

Technologiczne, ekologiczne i ekonomiczne uwarunkowania stosowania betonu samozagęszczalnego

Technological, ecological and economic conditions for the use of self-compacting concrete

prof. dr hab. inż. Jacek Gołaszewski (ORCID: 0000-0003-4110-5581),
Katedra Inżynierii Procesów Budowlanych i Fizyki Budowli, Politechnika Śląska w Gliwicach

DOI 10.5604/01.3001.0016.2705

Streszczenie: Rozwój współczesnej technologii betonu przebiega w kierunku uzyskania betonu o minimalnym wpływie na środowisko, wytrzymałego, trwałego, możliwie samoobsługowego w wykonaniu i użytkowaniu oraz o szczególnych, dodatkowych funkcjonalnościach. Do takich betonów zalicza się beton samozagęszczalny BSZ. W artykule omówiono i przedyskutowano techniczne, ekonomiczne i ekologiczne aspekty stosowania betonu samozagęszczalnego w odniesieniu do całego cyklu życia konstrukcji. Pokazano, że chociaż koszt betonu samozagęszczalnego może być większy, jego stosowanie umożliwia obniżenie pracochłonności i energochłonności procesu betonowania oraz umożliwia uzyskanie mniej materiałochłonnych i trwalszych konstrukcji betonowych o dłuższym okresie użytkowania. Przedyskutowano proekologiczny aspekt technologii betonu samozagęszczalnego, w tym szczególnie możliwości wykorzystania różnych materiałów odpadowych i z recyklingu.
Słowa kluczowe: beton, technologia, konstrukcje, beton samozagęszczalny BSZ.

Abstract: The development of concrete technology is proceeding in the direction of obtaining concrete with minimal environmental impact, strong and durable and as self-service as possible to make and use, and with special additional functionalities. Such concretes include self-compacting concrete. The article reviews and discusses the technical, economic and environmental aspects of using self-compacting concrete in relation to the life cycle of the structure. It is shown that although the cost of self-compacting concrete may be higher, its use makes it possible: to reduce the labor and energy consumption of the concreting process and to obtain less material-intensive and more durable concrete structures with a longer service life. The pro-environmental aspect of self-compacting concrete technology was discussed, especially including the possibility of using various waste and recycled materials.

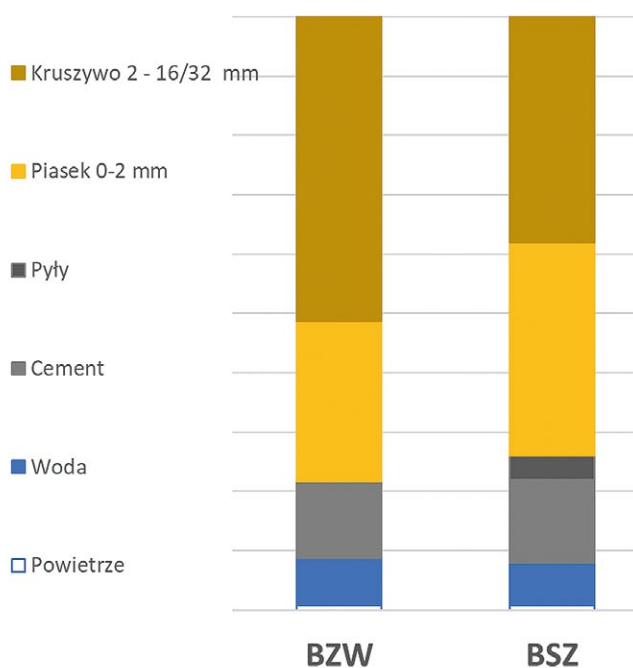
Keywords: concrete, technology, structures, BSZ self-compacting concrete.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z normą PN-EN 206 [1] beton samozagęszczalny (BSZ) definiuje się jako beton, który pod własnym ciężarem rozplywa się i zagęszcza, wypełnia deskowanie ze zbrojeniem, kanały, ramy itp., zachowując jednorodność. Beton BSZ może być stosowany w takim samym zakresie jak beton zagęszczany wibracyjnie (BZW), a różni się od niego tym, że dobór jego składu i składników jest podporządkowany uzyskaniu mieszanki o właściwościach umożliwiających spełnienie ww. warunków. Kwestie projektowania betonu BSZ i specyfiki jego składu omówiono szeroko np. w [2–5], a porównanie typowych składów BSZ i BZW przedstawiono na rysunku 1. Technologia betonu BSZ opiera się ogólnie na tych samych zasadach co betonu BZW, może być więc postrzegana jako jej uzupełnienie – zasady i wymagania określone m.in. w normach PN-EN 206 [1] i PN-EN 13670 [6] pozostają niezmienione, konieczne jest natomiast ich uszczegółowienie. Różnice w technologii BSZ i BZW wynikają przede wszystkim z braku zagęszczania mechanicznego i ze zdecydowanie większej wrażliwości mieszanki BSZ na zmienność składników, składu, procedur i warunków

