

Bartłomiej Walczak¹

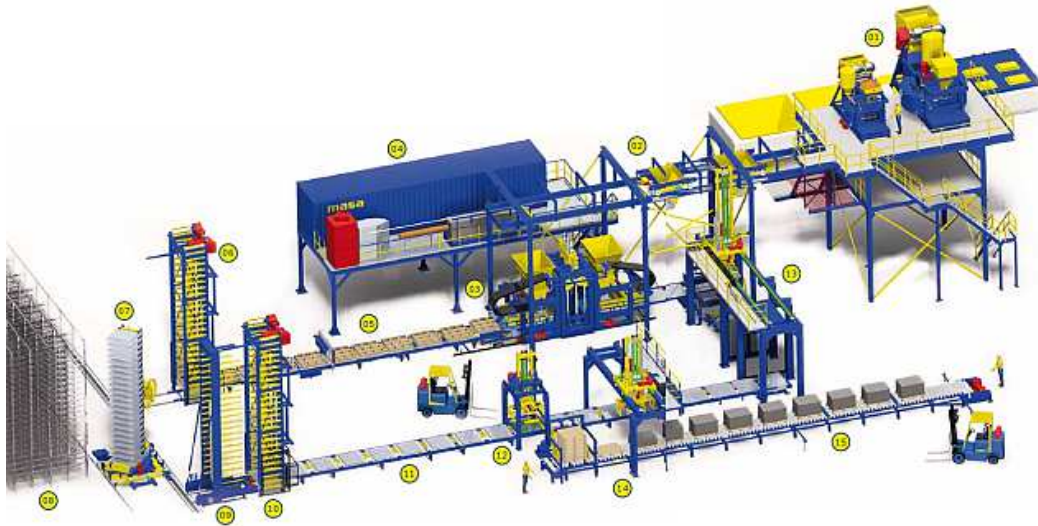
REOLOGIA BETONÓW WIBROPRASOWANYCH

1. Wstęp

Masowa produkcja betonowych elementów drobnowymiarowych wymaga dużych wydajności. Formowanie elementów w klasycznych formach jest czasochłonne oraz wymaga dużej ilości form. Nanoszenie środka antyadhezyjnego, wypełnianie form mieszanką, wibrowanie oraz dojrzewanie betonu w formach przez stosunkowo długi okres czasu (do 24h) sprawia, iż metoda taka w przypadku elementów drobnowymiarowych jest nieefektywna i nieekonomiczna. W skali przemysłowej stosuje się maszyny kształtujące elementy metodą wibroprasowania, co pozwala znacznie zwiększyć wydajność przy użyciu tylko jednej formy. Metoda ta znacznie różni się od klasycznego „zalewania” form. Linia do produkcji elementów wibroprasowanych składa się z węzła betoniarskiego, wibroprasy, dojrzewalni oraz stacji paletowania. Węzeł betoniarski najczęściej tworzą dwa mieszalniki – mniejszy do mieszanki przeznaczonej na warstwę ścieralną oraz większy – w którym powstaje mieszanka konstrukcyjna. Po wymieszaniu składników, mieszanki trafiają do koszy zasypowych maszyny (wibroprasy). Następnie szuflada zasypowa rozprowadza świeżą mieszankę betonową do gniazd formy. Kształt elementu formowany jest na paletach produkcyjnych podczas procesu wibroprasowania. Cykl produkcyjny dla jednej palety w zależności od wydajności maszyny i rodzaju elementu wynosi od około 12 do 30 sekund. Po zaformowaniu

¹ mgr inż., Remei Polska Sp. z o.o., lab@remei.com.pl, Stowarzyszenie Producentów Chemii Budowlanej

świeży element betonowy transportowany jest do dojrzewalni. Po 24 godzinach elementy z dojrzewalni pakowane są na palety transportowe i odstawiane na plac magazynowy celem dalszego dojrzewania. Rozwiązanie takie, pozwala na osiągnięcie wydajności do 4000-5000m² kostki brukowej na dobę.



