

dr hab. inż. Paweł Łukowski, prof. nzw. PW¹⁾

Rola domieszek we współczesnej technologii betonu

Role of admixtures in the modern concrete technology

DOI: 10.15199/33.2015.10.32

Streszczenie. Modyfikacja za pomocą domieszek stanowi jeden z podstawowych elementów współczesnej technologii betonu. W artykule przedstawiono rolę domieszek w aspekcie technicznym, ekologicznym i ekonomicznym, zwracając uwagę na korzyści możliwe do uzyskania w tych obszarach. Domieszki do betonu tworzą obecnie jeden z najszybciej rozwijających się rynków w obszarze materiałów budowlanych, ale wykorzystanie ich potencjału wymaga właściwego doboru i sposobu użycia; koszt domieszek powinien być rekompensowany zaletami technicznymi rozwiązań.

Słowa kluczowe: beton, domieszki, technologia, ekologia, ekonomika.

Abstract. Modification by use of admixtures is one of the basic elements of the modern concrete technology. The role of admixtures was presented in the paper, taking into consideration the technological, ecological and economical aspects. The possible benefits in these areas were pointed out. Admixtures to concrete are now the most rapidly developing market among the building materials. However, utilization of their potential needs proper selection and method of using; the cost of admixtures use should be compensated by the technological advantages of the concrete.

Keywords: concrete, admixtures, technology, ecology, economics.

Zgodnie z definicją sformułowaną w PN-EN 934-2 *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu* – domieszka to modyfikator dodawany do mieszanki betonowej w ilości nie większej niż 5 % masy cementu. Mimo to ma bardzo istotny udział w kształtowaniu cech zarówno mieszanki, jak i stwardniałego betonu. Rola domieszek we współczesnej technologii betonu nie ogranicza się jednak do modyfikacji właściwości technicznych, ale może – i powinna – być rozpatrywana wieloaspektowo, także z uwzględnieniem kwestii ekologicznych i ekonomicznych. Tym samym domieszki stanowią ważny element wdrażania strategii zrównoważonego rozwoju w obszarze inżynierii materiałów budowlanych.

Kształtowanie właściwości betonu

Domieszki wywierają znaczny wpływ na właściwości betonu (tabela). Obecnie najbardziej rozpowszechnione są domieszki uplastyczniające i upłynniające mieszankę betonową (plastyfikatory i superplastyfikatory). Stanowią one 70 ÷ 75% wszystkich oferowanych na rynku domieszek [1]. Wprowadzenie superplastyfikatorów w latach sześćdziesiątych XX w. spowodowało przełom w technologii betonu, pozwalając na upowszechnienie stosowania betonu

Podstawowe efekty stosowania najczęściej wykorzystywanych domieszek do betonu
Basic effects of application of the most often used admixtures to concrete

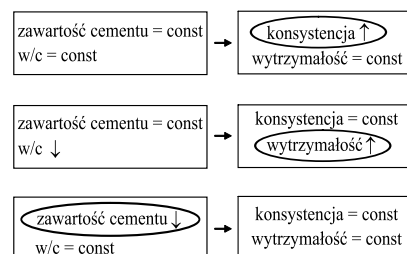
Rodzaj domieszki	Efekt zastosowania
Domieszki uplastyczniające i upłynniające	poprawa konsystencji mieszanki betonowej i/lub wytrzymałości i szczelności betonu stwardniałego
Domieszki napowietrzające	poprawa mrozoodporności betonu
Domieszki przyspieszające lub opóźniające wiązanie betonu	regulacja szybkości wiązania betonu, w tym w warunkach podwyższonej lub obniżonej temperatury
Domieszki regulujące lepkość	poprawa spójności mieszanki betonowej o dużej ciekłości

towarowego oraz rozwój prefabrykacji betonowej. Współczesne zastosowanie domieszek upłynniających w budownictwie obejmuje m.in.: beton sprężony, natryskiwany, pompowany, architektoniczny, fibrobeton, beton wysokiej i bardzo wysokiej wytrzymałości. Szczególnym osiągnięciem technologii betonu wykorzystującej superplastyfikatory są mieszanki samozagęszczalne.

Postęp w dziedzinie domieszek upłynniających znajduje szczególnie wyraźne odbicie w technologii betonu (rysunek 1). Dominującą tendencją jest wytwarzanie coraz bardziej ciekłych mieszanek, zawierających mniej wody zarobowej (mniejsze w/c). W normie PN-EN 206 nie klasyfikuje się już konsystencji wilgotnej (ang. earth moist concrete), a wśród zalecanych metod oceny konsystencji mieszanki nie ma już

metody Vebe, stosowanej w przypadku mieszanek o gęstej konsystencji. Zastąpiła ją metoda rozplywu stożka (Abramsa) – dotychczas stosowana tylko w odniesieniu do mieszanek samozagęszczalnych, a więc z definicji wykazujących szczególnie dużą ciekłość. Jednocześnie osiągnięcie tych rozbieżnych celów jest możliwe przez stosowanie coraz skuteczniejszych superplastyfikatorów.