technologicznych. Specyfikę technologii betonu BSZ omówiono szczegółowo m.in. w [2–4]. Projektant i wykonawca betonu powinien ją uwzględnić, gdyż tylko wtedy będzie możliwe pełne wykorzystanie potencjału, jaki tkwi w technologii BSZ. Właściwości stwardniałych betonów BSZ i BZW nie różnią się od siebie istotnie, ewentualne różnice wynikają ze specyfiki składu betonu BSZ (rys. 1), a zwłaszcza dużej ilości zaczynu i frakcji pyłowych oraz małej ilości wody i niskiego w/c. Kwestie te szeroko przeanalizowano w bardzo licznych pracach, przy czym na szczególną uwagę zasługują prace monograficzne [2–4].

Dotychczasowe doświadczenia z zastosowania praktycznego betonów BSZ dowodzą, że dzięki specjalnym właściwościom ich mieszanki możliwe jest uzyskanie znacznych korzyści technicznych [2–4]. Dotyczy to zwłaszcza prefabrykacji, w której beton BSZ jest akceptowany i traktowany już jako typowe rozwiązanie technologiczne. W budownictwie monolitycznym BSZ pozostaje szczególnym rozwiązaniem projektowym i technologicznym o relatywnie dużym stopniu ryzyka, wymagającym wysiłku organizacyjnego i uwzględnienia szeregu dodatkowych wymagań oraz ograniczeń.



Rys. 1. Porównanie typowych składów BSZ i BZW

W artykule przedstawiono i przedyskutowano najważniejsze ekonomiczne, ekologiczne i technologiczne aspekty stosowania betonów BSZ w odniesieniu do poszczególnych etapów cyklu życia konstrukcji betonowej – projektowania, wykonania, użytkowania i rozbiórki.

2. Beton BSZ a projektowanie

Proces projektowania betonu BSZ jest bardziej skomplikowany niż BZW, przede wszystkim ze względu na dużą liczbę składników, konieczność wykonania większej liczby prób próbnymi oraz potrzebę weryfikacji powtarzalności właściwości mieszanki BSZ na zmiany składu i warunków technologicznych. Ma to jednak pomijalny wpływ na koszty produkcji betonu. Jak wskazano na rysunku 1, skład betonu BSZ różni się od składu betonu BZW przede wszystkim mniejszą ilością wody, zwiększoną zawartością frakcji pyłowych (spoiwo, dodatki mineralne i mączki, kruszywo frakcji mniejszej niż 0,125 mm), mniejszą ilością kruszywa grubego oraz większym punktem piaskowym. Z tego względu, i z uwagi na wyższe wymagania jakościowe, koszt materiałów w BSZ jest zwykle większy niż BZW. Różnice w składzie są szczególnie duże w przypadku betonów niższych klas i zanikają wraz ze wzrostem klasy betonu, różnice w koszcie pomiędzy BSZ i BZW wyższych klas są pomijalne. Wzrost kosztów BSZ można w pewnym stopniu kontrolować poprzez ograniczanie ilości cementu na rzecz tańszych dodatków mineralnych lub stosowanie materiałów odpadowych i z recyklingu (co jednak jest, jak wskazano poniżej, problematyczne); w pewnych przypadkach beton BSZ może być nawet tańszy [7], co w praktyce jednak jest trudne do uzyskania.

Dzięki stosowaniu betonu BSZ można projektować skomplikowane, innowacyjne elementy i konstrukcje z betonu, o dużej ilości zbrojenia i złożonych kształtach, a przy tym smuklejsze i dzięki temu lżejsze niż z betonu BZW. Umożliwia to również zmniejszenie zużycia betonu w konstrukcji, a tym samym jej kosztu. Obok korzyści technicznych niezwykle istotne są także nowe możliwości, jakie daje BSZ w zakresie swobody architektonicznego kształtowania elementów i konstrukcji z betonu, w tym także w zakresie wykończenia ich powierzchni. Stosowanie BSZ rozszerza również zakres wykorzystania betonu w konstrukcjach o wysokich wymaganiach architektonicznych. W tym aspekcie stosowanie betonu BSZ ma bez wątpienia bardzo pozytywny wpływ środowisko funkcjonowania człowieka, choć jest on trudny do wyrażenia w wymiarze ekonomicznym.