Rys. 1. Linia do produkcji elementów wibroprasowanych [1]

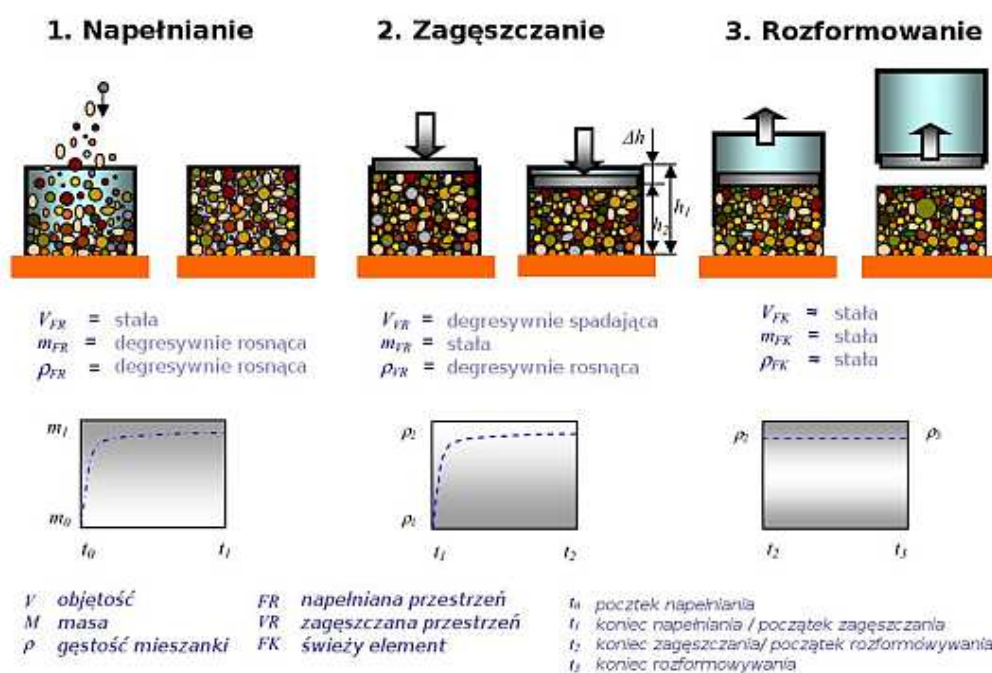
1. Dozownik i mieszalnik
2. Transport betonu (przenośnik kubekowy)
3. Maszyna do produkcji kostki betonowej
4. Blok mieszczący zasilanie.
5. Transport mokrych produktów
6. Elewator
7. Przenośnik widłowy
8. Dojrzewalnia
9. Bufor przenośnika widłowego
10. Urządzenie opuszczające
11. Transport powrotny
12. Urządzenie centrujące
13. Transport poprzeczny / bufor palet produkcyjnych
14. Pakietowanie
15. Transport pakietów

2. Cechy mieszanki przeznaczonej do produkcji elementów wibroprasowanych

Od mieszanki betonowej przeznaczonej do produkcji elementów wibroprasowanych wymaga się kilku istotnych cech mających bezpośredni wpływ na jakość wyprodukowanego

wyrobu. Bardzo niski współczynnik wodno-spoiwowy sprawia, iż mamy do czynienia z mieszanką o konsystencji wilgotnej. Mieszanka ta przy braku oddziaływania na nią znacznych sił zewnętrznych nie wykazuje cech reologicznych. Dopiero podczas wibroprasowania, a więc oddziaływania na nią dużego ciśnienia oraz wibracji zostaje w pewnym stopniu uplastyczniona.

Podczas zagęszczania mieszanka stawia opór wewnętrzny, na który składa się opór tarciowy, opór lepki oraz opór kohezyjny. Dzięki przyłożeniu wysokiego ciśnienia (prasowanie) oraz przyłożeniu zwielokrotnionej siły ciężenia (wibrowanie) mieszanka betonowa zaczyna zachowywać się jak gęsta ciecz. Uzyskujemy to dzięki zmniejszeniu tarcia wewnętrznego pomiędzy cząsteczkami mieszanki [2]. Gdy siły zewnętrzne przestają oddziaływać na mieszankę musi ona zachować kształt nadany podczas procesu zagęszczania. Spójność mieszanki powinna być na tyle duża, by pomimo znacznego ciężaru własnego (także w przypadku elementów wysokich) oraz drgań wynikających z procesu transportu gotowych produktów do dojrzewalni nie nastąpiło jej odkształcenie.



