

Samozagęszczalny beton architektoniczny – uwagi praktyczne

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach stosowanie betonu architektonicznego do wykonywania różnego typu obiektów znacząco wzrosło. Coraz częściej architektki, idąc za przykładem klasyków architektury betonowej, takich jak Le Corbusier i Kenzo Tange, czy też bardziej współczesnych Tadao Ando i Zahy Hadid, sięgają po beton, traktując go nie tylko jako element konstrukcyjny, lecz także jako materiał stanowiący o wizualnym odbiorze budowli. Starają się wcielać w życie słowa profesora Dariusza Kozłowskiego, który twierdzi, że: „beton pozwala wciąż na ujawnianie swoich właściwości, część zachowując dla przyszłości. Być może po to, by pozostać najbardziej interesującym materiałem budowlanym, jaki stworzyła współczesność, a który tę współczesność tworzy, zmieniając się w sztukę w rękach inżynierów i artystów.”

Stale rosnące zapotrzebowanie na beton architektoniczny skłania dostawców betonu i wykonawców do ciągłych poszukiwań nowych rozwiązań i materiałów pozwalających na realizację stawianych przez architektów coraz to bardziej skomplikowanych wyzwań. Stąd powszechniejsze stosowanie betonu samozagęszczalnego jako betonu architektonicznego. Ten rodzaj materiału pozwala w wielu przypadkach na lepsze lub/i dużo łatwiejsze wykonanie zaprojektowanych elementów, a czasami stanowi środek niezbędny do ich realizacji. Niestety, wzrastająca liczba obiektów, w których stosowany jest beton architektoniczny, sprawia, że w ich projektowaniu i wykonywaniu bardzo często biorą udział osoby niemające wystarczającej wiedzy z tego zakresu. Jest to widoczne szczególnie tam, gdzie istnieje konieczność zastosowania betonu architektonicznego samozagęszczalnego, łączącego w sobie dwa wyjątkowe pod względem technologicznym rozwiązania. Wynika stąd konieczność opracowania i rozpowszechnienia wśród osób biorących udział w procesie tworzenia konstrukcji odpowiednich wytycznych, przepisów czy też norm, które pozwolą na jego ujednoczenie i usprawnienie. Niestety, obecnie nie funkcjonują w Polsce odpowiednie zapisy dotyczące zarówno betonu architektonicznego jak i samozagęszczalnego.

Jednakże konsekwencją przystąpienia Polski do Unii Europejskiej jest konieczność wdrożenia norm europejskich. Obecnie w Europejskim Komitecie Normalizacji trwają prace nad normą EN 206-9 *Beton. Dodatkowe przepisy dotyczące betonu samozagęszczalnego (SCC)*, oraz normami towarzyszącymi, które dotyczą badań tej specyficznej mieszanki betonowej. Mimo że norma ta poświęcona jest betonowi samozagęszczalnemu, to jednak nawiązuje do betonu architektonicznego przez sugerowanie parametrów mieszanki bardziej odpowiednich do wykonania elementów o lepszej jakości powierzchni.

Wytyczne, które w pełnijszy sposób dotyczą wykonywania betonu architektonicznego samozagęszczalnego, zawarte są w raporcie *Europejskie wytyczne dla betonu samozagęszczalnego. Specyfikacja, produkcja i zastosowanie*. Został on opracowany przez Self-Compacting European Project Group, w której skład wchodziły m.in. Europejska Organizacja Producentów Betonu Towarowego (ERMCO – The European Ready-mix Concrete Organisation) i Stowarzyszenie Producentów Cementu (CEMBUREAU – The European Cement Association). Zarówno ta publikacja, jak i wiele innych traktujących o betonie architektonicznym i samozagęszczalnym nie są szeroko rozpowszechnione w Polsce, co przy braku unormowań prawnych powoduje brak płaszczyzny do komunikacji pomiędzy inwestorem, projektantem, wykonawcą konstrukcji i dostawcą mieszanki betonowej.