3. Beton BSZ a procesy produkcji i wykonania betonu

Produkcja betonu BSZ powinna odbywać się w wytwórniach wyposażonych w automatyczną kontrolę wilgotności kruszywa oraz kontrolę mocy pobieranej w trakcie mieszania, wymaga dodatkowej powierzchni składowania (większa liczba składników oraz konieczność osobnego składowania różnych partii materiałów), mieszalnika zapewniającego efektywne i szybkie mieszanie oraz odpowiednio wyposażonego laboratorium zakładowego do kontroli jakości składników i betonu. Przy wdrożeniu do produkcji betonu BSZ może być konieczna modernizacja istniejącej betonowni. Wymagane mogą być również dodatkowe, specjalne szkolenia pracowników ze względu na specyfikę technologii betonu BSZ. Konieczne jest również zapewnienie odpowiedniej obsługi laboratoryjnej umożliwiającej stałą ocenę i kontrolę jakości betonu BSZ. Uruchomienie produkcji i produkcja mieszanki BSZ wiąże się więc z poniesieniem dodatkowych kosztów. Jednak w większości jest to koszt ponoszony jednorazowo i przy normalnej skali produkcji jego wpływ na koszt betonu nie jest znaczący.

Czas cyklu mieszania BSZ nie odbiega od czasu mieszania BZW, a więc wydajność produkcji jest analogiczna. Można się natomiast spodziewać, że względu na większą płynność mieszanki BSZ, mniejszego zużycia sprzętu i tym samym mniejszych nakładów na jego utrzymanie.

Koszty związane kontrolą jakości BSZ są wyraźnie większe niż betonu BZW. Wynika to z konieczności:

- wzmożonej kontroli właściwości materiałów i jakości produkcji (badania kontrolne każdej nowej partii składników betonu),
- konieczności częstego korygowania składu ze względu na dużą wrażliwość BSZ na zmiany właściwości składników i/lub warunków wykonywania betonu, w tym nadzoru nad betonowaniem in situ.

Biorąc pod uwagę powyższe warto zauważyć, że dla producenta betonu towarowego stosowanie betonu BSZ nie

musi być jednoznacznie korzystne ekonomicznie i wiąże się z koniecznością poniesienia szeregu dodatkowych kosztów i zwiększonym ryzykiem technologicznym. Jednocześnie jednak należy wziąć pod uwagę istotną wartość dodaną, jaką jest możliwość zaoferowania odbiorcy (projektantowi, wykonawcy, inwestorowi) materiału pozwalającego spełnić jego wymagania.

Główną zaletą stosowania BSZ jest oczywiście ułatwione układanie i zagęszczanie mieszanki, zwłaszcza w elementach i konstrukcjach o gęstym zbrojeniu i skomplikowanym kształcie. Dzięki BSZ uzyskuje się skrócenie czasu betonowania i zmniejszenie liczby zatrudnionych robotników, a w konsekwencji wyraźne zmniejszenie nakładów pracy (rys. 2). Szczególnie korzystne jest stosowanie betonu BSZ do wykonania płyt, gdyż w tym przypadku nie tylko w pełni można wykorzystać możliwość szybkiego betonowania, ale również znacząco ograniczyć pracochłonny proces wykończenia powierzchni. Szybsze układanie mieszanki pozwala lepiej zorganizować jej dostawy i zredukować liczbę potrzebnego do tego sprzętu. Stosowanie BSZ ułatwia uzyskanie wysokiej jakości wykończenia powierzchni betonu i znacząco ogranicza lub nawet eliminuje konieczność wykonywania kosztownych i pracochłonnych poprawek. Analiza przykładów realizacji konstrukcji monolitycznych przedstawiona w [2, 4] wykazuje, że zależnie od rodzaju elementu i wielkości robót możliwe jest skrócenie czasu betonowania o 30–50%, liczby pracowników o 50–70%, a liczby roboczogodzin o 30–66%.

