
PRACE

**Instytutu Szkła, Ceramiki
Materiałów Ogniotrwałych
i Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Glass, Ceramics
Refractory and Construction Materials

Nr 4

ISSN 1899-3230

Rok II

Warszawa–Opole 2009

JACEK URBAN*

Sztuczne marmury z gipsu

Rosnące zainteresowanie rynku budowlanego wyrobami marmuropodobnymi było impulsem do podjęcia w Zakładzie Gipsu i Chemii Budowlanej Instytutu Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych prac badawczych nad opracowaniem technologii wytwarzania elementów dekoracyjnych z gipsu, imitujących marmury naturalne. W artykule przedstawiono wyniki badań otrzymanego tworzywa gipsowego, w którym szczególnie nacisk położono na wytrzymałość i odporność na działania wpływów atmosferycznych.

1. Wprowadzenie

Sztuczne marmury należą do najatrakcyjniejszych elementów dekoracyjnych wewnątrz w budownictwie [1]. Są one imitacją marmurów naturalnych rzadko występujących w przyrodzie. Marmury naturalne to jeden z najszlachetniejszych budowlanych kamieni zdobniczych. Znajdują szerokie zastosowanie jako ekskluzywny materiał wykończeniowy głównie na posadzki wewnętrzne, okładziny ścienne, blaty, lady, stopnie schodowe. Pomimo swojego piękna dającego po obróbce znakomity efekt dekoracyjny, wadą marmuru naturalnego jest jego nasiąkliwość, mogąca prowadzić do powstawania trwałych plam i przebarwień. Z tego też względu marmur jest głównie stosowany wewnątrz pomieszczeń, w miejscach zadaszonych, o średnim natężeniu ruchu oraz mniej narażonych na wilgoć i działania atmosferyczne. Ponadto, powszechne stosowanie marmurów naturalnych jest ograniczone z powodu wysokiej ceny wynikającej z kosztu materiału oraz jego montażu i obróbki.

W wyniku prac badawczych, w których wykorzystuje się głównie odpady z produkcji pełnowartościowego marmuru oraz inne kolorowe surowce odpadowe, opracowano technologię wytwarzania nowej grupy wyrobów o nazwie sztuczne marmury. Są to w większości konglomeraty, nazwane również aglomeratami lub aglomarmurami o wyglądzie zbliżonym do marmurów naturalnych [2].

Wytwarzanie konglomeratów polega na wymieszaniu odpowiedniej wielkości okruchów skalnych ze spoiwem, wypełniaczami i barwnikami. Masie nadaje się kształt w specjalnych formach i po związaniu tworzywa otrzymuje się blok skal-

* Inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie, Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych w Krakowie.

ny przypominający skałę naturalną. Ich dalsza obróbka przebiega identycznie jak w odniesieniu do skał naturalnych; to jest przez cięcie na specjalnych urządzeniach (trakach) oraz szlifowanie i polerowanie. Ze względu na krótki okres stosowania tej technologii w praktyce, brak jest jeszcze pełnej wiedzy na temat żywotności eksploatacyjnej tych sztucznych tworzyw w dłuższym przedziale czasowym [4, 5]. Wiadomo jednak, że ulegać mogą one szybszemu niszczeniu, niż autentyczne marmury naturalne. Jako spoiwo do tych wyrobów mogą być stosowane zarówno żywice polimerowe, jak również spoiwa hydrauliczne i powietrzne, takie jak cement, wapno i gips. Należy podkreślić, że powierzchnie ścian wykończonych marmurem nadają wnętrzom elegancję, niepowtarzalny urok i charakter [6, 7]. Jednak kamień dekoracyjny, jak i jego substytut w postaci konglomeratu, jest materiałem drogim i bardzo trudnym w obróbce podstawowej oraz w samym montażu na budowie.

W budownictwie zastępczo stosowane są wyroby w postaci tynków szlachetnych mokrych, które imitują marmur naturalny, nakładane są one na dekorowane powierzchnie w postaci plastycznej, urabialnej masy. Po stwardnieniu masy i jej obróbce uzyskiwane są powierzchnie podobne do kamienia marmurowego [3]. Wyroby te, które po nałożeniu masy na dekorowane powierzchnie przypominają naturalny marmur, nazywane są stiukami, a ornamenty figuralne i elementy architektoniczne, które z nich są uzyskiwane, sztukaterią. Materiały te, nazywane również sztucznymi marmurami, w różnych formach i odmianach znane są od czasów rzymskich, a ich pozostałości można podziwiać w licznych budowlach zachowanych do dzisiaj. Stiuki otrzymywano z mieszaniny zaprawy wapiennej, gipsowej lub gipsowo-wapiennej z dodatkami uplastyczniającymi, barwnikami i pyłem marmurowym. Po wyschnięciu poddawano je procesowi szlifowania i polerowania. Obecnie wykonywane stiuki, poza walorami estetycznymi, mają niewiele wspólnego ze swoimi starożytnymi poprzednikami, głównie za sprawą różnego rodzaju dodatków modyfikujących, wypełniaczy i spoiw.

