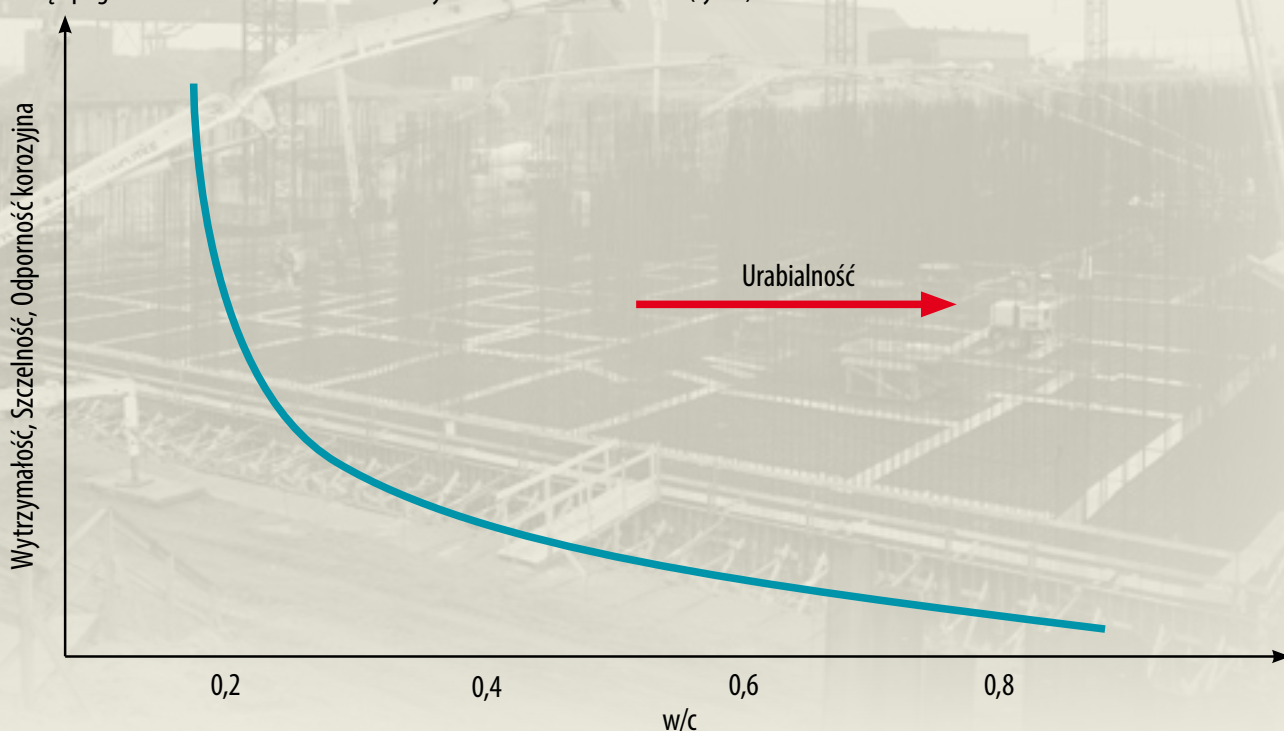


Stosowanie domieszek uplastyczniających (plastyfikatorów) i upłynniających (superplastyfikatorów) pozwala na uzyskanie właściwej konsystencji mieszanki betonowej. Konsystencja lub ciekłość mieszanki betonowej definiowana jest jako zdolność do odkształceń (rozpływu) pod wpływem obciążenia.

Konsystencja jest kluczową cechą technologiczną mieszanki betonowej, ponieważ wpływa na łatwość jej przemieszczania się w deskowaniu, a tym samym w znacznym stopniu decyduje o urabialności.

