

Predykcja dojrzałości – nowa era pielęgnacji betonu

■ Bertrand Delforge, JB Concrete, Francja
April Kraft, Kraft Curing Systems, Kraft Curing Systems GmbH, Niemcy

Firma Kraft Curing od dziesięcioleci stoi na czele innowacji w dziedzinie dojrzewania betonu. Wprowadzenie nowych rodzajów cementu – z różnymi wypełniaczami (obojętnych albo o utajonym działaniu hydraulicznym), które częściowo zastępują klinkier cementu portlandzkiego w celu zmniejszenia śladu węglowego cementu – skłania producentów prefabrykatów betonowych i elementów strunobetonowych do zadania sobie pytania, kiedy można rozformować wyroby czy też zwolnić naciąg bez uszczerbku dla jakości produktu. W odpowiedzi na te wyzwania firma Kraft Curing w ubiegłym roku wprowadziła na rynek technologię Match-Cure, która stanowi kolejny kamień milowy w kontroli jakości prefabrykatów betonowych i elementów strunobetonowych.

System Match-Cure w rozległy sposób monitoruje wczesną wytrzymałość betonu. Pozwala producentom zyskać pewność, że świeżo wyprodukowane elementy betonowe osiągnęły wymaganą wytrzymałość przed rozformowaniem bądź zwolnieniem naciągu. Wykrycie najwcześniejszego możliwego momentu wykonania tych czynności pozwala obniżyć koszty

energii i robocizny, a jednocześnie zapewnia bezpieczeństwo oraz wysoką jakość produktu.

Próbki cylindryczne lub sześciennie, wykonane podczas produkcji elementu prefabrykowanego lub strunobetonowego, umieszcza się w izolowanej komorze klimatycznej Match-Cure. Umożliwia to precyzyjny pomiar i kontrolę temperatury próbek, odpowiadającej temperaturze wewnętrznej rzeczywistego elementu betonowego.

Gdy temperatura elementu betonowego wzrasta (w wyniku hydratacji lub pielęgnacji termicznej), jednostka grzewcza w obudowie Match-Cure podgrzewa próbkę. Gdy temperatura elementu betonowego spada (np. wskutek wiatru lub uszkodzonego przykrycia), wentylator schładza próbkę do co najmniej temperatury otoczenia. Dla obszarów o surowych zimach dostępny jest opcjonalny system chłodzenia.

Czujniki temperatury – przewodowe lub bezprzewodowe – mierzą w sposób ciągły warunki dojrzewania betonu w elemencie i w próbce. Dane te są przesyłane do systemu sterowania



Integracja systemu Match-Cure z ekosystemem AutoCure firmy Kraft Curing pozwala uniknąć podwójnych systemów sterowania i monitorowania, a także obniżyć koszty.



Komory klimatyczne Match-Cure dla pięciu obszarów / torów / form / stołów produkcyjnych.

AutoCure®. Gdy temperatura elementu jest wyższa niż próbki, system grzewczy zostaje włączony, aby ją wyrównać. Gdy temperatura elementu spada, system reaguje poprzez chłodzenie lub wentylację.

W celu zapewnienia jakości system VaporWare V2® rejestruje niezależnie wszystkie dane klimatyczne – w tym numery partii, opisy elementów oraz znaczniki czasowe – i tworzy pełny, weryfikowalny protokół elementu betonowego oraz próbek w komorze Match-Cure.

Dzięki systemowi Match-Cure producenci otrzymują precyzyjną symulację rzeczywistych warunków dojrzewania swoich elementów. Przed rozformowaniem rzeczywistego elementu betonowego albo zwolnieniem naciągu, próbkę można wyjąć z komory Match-Cure i sprawdzić jej wytrzymałość na ściskanie, aby ustalić, czy beton osiągnął wymaganą wytrzymałość.

Match-Cure Ultra

Firma Kraft Curing udoskonaliła technologię, opracowując Match-Cure Ultra – system do predykcyjnego sterowania dojrzewaniem betonu. Zamiast czekać, by przekonać się, jak prefabrykowany lub sprężony beton zachowa się w określonych warunkach, producenci mogą teraz dokładnie przewidzieć i kontrolować, kiedy produkt osiągnie wymaganą wytrzymałość.



Duży monitor wyświetla dla każdego stołu produkcyjnego lub formy aktualny stopień ukończenia (%) oraz przewidywany czas ukończenia elementu. Kolorowe obramowania w kolorze zielonym, żółtym lub czerwonym pokazują aktualny stan dojrzewania każdego obszaru produkcji.

