

# Porównanie w praktyce cementów z dodatkami mineralnymi i cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R

*Stosowanie dodatków mineralnych w cementach staje się coraz bardziej powszechne. W dobie limitów CO<sub>2</sub>, mających coraz większy wpływ na kształtowanie oferty producentów cementu w całej niemal Europie, popularyzacja cementów z dodatkami mineralnymi staje się naturalną konsekwencją rozwoju rynku. Na naszych oczach dokonuje się powszechna ewolucja, kształtująca nowe zachowania konsumenckie, przyzwyczajenia oraz oczekiwania użytkowników końcowych.*

Rodzi się pytanie, jak przechodzenie z tzw. cementów czystych na cementy z dodatkami mineralnymi postrzegane jest przez użytkowników końcowych, głównie wybierających cementy workowane. Badanie opinii przedstawicieli firm wykonawczych wydaje się być najlepszą drogą do poznania ich oczekiwań i oceny parametrów użytkowych cementów. Na przestrzeni ostatnich lat mamy do czynienia w Polsce z ewolucją oferty produktowej cementów, biegnącej w kierunku zwiększania ilości cementów z dodatkami mineralnymi. Pozytywny wpływ oddziaływania dodatków mineralnych na cechy cementów wytworzonych z ich udziałem jest powszechnie znany i wielokrotnie poruszany w literaturze. Wzrost zawartości dodatków mineralnych we współcześnie produkowanych cementach jest podyktowany także troską o środowisko naturalne oraz dążeniem do redukcji emisji dwutlenku węgla do atmosfery, wydzielanego podczas produkcji cementu. Wynikiem powyższego, na przestrzeni ostatnich lat można wyraźnie zaobserwować znaczny wzrost oferowanych na polskim rynku cementów zawierających specjalnie wyselekcjonowane dodatki mineralne w stosunku do cementów zawierających jako składnik główny jedynie klinkier portlandzki – „cementów CEM I”.

Pomimo niekwestionowanych licznych zalet związanych ze stosowaniem cementów z dodatkami mineralnymi w środowisku wielu firm wykonawczych wciąż pokutuje obiegowa opinia, że cement portlandzki bez dodatków mineralnych jest produktem najlepiej nadającym się do wszystkich rodzajów prac budowlanych. Liczne artykuły oraz opracowania opisujące pozytywny wpływ dodatków mineralnych na cechy materiałów,

takie jak np. poprawa urabialności świeżych mieszanek betonowych oraz zapraw, poprawa dynamiki narastania wytrzymałości materiałów w późniejszych okresach dojrzewania czy ich większa odporność na agresywne oddziaływanie środowiska, nie są powszechnie znane lub nie przekonują ludzi związanych bezpośrednio z pracami wykonawczymi. W niniejszym artykule postanowiono przedstawić doświadczenia z placu budowy ukazujące pozytywne cechy robocze związane ze stosowaniem cementów z zawartością wysokiej jakości dodatków mineralnych.

Powszechnie stosowaną metodą badawczą, pozwalającą na ewaluację cech użytkowych produktów, jest tzw. metoda ślepych testów (z ang. Blind Test). Jest to metoda badań jakościowych, pozwalająca na porównanie produktów z danej kategorii wyłącznie pod względem cech i parametrów użytkowych. Na ocenę produktów nie mają wpływu zakłócające czynniki pośrednie, tj. marka produktu, cena, nastawienie, osobiste doświadczenie czy przekonania klienta końcowego. W użytej przez nas procedurze cementy były testowane przez firmy wykonawcze w ich własnym środowisku pracy. Miało to na celu zapewnienie pełnej swobody wykonawcom i odzwierciedlenie najbardziej naturalnych warunków pracy, ażeby wyeliminować element „sztucznych warunków”. Wykonawcy zaproszeni do badania zostali podzieleni ze względu na wykonywane aplikacje. Badania zostały przeprowadzone w trzech najczęściej występujących aplikacjach, z jakimi spotykają się użytkownicy końcowi cementu workowanego: zaprawy murarsko-tynkarskie, betony oraz posadzki.