2. Specyfikacja

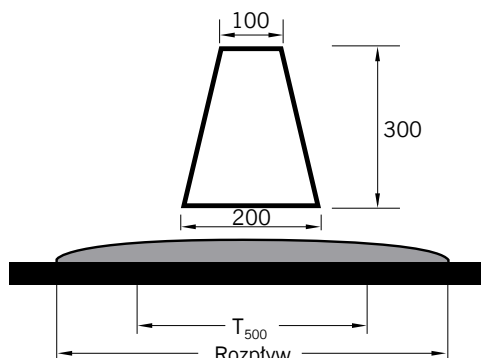
Zastosowanie SCC jako betonu architektonicznego wymaga ścisłej kontroli parametrów mieszanki zarówno w zakładzie, gdzie jest wytwarzana, jak i na placu budowy. Ze względu na specyfikę tego materiału każda dostawa powinna zostać dokładnie przebadana, natomiast rodzaj prowadzonych badań powinien być określony w zależności od sposobu i miejsca jej wbudowania i przeznaczenia. Mieszanka samozagęszczalna bardzo często wymaga dłuższego czasu mieszania niż beton standardowy. Jest to uzależnione od rodzaju i ilości spoiwa, superplastyfikatora, jego kompatybilności z cementem czy też temperatury mieszanki. Na czas mieszania wpływa również rodzaj mieszalnika (krótszy czas osiąga się w mieszalnikach planetarnych, dłuższy w dwuwałowych). Nierzadko ostateczne upłynnienie i uzyskanie innych parametrów następuje dopiero w betonowiezie w trakcie dostawy. W związku z powyższym konieczne jest szczegółowe określenie parametrów, jakie powinna spełniać mieszanka na węźle betoniarskim (bezpośrednio po załadunku) oraz na placu budowy. Wszystko to sprawia, iż interpretacja uzyskanych wyników nie jest łatwa i wymaga dużego doświadczenia.

2.1. Właściwości mieszanki betonowej

Właściwości mieszanki samozagęszczalnej określają cztery podstawowe parametry: rozptyw swobodny, lepkość, chwilowa zdolność płynięcia i odporność na segregację. Dla każdej z tych cech zostały opracowane odpowiednie procedury badawcze; stworzono także odpowiedni system klasyfikacji. Mimo że wszystkie cztery parametry charakteryzują mieszankę samozagęszczalną, to nie zawsze konieczne jest wyspecyfikowanie ich wszystkich. Jest to zależne od zastosowania SCC. Rozptyw swobodny jest zazwyczaj określany dla każdego betonu samozagęszczalnego. Natomiast lepkość, chwilowa zdolność płynięcia i odporność na segregację są określane tylko dla specyficznych warunków. I tak określenie chwilowej zdolności płynięcia nie jest wymagane w przypadku betonu niezbrojonego lub zbrojonego w niewielkim stopniu. Lepkość może mieć duże znaczenie w przypadku, gdy wymagana jest dobra jakość powierzchni – tak jak to dzieje się przy betonie architektonicznym lub gdy wystę-

Tablica 1. Parametry mieszanki i klasy

| Parametr | Oznaczenie klasy | Lista klas |
|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| Rozptyw swobodny | SF (Slump-flow) | 3 |
| Lepkość | VS lub VF (Viscosity) | 3 / 2 |
| Chwilowa zdolność płynięcia | PL (Passing ability) | 2 |
| Odporność na segregację | SR (Segregation resistance) | 2 |



Rys. 1. Rozptyw swobodny

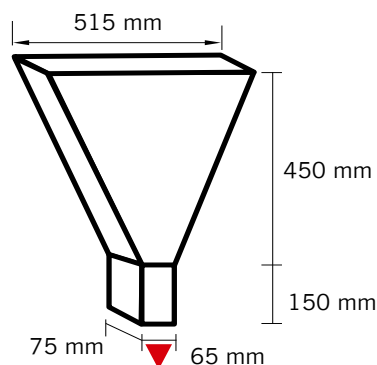
puje bardzo gęste zbrojenie. W innych okolicznościach parametru tego się nie specyfikuje. Natomiast odporność na segregację jest niezwykle istotna w przypadku dużej płynności mieszanki i niskiej jej lepkości, czyli dwóch parametrów, które bardzo często są niezbędne przy wykonywaniu betonu architektonicznego.

2.1.1. Rozptyw swobodny

Najczęstszą metodą sprawdzania, czy beton spełnia kryteria betonu samozagęszczalnego, jest rozptyw mierzony za pomocą stożka Abramsa. Ze względu na specyfikę SCC wprowadzone zostały pewne zmiany. Badanie przeprowadza się na płycie o wymiarach 900 x 900 mm, ustawiając stożek na jej środku. Do chwili obecnej rozpowszechniona była w Polsce metoda polegająca na ustawieniu stożka szerszym otworem do góry, co miało umożliwić łatwiejsze jego napełnienie. Natomiast norma prEN 12350-8 wprowadza ustawienie stożka podobnie jak w tradycyjnej metodzie stożka Abramsa (rys. 1). Oprócz całkowitej szerokości rozptywu mierzy się również czas T500, czyli czas osiągnięcia przez płynącą mieszankę promienia 500 mm.