Dzięki systemowi Match-Cure Ultra firmy Kraft Curing producenci betonu mogą określić parametry dojrzewania (temperaturę, czas wstępnego podgrzewania, fazy nagrzewania i utrzymania temperatury), aby osiągnąć docelową wytrzymałość



MASTERS OF BLENDING

KNIELE

THE ART OF MIXING

Made in Germany

Supply the best

THE KNIELE KKM

Web:



Catalogue:



Movie:



na ściskanie, umożliwiającą bezpieczne rozformowanie albo zwolnienie naciągu. Oznacza to przejście od reaktywnego monitorowania do proaktywnego, opartego na danych sterowania produkcją!

Naukowe podstawy pomiaru dojrzałości

Podstawą systemu Match-Cure Ultra jest predykcyjny pomiar stopnia dojrzałości betonu oparty na ocenie postępu hydratacji w betonie. Podczas hydratacji cementu uwalniane jest ciepło. Poprzez pomiar temperatury za pomocą termopar w elemencie betonowym stopień hydratacji betonu jest kwantyfikowany i przeliczany na wskaźnik dojrzałości.

Wskaźnik ten odzwierciedla „równoważny wiek” betonu – czyli czas, jaki materiał potrzebowałby, aby w warunkach standardowych (zazwyczaj 20°C) osiągnąć tę samą wytrzymałość. W oparciu o prawo Arrheniusa system uwzględnia przyspieszenie procesu hydratacji w wyższych temperaturach oraz jego spowolnienie w temperaturach niższych. Wynikiem jest ciągły obraz rozwoju wytrzymałości wewnątrz elementu betonowego – bez konieczności niszczenia próbki na każdym etapie.

Predykcyjny pomiar stopnia dojrzałości jest szczególnie cenny we wczesnej fazie twardnienia i wymaga określonego wyposażenia: czujników do rejestrowania temperatury, urządzeń do jej zapisu oraz oprogramowania do obliczania wytrzymałości.



Wytrzymały, magnetyczny, bezprzewodowy przekaźnik temperatury (w szarej obudowie) z termoparą typu K do pomiaru temperatury wewnętrznej betonu.

Od pomiaru do prognozy

Podczas gdy tradycyjny pomiar stopnia dojrzałości betonu pokazuje aktualny stan wytrzymałości, firma Kraft Curing przekształciła go w narzędzie prognostyczne. Na początku tworzona jest krzywa kalibracyjna: próbki sześciennie lub cylindryczne z określonej mieszanki betonowej dojrzewają w standardowych warunkach w temperaturze 20°C i są okresowo badane pod kątem wytrzymałości na ściskanie. Wyniki tworzą profil wytrzymałości w funkcji czasu.

Podczas produkcji czujniki w elemencie betonowym mierzą rzeczywiste zmiany temperatury. Przeliczając dane historyczne na równoważny wiek betonu, system może określić aktualną pozycję na krzywej kalibracyjnej i przewidzieć wytrzymałość w dowolnym momencie. Dzięki temu producenci nie muszą już czekać na wyniki badań betonu, lecz wiedzą z wyprzedzeniem, kiedy beton uzyska pożądane właściwości.

Tak działa predykcyjny pomiar stopnia dojrzałości w praktyce

Sekwencja czynności roboczych jest prosta, ale skuteczna. Seria próbek kalibracyjnych jest wykonana z dokładnie tej samej mieszanki betonowej i przechowywana w temperaturze 20°C. Po kilku godzinach próbki są okresowo badane pod kątem wytrzymałości na ściskanie, a wyniki wprowadzane do tabeli Match-Cure Ultra. Po 24 godzinach powstaje pełny profil dojrzewania.



Bezprzewodowe wzmacniacze sygnału, rozmieszczone w całym zakładzie lub na terenie fabryki, zapewniają odpowiednią siłę sygnału na dużym obszarze. Przewód termopary do pomiaru temperatury wewnętrznej betonu.

- Linie technologiczne do produkcji wyrobów betonowych
- Urządzenia transportujące beton
- Rozwiązania dostosowane do indywidualnych potrzeb klienta
- Automatyka i systemy sterujące zaprojektowane pod konkretną instalację



Izolowana komora klimatyczna Match-Cure z próbkami i pomiarem wewnętrznej temperatury betonu.

Profil ten staje się częścią „biblioteki dojrzewania” – bazy danych z krzywymi wytrzymałości specyficznymi dla danej mieszanki. Dla wszystkich przyszłych partii produkowanych z tej samej receptury program wykorzystuje zapisaną krzywą i łączy ją z pomiarami temperatury w czasie rzeczywistym, aby przewidzieć rozwój wytrzymałości.