Cementy zostały dostarczone na place budów w nieoznakowanych foliowych workach o tej samej wadze 25 kg. Przedstawiciele firm wykonawczych przygotowali zaprawy oraz mieszanki betonowe według własnych receptur, do uzyskania pożądaných przez siebie właściwości roboczych. W każdej z aplikacji testowano trzy rodzaje cementów: cementy z dodatkami: cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego oraz kamienia wapiennego, cement pucolanowy CEM IV/B-V 32,5 R z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego oraz CEM I 32,5 R pochodzący z oferty jednego z wiodących producentów cementu w kraju. Respondenci biorący udział w badaniach nie byli informowani ani o rodzaju ani o producencie testowanych produktów, poinformowano ich jedynie o klasie wytrzymałości zastosowanych cementów, 32,5 MPa. W toku przeprowadzanych testów zadaniem wykonawców było użycie wszystkich rodzajów przedstawionych cementów w tej samej aplikacji oraz ocena każdego z nich za pomocą dołączonego kwestionariusza oceny, zawierającego kilkanaście pytań. Kwestionariusz ten mierzył ocenę poszczególnych własności użytkowych cementów na pięciopunktowej skali Likerta, dla każdego z cementów z osobna. Po dwóch dniach od wykonania testu przedstawiciel ponownie zjawiał się na placu budowy celem dokończenia badania – oceny własności użyt-

*Organizacja ślepych testów na budowie domu jednorodzinnego*



kowych zrealizowanych aplikacji, na podstawie oznaczonych fragmentów muru, wieńca, belki bądź posadzki. W ten sposób uzyskano uśrednione wyniki ocen dla każdej z aplikacji oraz dla każdego cementu z osobna. Łącznie wykonano 58 testów w trzech aplikacjach. Przed przystąpieniem do badań terenowych, przeprowadzono w laboratorium badania rozptyłu na zaprawach normowych oraz opad stożka Abramsa na „wspólnej” mieszance betonowej. Wyniki testów zaprezentowano w tabeli 1. Na podstawie zebranego materiału możemy spodziewać się wyższej urabialności zapraw i betonów z użyciem badanych cementów z dodatkami mineralnymi w stosunku do badanego cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R. Powyższa zależność niesie za sobą dodatkową implikację, mianowicie przy podobnej konsystencji otrzymamy mniejszy stosunek w/c w przygotowanej zaprawie/mieszance betonowej, co z kolei wpłynie na podwyższenie parametrów wytrzymałościowych przy użyciu cementów z dodatkami mineralnymi. Na podstawie przeprowadzonych badań na placach budowy można wyciągnąć następujące wnioski dla poszczególnych aplikacji.

#### Betonowanie:

Wbrew obiegowej opinii o wyższości „cementów czystych” nad cementami z dodatkami mineralnymi, w aplikacji betoniarskiej mit ten nie znajduje uzasadnienia.

W zgodnych opiniach wykonawców badany cement CEM I 32,5 R znacząco słabiej wypadł w ocenie większości cech użytkowych w stosunku do cementów z dodatkami: CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R oraz CEM IV/B-V 32,5 R. Przeprowadzono łącznie 20 testów, podczas których badane cementy były wykorzystywane do wznoszenia (betonowania) wieńców, słupów oraz ław fundamentowych ogrodzeń.

Kluczowe dla wygody użytkowników końcowych własności użytkowe mieszanki betonowej, tj. szybkość, łatwość przygotowania i homogenizacji mieszanki betonowej, łatwość obróbki powierzchni betonowej czy szczelność wypełniania form zostały znacząco wyżej ocenione w próbach przeprowadzonych na cementach z dodatkami, szczególnie wysoko oceniany był CEM IV/B-V 32,5 R. Uzyskane wyniki mają bezpośredni związek z fizycznymi właściwościami popiołów lotnych stosowanych do produkcji tych cementów, które wpływają na poprawę urabialności i plastyczności mieszanki betonowej. Drugą ważną grupą badanych właściwości roboczych był czas uzyskania odpowiednich wytrzymałości, mierzony jako możliwość szybkiego rozformowania szalunków i dalszej kontynuacji prac. W tej kategorii wykonawcy również znacząco wyżej oceniali cementy z dodatkami w porównaniu do „cementu czystego”. Szczególnym powodzeniem cieszył się CEM IV/B-V 32,5 R, jako doskonale dopasowany pod względem optymalnego czasu uzyskiwania wczesnych wytrzymałości w aplikacji betoniarskiej. Subiektywne odczucia wykonawców zostały zweryfikowane poprzez przeprowadzone badania wytrzymałości na ściskanie próbek wbudowanego betonu. W praktyce okazało się, że ich wyniki są na bardzo zbliżonym poziomie (wykres 1) niezależnie od zastosowanego cementu.