Biorąc pod uwagę rosnące zainteresowanie rynku budowlanego wyrobami marmuropodobnymi, podjęto liczne próby opracowania technologii wytwarzania elementów dekoracyjnych imitujących marmury naturalne różnymi metodami, między innymi w oparciu o spoiwo gipsowe, wypełniacze mineralne oraz dodatki modyfikujące.

2. Gipsowe sztuczne marmury

2.1. Właściwości gipsowych sztucznych marmurów

Elementy ścienne wykonane ze sztucznego marmuru gipsowego poza samą atrakcyjnością dekoracyjną płyt posiadają wiele zalet, głównie przy prowadzeniu montażu, takich jak łatwość ręcznej obróbki elementów, prostota ich przerabiania i dopasowywania do każdej ściany, a istotne jest również to, że sam mon-

taż nie koliduje z instalacjami prowadzonymi w budynku czy na ścianie. Gipsowe elementy sztucznego marmuru praktycznie bez użycia specjalistycznych narzędzi (jak to ma miejsce przy marmurach naturalnych) można łatwo dopasowywać i montować na gipsie, co powoduje, że stosowanie kleju gipsowego niezbędnego do układania na plackach lub ich fugowania i klejenia płyt kwalifikuje taką technologię montażu do tzw. suchego budownictwa, podczas montażu i przy przeróbkach nie jest wymagane wprowadzanie przerw w technologii budowy obiektu. Wpływa to korzystnie na szybkie tempo aranżowania wnętrza, a w konsekwencji doprowadza do skracania cyklu budowy i obniżania kosztów. Właściwości te sprawiają, że system gipsowych sztucznych marmurów daje duże możliwości ich zastosowań w budownictwie mieszkaniowym i budynkach użyteczności publicznej, takich jak: szpitale, szkoły, teatry, kina, urzędy i biura, gdzie bogate wzornictwo i kolorystyka uatrakcyjniamy charakter ich wnętrza.

Niewątpliwą zaletą tego systemu są również właściwości samego gipsu, który posiadając ten sam odczyn pH co skóra człowieka, wpływa na dobre samopoczucie podczas przebywania w pomieszczeniach, gdzie zastosowane będą gipsowe elementy ścienne [8]. Nie bez znaczenia dla klimatyzacji pomieszczeń są też właściwości tworzywa gipsowego w zakresie wymienności wilgoci, co powoduje, że w warunkach mokrych następuje absorbowanie wilgoci, a oddawanie następuje w warunkach suchych. Ponadto, dotychczasowe doświadczenia z gipsem dotyczące odporności ogniowej dowodzą również, że płyty ze sztucznego marmuru, ze względu na swoją niepalność, stanowią ograniczoną barierę ogniową w razie zaistniałego pożaru. Ognioochronne działanie gipsu polega na tym, że gips dwuwodny (w tym przypadku tworzywo gipsowe płyty) zawiera ok. 20% wody krystalizacyjnej, tzn. w 1 m² płyty o grubości 10 mm znajduje się ok. 2 l wody. Podczas pożaru wzrost temperatury wywołuje termiczne przemiany gipsu na skutek odwodnienia gipsu w tworzywie, a wówczas uwalniana z tworzywa woda pod wpływem temperatury odparowuje. Proces ten działa w sposób tonizujący na otoczenie zagrożone ogniem przez absorbowanie ciepła, gdyż na przemianę fazową gipsu dwuwodnego potrzeba ok. 5 razy więcej ciepła niż na ogrzewanie wody do temperatury w zakresie od 20 do 100°C.

Mając na uwadze niezaprzeczalne zalety tworzywa gipsowego oraz kierując się potrzebami rynku budowlanego na wyroby marmuropodobne, podjęte zostały w Oddziale Mineralnych Materiałów Budowlanych w Krakowie prace nad opracowaniem nowego wyrobu imitującego marmury naturalne. Gipsowe sztuczne marmury to nowa propozycja gotowych suchych tynków dekoracyjnych, montowanych na podłożach ściennych na sucho, a wytwarzanych w oparciu o spoiwo gipsowe, barwne wypełniacze i dodatki modyfikujące.