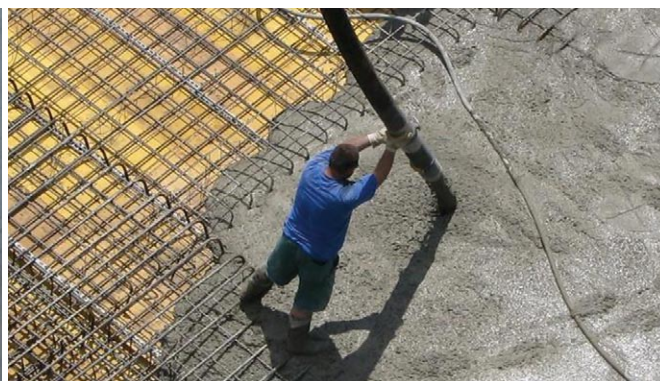
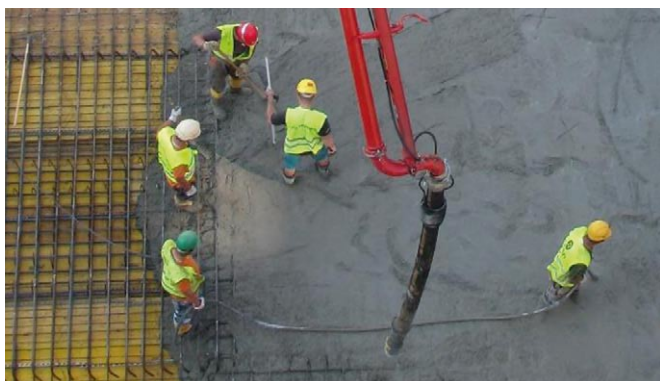
Wyeliminowanie zagęszczania wibracyjnego w prefabrykacji pozwala na uproszczenie form i zmniejszenie kosztów ich utrzymania, ograniczenie ilości sprzętu i potrzebnych instalacji, zmniejszenie zużycia sprzętu i kosztów jego utrzymania. Z danych dostępnych w [6] wynika, że stosowanie BSZ w prefabrykacji prowadzi do zmniejszenia zatrudnienia przy produkcji elementów od 15 do 50%, czasu ich wykonania o ok. 20% i w konsekwencji pracochłonności od 30 do 60%. Ważną korzyścią, podkreślaną przez producentów prefabrykatów, jest wysoka jakość wykończenia powierzchni elementów z BSZ, co ogranicza potrzebę wykonywania kosztownych i pracochłonnych poprawek, zmniejszając nakłady pracy w tym zakresie nawet o 90%.

Według [5] potencjalne korzyści wynikające z eliminacji wibracji dzięki stosowaniu BSZ wynoszą: zużycie energii 10%, koszt form 20%, koszt utrzymania sprzętu 10%, koszty zdrowotne (zwolnienia lekarskie pracowników) 10%.

Należy podkreślić, że wszystkie wyżej wymienione korzyści zależą od specyfiki warunków danej budowy czy zakładu prefabrykacji, specyfiki wykonywanych konstrukcji lub elementów prefabrykowanych i w wymiarze ekonomicznym mogą być bardzo różne. Wykonawca lub producent stosując BSZ, może więc nie tylko ograniczyć koszty, ale również lepiej zarządzać posiadanym lub wynajmowanym sprzętem, może tworzyć rezerwy czasowe lub przyspieszyć ukończenie obiektu (to oczywiście zależy od udziału robót betonowych w całości robót). W tym ostatnim przypadku beneficjentem może być również inwestor, który szybciej będzie korzystał z obiektu. Mniejsza energochłonność robót betonowych oraz mniejsze zużycie sprzętu przyczyniają się do uzyskania korzyści ekologicznych, są one jednak trudne do jednoznacznego określenia.

Wdrożenie technologii BSZ eliminuje wibrację i redukuje hałas, co przyczynia się do istotnej poprawy warunków pracy i zwiększenia bezpieczeństwa, zwłaszcza w prefabrykacji. Mniejszy hałas poprawia komunikację pomiędzy robotnikami, co zmniejsza ryzyko nieporozumień i wynikających z nich błędów. Mniejsza liczba sprzętu i pracowników zatrudnionych w procesach układania mieszanki BSZ zmniejsza ryzyko wypadków i kontuzji. Dzięki temu mniejsze są koszty wynikające z problemów zdrowotnych pracowników (mniej zwolnień lekarskich, mniejsze koszty ubezpieczeń i odszkodowań), choć dość trudno to zmniejszenie oszacować liczbowo.