Rys.2 Schematyczne przedstawienie trzech faz procesu formowania i zagęszczania podczas produkcji betonowej kostki brukowej [3]

Reasumując, idealna mieszanka do produkcji elementów wibroprasowanych musi być spójna oraz stabilna gdy nie działają na nią siły zewnętrzne oraz dać się stosunkowo łatwo

uplastyczyć i zagęścić w wibroprasie celem odprowadzenia z niej powietrza. Mieszanka, która nie uplastyczni się dostatecznie będzie dobrze trzymała wymiar formy, lecz końcowy produkt będzie miał obniżone parametry jakościowe. Zbyt „wilgotna” mieszanka bardzo dobrze zagęści się w maszynie, lecz po rozformowaniu na elementach utworzą się tzw. „beczki” – wybrzuszenia powierzchni bocznych, które utrudniają, lub uniemożliwiają prawidłowe pakietowanie oraz układanie elementów. Wyrób będzie reprezentował dobre parametry jakościowe, lecz nie będzie spełniał wymaganych przez normy odchyłek wymiarowych.



Rys. 3 Betonowa kostka brukowa gotowa do pakietowania

3. Zapewnienie pożądanych właściwości reologicznych mieszanki podczas zagęszczania

Na zachowanie mieszanki betonowej podczas formowania ma wpływ bardzo duża ilość czynników. Podstawą jest dobrze zaprojektowana mieszanka betonowa, której skład i

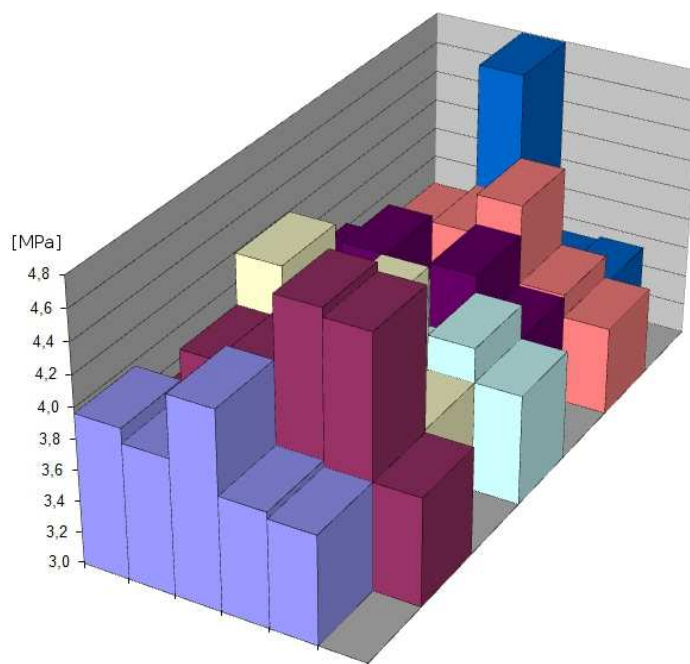
stos okruszowy powinien być dostosowany do konkretnego elementu. Oprócz dobrze dobranego stosu okruszowego kruszywa, na jakość procesu wibroprasowania – a więc na reologię mieszanki podczas tego procesu wpływa także rodzaj zastosowanego kruszywa. Zastosowanie kruszyw otoczkowych pozwoli na lepsze zagęszczenie mieszanki, niż w przypadku grysów. Kolejne czynniki mające wpływ na jakość zagęszczenia to ilość i rodzaj spoiwa, ilość i rodzaj dodatków mineralnych oraz sumaryczna ilość frakcji drobnych w mieszance.