2.2. Wytypowanie spoiwa

Dla zrealizowania tej idei podjęto próby modyfikacji spoiwa gipsowego celem umożliwienia stosowania gotowego wyrobu w różnych warunkach klimatycznych i wilgotnościowych. Badania prowadzono głównie pod kątem zwiększenia odporności tworzywa gipsowego na działanie wilgoci oraz podniesienia wytrzymałości przy pracy w trudnych warunkach eksploatacyjnych. W tym celu zastosowano wytypowane poniżej spoiwa, wypełniacze mineralne i dodatki modyfikacyjne.

2.2.1. Materiały i dodatki modyfikujące

Jako spoiwo w badaniach stosowano gips budowlany syntetyczny, odmiana β , produkowany na bazie produktów odsiarczenia spalin z Elektrowni „Bełchatów”. Do oznaczania wpływu dodatków mineralnych, poprawiających właściwości wytrzymałościowe, stosowano:

- gips półwodny odmiana α – produkcji niemieckiej,
- cement portlandzki CM I / 52,5 R z Cementowni „Rejowiec”,
- popiół lotny z Elektrociepłowni „Łaziska”,
- anhydryt naturalny z kopalni gipsu i anhydrytu „Nowy Łąd” oddział w Niwnicach.

Jako dodatki modyfikujące i utwardzające stosowano do gipsu:

- żywice sylikonową BS 46 – z przeznaczeniem do hydrofobizacji tworzywa gipsowego – stosowany w ilości 0,5–1% do wody;
- roztwór RH – środek do hydrofobizacji i zwiększania wytrzymałości tworzywa gipsowego – dodatek ten poprawia urabialność, obniża współczynnik wodno-gipsowy, polepsza plastyczność masy, wpływa korzystnie na utwardzenie tworzywa gipsowego. Ilość wprowadzanego dodatku 1 : 4 w stosunku do ilości wody zarobowej stosowanej w zaczynie gipsowym;
- Agitan P 800 – środek odpieniający do suchych mieszanek gipsowych – dodawany w ilościach 0,1–1% w przeliczeniu na masę spoiwa gipsowego.

2.2.2. Metody badań i sposób przygotowania zaczynów

W badaniach objętych niniejszym programem zastosowano znormalizowane metody obejmujące:

- a) zaczyny gipsowe według PN-86/B-04360 „Spoiwa gipsowe. Metody badań. Oznaczanie cech fizycznych”;
- b) stwardniałe tworzywa gipsowe według PN-85/B-04500 „Zaprawy budowlane. Badanie cech fizycznych i wytrzymałościowych”.

Warunki przygotowania zaczynów

W pierwszej serii badań rozpoznawczych jako wyjściowy zastosowano zaczyn gipsowy z gipsu półwodnego β i wody zarobowej, przygotowany przy współczynniku wodno-gipsowym 0,63 i konsystencji odpowiadającej rozplywowi 180 mm na tarczy Southarda. W kolejnych próbach dodawano do wody roztwór RH w ilości 1 : 4 lub 0,5% żywicy sylikonowej, zaś do gipsu dodatki cementu, popiołu, anhydrytu oraz gipsu półwodnego α . Dodatki te wprowadzane do wody zmieniają każdorazowo współczynnik wodno-gipsowy i dlatego w badaniach stosowano zaczyny o konsystencji ciekłej zbliżonej do normowej ($R = 180$ mm), dostosowując współczynnik wody do gipsu (w/g) dla danej kompozycji.

W trakcie realizacji prac badawczo-doświadczalnych [9] wytypowane dodatki mineralne zadawano kolejno do spoiwa gipsowego, a następnie poddano pełnej homogenizacji. W następnym etapie uzyskane mieszaniny dodawane były do wody zarobowej czystej lub z udziałem dodatków hydrofobizujących.

Przy ocenie wpływu poszczególnych dodatków na zmiany właściwości zaczynów i stwardniałych tworzyw odnoszono się do próby porównawczej (próba I.1.) niezawierającej żadnych dodatków. Jako porównywalne kryteria oceny efektów zmodyfikowanych tworzyw przyjęto:

- wytrzymałość na zginanie i ściskanie po 2 h twardnienia, w stanie suchym, przy pełnym zwilgoceniu i po 25 cyklach zamrażania,
- obniżenie nasiąkliwości,
- podwyższenie współczynnika rozmiękania.

2.2.3. Skład i właściwości badanych tworzyw gipsowych

W tabeli 1 podano symbolikę oznaczeń poszczególnych zestawów, skład recepturowy z udziałem dodatków modyfikujących dodawanych do wody.