Uzyskanie wskazanych powyżej korzyści ze stosowania BSZ wymaga jednak dodatkowych działań i poniesienia pewnych dodatkowych nakładów, wynikających przede wszystkim z konieczności uwzględnienia specyfiki technologii i składu BSZ. Przede wszystkim mieszanka BSZ w momencie jej układania w deskowaniach musi charakteryzować się założonymi w projekcie właściwościami i spełniać ustalone wymagania rozpląwu, lepkości, zdolności do przepływu i odporności na segregację, a ponadto zwykle wymagane jest ciągle betonowanie. W związku



Rys. 2. Betonowanie betonem BZW (po lewej) i betonem BSZ

Fot. Jacek Golaszewski

z tym konieczne jest ściśle przestrzeganie założonego dla danej mieszanki czasu transportu oraz zapewnienie rytmicznych jej dostaw. Ze względu na dużą płynność i brak konieczności zagęszczania mechanicznego czas układania BSZ w deskowaniach jest krótszy od betonu tradycyjnego. Wszystko to sprawia, że wymagania organizacyjne do spełnienia przy wykonywaniu BSZ są większe niż przy wykonywaniu betonu zwykłego, margines błędu znacznie mniejszy, w pewnych przypadkach konieczne może być również zapewnienie rezerwy sprzętowej na czas prowadzenia robót. Pracownicy muszą być dodatkowo przeszkoleni ze względu na specyfikę technologii betonu BSZ. Wymaga to zwiększonych nakładów organizacyjnych, czasem również większych nakładów sprzętowych.

Mieszanki o dużej płynności, choć łatwiejsze w układaniu, jednocześnie wywierają znacznie większe parcie boczne na deskowania. Stosowanie BSZ może powodować konieczność stosowania wzmocnionych deskowań (większa liczba ściągów i podpór) i/lub wolniejszej prędkości układania mieszanki, zwłaszcza w przypadku wykonywania wysokich elementów. Przy stosowaniu mieszanek BSZ deskowania projektuje się często przy założeniu pełnego parcia hydrostatycznego. Adekwatnie do zastosowanych wzmocnień wzrasta koszt wykonania deskowań, na co składa się zwiększenie liczby elementów deskowań, jak i pracochłonności ich montażu. Ponadto przy stosowaniu mieszanki BSZ konieczne jest doszczelnienie deskowań, co dodatkowo zwiększa nakłady pracy przy ich montażu i demontażu oraz czyszczeniu (nawet do 5%) oraz zwiększa zużycie materiałów dodatkowych (do 1% kosztów deskowań). Należy również zwrócić uwagę, że w przypadku elementów pionowych, ze względu na zwiększone parcie mieszanki i konieczność odpowiedniego jej odpowietrzenia, prędkość układania mieszanki betonowej może nie odbiegać od prędkości układania mieszanek BZW.

Jak już stwierdzono, większe zastosowanie beton BSZ znajduje w prefabrykacji. Wynika to z przede wszystkim z warunkowań technologiczno-organizacyjnych: Po pierwsze, stałość warunków produkcji w prefabrykacji ułatwia kontrolę jakości i produkcję betonu BSZ o powtarzalnych właściwościach; w zmiennych warunkach występujących przy realizacji konstrukcji monolitycznych na budowie jest to bez porównania trudniejsze i wymaga od producenta betonu i wykonawcy dużej dojrzałości technologicznej i organizacyjnej. Po drugie, wyeliminowany jest transport mieszanki na duże odległości, dzięki czemu nie występują problemy technologiczne i organizacyjne związane z zapewnieniem odpowiedniej płynności mieszanki w chwili jej układania. Po trzecie, betony BZW stosowane w prefabrykacji projektuje się tak, aby uzyskać dużą wytrzymałość wczesną, a skład takich betonów nie różni się znacząco od składu BSZ. W związku z tym koszt BZW i BSZ w prefabrykacji jest zbliżony, inaczej niż w przypadku typowych betonów stosowanych w budownictwie monolitycznym

gdzie koszt BSZ może być wyraźnie większy niż betonu BZW. I wreszcie, w prefabrykacji zwykle nie ma podziału na osobnego producenta betonu i wykonawcę konstrukcji, a za efekt końcowy w postaci prefabrykatu odpowiedzialny jest ten sam producent.

Warto wreszcie zauważyć znaczenie technologii betonu BSZ w kontekście wprowadzenia robotyzacji/automatyzacji do procesów budowlanych, co jest obecnie jednym z priorytetowych kierunków badawczo-rozwojowych. Dąży się do zastępowania coraz trudniej dostępnej i coraz droższej pracy ludzkiej pracą automatów lub robotów, co prowadzi do obniżenia kosztów przy jednoczesnym zwiększeniu jakości i wydajności produkcji oraz bezpieczeństwa pracy. Możliwość eliminacji procesu zagęszczania przy wykonaniu elementów i konstrukcji betonowych jest tutaj jednym z ważniejszych problemów, który można rozwiązać dzięki wdrożeniu BSZ.