Klasa SF1 (550–650 mm) przeznaczona jest do betonu niezbrojonego lub o niewielkim zbrojeniu (stropy), wbudowywania za pomocą pompowania iniekcyjnego, wykonywania małych sekcji niewymagających dalekiego płynięcia mieszanki (pale, ściany szczelinowe). Klasa SF2 (660–750 mm) przeznaczona jest do większości standardowych zastosowań (ściany, stupy). Natomiast klasa SF3 (760–850 mm) jest zwykle produkowana z zastosowaniem drobnego kruszywa (poniżej 16 mm) i przeznaczona do wykonania pionowych elementów, o dużym zagęszczeniu zbrojenia, o skomplikowanym kształcie lub do elementów wykonywanych przy zamkniętym deskowaniu. Przy zastosowaniu klasy SF3 uzyskiwane są lepszej jakości powierzchnie niż przy klasie SF2 (fot. 1), lecz wymagane jest zwrócenie większej uwagi na segregację mieszanki. W przypadku wyjątkowych konstrukcji można spotkać się z koniecznością

Fot. 1. Efekt wbudowania mieszanki o zbyt małym rozptywie



Rys. 2. Metoda V-funnel

zastosowania rozptywu powyżej 850 mm, jednakże należy tu zwrócić szczególną uwagę na możliwość rozsegregowania mieszanki oraz na zastosowanie maksymalnego rozmiaru kruszywa, nie większego niż 8 mm.

2.1.2. Lepkość

Lepkość jest oceniana na podstawie wyniku T500 przy pomiarze rozptywu swobodnego lub czasu przepływu w metodzie V-funnel (rys. 2). Uzyskiwany czas nie jest wartością bezpośrednio mierzącą lepkość, natomiast jest sposobem opisu wpływu lepkości na płynięcie mieszanki. Beton o niskiej lepkości zaczyna płynąć bardzo szybko i równie szybko osiąga maksymalną wartość rozptywu, natomiast czas płynięcia mieszanki o dużej lepkości zwykle jest bardzo długi. Klasy VS1/VF1 są zwykle przeznaczone dla betonu gęstożbrojonego. Ze względu na to, że dla tych klas uzyskiwane są lepszej jakości powierzchnie, są one zalecane do betonu architektonicznego, jednakże mieszanka o tych klasach jest bardziej podatna na bleeding i możliwość segregacji (fot. 2). Przy klasach VS2, VF2 i VS3 istnieje ryzyko wystąpienia dużej ilości pęcherzy powietrza na powierzchniach wykonywanych elementów.

2.1.3. Chwilowa zdolność płynięcia

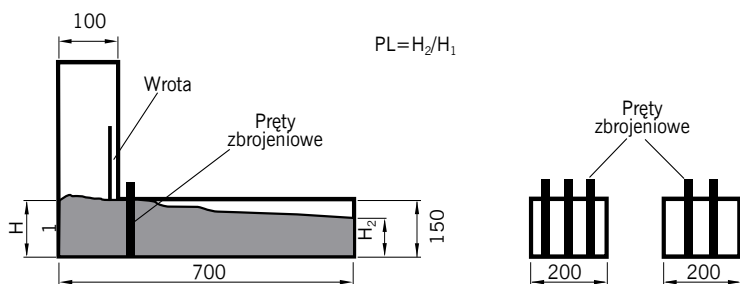
Chwilowa zdolność płynięcia określa zdolność mieszanki do płynięcia w przestrzeniach między prętami zbrojenia oraz między zbrojeniem a deskowaniem bez segregacji, a także bez utraty jednorodności i klinowania się. Parametr ten jest określany za pomocą badania L-box (rys. 3). Polega ono na umieszczeniu mieszanki w pionowej części przyrządu przy zamkniętych wrotach, a następnie otwarciu wrot i pomiarze wysokości mieszanki (po ustaniu płynięcia) w części poziomej i pionowej.