W tabelach 2 i 3 przedstawiono wyniki badań zaczynu i tworzyw dla poszczególnych zestawów recepturowych przy stałym normowym rozplywie zaczynu $R = 180$ mm.

Tabela 1

Nomenklatura i składy recepturowe próbek

| Zestaw | Symbol zestawu | Skład zestawu | Udziały dodatków do wody zarobowej | Uwagi |
|--------|-------------------------|---|------------------------------------|---|
| I | I.1 I.2 I.3 | gips półwodny mielony* | woda | |
| | | | RH 1 : 4 | |
| | | | BS-46 0,5% | |
| II | II.1 II.2 II.3 | gips mielony + 10% gips α | woda | |
| | | | RH 1 : 4 | |
| | | | BS-46 0,5% | |
| III | III.1 III.2 | gips mielony + 5% cement | woda | próby III.3 nie wykonano ze względu na dużą ilość piany |
| | | | RH 1 : 4 | |
| | | | BS-46 0,5% | |
| IV | IV.1 IV.2 IV.3 | gips mielony + 11% cement i popiół (1:1) | woda | próby IV.3 nie wykonano ze względu na dużą ilość piany |
| | | | RH 1 : 4 | |
| | | | BS-46 0,5% | |
| V | V.1 V.2 V.3 | gips mielony i anhydryt (1:1) + 5% cement | woda | |
| | | | RH 1 : 4 | |
| | | | BS-46 0,5% | |
| VI | VI.1 VI.2 VI.3 | gips mielony + 15% gips α | woda | |
| | | | RH 1 : 4 | |
| | | | BS-46 0,5% | |
| VII | VII.1 VII.2 VII.3 | gips mielony + 20% gips α | woda | |
| | | | RH 1 : 4 | |
| | | | BS-46 0,5% | |
| IX | IX.1 IX.2 IX.3 | gips mielony + 30% gips α | woda | |
| | | | RH 1 : 4 | |
| | | | BS-46 0,5% | |

* Gips mielony oznacza gips półwodny syntetyczny mielony.

Tabela 2

Wyniki badań zaczynów i tworzyw gipsowych dla poszczególnych zestawów recepturowych

