnikowego wyraźnie lepsze wyniki wytrzymałościowe uzyskano przy zamocowaniu do płaszcza zbiornika dwóch par łopat.

W trakcie dalszych badań ustalono skuteczność pracy mieszalnika przy skróconym czasie mieszania i przy stosowaniu różnych prędkości obrotowych mieszadła śmigłowego i z zamontowaną jedną parą łopat o długości 255 mm (tab. 2).

T a b e l a 2

Wyniki badań możliwości skrócenia czasu mieszania przy stosowaniu mieszadła śmigłowego

Stosowany cykl mieszania	Obroty mieszadła [obr/min]	Rzeczywisty czas mieszania [min, s]	Pobierana moc [kW]	Gęstość zawiesiny [kg/dm <sup>3</sup> ]	Wytrzymałość ABK na ściskanie [MPa]	Występowanie w ABK skupisk wapna [%]
Cykl normalny, porównawczy	380	5,43	35,5	1,70; 1,70	4,3	0,00
Cykl skrócony o 30 s poprzez skrócenie czasu mieszania szlamu	380	5,20	35,5	1,68; 1,69	4,7	0,00
	380	5,15	36,8	1,69; 1,69	4,9	0,00
Cykl skrócony o 60 s poprzez skrócenie czasu mieszania szlamu o 30 s i mieszania spoiwa o 30 s	380	4,30	36,8	1,69; 1,69	4,8	0,00
	380	4,30	36,8	1,68; 1,68	4,1	0,00
	418	4,30	38,7	1,69; 1,69	4,0	0,00

Ź r ó d ł o: Jak w tab. 1.

Wyniki uzyskanych pomiarów i badań pozwalają na stwierdzenie, że skrócenie czasów cyklu mieszania nie miało negatywnego skutku zarówno na skuteczność wymieszania składników (występowania skupisk wapna), jak i na właściwości wytrzymałościowe wyrobu (betonu komórkowego). Skrócenie czasu mieszania do ok. 5 min przy stosowaniu mieszadła śmigłowego jest możliwe.

Badania możliwości zmniejszenia ilości wapna w zawieszynie prowadzono przy stosowaniu wybranego mieszadła śmigłowego wraz z jedną parą łopat stałych o długości 255 mm, mocowanych we wnętrzu zbiornika mieszalnika i przy dwóch skrajnych prędkościach mieszadła. Wykonano badania przy stosowanej w wytwórni dozie wapna 240 kg (zaroby porównawcze) oraz po zmniejszeniu dozy o 20 kg i o 30 kg (tab. 3).

Uzyskane wyniki badań wykazały, że ograniczenie ilości dozowanego wapna nie spowodowało istotnego obniżenia wytrzymałości wyrobów na ściskanie. Próby z większym ograniczeniem ilości wapna powinny być prowadzone indywidualnie dla poszczególnych wytwórni.

T a b e l a 3

*Badanie możliwości zmniejszenia ilości wapna w zawieszynie*

Zastosowane korekty w recepturze zarobu	Obroty mieszadła [obr/min]	Prędkość obwodowa [m/s]	Wytrzymałość ABK na ściskanie [MPa]
Zaroby porównawcze, ilość wapna 240 kg	456	15,52	3,4
	380	12,93	4,2
Zarób ze zmniejszoną o 20 kg ilością wapna	456	15,52	3,4
	456	15,52	3,7
Zarób ze zmniejszoną o 30 kg ilością wapna	380	12,93	3,8
	380	12,93	3,6

Ź r ó d ł o: Jak w tab. 1.

Jednym z kryteriów oceny prototypowego mieszalnika z zainstalowanym mieszadłem śmigłowym były pomiary hałasu. Przeprowadzono je przy stosowaniu prędkości obrotowej 418 obr/min i wykonano w odległości 1,5 m od płaszcza mieszalnika w trakcie normalnej pracy w hali formowania. Dla różnych stanów pracy (napelnianie, mieszanie, opróżnianie) uzyskano wyniki od 64 do 74 dB. Są one zbliżone do poziomu hałasu, jaki występuje przy pracy obecnie stosowanych w przemyśle mieszalnikach, mimo zastosowania w mieszalniku prototypowym wyższych prędkości obrotowych. Maksymalny poziom hałasu wystąpił w trakcie opróżniania mieszalnika zarówno prototypowego, jak i aktualnie stosowanego w wytwórni.