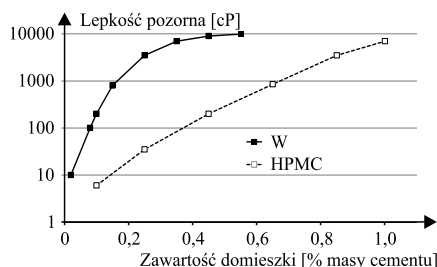
Nowoczesne superplastyfikatory umożliwiają znaczne upłynnienie mieszanki betonowej. Mieszanki o bardzo dużej ciekłości wykazują jednak zwiększoną podatność na segregację, dlatego też konieczne jest pogodzenie dwóch sprzecznych wymagań: aby mieszanka była bardzo ciekła, a zarazem zachowała odpowiednią spójność (kohezję). Rozwiązaniem problemu stanowia **domieszki regulujące lepkość** (inaczej stabilizujące), a więc polimery zdolne do wiązania cząsteczek wody na drodze fizykochemicznej i chemicznej. Umożliwiają one zachowanie dużej ciekłości mieszanki betonowej, a zara-



Rys. 1. Kierunki wykorzystania domieszek upłynniających mieszankę betonową
Fig. 1. Directions of use of superplasticizers

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej; e-mail: p.lukowski@il.pw.edu.pl

zem wewnętrznej spoiwości po ułożeniu (rysunek 2). Kombinacja wydajnych superplastyfikatorów i domieszek modyfikujących lepkość mieszanki pozwoliła na rozwój tak spektakularnych dziedzin technologii betonu, jak wytwarzanie betonów samozagęszczalnych lub betonowanie pod wodą [2].



Rys. 2. Wpływ zawartości domieszki modyfikującej lepkość na przebieg zmian lepkości pozornej; W – guma welanowa, HPMC – hydroksypropylometyloceluloza

Fig. 2. Effect of the content of viscosity modifying admixture on the changes of apparent viscosity of the concrete mix; W – welan gum, HPMC – hydroxypropylmethylcellulose

Domieszki do betonu a ekologia

Zgodnie z definicją normową, domieszkę do betonu wprowadza się w ilości nieprzekraczającej 5% masy cementu. Biorąc pod uwagę, że zawartość cementu w betonie zwykłym nie przekracza 20%, całkowita zawartość domieszki w betonie jest mniejsza (zazwyczaj znacznie) niż 1% masy. Po stwardnieniu betonu związki chemiczne wchodzące w skład domieszki pozostają trwale wbudowane w strukturę stwardniałego zaczynu, a więc nie mają wpływu na środowisko. Natomiast modyfikacja właściwości betonu, spowodowana działaniem domieszek, jest dla środowiska korzystna [3].

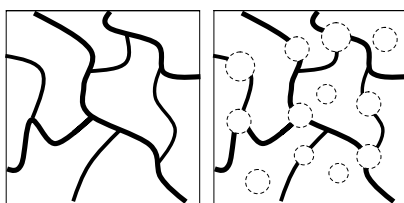
Plastyfikatory i superplastyfikatory pozwalają na zmniejszenie zawartości wody w mieszance betonowej. Osiągnięcie tego celu, wobec ograniczonych i stale kurczących się zasobów tego surowca, ma bezspornie duże znaczenie proekologiczne. Poprawa konsystencji mieszanek betonowych, w tym wprowadzenie mieszanek samozagęszczalnych, oznacza z kolei eliminację wibrowania (hałas, drgania) uciążliwego dla ludzi i środowiska.

Dzięki domieszkom poprawia się trwałość betonu, a więc ogranicza intensywność remontów. Superplastyfikatory umożliwiają zwiększenie wytrzymałości i szczelności tworzywa, a domieszki na-

powietrzające odgrywają najistotniejszą rolę w kształtowaniu struktury betonu sprzyjającej poprawie mrozoodporności (rysunek 3). Równomiernie rozmieszczone mikropęcherzyki powietrza pełnią funkcję komór kompensujących wzrost naprężeń, powodowanych zwiększaniem objętości przez zamarzającą wodę. Przerywają też ciągłość kapilar, zmniejszając w ten sposób nasiąkliwość betonu i utrudniając transport wilgoci.