| Zestaw | w/g | Czas wiązania [min] | | Gęstość objętościowa [g/cm ³] | Skurecz liniowy [mm] | Nasiąkliwość [%] | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|---------------------|---------|---|----------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|--|--|
| | | początek | koniec | | | czas badania [dni] | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 0,5 h | 1 h | 1 d | 2 d | 3 d | 4 d | 5 d | 6 d | 11 d | 30-36 d | normowa | | |
| I.1 | 0,63 | 8'50'' | 11'40'' | 1,19 | 0,01 | 23,4 | 24,1 | 25,2 | 26,0 | 26,4 | 26,7 | - | - | 28,5 | 33,2 | 26,7 | | |
| I.2 | 0,55 | 9'30'' | 14'00'' | 1,26 | 0,01 | 0,4 | 0,6 | 3,0 | 5,4 | 6,8 | 7,9 | - | - | 10,2 | 17,5 | 10,2 | | |
| I.3 | 0,63 | 8'30'' | 12'05'' | 1,17 | 0,01 | 1,3 | 3,0 | 17,8 | 19,4 | 19,8 | 20,0 | - | - | 22,7 | 24,2 | 20,0 | | |
| II.1 | 0,60 | 8'10'' | 10'50'' | 1,22 | 0,03 | 20,7 | 21,1 | 22,4 | 23,0 | 23,4 | 23,8 | - | - | 25,1 | 29,4 | 25,1 | | |
| II.2 | 0,53 | 9'15'' | 13'20'' | 1,27 | 0,03 | 2,0 | 3,4 | 18,1 | 20,7 | 21,3 | 21,7 | - | - | 23,2 | 26,1 | 23,2 | | |
| II.3 | 0,60 | 7'45'' | 9'50'' | 1,22 | 0,01 | 0,8 | 1,2 | 10,8 | 13,3 | 13,6 | 14 | - | - | 16,3 | 17,4 | 13,6 | | |
| III.1 | 0,64 | 4'10'' | 7'00'' | 1,18 | 0,02 | 21,2 | 20,7 | 22,4 | 22,9 | 23,1 | - | - | - | 24,4 | 27,8 | 23,1 | | |
| III.2 | 0,54 | 5'20'' | 8'15'' | 1,27 | 0,02 | 3,9 | 7,5 | 24,0 | 24,7 | 25,0 | - | - | - | 25,6 | 27,2 | 25,0 | | |
| IV.1 | 0,63 | 3'50'' | 6'05'' | 1,18 | 0,01 | 21,4 | 21,5 | 22,6 | 22,9 | 23,2 | - | - | - | 23,9 | 28,1 | 23,2 | | |
| IV.2 | 0,52 | 4'30'' | 7'20'' | 1,27 | 0,01 | 1,5 | 2,8 | 24,7 | 25,3 | - | 26,8 | - | - | - | 28,6 | 26,8 | | |
| V.1 | 0,45 | 6'30'' | 10'30'' | 1,38 | 0,01 | - | - | 19,9 | - | 21,1 | 21,5 | - | 22,1 | - | 26,4 | 22,1 | | |
| V.2 | 0,37 | 7'10'' | 10'50'' | 1,47 | 0,01 | - | - | 17,3 | - | 19,3 | 19,3 | - | 19,7 | - | 20,3 | 19,7 | | |
| VI.1 | 0,53 | 7'30'' | 10'40'' | 1,31 | 0,02 | 17,8 | 17,9 | 18,7 | - | 19,3 | 19,5 | - | - | - | 23,2 | 19,5 | | |
| VI.2 | 0,50 | 8'45'' | 15'30'' | 1,31 | 0,03 | 7,1 | 12,2 | 20,2 | - | 20,4 | - | - | - | - | 24,6 | 20,4 | | |
| VI.3 | 0,54 | 7'00'' | 10'10'' | 1,26 | 0,01 | 0,7 | 1,2 | 11,5 | - | 12,9 | 13,5 | - | - | - | 17,7 | 13,5 | | |
| VII.1 | 0,51 | 5'30'' | 7'10'' | 1,32 | 0,02 | 17,3 | 17,4 | 18,2 | - | 18,9 | 19,1 | - | - | - | 23,7 | 19,1 | | |
| VII.2 | 0,48 | 6'20'' | 8'15'' | 1,35 | 0,03 | 4,5 | 8,8 | 19,1 | - | 19,3 | - | - | - | - | 23,5 | 19,3 | | |
| VII.3 | 0,51 | 5'10'' | 6'50'' | 1,31 | 0,01 | 0,5 | 0,4 | 14,0 | - | 15,6 | 15,9 | - | - | - | 17,8 | 15,9 | | |
| IX.1 | 0,48 | 4'50'' | 7'40'' | 1,35 | 0,03 | 15,6 | 16,1 | 17,3 | 17,8 | 18,2 | 18,6 | 18,8 | - | - | 22,6 | 18,8 | | |
| IX.2 | 0,46 | 5'40'' | 8'20'' | 1,39 | 0,04 | 8,4 | 12,7 | 17,3 | 17,6 | 17,9 | 18,2 | - | - | - | 21,6 | 18,2 | | |
| IX.3 | 0,48 | 4'30'' | 7'10'' | 1,36 | 0,02 | 0,6 | 1,1 | 12,0 | 13,4 | 14,3 | 14,7 | 14,8 | - | - | 16,7 | 14,8 | | |

Tabela 3
Wyniki badań własności fizycznych i wytrzymałościowych tworzyw gipsowych dla poszczególnych zestawów recepturowych