## 5. Ocena konstrukcji mieszalnika i jego zespołów

Podczas ponadpółrocznych obserwacji pracy prototypu mieszalnika ustalono, że:

- konstrukcja mieszalnika, jego wymiary i proporcje, a także jego zespoły napędowe zostały dobrane prawidłowo;
- przejazd mieszalnika z miejsca jego napelniania i mieszania zawiesiny do miejsca, gdzie następuje spust zawiesiny do formy był płynny i nie wykazywał drgań większych niż typowe dla urządzenia przejezdnego – przy stosowaniu prędkości przejazdu zdeteminowanej wymaganiami technologii i organizacji produkcji przyjętymi w wytwórni, zastosowany silnik napędu jazdy o mocy 3 kW został dobrany prawidłowo, hamulec zapewnia pewne i stabilne zatrzymywanie mieszalnika;
- wstępna, prowadzona po kilkumiesięcznym użytkowaniu, ocena zużycia wnętrza zbiornika mieszalnika oraz części wirujących (mieszadło, wał napędowy) nie wykazała istotnych ubytków materiału, w tym zakresie niezbędne jest jednak prowadzenie dalszych obserwacji;

– warunki okresowego czyszczenia wnętrza mieszalnika i czynności konserwacyjnych są dobre i zdecydowano o pozostawieniu dwóch włączników rewizyjnych usytuowanych w części walcowej płaszcza mieszalnika naprzeciw siebie, na różnych wysokościach.

## 6. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych rezultatów ocenia się, że przewidziany cel realizowanej pracy został osiągnięty, a mianowicie:

- 1) uzyskano oczekiwaną poprawę skuteczności mieszania zawiesziny przy zastosowaniu mieszadła śmigłowego o skoku  $S = 1D$  i zamontowanej jednej parze łopat (o długości 255 mm, mocowanych do płaszcza w jego dolnej części), nie występują skupiska wapna obserwowane wcześniej w wyrobach – podkreślić należy, że przy tym rozwiązaniu występuje najmniejsze zużycie energii;
- 2) potwierdzona została możliwość skrócenia czasu mieszania, bez wpływu na jakość wyrobów, o ok. 1 min – co daje możliwość oferowania mieszalnika o czasie mieszania na poziomie 5 min (przy cyklu mieszania 8–9 min, łącznie z czasem napełniania i wylewania masy do formy, a w przypadku mieszalnika stacjonarnego poniżej 7 min);
- 3) zostało potwierdzone, że w produkcji betonu komórkowego zmniejszenie w recepturze ilości wapna do 12% jest bezpieczne i nie wpływa na pogorszenie jakości wyrobów;
- 4) pomiary czasu opróżniania mieszalnika pozwoliły ustalić, że stosowana w trakcie tej fazy produkcji prędkość mieszadła 418 obr/min jest korzystna;
- 5) poziom emitowanego hałasu podczas pracy prototypowego mieszalnika jest znacznie niższy od wartości granicznych określonych w przepisach bezpieczeństwa i higieny pracy i nie odbiega od poziomu występującego przy użytkowaniu dotychczas stosowanych w wytwórniach betonu komórkowego mieszalników.

Rezultaty badań i obserwacji zostały wykorzystane przy opracowaniu dokumentacji poprototypowej mieszalnika w wersji przejezdnej, przemieszczającego się do stacjonarnych form. Rezultaty te zostały również wykorzystane do opracowania wytycznych dla mieszalnika stacjonarnego.

Opracowany mieszalnik może być wykorzystany w modernizacji wytwórni betonu komórkowego jak również w polskiej ofercie eksportowej\*.

---

\* Badania realizowano dzięki uzyskanemu dofinansowaniu z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju na realizację projektu rozwojowego Nr N R104 0010 06. Projekt realizowany przez ICiMB – Centrum Badań Betonów CEBET, ZM SOLBET – ZREMB S.A. Solec Kujawski, SOLBET Lubartów S.A.



## Literatura

- [1] N002 Badania skuteczności mieszania składników masy zarobowej w wytwórniach betonu komórkowego, sprawozdania z realizacji prac w latach 2004–2006, COBRPB CEBET, maszynopis.
- [2] K a m i e ń s k i P., *Mieszanie układów wielofazowych*, WNT, Warszawa 2004.
- [3] S t r ę k F., *Mieszanie i mieszalniki*, WNT, Warszawa 1971.
- [4] Projekt rozwojowy nr N R04 0010 06/2009 – Przemysłowy mieszalnik do wytwarzania zawiesin w wodzie wysokorozdrobnionych materiałów mineralnych (w tym wapna i cementu), sprawozdanie ICiMB Centrum Badań Betonów CEBET, 2011 r.
- [5] Instrukcja obsługi rozlewnościomierza Gardnera, opracowanie COBRPB CEBET, 1991 r.

TADEUSZ LATUSZEK  
MIROSLAW WŁODARCZYK

### TESTS OF INDUSTRIAL MIXER FOR BLENDING WATER SUSPENSIONS OF FINE-GROUND MINERAL MATERIALS

**Keywords:** mixer for suspensions.

The article presents the results of tests carried out on a mixer designed for quick blending of several fine-ground mineral ingredients in water. This type of mixers are intended to be used in industry-scale production of autoclaved aerated concrete. Cement and lime, one of many ingredients mixed together during the tests, were found to significantly alter the properties of the mixture throughout the mixing process. A variety of different mixer design solutions were tested for performance.