Trzecią grupę badanych właściwości stanowiła ocena gotowej powierzchni, dokonywana po dwóch dniach od wykonania prac. W ocenie wykonawców kolor go-

Tabela 1. Wyniki rozptyłu zapraw normowych oraz opad stożka mieszanki betonowej

Rodzaj cementu	Rozptył [mm]	Opad stożka [cm]
	Recepta Zaprawa normowa	Recepta Mieszanka betonowa
CEM I 32,5 R	117	7
CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	139	8
CEM IV/B (V) 32,5 R	148	9

towej powierzchni wykonanej z użyciem cementu CEM IV/B-V 32,5 R najbardziej odpowiadał grupie badanej. Często określany był jako „rasowy”, „betonowy”, „odpowiedni”. Najniższe oceny w tej kategorii uzyskał CEM I 32,5 R. W pytaniach dotyczących finalnej jakości powierzchni gotowego elementu betonowanego, przy użyciu poszczególnych cementów, występowanie pustek, raków oraz konieczność pielęgnacji dojrzewającego betonu była równomiernie oceniana przez wykonawców.

Cementy z dodatkami, podobnie jak CEM I 32,5 R zostały ocenione dobrze w zakresie jakości gotowej powierzchni jak i niskiej konieczności intensywnej pielęgnacji betonu w okresie dojrzewania. Wskazuje to na brak istotnych różnic pomiędzy badanymi cementami w ocenie fachowców. W finalnej ocenie pracy na danym cemencie w aplikacji betoniarskiej cementy z dodatkami uzyskały znacząco wyższy wynik w porównaniu z CEM I 32,5 R, który oceniony został tylko jako przeciętny w tej aplikacji. Dla porównania CEM IV/B-V 32,5 R został oceniony najwyżej, jako cement, na którym bardzo dobrze pracuje się w aplikacji betoniarskiej.

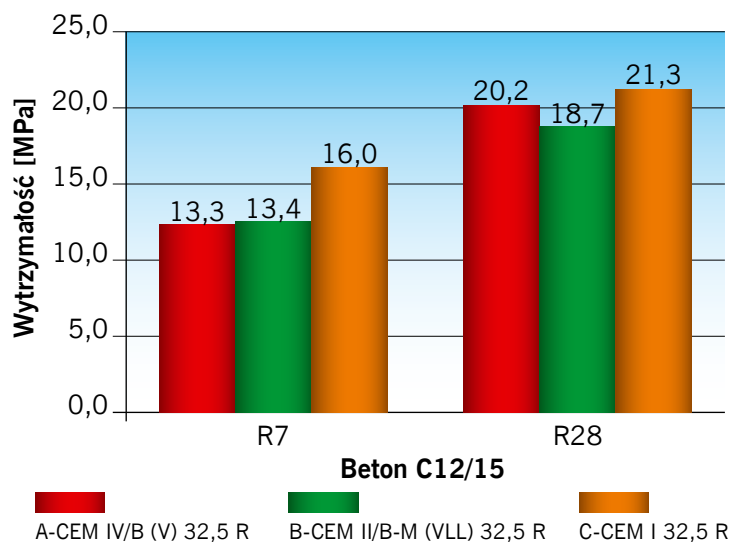
#### Posadzki:

W aplikacji posadzkarskiej wykonano łącznie 20 testów. Cementy testowano przy wbudowywaniu jastrychów oraz zacieranych posadzek betonowych. Wyniki uzyskane w tej aplikacji okazały się spora niespodzianką, z uwagi na fakt, iż większość wykonawców zajmujących się pracami posadzkarskimi deklarowała przed przystąpieniem do testów swoje preferencje w kierunku cementów portlandzkich klasy 32,5 MPa, jako najlepiej dopasowanych do zakresu robót. W ocenie ogólnej, wszystkie testowane cementy znalazły się w przedziale ocen dobrych, jako cementy, na których dobrze pracuje się w aplikacji posadzkarskiej. Jednak CEM IV/B-V 32,5 R uzyskał wyraźnie wyższe noty niż CEM I 32,5 R.



Badanie metodą stolika rozptyłu na zaprawach normowych

Wykres 1. Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonów klasy C 12/15 na bazie CEM IV/B (V) 32,5R vs. CEM II/B-M (V-LL) 32,5R ws. CEM I 32,5 R





Posadzka betonowa – ślepe testy w aplikacji posadzki

W ocenie kolorystyki gotowej powierzchni posadzek i jastrychów, cementy z dodatkami zostały ocenione również wyżej niż cement CEM I 32,5 R i określane jako bardziej „mocne” i „odpowiednie”.

Na szczególną uwagę zasługuje ocena takich właściwości użytkowych, jak łatwość rozprowadzania mieszanki czy łatwość obróbki powierzchni posadzki (zacieranie/wygładzanie). W tych dwóch kategoriach cement CEM IV/B-V 32,5 R uzyskał wyższe oceny w porównaniu do cementu portlandzkiego. Dodatkowo, w opinii wykonawców w mieszance z cementem pucolanowym, nieznacznie, jednak zauważalna była mniejsza skłonność do segregacji składników w porównaniu do cementu CEM I 32,5 R, przy użyciu którego w opinii wykonawców zauważalnie „odkrywało się” kruszywo. W ocenach pozostałych właściwości roboczych, tj. odpowiedniego czasu zachowania właściwości roboczych mieszanki, czasu wiązania, uzyskiwania odpowiednich wytrzymałości wczesnych, nie zanotowano różnic w ocenie badanych cementów – co czyni je równie odpowiednimi w aplikacjach posadzkarskich, z nieznacznym wskazaniem na korzyść cementu pucolanowego CEM IV/B-V 32,5 R.