Najczęściej stosowanym dodatkiem mineralnym podczas produkcji elementów wibroprasowanych jest popiół lotny krzemionkowy. Jego obecność w mieszance podczas wibracji wpływa pozytywnie na zmniejszenie oporów mieszanki, a co za tym idzie, jej lepsze zagęszczenie. Dodatkowym atutem będzie również zwiększenie końcowej wytrzymałości elementów dzięki jego aktywności pucolanowej. Ważne jest by stosowany popiół charakteryzował się niską stratą prażenia. Zbyt duża ilość niespalonego węgla skutecznie neutralizuje działanie domieszek chemicznych oraz znacznie zwiększa wodożądność mieszanki. Efektem tego będzie niedogęszczenie mieszanki betonowej, a co się z tym wiąże, spadek parametrów jakościowych wyrobu.

Następnym czynnikiem mającym pozytywny wpływ na zagęszczenie jest zastosowanie w mieszance odpowiednich domieszek chemicznych. Najczęściej stosowanymi domieszkami do warstwy konstrukcyjnej są substancje o zdolności do zatrzymywania wody w mieszance oraz domieszki plastyfikujące. Domieszki o zdolności zatrzymywania wody w mieszance mają za zadanie stworzenie tzw. „buforu” wodnego. Mieszanka betonowa nie poddawana procesowi wibroprasowania nie oddaje wody i jest całkowicie stabilna. Podczas zagęszczania siły oddziaływujące na mieszankę sprawiają „uwalnianie się” dodatkowej ilości wody, co skutkuje większym uplastycznieniem mieszanki. Stosowanie domieszek chemicznych w dużym stopniu stabilizuje jakość produkcji, zmniejszając jej podatność na zmianę jakości surowców lub zmiany wilgotności mieszanki.

Nie zaleca się natomiast stosowania domieszek napowietrzających do warstwy konstrukcyjnej. Wprowadzone drobne pęcherzyki powietrza działają w sposób plastyfikujący mieszankę, lecz dodatkowe napowietrzenie betonu powoduje spadek właściwości wytrzymałościowych gotowych elementów. W warstwie ścieralnej – narażonej na działanie cyklicznego zamrażania/odmrażania najczęściej przy udziale soli odladzających wprowadzenie takiej domieszki jest natomiast całkowicie uzasadnione.

Kolejnym, bardzo istotnym czynnikiem mającym wpływ na zachowanie mieszanki w gnieździe formy jest maszyna wibroprasująca oraz doświadczenie personelu nadzorującego jej pracę. Istotne są parametry maszyny (siła docisku, siła wymuszająca wibracje), jej ustawienia (amplituda, częstotliwość wibracji, siła docisku podczas wibracji zasadniczych, czasy wibracji, zasyp mieszanki) oraz jakość palet produkcyjnych (zdolność do przenoszenia wibracji, sztywność). Wszystkie te czynniki mają wpływ na zachowanie mieszanki podczas pracy maszyny, a więc na jej uplastycznienie. Należy tutaj dodać, iż w przypadku produkcji elementów wibroprasowanych każde gniazdo formy pracuje inaczej, i inaczej zachowuje się w nim mieszanka betonowa. Wpływ na to zjawisko ma nierównomierny docisk stempla, różny rozkład wibracji na stole, czy różny rozmiar gniazd formy. W efekcie każdy element na palecie posiada różną gęstość, a co za tym idzie wytrzymałość. Nie możemy tutaj mówić o takiej powtarzalności jak w przypadku elementów wylewanych z tej samej mieszanki betonowej.



Rys. 4. Rozkład wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu kostek na palecie produkcyjnej [badania własne]

4. Plastyczność mieszanki a jakość wyrobu

Jakość końcowa elementów wibroprasowanych w bardzo dużym stopniu zdeterminowana jest jakością mieszanki betonowej przeznaczonej do wibroprasowania. Najczęstszym problemem powodującym złą jakość wyrobu jest tzw. „przesuszenie” mieszanki. Mówimy o nim wtedy, gdy konkretna maszyna z uwagi na parametry mieszanki nie jest w stanie jej dostatecznie zagęścić. W takim przypadku mimo oddziaływania na mieszankę znacznych sił może nie dojść do jej upłynnienia. Przekłada się to bezpośrednio na gęstość elementów i wyroby takie podczas masowej produkcji można „wyłapać” poprzez pomiar ich wagi oraz wysokości bezpośrednio po wyjściu z maszyny. Badanie takie daje możliwość szybkiej korekty ilości wody w mieszance betonowej przez operatora.