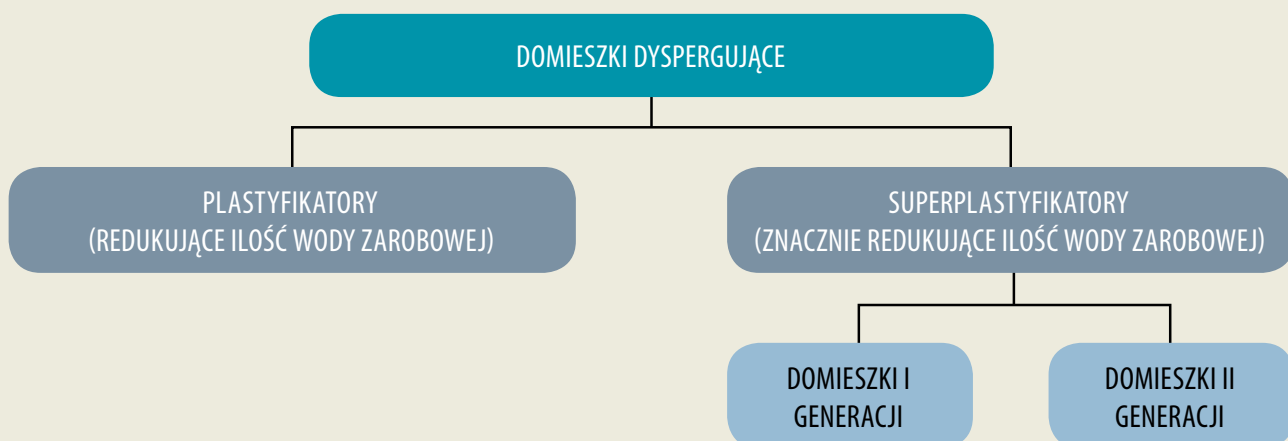
Urabialność nie jest mierzalną właściwością mieszanki betonowej, ale od niej zależy łatwość wymieszania składników mieszanki betonowej, zabudowy i wykończenia, przy zachowaniu jednorodności składu.

Duża powierzchnia właściwa (duża energia powierzchniowa) oraz różnoimienne ładunki obecne na ziarnach cementu powodują tworzenie się aglomeratów w zaczynie cementowym. Efektem czego jest spadek urabialności (oraz konsystencji) mieszanki betonowej. Wydawałoby się, że dodatek wody jest dobrym i skutecznym rozwiązaniem, należy jednak pamiętać, iż przy tej samej zawartości cementu w składzie mieszanki betonowej korekta konsystencji wodą spowoduje zwiększenie współczynnika wodno-cementowego, a więc pogorszenie właściwości mechanicznych oraz trwałości betonu (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ w/c na właściwości mechaniczne, trwałość betonu oraz urabialność

W celu uzyskania mieszanki betonowej o odpowiedniej urabialności, z jednoczesnym zapewnieniem odpowiedniego poziomu wytrzymałości, należy zastosować w składzie związki dyspergujące (rys. 2), których głównym zadaniem będzie zapobieganie tworzeniu się aglomeratów ziaren cementu.



Rys. 2. Podział domieszek dyspergujących

Domieszki dyspergujące można podzielić na:

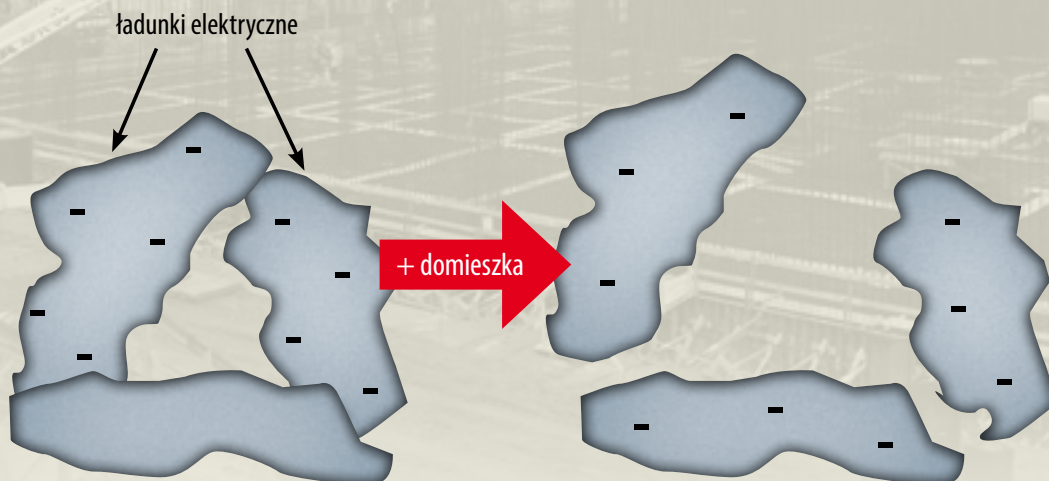
- plastyfikatory - domieszki redukujące ilość wody (uplastyczniające) – umożliwiające zmniejszenie zawartości wody (5÷12%) w danej mieszance betonowej bez wpływu na jej konsystencję lub które bez zmniejszania ilości wody powodują zwiększenie opadu stożka/rozpływu, lub wywołują oba te efekty jednocześnie,
- superplastyfikatory - domieszki znacznie redukujące ilość wody (upłynniające) – umożliwiają znaczne zmniejszenie zawartości wody (12÷40%) w danej mieszance betonowej bez wpływu na jej konsystencję, lub które bez zmniejszania ilości wody powoduje znaczne zwiększenie opadu stożka/rozpływu, lub wywołują oba te efekty jednocześnie.