| Zestaw | Badania normowe | | | Pełne zawilgoce- nie próbek | | Współczynnik rozmiękania | | Badania kontrolne 30 dni w wodzie i po wysuszeniu do stałej masy | | Zamrażanie 25 cykli | | Mrozoodporność | | | |
|--------|---|--|--|---|---|-----------------------------|-----------|---|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|------|
| | wytrzymałość na zginanie [MPa] po 2 h | wytrzymałość na ściskanie [MPa] po 2 h | wytrzymałość na wysuszenie do stałej masy | wytrzy- małość na zginanie [MPa] | wytrzy- małość na ścis- kanie [MPa] | zginanie | ściskanie | na zginanie [MPa] | na ścis- kanie [MPa] | wytrzymałość na zginanie [MPa] | na ścis- kanie [MPa] | ubytok masy [%] | spadek wy- trzymałości [%] | | |
| | | | | | | | | | | | | | zginanie | ściskanie | |
| I.1 | 3,8 | 6,4 | 8,3 | 19,2 | 2,5 | 7,1 | 0,39 | 0,37 | 6,6 | 13,2 | 6,2 | 12,4 | 0,92 | 6,4 | 6,4 |
| I.2 | 3,2 | 7,5 | 5,4 | 20,7 | 2,1 | 6,9 | 0,29 | 0,33 | 6,4 | 13,2 | 5,8 | 12,5 | 1,03 | 9,3 | 5,7 |
| I.3 | 3,6 | 6,2 | 6,6 | 15,4 | 2,5 | 6,0 | 0,40 | 0,39 | 5,7 | 13,4 | 5,0 | 13,1 | 1,03 | 11,3 | 2,6 |
| II.1 | 4,1 | 7,8 | 9,7 | 13,5 | 2,7 | 7,6 | 0,34 | 0,56 | 6,0 | 14,4 | 5,3 | 13,9 | 0,93 | 11,5 | 3,5 |
| II.2 | 3,7 | 8,6 | 8,0 | 20,0 | 2,9 | 7,7 | 0,34 | 0,39 | 7,5 | 19,8 | 7,0 | 18,6 | 0,61 | 5,5 | 6,1 |
| II.3 | 4,0 | 6,6 | 6,1 | 20,0 | 2,5 | 8,1 | 0,38 | 0,41 | 6,4 | 16,4 | 5,9 | 15,0 | 1,08 | 7,0 | 8,5 |
| III.1 | 3,9 | 4,7 | 8,3 | 17,7 | 2,5 | 8,3 | 0,54 | 0,47 | 4,9 | 15,3 | 4,4 | 14,0 | 0,64 | 10,5 | 8,5 |
| III.2 | 3,4 | 4,9 | 9,6 | 14,1 | 3,9 | 10,8 | 0,79 | 0,77 | 7,8 | 26,1 | 6,2 | 21,1 | -0,81* | 20,6 | 19,3 |
| IV.1 | 2,7 | 5,3 | 8,4 | 15,8 | 2,5 | 9,7 | 0,48 | 0,61 | 6,9 | 17,6 | 5,1 | 13,9 | 0,60 | 26,8 | 21,0 |
| IV.2 | 2,8 | 3,6 | 10,3 | 13,0 | 3,5 | 8,4 | 0,98 | 0,65 | 6,8 | 21,4 | 5,4 | 17,0 | 0,61 | 19,7 | 20,6 |
| V.1 | 2,0 | 4,2 | 5,7 | 15,4 | 2,1 | 8,7 | 0,50 | 0,57 | 6,5 | 18,0 | 5,0 | 15,9 | -0,43 | 23,5 | 11,9 |
| V.2 | 1,6 | 4,7 | 4,5 | 12,7 | 2,8 | 9,3 | 0,58 | 0,73 | 7,2 | 24,7 | 6,0 | 18,9 | -1,04 | 16,6 | 23,7 |
| VI.1 | 4,3 | 7,6 | 8,0 | 28,1 | 2,9 | 6,4 | 0,39 | 0,23 | 8,5 | 22,2 | 8,2 | 21,4 | 0,59 | 3,2 | 3,6 |
| VI.2 | 3,9 | 7,7 | 7,9 | 39,3 | 3,1 | 7,2 | 0,40 | 0,18 | 8,6 | 19,1 | 7,1 | 18,7 | 0,48 | 17,8 | 2,4 |
| VI.3 | 4,1 | 4,7 | 7,3 | 16,5 | 3,4 | 7,0 | 0,72 | 0,42 | 7,4 | 18,0 | 7,3 | 17,6 | 0,47 | 2,0 | 2,2 |
| VII.1 | 4,5 | 7,5 | 7,9 | 17,5 | 2,9 | 7,4 | 0,40 | 0,42 | 7,4 | 19,9 | 7,3 | 19,4 | 0,53 | 1,1 | 2,8 |
| VII.2 | 4,3 | 7,5 | 8,0 | 39,5 | 3,3 | 7,7 | 0,44 | 0,19 | 8,3 | 19,4 | 8,1 | 19,2 | 0,40 | 1,5 | 1,0 |
| VII.3 | 4,1 | 7,5 | 10,9 | 18,0 | 3,2 | 7,5 | 0,43 | 0,42 | 7,6 | 17,9 | 7,5 | 17,0 | 0,33 | 0,6 | 5,3 |
| IX.1 | 4,6 | 7,8 | 9,5 | 42,2 | 3,6 | 7,8 | 0,46 | 0,18 | 7,6 | 23,4 | 7,3 | 19,1 | 0,40 | 3,6 | 18,6 |
| IX.2 | 4,3 | 8,6 | 9,3 | 42,3 | 3,6 | 8,5 | 0,42 | 0,20 | 8,5 | 23,9 | 7,8 | 22,0 | 0,59 | 8,1 | 8,2 |
| IX.3 | 4,7 | 9,1 | 11,5 | 36,4 | 3,5 | 8,0 | 0,39 | 0,22 | 8,0 | 19,1 | 7,9 | 18,5 | 0,66 | 1,1 | 3,1 |

* Znak „minus” oznacza przyrost masy.