2.1.4. Odporność na segregację

Odporność na segregację jest bardzo ważnym parametrem w przypadku dużego rozptywu swobodnego i/lub niskiej lepkości mieszanki oraz gdy sposób jej wbudo-

Fot. 2. Efekt niskiej lepkości i rozsegregowania mieszanki





Rys. 3. Badanie L-box

wania sprzyja rozsegregowaniu. W przeciwnym razie kontrola tego parametru nie jest konieczna. Metoda ta polega na sprawdzeniu, jaki procent pobranej próbki oddzieli się od całości. Po 15 minutach od umieszczenia w pojemniku 10-litrowej próbki jej górną część przekłada się na sito o oczkach 5 mm. Wynik stanowi stosunek masy materiału, który przepłynął przez sito w czasie 120 s, do masy całej próbki umieszczonej na nim. Klasa SR1 stosowana jest do wykonywania cienkich stropów i elementów pionowych, w których odległość płynięcia jest krótsza niż 5 m, natomiast klasa SR2 preferowana jest dla wysokich elementów, gdzie odległość płynięcia jest większa niż 5 m.

2.2. Skład mieszanki – spoiwo

Ze względu na specyfikę betonu samozagęszczalnego i konieczność zastosowania dużej ilości spoiwa zwykle nie ma problemu spełnienia wytycznych co do minimalnej ilości frakcji do 0,25 mm zalecanej do betonu architektonicznego. Najczęściej w polskich warunkach dużą ilość spoiwa w SCC uzyskuje się przez zastosowanie popiołów lotnych. Rozwiązanie to wybierane jest ze względu na niższy koszt produkcji. Jednakże duża zmienność kolorystyki popiołów lotnych może niekorzystnie wpływać na jednorodność barwy wykonywanych elementów, co nie jest wskazane przy betonie architektonicznym. Ze względu na ten fakt po stronie technologa leży balansowanie pomiędzy zmiennością kolorystyki produkowanej mieszanki wynikającej z zastosowania popiołów lotnych oraz zwiększeniem skurczu i temperatury wewnątrz konstrukcji ze względu na dużą ilość cementu w mieszance.

2.3. Skład mieszanki – stosunek w/c

Beton samozagęszczalny jest wrażliwszy na wszelkie zmiany składu mieszanki, a szczególnie ilości wody. O ile w przypadku betonu architektonicznego zagęszczanego w tradycyjny sposób zmiana tej ilości o 5 litrów na metr sześcienny spowoduje jedynie zmianę kolorystyki betonu, to w przypadku betonu

Tablica 2. Klasy lepkości

| Klasa | T500 [s] | V-funnel [s] |
|---------|-----------|--------------|
| VS1/VF1 | ≤ 2 | < 9 |
| VS2/VF2 | > 2 i ≤ 6 | ≥ 9 i < 25 |
| VS3 | > 6 | - |

Tablica 3. Klasy chwilowej zdolności płynięcia

| Klasa | Dla przestrzeni między prętami 41 mm | Dla przestrzeni między prętami 59 mm |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| PL1 | > 0,8 | - |
| PL2 | - | > 0,8 |

Tablica 4. Klasy odporności na segregację

| Klasa | [%] |
|-------|------|
| SR1 | ≤ 20 |
| SR2 | ≤ 15 |

samozagęszczalnego ilość ta nie tylko wpłynie na barwę betonu, ale również może wpłynąć na rozptył i lepkość mieszanki, a przez to może doprowadzić do rozsegregowania mieszanki lub zwiększenia ilości pęcherzy na powierzchni wykonywanego elementu.

2.4. Skład mieszanki – domieszki napowietrzające

Domieszki napowietrzające stosowane są czasami do stabilizowania mieszanki samozagęszczalnej z niską zawartością spoiwa. Metoda ta jest rozpowszechniona w krajach skandynawskich. Ze względu na fakt, że ilość powietrza w betonie wpływa na jego kolorystykę (zwiększenie powietrza powoduje uzyskanie jaśniejszej barwy), unika się stosowania napowietrzania w betonie architektonicznym. Jednakże w przypadku, gdy jest ono konieczne ze względu na warunki, w jakich ma beton funkcjonować (np. klasa ekspozycji XF2 – elementy pionowe narażone na zamrażanie i działanie środków odladzających), należy zwrócić szczególną uwagę na stabilny poziom napowietrzenia oraz liczyć się z możliwością wystąpienia większej ilości pęcherzy powietrza na powierzchni wykonywanych elementów w przypadku niewłaściwego dobrania środka napowietrzającego.