Rozróżnić można cztery podstawowe mechanizmy dyspersji ziaren cementu:

- elektrostatyczny,
- hydrofilowy,
- smarny,
- steryczny.

MECHANIZM ELEKTROSTATYCZNY

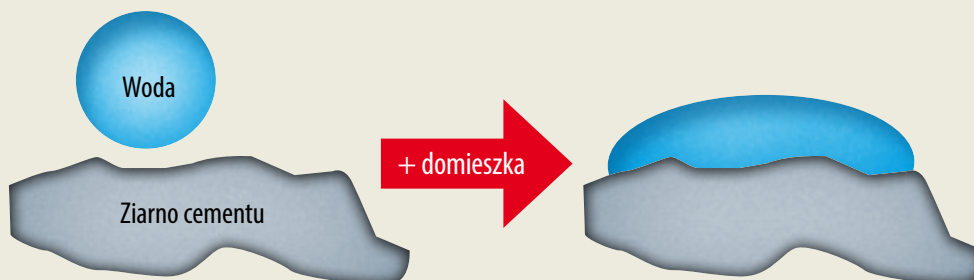
Odpychanie elektrostatyczne występuje podczas absorbowania się na ziarnach cementu cząsteczek domieszki o ujemnym ładunku. Utworzone na powierzchni jednoimienne ładunki powodują odpychanie się ziaren cementu rozbijają utworzone aglomeraty i zapobiegają powstawaniu nowych. Efektem jest poprawa konsystencji mieszanki betonowej (rys. 3).



Rys. 3. Elektrostatyczny mechanizm upłynniania mieszanki betonowej

MECHANIZM HYDROFILOWY

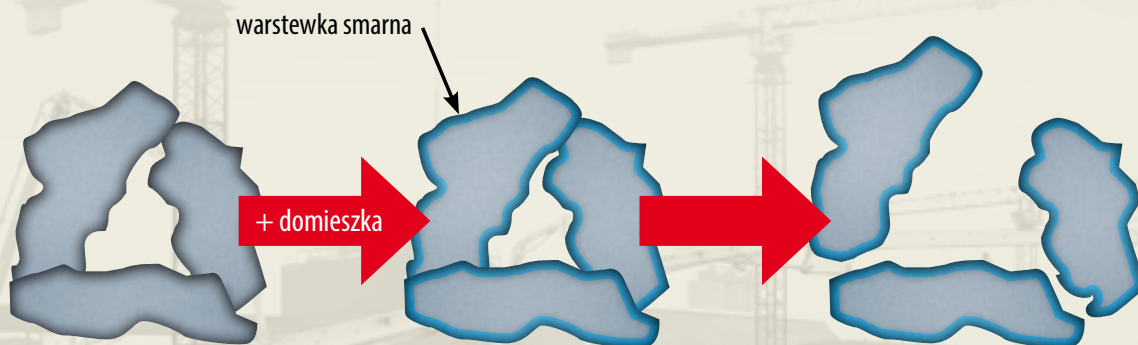
Mechanizm hydrofilowy dotyczy domieszek, które są związkami powierzchniowo czynnymi. Wynikiem ich działania jest spadek napięcia powierzchniowego na granicy woda-powierzchnia cementu (rys. 4). Ziarna cementu są lepiej zwilżane, poprawiona zostaje efektywność wykorzystania wody zarobowej. Dodatkowym utrudnieniem aglomeracji ziaren cementu jest utworzenie na powierzchni zorientowanych, dipolowych cząsteczek wody.



Rys. 4. Hydrofilowy mechanizm upłynniania mieszanki betonowej

MECHANIZM SMARNY

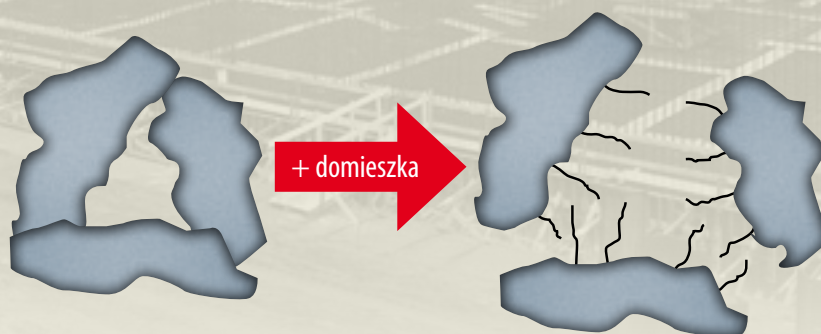
Domieszki chemiczne adsorbując się na ziarnach cementu tworzą warstwy smarne, oddzielające poszczególne ziarna - stwarzają poślizg między cząsteczkami (rys. 5), zmniejszając tym samym tarcie wewnętrzne mieszanki betonowej.