Podsumowując, beton BSZ charakteryzuje się większym kosztem materiałów niż BZW, wymaga zwiększonych nakładów w trakcie projektowania i stałego nadzoru i korygowania składu w trakcie produkcji. Wszystko to powoduje, że koszt jednostkowy metra sześciennego BSZ może być większy niż betonu BZW, przy czym im większa klasa betonu, tym ta różnica jest mniejsza. Mniejsze są natomiast koszty wykonania betonu BSZ, tylko w przypadku wykonywania wysokich pionowych konstrukcji koszt ich wykonania może być zbliżony (ze względu na zwiększony koszt deskowania przy stosowaniu BSZ). Analizę ekonomiczną zasadności stosowania betonu BSZ powinno się przeprowadzać uwzględniając specyfikę danego przypadku i poziom technologiczny wykonawcy. Należy przy tym przypomnieć, że zasadność stosowania betonu BSZ nie wynika tylko z kosztu jego wykonania, ale przede wszystkim z efektów ekonomicznych i użytkowych eksploatacji wykonanej z niego konstrukcji.

4. Beton a koszt użytkowania konstrukcji

Zbliżony do składu betonów wysokowartościowych skład BSZ, w połączeniu ze zdolnością jego mieszanki do płynięcia i szczelnego wypełniania form dają możliwość uzyskania materiału o dużej szczelności oraz elementów i konstrukcji pozbawionych wad i uszkodzeń. Skutkuje to poprawą trwałości betonu w konstrukcji, co pozwala na wydłużenie cyklu jej użytkowania i zmniejszenie nakładów na utrzymanie. Dotyczy to zwłaszcza konstrukcji i elementów o skomplikowanych kształtach i/lub z dużą ilością zbrojenia, w przypadku których prawidłowe ułożenie i zagęszczanie mieszanki w tradycyjny sposób jest problematyczne. Stosowanie betonu BSZ daje jednak tylko potencjalną możliwość uzyskania tych korzyści. Czy i na ile zostanie ona wykorzystana, zależy od umiejętności projektanta konstrukcji i betonu, dojrzałości technologicznej i organizacyjnej producenta i wykonawcy BSZ oraz od specyfiki

danej realizacji. Szczególnie należy tutaj podkreślić znaczenie pielęgnacji BSZ, która musi być dobrze dostosowana do warunków dojrzewania i starannie prowadzona w całym wymaganym jej okresie.

5. Ekologiczne aspekty stosowania BSZ

Stosowanie każdego materiału, w tym również betonu BSZ należy rozpatrywać nie tylko w aspekcie technicznym czy ekonomicznym, ale również w odniesieniu do idei zrównoważonego rozwoju. Wiąże się ona w budownictwie przede wszystkim z:

- obniżeniem zapotrzebowania na surowce i energię w całym cyklu życia obiektu;
- zwiększeniem trwałości materiałów budowlanych i przedłużeniem okresu użytkowania obiektów;
- możliwością wykorzystania surowców odpadowych do produkcji materiałów i wznoszenia obiektów budowlanych oraz ponownym wykorzystaniem materiałów i elementów budowlanych po rozebraniu obiektu;
- minimalizacją wpływu procesów budowy, użytkowania i utylizacji obiektu na środowisko naturalne.

Generalnie beton, niezależnie od sposobu jego zagęszczania, dobrze spełnia powyższe wymagania, będąc jednym z bardziej zrównoważonych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w budownictwie. Stosowanie BSZ dodatkowo przyczynia się do zmniejszenia wpływu procesów budowy, użytkowania i utylizacji obiektu na środowisko naturalne.

Dzięki BSZ produkcja betonu staje się mniej pracochłonna i energochłonna, co zmniejsza negatywny wpływ procesów wznoszenia obiektów budowlanych na środowisko. Stosowanie BSZ przyczynia się do zdecydowanej poprawy warunków bezpieczeństwa i higieny pracy, a zwłaszcza wyeliminowania szkodliwej wibracji oraz hałasu. Dzięki temu mniejsze są koszty wynikające z problemów zdrowotnych pracowników (mniejsza liczba zwolnień, mniejsze koszty ubezpieczeń i odszkodowań). Stosowanie BSZ ułatwia produkcję betonu o dużej wytrzymałości i trwałości. Dzięki temu można wydłużyć okres eksploatacji konstrukcji z betonu. Ważny jest również korzystny wpływ stosowania BSZ na walory architektoniczne konstrukcji betonowych.