#### Zaprawy:

W pracach murarsko-tylnarskich wykonano łącznie 18 testów przy wykorzystaniu badanych cementów. Zaprawy używane do testów służyły do wykonywania tynków zwykłych na powierzchniach chłonnych oraz do wznoszenia ścian z materiałów chłonnych (bloczki z betonu komórkowego) i ceramicznych (pustak max). W ogólnej ocenie pracy na badanych typach cementów, w aplikacjach murarsko-tylnarskich uzyskano oceny dobre, z wyraźną preferencją w kierunku

ku cementów z dodatkami mineralnymi CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R. Powyższa ocena ma związek z odpowiednio dobranym składem tego cementu, tj. z zawartością drobno zmielonego kamienia wapiennego w składzie, co wpływa na podwyższenie urabialności, plastyczności i spoiwości zapraw, czyli tych cech użytkowych, które są bardzo pożądane w opisywanych aplikacjach. W ocenie cech użytkowych, takich jak szybkość i łatwość przygotowania zaprawy czy odpowiedni czas zachowania właściwości roboczych, poprawiających komfort pracy i przyspieszających postęp prac murowych, cement CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R uzyskał najlepsze oceny w stosunku do pozostałych cementów.

Istotnym elementem oceny własności użytkowych cementów w badanej aplikacji było pojawianie się rys skurczowych na gotowych powierzchniach tynku. W tym przypadku cement CEM I 32,5 R został oceniony najniżej w stosunku do pozostałych cementów z dodatkami: CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R oraz CEM IV/B-V 32,5 R. Pojawianie się rys skurczowych ma bezpośredni związek z wysokim ciepłem hydratacji, które jest szczególną właściwością „cementów czystych”, mogącą powodować tę uciążliwą konsekwencję w postaci rys skurczowych na gotowych powierzchniach tynków. Stosowanie odpowiednio dobranych dodatków mineralnych w składzie cementu w znacznym stopniu obniża ciepło hydratacji, a tym samym możliwość pojawiania się rys opisywanych powyżej. Obserwacja ta prowadzi nas do przekonania, że w aplikacji murarsko-tylnarskiej stosowanie cementów z dodatkami jest bardziej zasadne z punktu widzenia ocen użytkowników końcowych oraz wymagań aplikacyjnych. Badania wytrzymałości na ściskanie przygotowanych i wbudowanych na bazie różnych cementów zapraw wykazały również bardzo podobny poziom wytrzymałości (wykres 2). Wniosek, jaki się nasuwa, to że doprowadzana przez doświadczonych wykonawców do pożądanych cech roboczych umożliwiających prace murarskie zaprawa, poprzez zmianę proporcji jej składników, w konsekwencji daje zaprawy o podobnej wytrzymałości mechanicznej. Opisywane powyżej wyniki badań przeprowadzonych na budowie pokazują, że powszechnie występujące stereotypy, funkcjonujące wśród wykonawców budowlanych, nie zawsze muszą mieć swoje odbicie w rzeczywistości. W zasadzie możemy zaryzykować stwierdzenie, że w ocenie użytkowników końcowych we wszystkich badanych aplikacjach cement portlandzki CEM I 32,5 R wypadł gorzej pod względem oceny parametrów użytkowych w porównaniu z badanymi cementami z dodatkami mineralnymi: CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R oraz cementem CEM IV/B-V 32,5 R. Zastosowanie metody badań jakościowych ślepe testy pozwala na wyabstrahowanie z czynników oceny tylko tych parametrów użytkowych, które wynikają z właściwości zastosowanych produktów. Dzięki temu z dużym prawdopodobieństwem możemy szacować, że na preferencje wykonawców w używaniu „cementów czystych” większy wpływ ma nastawienie, osobiste przekonania i mity o wyższości CEM I nad cementami z dodatkami mineralnymi niż rzeczywista ocena cech użytkowych tych cementów i ich dopasowanie do wymagań danej aplikacji.

Wykres 2. Porównanie wytrzymałości na ściskanie zapraw klasy M5, na bazie CEM IV/B (V) 32,5R vs CEM II/B-M (V-LL) 32,5R vs CEM I 32,5 R