Znacznie rzadziej spotykamy się z przypadkami przedozowania wody. Zjawisko to jest możliwe do wychwycenia podczas procesu produkcyjnego poprzez obserwację powierzchni bocznych elementów. Zbyt duża ilość wody powoduje „siadanie” elementów i powstawanie tzw. „beczek”.

W przypadku warstwy nawierzchniowej zbyt mała ilość wody jest dużym problemem. Wyrób z niedogęszczoną warstwą ścieralną nie spełni wymagań jakościowych dotyczących mrozoodporności. Na szczególną uwagę zasługują tu mieszanki z użyciem środków uszczelniających i hydrofobizujących. Stosowanie takiej domieszki sprawia iż operator może nie być świadomy zbyt małej wilgotności mieszanki, a co się z tym wiąże, jej niedogęszczenia. Z uwagi na mniejsze zapotrzebowanie mieszanki przeznaczonej na warstwę ścieralną (warstwa ścieralna to ok 5-7 mm grubości elementu) zalecane jest mieszanie jej mniejszych ilości, tak by nie zalegała ona zbyt długo w koszu zasypowym.

Przedozowanie wody w przypadku warstwy ścieralnej powoduje dobre zagęszczenie mieszanki, na powierzchni elementu powstaje tzw. gęsia skórka – wyciśnięte przez wibroprasę mleczko cementowe. Warstwa ścieralna zachowuje dobre parametry jakościowe, lecz może ulegać przyklejaniu do stempla, co powoduje podrywanie elementów podczas rozformowywania.

5. Technologia wibroprasowania a reologia mieszanki

Istnieje szereg czynników mających wpływ na zagęszczenie mieszanki w formie. Część z nich została opisana już w niniejszym referacie. Ze względu na zachowanie mieszanki podczas poszczególnych etapów produkcji, o reologii mieszanki możemy mówić jedynie podczas procesu wibroprasowania. Przyjmujemy, że podczas tego procesu mieszanka na kilka sekund ulega upłynnieniu pod wpływem sił zewnętrznych. Jednakże opisanie tego zjawiska w sposób liczbowy, a co więcej powiązanie go z wszystkimi istotnymi oddziaływaniami zewnętrznymi, mającymi wpływ na jego jakość wydaje się sporym wyzwaniem. Obecne metody przygotowywania mieszanek do procesu wibroprasowania opierają się głównie na związkach przyczynowo-skutkowych i mimo wielu wspólnych cech każdorazowo muszą być korygowane o wartości wynikające z możliwości danej wibroprasy. Mimo stosowania najnowszych systemów pomiaru wilgotności mieszanki, solidnych i bardzo wydajnych maszyn wibroprasujących, na chwilę obecną nie jest możliwe pełne zautomatyzowanie procesu produkcyjnego. W celu wyprodukowania powtarzalnych, dobrych jakościowo elementów, nad mieszanką musi czuwać doświadczony personel.

Opierając się na własnych doświadczeniach mogę stwierdzić, iż zapewnienie optymalnych właściwości reologicznych mieszanki podczas procesu wibroprasowania odbywa się obecnie za pomocą ilości dozowanej do mieszanki wody i domieszek chemicznych. Pozostałe czynniki uznawane są za wartości stałe – mimo ciągłych zmian surowcowych (głównie w kruszywie). Sam proces projektowania mieszanki betonowej nie uwzględnia jakości wibracji oraz faktu działania na mieszankę dodatkowego ciśnienia.

Literatura

- [1] <http://www.masa-group.com/images/stories/info-material/concrete-block-production-en.pdf>
- [2] BRYLICKI Witold „Kostka brukowa z betonu wibroprasowanego”, Polski Cement, Kraków ,1998,
- [3] MOTHEs Steffen, „Das Füllen der Form mit Betongemengebei der Formgebung und Verdichtung von Betonsteinen in Steinformmaschinen”, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur, Bauhaus Universität Weimar, Weimar, 2010.