2.2.4. Omówienie wyników badań

Wpływ poszczególnych dodatków na własności zaczynów i stwardniałego tworzywa w stosunku do próby porównawczej (przy wodzie zarobowej bez dodatków) był następujący:

– **Gips półwodny α** w ilości 10, 15, 20 i 30% do masy spoiwa

Skrócenie czasu wiązania, obniżenie współczynnika wodno-gipsowego, wzrost wytrzymałości w stanie suchym, nieznaczne obniżenie nasiąkliwości, zwiększenie współczynnika rozmiękania.

– **Cement portlandzki** w ilości 5% do masy całego spoiwa

Znaczne skrócenie czasu wiązania, obniżenie wytrzymałości w stanie suchym oraz nieznaczny przyrost w stanie pełnego zawilgocenia i po zamrożeniu, niewielkie obniżenie nasiąkliwości o ok. 10% w porównaniu do próby porównawczej.

– **Spoivo pucolanowe** (cement + popiół 1:1 w ilości 11% do całej suchej masy)

Skrócenie czasu wiązania (o ok. 40%), obniżenie wytrzymałości w stanie suchym, korzystny współczynnik rozmiękania. Brak obniżenia nasiąkliwości.

– **Spoivo gipsowo-anhydrytowo-cementowe** (gips + anhydryt 1:1 przy 5% dodatku cementu)

Skrócenie czasu wiązania, obniżenie nasiąkliwości o ok. 20%, zmniejszenie wytrzymałości oraz współczynnika rozmiękania.

Przez dodatek środków hydrofobizujących uzyskano:

– **Roztwór RH** powodował obniżenie współczynnika wodno-gipsowego, co korzystnie wpływało na utrzymanie wytrzymałości i upłynnianie zaczynu gipsowego, obniżenie nasiąkliwości oraz poprawę współczynnika rozmiękania nawet do 0,8 w przypadku spoiwa z dodatkiem cementu. Czas wiązania wydłużył się średnio o ok. 10–15%. W przypadku wariantu III (gips z dodatkiem 5% cementu) tworzywo z dodatkiem roztworu RH wykazało znaczny przyrost wytrzymałości na zginanie o ok. 59% oraz o ok. 85% przyrost wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek badanych normowo. Badania wykonywano na próbkach zanurzonych w wodzie przez 30 dni i następnie wysuszonych do stałej masy. Przy oznaczeniach wytrzymałości tego samego tworzywa po badaniach mrozoodporności (25 cykli zamrażania i odmrażania) nastąpił wzrost wytrzymałości w stosunku do próbek badanych normowo i wynosił: dla wytrzymałości na zginanie $R_{zg} - 26,5\%$, dla wytrzymałości na ściskanie $R_{śc} - 49,6\%$. Uzyskano również korzystny współczynnik rozmiękania dla: $R_{zg} - 0,79$, $R_{śc} - 0,77$. Stwierdzono także spadek wytrzymałości w stanie pełnego zawilgocenia, który wynosił odpowiednio dla: $R_{zg} -$ o ok. 26%, $R_{śc} -$ o ok. 30%, gdzie dla innych badanych wariantów spadek ten wynosił dla: $R_{zg} - 50-60\%$, $R_{śc} - 60-80\%$.

– **Żywica silikonowa BS** spowodowała znaczne obniżenie nasiąkliwości w granicach 30–40% w odniesieniu do zaczynów z wodą zarobową bez dodatku.

W przypadku innych kompozycji, np. z dodatkiem cementu, popiołu, dodatek żywicy silikonowej powoduje bardzo duże napowietrzenie zaczynu utrudniające zalewanie form i znaczne zmniejszenie wytrzymałości, dyskwalifikujące tworzywo końcowe do celów sztukatorskich.

Prowadzone obserwacje makroskopowe powierzchni tworzywa poddanego długoterminowemu przechowywaniu w wodzie, jak również przy zamrażaniu próbek przez 25 cykli wykazały, że:

- w przypadku kompozycji gips α + gips β nie stwierdzono praktycznie żadnych zmian powierzchniowych;
- w przypadku tworzywa gipsowego z dodatkiem cementu i roztworu RH na powierzchni próbek nie stwierdzono zmian;
- tworzywa uzyskane z kompozycji gipsu β z dodatkiem puculanowym, jak również z dodatkiem anhydryt + cement wykazują tendencję do łuszczenia powierzchniowego.

2.2.5. Ocena przeprowadzonych badań

Celem pracy było opracowanie tworzywa zarówno dla płyt zwykłych, jak i uzyskania tworzywa dla płyt hydro o wysokich parametrach wytrzymałościowych w stanie suchym i po zawilgoceniu, także o niskim spadku wytrzymałości przy zamrażaniu z jednoczesnym obniżeniem nasiąkliwości.