Rys. 5. Mechanizm smarny upłynniania mieszanki betonowej

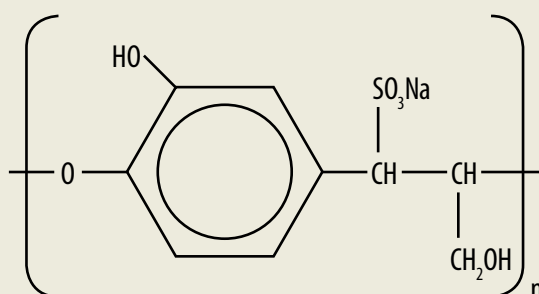
MECHANIZM STERYCZNY

Mechanizm steryczny występuje w przypadku domieszek chemicznych polimerowych II generacji. Jest dominującym efektem w przypadku polimerów o tzw. budowie grzebieniowej, które osadzają się na ziarnach cementu (rys. 6), uniemożliwiając utworzenie się aglomeratów. Mechanizm ten powoduje najefektywniejsze upłynnienie mieszanki betonowej.



Rys. 6. Steryczny mechanizm upłynniania mieszanki betonowej

Plastyfikatory to substancje organiczne, podstawową grupę stanowią domieszki na bazie soli kwasów lignosulfonianowych (wapnia, sodu, amonu) – produktu ubocznego z przemysłu papierniczego (rys. 7). Mechanizmem upłynnienia mieszanki betonowej jest efekt elektrostatyczny, rzadziej hydrofilowy. Działaniem ubocznym plastyfikatorów może być opóźnienie czasu wiązania oraz napowietrzenie mieszanki betonowej. Wymagania wobec domieszek plastyfikujących stawia norma PN-EN 934-2 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu - Część 2: Domieszki do betonu - Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie – tabela 1.



Rys. 7. Budowa chemiczna lignosulfonianu, LS [1]

Tabela 1. Wymagania normy PN-EN 934-2 dla domieszek uplastyczniających

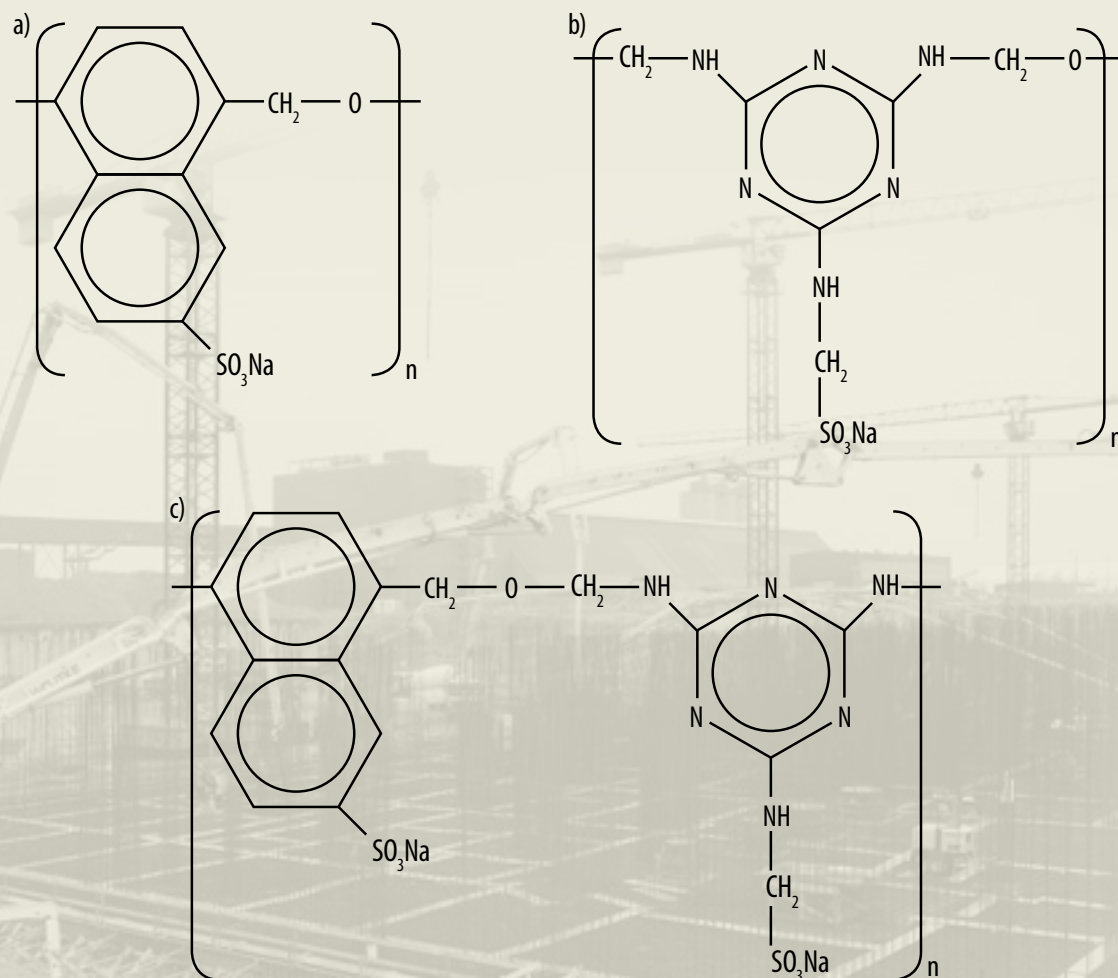
Wymaganie	Efekt działania
Zachowanie stałej konsystencji	Zmniejszenie ilości wody zarobowej w mieszance badanej $\geq 5\%$ w porównaniu z mieszanką kontrolną
	Wytrzymałość na ściskanie po 7 i 28 dniach betonu wykonanego z użyciem plastyfikatora powinna wynosić co najmniej 110% wytrzymałości betonu kontrolnego
	Objętościowa zawartość powietrza w mieszance modyfikowanej może być maksymalnie 2% większa w stosunku do mieszanki kontrolnej