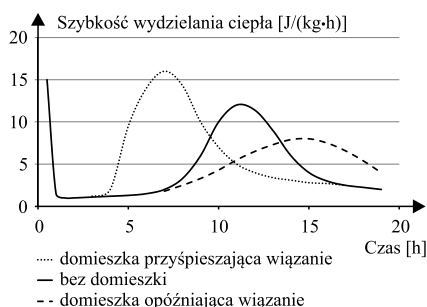
Domieszki opóźniające wiązanie betonu redukują problem samonagrzewania mieszanki betonowej i konieczność przeciwdziałania temu zjawisku. Z kolei stosowanie domieszek przyspieszających twardnienie betonu pozwala na eliminację obróbki cieplnej podczas wytwarzania elementów prefabrykowanych (rysunek 4).

Uzyskiwana dzięki domieszkom poprawa właściwości betonu, w tym zwłaszcza trwałości, pozwala na zaliczenie tych modyfikatorów do materiałów sprzyjających realizacji postulatów zrównoważonego rozwoju w budownictwie [4].



Rys. 3. Zmiana struktury betonu po napowietrzeniu

Fig. 3. Change of the concrete microstructure after air-entraining



Rys. 4. Przykładowy przebieg wydzielania ciepła podczas wiązania i twardnienia betonów z różnymi domieszkami

Fig. 4. Example of heat emission during setting and hardening of concretes with various admixtures

Ekonomiczne aspekty stosowania domieszek

Pod koniec ubiegłego stulecia Rixom, analizując wpływ domieszek na koszty wytwarzania betonu, wymienił cztery

podstawowe – choć nie jedyne – obszary, w których uzyskuje się szczególnie korzystne efekty ekonomiczne [5]. Są wśród nich:

- nawierzchnie drogowe, zwłaszcza użytkowane w niesprzyjających warunkach klimatycznych (domieszki napowietrzające);
- betony towarowe o obniżonym współczynniku woda/cement (domieszki uplastyczniające i upłynniające);
- betony o bardzo dużej ciekłości, w tym samozagęszczalne (domieszki upłynniające nowej generacji);
- elementy prefabrykowane oraz betony wykonywane w warunkach zimowych (domieszki przyspieszające wiązanie/przeciw mrozowe).

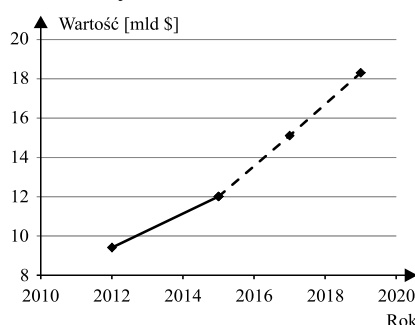
Rixom ocenił wówczas, z oczywistym zastrzeżeniem niepewności oszacowania, że stosowanie domieszek przynosi producentom betonu w USA oszczędności rzędu 200 mln \$ rocznie.

Korzyści ekonomiczne ze stosowania domieszek upłynniających wynikają ze zmniejszenia współczynnika w/c, co umożliwia uzyskanie większej wytrzymałości betonu, a tym samym wykonywanie elementów o mniejszym przekroju, a to z kolei prowadzi do zmniejszenia zużycia betonu i stali zbrojeniowej w konstrukcji. Zdaniem Aitcina [6], zwiększenie wytrzymałości na ściskanie betonu z 35 MPa do 60 MPa pozwala na zmniejszenie objętości betonu o 10 – 30% i ilości stali zbrojeniowej o ok. 10 %, co może zmniejszyć koszt wykonania konstrukcji o ok. 10%, mimo większego kosztu samego betonu. Ponadto, lepsza wytrzymałość i szczelność betonu, uzyskana przez zastosowanie domieszek uplastyczniających i upłynniających, przyczynia się do poprawy trwałości, co przekłada się na oszczędności wynikające z mniejszych kosztów utrzymania konstrukcji. Z kolei poprawa konsystencji mieszanki betonowej pozwala na stosowanie mniej kosztownych metod budowy. Z szacunków Rixoma wynika, że stosując domieszkę upłynniającą podczas typowego betonowania, uzyskuje się średnią oszczędność nakładu pracy rzędu 30%, a zastosowanie betonu samozagęszczalnego może w pewnych warunkach zmniejszyć nakład pracy nawet o 50 – 80%. Oszczędności wynikają ze zmniejszenia liczby niezbędnych pracowników, skrócenia czasu wykonania operacji technologicz-

nych, zmniejszenia skurczu betonu, a w efekcie liczby złączy dylatacyjnych, wreszcie poprawy pompowności mieszanki, czyli możliwości zmniejszenia ciśnienia pompowania i/lub liczby pomp przy podawaniu mieszanki na wysokie kondygnacje.