Jednocześnie próbki w komorze Match-Cure służą do weryfikacji tej prognozy, ponieważ dojrzewają w identycznych warunkach. Gdy program sygnalizuje osiągnięcie docelowego stopnia dojrzałości, przeprowadza się prosty test ściskania próbek, aby potwierdzić przewidywaną wytrzymałość.

Sterowanie systemem pielęgnacji betonu za pomocą predykcyjnej kontroli dojrzałości

Połączenie systemów Match-Cure i AutoCure przekształca prognozę dojrzałości betonu w sterowalny system zakładowy. Operatorzy mogą śledzić rozwój wytrzymałości w czasie rzeczywistym i otrzymywać ostrzeżenia, jeśli proces dojrzewania odbiega od oczekiwań – na przykład z powodu zimna, nierównomiernego rozkładu temperatury lub zakłóceń w systemie. Dzięki temu planowanie produkcji staje się bardziej przewidywalne: zespoły dokładnie wiedzą, kiedy można rozformować elementy albo zwolnić naciąg, i mogą odpowiednio zaplanować pracę.

System może również optymalizować sam proces dojrzewania, automatycznie dostosowując profile. Zapobiega to zarówno zbyt krótkiemu dojrzewaniu, które niesie ryzyko osłabienia elementu, jak i zbyt długiemu, które powoduje straty czasu i energii. Przekłada się to na mniejsze zużycie energii, krótsze cykle oraz mniej błędów w planowaniu.

W celu zyskania dodatkowej pewności, po osiągnięciu prognozowanego stopnia dojrzałości betonu można przeprowadzić badanie próbki. W ten sposób do bazy danych o dojrzewaniu dodawane są kolejne informacje, co sprawia, że przyszłe prognozy stają się jeszcze bardziej precyzyjne.



MIXON s.r.l.
Torgiano - Perugia - Italy
www.mixon.it

 **OZB**

Kosciuszki 36A
59-700 Bolesławiec, Polska
Remigiusz Buchowski
r.buchowski@ozb.org.pl +48 790 529 682
Grzegorz Zawada
g.zawada@ozb.org.pl +48 790 529 692



*Produkcja
elementów
strunobetonowych
z komorami
klimatycznymi
Match-Cure.*



Zalety predykcji dojrzałości

Zalety prognozowania dojrzałości obejmują cały łańcuch produkcyjny. Jakość wzrasta, ponieważ każdy element jest kontrolowany. Można zaoszczędzić czas, gdyż nie są już potrzebne marginesy bezpieczeństwa – działania podejmowane są dokładnie w momencie, gdy beton jest gotowy. Poprawia się również efektywność energetyczna, ponieważ systemy grzewcze lub generatory pary działają tylko tak długo, jak jest to konieczne. Z punktu widzenia zarządzania predykcyjny pomiar stopnia dojrzałości umożliwia lepsze planowanie i koordynację zadań. Gdy z góry wiadomo, kiedy produkty będą gotowe, procesy związane z personelem i logistyką można optymalnie zsynchronizować – minimalizując przestoje i wąskie gardła. Rezultat: płynniejszy przebieg pracy, niższe koszty i większa niezawodność terminów dostaw.

Wnioski: pewność zamiast niepewności

Predykcyjny pomiar stopnia dojrzałości betonu to nie tylko innowacja technologiczna – może on zasadniczo zmienić sposób sterowania produkcją. Dzięki temu, że pozwala producentom dokładnie określić moment, w którym wyroby są gotowe i automatycznie dostosowywać warunki dojrzewania, firma Kraft Curing przesunęła kontrolę z obszaru niepewności do stanu pewności. Rozwiązanie to oznacza nie tylko szybsze cykle produkcyjne i niższe koszty zużycia energii, ale również przekształcenie procesu dojrzewania betonu z działań opartych na doświadczeniu w naukę opartą na danych.



Dzięki firmie **Kraft Curing** wszyscy czytelnicy ZBI mogą bezpłatnie pobrać niniejszy artykuł w formacie pdf. Można to zrobić wchodząc na stronę www.cpi-worldwide.com/channels/kraft_curing, którą można również otworzyć w smartfonie skanując kod QR.



WIĘCEJ INFORMACJI



www.jbconcrete.fr



Kraft Curing Systems GmbH
Mühlenberg 2
49699 Lindern, Niemcy
T +49 5957 96120
info@kraftcuring.com
www.kraftcuring.com