Biorąc pod uwagę efekty przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że najkorzystniejsze wyniki uzyskano stosując w zaczynie gipsowym, przy udziale 5% dodatku cementu portlandzkiego w stosunku do masy, gipsu półwodnego β przy jednoczesnym wprowadzeniu dodatku roztworu RH w ilości 25% do wody zarobowej. W szczególności na uwagę zasługuje fakt uzyskania wysokiego współczynnika rozmiękania oraz znacznego przyrostu wytrzymałości w trudnych warunkach użytkowania (woda, mróz). Jednocześnie ograniczeniu uległa nasiąkliwość i ponadto wydłużony został czas wiązania tworzywa.

Równie korzystny wpływ na właściwości fizykochemiczne uzyskano stosując 15% dodatek gipsu półwodnego α do masy gipsu półwodnego β oraz żywicy silikonową BS-46 jako środek hydrofobizujący do wody zarobowej. Własności obu wymienionych kompozycji są jakościowo zbliżone do zakładanych. Natomiast dodatkami niespełniającymi w pełni założonego celu okazały się anhydryt i kompozycja puculanowa.

W podsumowaniu wykonanych badań wskazuje się na receptury III.2 lub VI.3 przedstawione w tablicy 1 jako najbardziej korzystne przy wytwarzaniu płyt hydro. Jednocześnie stwierdza się, że powyższe kompozycje spełniają cechy two-

rzywa gipsowego dla gipsowych marmurów sztucznych przewidzianego do ekspozycji zarówno wewnątrz budynków, w tym także na ścianach pomieszczeń narażonych na wilgoć, jak również na zewnątrz do stosowania na ścianach pod zadaszeniem.

3. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych prac opracowano dwa rodzaje spoiwa do wytwarzania sztucznych marmurów o zadowalających właściwościach technicznych i ekonomicznych, przy uwzględnieniu możliwości ich zastosowania wewnątrz i na zewnątrz budynku. Dobre tworzywo do wytworzenia sztucznych marmurów uzyskano w wyniku doboru materiałów i surowców oraz dodatków modyfikujących o odpowiednich właściwościach, zarówno do stosowania w warunkach suchych, jak i przy większej wilgotności powietrza.

Podstawowe składniki tworzywa są następujące:

- gips półwodny w odmianach α i β ,
- cement portlandzki,
- dodatki modyfikujące,
- dodatki hydrofobowe,
- barwniki.

Wykonane kompleksowe badania laboratoryjne wykazały dobrą jakość uzyskanego tworzywa gipsowego, a w przypadku odmiany hydro pozwalają na jego stosowanie na zewnątrz budynku, przy jednoczesnym zapewnieniu osłony zabezpieczającej elementy sztucznych marmurów przed bezpośrednim długotrwałym oddziaływaniem wody. Dobre wyniki technologiczne oraz niewielki koszt produkcji, łatwość obróbki i montażu na budowie, a więc prostota wytwarzania i atrakcyjna cena produktu powinny stanowić o konkurencyjności opracowanego tworzywa.

Literatura

- [1] S i n g e l J., *Tworzywa sztuczne w budownictwie*, Arkady, Warszawa 1958.
- [2] N e c h a j J., *Wyprawy szlachetne i kamień sztuczny*, Arkady, Warszawa 1959.
- [3] Z o ł o t n i c k i j L.S., *Sztukaterskie roboty*, Strojizdat, [Moskwa] 1947.
- [4] *Budownictwo miejskie*, PAN, Arkady, Warszawa 1964.
- [5] M a s ł o w s k i M., *Sztuczny kamień*, Warszawa 1932.
- [6] C z a r n e c k i M., *Sztuczny piaskowiec*, „Materiały Budowlane” 1952, nr 10.
- [7] *Surowce skalne regionu dolnośląskiego*, POLTEGOR, Wrocław 1980.
- [8] A k e r m a n K., *Gips i anhydryt*, PWN, Warszawa 1964.
- [9] *Opracowanie technologii produkcji sztucznych marmurów. Etap I i II. Prace własne ISCMOIB*, Kraków 2007.

JACEK URBAN

ARTIFICIAL MARBLES FROM GYPSUM

Increasing interest of building market in marble-like products was a cause for starting a research work in Gypsum and Building Chemie Division of ISCMOIB on technology of manufacturing from gypsum decorative elements imitating natural marbles. In the paper results of investigation of obtained gypsum material are presented with a special emphasis on their strength and weather-proofness.