Zastosowanie **domieszek napowietrzających** znacznie poprawia mrozoodporność betonu. Przekłada się to na korzyści z punktu widzenia kosztów utrzymania i czasu użytkowania konstrukcji narażonych na działanie zmiennej temperatury. Obniżenie kosztów użytkowania obiektu z reguły znacznie przekracza ewentualny nieznaczny wzrost kosztów budowy. **Domieszki opóźniające** pozwalają na uniknięcie przerw w robotach betonowych, spowodowanych wysoką temperaturą otoczenia, i/lub zmniejszenie dodatkowych nakładów, kosztów organizacyjnych związanych z prowadzeniem takich robót, oraz na swobodne transportowanie mieszanki betonowej na daleką odległość. W przypadku konstrukcji masowych umożliwiają betonowanie ciągle, bez dzielenia lub z ograniczonym dzieleniem na segmenty robocze. **Domieszki przyspieszające** przynoszą szczególne korzyści w prefabrykacji betonowej, pozwalając na zwiększenie tempa produkcji dzięki osiągnięciu przez beton większej wytrzymałości wcześniejszej, co pozwala na wcześniejsze rozformowywanie elementów i szybszą rotację form. Rozwój wytrzymałości betonu zmniejsza również koszty obróbki cieplnej dojrzewających elementów. **Domieszki przeciwmrozowe** umożliwiają betonowanie w obniżonej temperaturze i pozwalają na wydłużenie sezonu budowlanego.

Ze stosowaniem domieszek do betonu wiąże się, oczywiście, również pewne dodatkowe koszty. Większość współczesnych domieszek to produkty zaawansowanej syntezy chemicznej i ich koszt jest wyższy niż mineralnych składników betonu. Zdaniem Gołaszewskiego [7], poza kosztem materiałowym domieszek, w grę wchodzi dodatkowe koszty projektowania, produkcji i kontroli jakości betonów zawierających domieszki. W znacznym stopniu dotyczą one fazy uruchamiania produkcji i produkcji początkowej; przy produkcji masowej ciągłej ich znaczenie jest dużo mniejsze. Należy wyraźnie stwierdzić, że modyfikacja materiałowa betonu za pomocą domieszek, zwłaszcza rozpatrywana z uwzględnieniem efektów długoterminowych, jest opłacalna w sensie ekonomicznym, gdyż uzyskiwane korzyści przewyższają dodatkowe nakłady.



Rys. 5. Bieżąca i prognozowana wartość światowego rynku domieszek do betonu
Fig. 5. Present and forecasted value of the global market of concrete admixtures

Podsumowanie

W artykule zasygnalizowano rolę, jaką domieszki do betonu odgrywają we współczesnej technologii tego ma-

teriału konstrukcyjnego. Rozpatrując to zagadnienie, należy wziąć pod uwagę nie tylko korzyści techniczne, ale również aspekty ekologiczne i ekonomiczne. Jak starano się wykazać, również pod tymi względami stosowanie domieszek może być korzystne, pod warunkiem ich właściwego doboru i użycia.

Obecna wartość światowego rynku domieszek jest szacowana na nieco ponad 12 mld dolarów (rysunek 5), a do końca obecnej dekady powinna przekroczyć 18 mld dolarów [8]. Domieszki do betonu stanowią więc jeden z najbardziej dynamicznie rozwijających się segmentów rynku materiałów budowlanych.

Literatura

- [1] Dransfield J.: Leaching of admixtures from concrete. UK Cement Admixtures Association Admixtures Environmental Sheet No. 9, 2007.
- [2] Łukowski P.: Współczesne osiągnięcia w dziedzinie polimerowych domieszek do betonu. Materiały Budowlane, 11, 2014, 16 – 17.
- [3] Łukowski P.: Domieszki – uszlachetniają beton. W: „Beton przyjazny środowisku” (red. Z. Kohutek), Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego, Kraków, 2008, 79 – 85.
- [4] Czarniecki L.: Przyszłość betonu w warunkach zrównoważonego rozwoju. Materiały Budowlane, 11, 2006, 22 – 24 i 50.
- [5] Rixom R.: The economic aspects of admixture use. Cement and Concrete Composites, 2-3, 1998, 141 – 147.
- [6] Aitcin P.-C.: High performance concrete. E & FN SPON, Londyn, 1998.
- [7] Gołaszewski J.: Ekonomiczne i ekologiczne aspekty stosowania domieszek do betonu. Magazyn Autostrady, 6, 2015, 20 – 25.
- [8] Concrete admixtures market by type – Global trends & forecasts to 2019. Report by Markets and Markets Group.

Przyjęto do druku: 25.09.2015 r.

Serdecznie dziękujemy
prof. dr. hab. inż. Zbigniewowi Giergicznemu
z Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej
za pomoc merytoryczną w przygotowaniu bloków tematycznych:
„Spoiwa mineralne” oraz „Dodatki i domieszki do betonów”

Redakcja