Powszechnie uważa się, że do produkcji betonu można szeroko wykorzystywać różnego rodzaju surowce odpadowe i z recyklingu, w tym zwłaszcza te uciążliwe dla środowiska i zalegające na składowiskach. Takie podejście, niewątpliwie słuszne w założeniach, w praktyce jest jednak problematyczne ze względów technicznych, technologicznych i ekonomicznych, a w wielu przypadkach również ekologicznych. Dotyczy to zwłaszcza BSZ, w przypadku którego jakość stosowanych składników ma kluczowe znaczenie dla prawidłowego wykonania. Konieczność spełnienia warunków samozagęszczalności generuje potrzebę stosowania

w BSZ zwieszanej ilości frakcji pylastych. Stwarza to potencjał do intensywnego wykorzystania jako frakcji pylastych i zamiennika części cementu materiałów odpadowych i z recyklingu. Korzyści ekologiczne zależą jednak w tym przypadku wprost od ilości i rodzaju stosowanych dodatków i stopnia suplementacji nimi cementu. Na skalę przemysłową do BSZ stosowane są obecnie głównie mączki kamienne i popioły lotne spełniające wymagania normy PN-EN 206 [1]. W literaturze dostępne są bardzo liczne badania wskazujące na możliwość stosowania innych materiałów, np. popiołów fluidalnych, popiołów lotnych wapiennych [10], zmielonych odpadów z przemysłu ceramicznego, szklanego, metalurgicznego, pyłów z rozbiórki konstrukcji betonowych i wielu innych. Jednak w praktyce do stosowania tych materiałów konieczne jest pokonanie szeregu istotnych barier:

- technologicznych (zwłaszcza duża i niekontrolowana zmienność właściwości materiałów odpadowych i ograniczona, lokalna ich dostępność, konieczność kosztownej i energochłonnej waloryzacji),
- poznawczych (konieczne jest jednoznaczne określenie wpływu materiałów odpadowych na właściwości stwardniałego betonu, co wymaga szerokich i długotrwałych, a więc kosztownych badań) oraz
- formalnych (brak instrukcji, norm i innych dokumentów odniesienia).

6. Technologiczne aspekty stosowania BSZ

Technologia betonu BSZ opiera się na ogólnych zasadach i wymaganiach określonych w normach PN-EN 206 [1] i PN-EN 13670 [6], w pewnych aspektach konieczne jest jednak ich uszczegółowienie.

Przy produkcji betonu BSZ szczególnie ważna jest kontrola wilgotności kruszywa i adekwatna do tego korekta ilości dodawanej do mieszanki wody. Najwygodniejszym rozwiązaniem są systemy automatycznego pomiaru wilgotności kruszywa. Określone w normie PN-EN 206 [1] tolerancje dokładności dozowania składników są przy produkcji BSZ wystarczające. Czas i intensywność mieszania, objętość zarobu i kolejność dodawania składników powinny być optymalizowane doświadczalnie dla danej mieszanki i mieszalnika oraz ściśle przestrzegane w trakcie produkcji. Do kontroli konsystencji i powtarzalności produkcji mieszanki BSZ mogą być stosowane urządzenia do pomiaru mocy pobieranej przez silnik mieszalnika w trakcie mieszania. Urządzenia takie, w które wyposażone są nie tylko mieszalniki stacjonarne, ale również mieszalniki samochodowe dobrze sprawdzają się przy produkcji mieszanek BSZ, umożliwiając kontrolę konsystencji, powtarzalności właściwości mieszanki, jak również kontrolę jej składu, w tym zwłaszcza ilości dodawanej wody.

Przy betonowaniu BSZ istnieje możliwość wystąpienia pełnego parcia hydrostatycznego na deskowania. Wymusza

to stosowanie wzmocnionych deskowań, o zwiększonej liczbie podpór i ściągow, a więc deskowań systemowych o mniejszych elementach [8]. Jeśli betonowanie prowadzone jest przez pompowanie mieszanki od dołu, deskowania wymagają dodatkowego wzmocnienia ze względu na znaczący lokalny wzrost parcia.

Mieszanka BSZ w momencie jej układania w deskowaniach lub formach musi spełniać ustalone wymagania rozplywu, lepkości, przepływu i stabilności. Doraźne korygowanie konsystencji mieszanki BSZ powinno być traktowane jako absolutny wyjątek, ze względu na niepewny efekt i utrudnioną kontrolę jakości. Przy układaniu mieszanki BSZ nie powinny być używane jakiegokolwiek urządzenia wibracyjne, również w bezpośredniej bliskości miejsca betonowania.