3. Przygotowanie placu budowy

W przypadku samozagęszczalnego betonu architektonicznego wytyczne co do przygotowania deskowania są identyczne jak dla betonu zagęszczanego w tradycyjny sposób. Należy zwrócić szczególną uwagę na czystość i szczelność deskowania. Ze względu na właściwości mieszanki samozagęszczalnej trzeba liczyć się z odwzorowaniem na powierzchni betonu wszelkich niedoskonałości deskowania (należy wziąć pod uwagę zmianę deskowania po kilku użyciach lub obicie go nową sklejką), bądź też zmianę kolorystyki betonu ze względu na wypłynięcie betonu lub mleczka przez wszelkie pozostawione otwory i szpary. Podobnie jest w przypadku użycia środka antyadhezyjnego. Zasada jego stosowania jest identyczna jak dla standardowego betonu architektonicznego. Należy zwrócić szczególną uwagę na naniesienie go w możliwie jak najmniejszej ilości.

3.1. Pompowanie od dołu deskowania

Ze względu na swoje właściwości beton samozagęszczalny pozwala na nową metodę wbudowywania mieszanki przez pompowanie od dołu deskowania (rys. 4). W tym rozwiązaniu pompa jest podłączona do deskowania przez zasuwę i specjalny kołnierz. Po wbudowaniu mieszanki zasuwę jest zamykana, by nie nastąpił efekt cofnięcia mieszanki. Zwykle kołnierz instalowany jest pośrodku szerokości elementu. W przypadku długich obiektów istnieje możliwość podawania mieszanki do dwóch kołnierzy jednocześnie przez trójnik dzielący strumień mieszanki. Zastosowanie pompowania od dołu jest szczególnie korzystne w przypadku SCC architektonicznego, ze względu na uzyskiwanie lepszej jakości powierzchni o mniejszej ilości przebarwień i pęcherzy. Mimo korzyści, jakie niesie ze sobą ten rodzaj wbudowywania mieszanki, nie jest on w Polsce rozpowszechniony. Wynika to z faktu, że dostęp do deskowań z oryginalnie zamontowanym kołnierzem jest bardzo ograniczony. W związku z tym konieczne jest dorabianie odpowiednich elementów we własnym zakresie.

4. Podstawowe błędy powierzchni

Błędy, jakie można obserwować na powierzchniach betonu samozagęszczalnego, są identyczne jak te

dla betonu zagęszczanego w tradycyjny sposób. Część z nich jednakże związana jest ściśle z właściwościami betonu samozagęszczalnego. Najczęściej spotykane zostały przedstawione w tabeli 5.

5. Podsumowanie

Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na beton architektoniczny, jaki obserwujemy w Polsce w ostatnich latach, następuje większe zainteresowanie betonem samozagęszczalnym. Jest to spowodowane koniecznością sprostania wzrastającym wymaganiom stawianym przez architektów i inwestorów. Jest to również związane z postępującym odpływem za granicę wykwalifikowanych pracowników mających doświadczenie w wykonywaniu betonu architektonicznego. Dotychczas wykonawcy, szukając nowych, ułatwiających pracę rozwiązań, sięgali po beton samozagęszczalny jedynie wówczas, gdy istniało bardzo duże ryzyko dla uzyskania idealnej powierzchni przy zastosowaniu betonu zagęszczanego w tradycyjny sposób. Jednakże wzrost świadomości kadry inżynierskiej co do właściwości betonu samozagęszczalnego i możliwości, jakie niesie ze sobą ten produkt, coraz częściej wpływa na decyzję o jego zastosowaniu także w innych przypadkach. Duże zainteresowanie samozagęszczalnym betonem architektonicznym czy też samym SCC wśród producentów mieszanki betonowej i dostawców domieszek można obserwować już od kilku lat. Jednakże brak odpowiednich norm i wysokie koszty materiałowe przy niskich jednocześnie kosztach robocizny w Polsce skutecznie hamowały rozpowszechnienie tych produktów. Wzrost płać w sektorze budowlanym, jaki nastąpił w ostatnich latach, opracowanie norm europejskich dotyczących betonu samozagęszczalnego oraz wzrastające zapotrzebowanie na beton architektoniczny powodują, iż wysiłki, jakie są czynione w celu rozpowszechnienia tej grupy mieszanek betonowych, będą w najbliższych latach przekładały się na znaczący wzrost produkcji zarówno SCC, jak i samozagęszczalnego betonu architektonicznego w Polsce.