Pielęgnację betonów BSZ prowadzi się na ogólnych zasadach, przedstawionych szczegółowo np. w [9]. Ze względu na dużą ilość zaczynu, dużą ilość drobnych frakcji oraz często opóźniony początek wiązania beton BSZ charakteryzuje się zwykle zwiększoną skłonnością do skurczu plastycznego. Z tego względu jego pielęgnację należy zaczynać bezpośrednio po ułożeniu i powinna być ona, zwłaszcza na początku, możliwie jak najbardziej intensywna.

7. Podsumowanie

Korzyści ze stosowania BSZ należy rozpatrywać indywidualnie dla każdego przypadku. Stosowanie BSZ daje możliwość uzyskania znaczących efektów technicznych, ekonomicznych oraz środowiskowych. Koszt BSZ jest nieco większy niż analogicznego betonu BZW, ale ekonomiczne efekty stosowania BSZ należy odnosić do całego cyklu życia konstrukcji. W tym aspekcie stosowanie BSZ pozwala

na uzyskanie mniej kosztownych konstrukcji dzięki obniżeniu pracochłonności i energochłonności ich wykonania, skróceniu czasu ich realizacji oraz lepszej odporności na agresywne oddziaływanie środowiska. Warunkiem koniecznym do osiągnięcia oczekiwanych korzyści jest prawidłowe zaprojektowanie składu BSZ oraz prawidłowa technologia jego wykonania. Stosowanie BSZ dzięki zmniejszeniu nakładów pracy i sprzętu zmniejsza wpływ procesów budowlanych na środowisko. Nie jest to jednak materiał technologicznie łatwy, czy i na ile możliwości, jakie daje, będą wykorzystane zależy od umiejętności projektanta konstrukcji i betonu, dojrzałości technologicznej i organizacyjnej producenta i wykonawcy oraz od specyfiki danej realizacji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 206+A1:2016-12: Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [2] De Schutter G., Bartos P. J. M., Domone P., Gibbs J., Self compacting concrete, Dunbeath: Whittles Publishing, 2008
- [3] Szwabowski J., Gołaszewski J., Technologia betonu samozagęszczalnego, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków, 2010
- [4] Daczko J. A., Self-Consolidating Concrete: Applying what we know, CRC Press, 2012
- [5] Gołaszewski J., Projektowanie betonu samozagęszczalnego, PWN, Warszawa, 2021
- [6] PN-EN 13670:2011: Wykonywanie konstrukcji z betonu
- [7] Gołaszewski J., Stolarczyk D., Ekonomiczne aspekty stosowania betonów SCC, Przegląd Budowlany 2/2009
- [8] Gołaszewski J., Drewniak M., Dobór deskowań systemowych do wykonywania konstrukcji z betonu samozagęszczanego, Inżynieria i Budownictwo 11/2009
- [9] Bajorek G., Pielęgnacja betonu w okresie dojrzewania, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków, 2017
- [10] Ponikiewski T., Gołaszewski J., The influence of high-calcium fly ash on the properties of fresh and hardened self-compacting concrete and high performance self-compacting concrete, Journal of Cleaner Production, tom 72, 2014, str. 212–221

68. Krynicka Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB Gliwice, 24-28 września 2023 r.



Wydział Budownictwa
Politechniki Śląskiej

Tradycyjnie konferencja składać się będzie z dwóch części: problemowej i ogólnej. Myślą przewodnią części problemowej 68. edycji konferencji będą **Wyzwania budownictwa na terenach górniczych, pogórnicych i zdegradowanych**. To szeroki temat, obejmujący nie tylko zagadnienia projektowania i wykonawstwa budynków i budowli w takich warunkach, ale także zagrożenia wynikające ze specyfiki terenów przemysłowych lub zdegradowanych w wyniku sposobu ich użytkowania oraz sposoby i możliwości efektywnego i bezpiecznego sposobu ich wykorzystania.

Przedmiotem części ogólnej konferencji będą następujące problemy naukowe:

Budownictwo hydrotechniczne • Budownictwo ogólne • Fizyka budowli • Geotechnika • Inżynieria materiałów budowlanych
• Inżynieria przedsięwzięć budowlanych • Inżynieria komunikacyjna: drogi, koleje, mosty • Inżynieria środowiska
• Konstrukcje betonowe • Konstrukcje metalowe • Mechanika konstrukcji i materiałów • Niezawodność konstrukcji

Biuro Konferencji: mgr inż. Marzena Gaura, mgr Małgorzata Lach – Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<https://www.polsl.pl/rb/krynica-gliwice-2023>, e-mail: konferencjakrynicka2023@polsl.pl