Krzysztof Kuniczuk

Literatura

- 1 The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use, May 2005
- 2 prEN 206-9 Concrete – Part 9: Additional Rules for Self-compacting Concrete (draft), CEN, November 2007
- 3 prEN 12350-8 Testing fresh concrete – Part 8: Self-compacting Concrete – Slump-flow test (draft), CEN, November 2007
- 4 prEN 12350-9 Testing fresh concrete – Part 9: Self-compacting Concrete – V-funnel test (draft), CEN, November 2007
- 5 prEN 12350-10 Testing fresh concrete – Part 10: Self-compacting Concrete – L-box test (draft), CEN, November 2007
- 6 prEN 12350-11 Testing fresh concrete – Part 11: Self-compacting Concrete – Sieve segregation test (draft), CEN, November 2007
- 7 Y. Zhang, Methodology for Aesthetic Repair and Rehabilitation of Architectural Concrete, University of Johannesburg, February 2005
- 8 J.R. Densyemtr. Barriers to The Application of Cast-in-place Self-Compacting Concrete, 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, September 2007, Ghent, Belgium

Tablica 5. Przyczyny powstawania pęcherzy powietrza

| Rodzaj błędu | Podstawowa przyczyna | Praktyczna przyczyna | Sposób zapobiegania |
|--------------------|----------------------|--|---|
| Pęcherze powietrza | Zamknięcie powietrza | Zbyt szybkie wbudowanie | Zapewnić stałe tempo wbudowywania |
| | | Zbyt długi odcinek płynięcia | Ograniczyć płynięcie do 5 m |
| | | Zbyt krótki odcinek płynięcia | Wydłużyć płynięcie do min. 1 m |
| | Zamknięcie wody | Zbyt duża wysokość zrzucania mieszanki | Ograniczyć wysokość zrzucania < 1 m Użyć elastycznego kołnierza Zastosować pompowanie od dołu |
| | | Zbyt wysoka lepkość | Ograniczyć ilość superplastyfikatora Zweryfikować skład mieszanki |
| | | Zbyt mały rozptyw | Zwiększyć ilość superplastyfikatora Zweryfikować skład mieszanki |

Tablica 6. Przyczyny powstawania smug

| Rodzaj błędu | Podstawowa przyczyna | Praktyczna przyczyna | Sposób zapobiegania |
|---|----------------------|--|---|
| Pionowe smugi lub widoczne miejsca wypłukane na powierzchni | Bleeding | Zbyt wysokie w/c Zbyt niska lepkość | Zwiększyć ilość superplastyfikatora Zwiększyć ilość drobnych frakcji |

Tablica 7. Przyczyny zmiany kolorystyki

| Rodzaj błędu | Podstawowa przyczyna | Praktyczna przyczyna | Sposób zapobiegania |
|--------------------|------------------------------------|--|---|
| Zmiana kolorystyki | Różnice w poszczególnych dostawach | Zbyt szybkie wbudowanie | Zapewnić stałe tempo wbudowywania |
| | | Zbyt długi odcinek płynięcia | Ograniczyć płynięcie do 5 m |
| | | Zbyt krótki odcinek płynięcia | Wydłużyć płynięcie do min. 1 m |
| | | Zbyt duża wysokość zrzucania mieszanki | Ograniczyć wysokość zrzucania < 1 m Użyć elastycznego kołnierza Zastosować pompowanie od dołu |
| | | Zbyt wysoka lepkość lub zbyt długi czas T500 | Ograniczyć ilość superplastyfikatora Zweryfikować skład mieszanki |
| | | Zbyt mały rozptyw | Zwiększyć ilość superplastyfikatora Zweryfikować skład mieszanki |

- 9 F. Cussigh: A Set of European Standards For SCC, 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, September 2007, Ghent, Belgium
- 10 Beton architektoniczny. Wytyczne Federalnego Stowarzyszenia Producentów Cementu dotyczące przetargów, wykonania i odbiorów betonu o zmodyfikowanych wymaganiach optycznych, Köln 1997
- 11 M. Bernabeu: Form-system and Surface Quality, 2000

Rys. 4. Schemat podawania mieszanki od dołu elementu