Superplastyfikatory to grupa domieszek chemicznych cechująca się silnym upłynnieniem mieszanki betonowej. Można podzielić je na domieszki I i II generacji, różniące się między sobą budową strukturalną, a co za tym idzie – efektem działania. Wymagania wobec domieszek upłynniających stawia norma PN-EN 934-2 – tabela 2.

Tabela 2. Wymagania normy PN-EN 934-2 dla domieszek upłynniających

Wymaganie	Efekt działania
Zachowanie stałej konsystencji	Zmniejszenie ilości wody zarobowej w mieszance badanej $\geq 12\%$ w porównaniu z mieszanką kontrolną
	Wytrzymałość na ściskanie betonu badanego po 1 dniu $\geq 140\%$ wytrzymałości betonu kontrolnego
	Objętościowa zawartość powietrza w mieszance modyfikowanej może być maksymalnie 2 % większa w stosunku do mieszanki kontrolnej
Zachowanie stałego współczynnika w/c	Zwiększenie opadu stożka ≥ 120 mm od początkowego 30 ± 10 mm Zwiększenie rozplywu ≥ 160 mm od początkowego 350 ± 20 mm
	Po 30 min od dodania domieszki konsystencja mieszanki badanej nie powinna zmniejszyć się poniżej wartość początkowej konsystencji mieszanki kontrolnej
	Wytrzymałość na ściskanie betonu badanego po 28 dniach nie mniejsza niż 90 % betonu kontrolnego
	Objętościowa zawartość powietrza w mieszance modyfikowanej może być maksymalnie 2 % większa w stosunku do mieszanki kontrolnej

Do superplastyfikatorów I generacji zalicza się domieszki chemiczne zbudowane w oparciu o sulfonowane żywice naftalenowo-formaldehydowe (SNF), sulfonowane żywice melamino-formaldehydowe (SMF) lub sulfonowane żywice melamino-naftalenowo-formaldehydowe (rys. 8). Podstawowym mechanizmem działania jest odpychanie elektrostatyczne jak w przypadku plastyfikatorów, jednak ich działanie jest bardziej efektywne. Wynika to z faktu, iż domieszki te są produktami syntezowanymi przemysłowo, posiadają mniej zanieczyszczeń.



Rys. 8. Budowa chemiczna a) sulfonowana żywica naftalenowo-formaldehydowa (SNF), b) sulfonowana żywica melamino-formaldehydowa (SMF), c) sulfonowana żywica melamino-naftalenowo-formaldehydowa

Superplastyfikatory II generacji to najnowsza grupa domieszek uplastyczniających. Bazą surowcową są pochodne polikarboksylianów (PC), składają się z głównego łańcucha polikarboksylianowego, do którego dołączane są podstawniki (łańcuchy boczne) posiadające steryczny mechanizm działania – rys. 9 i 10.

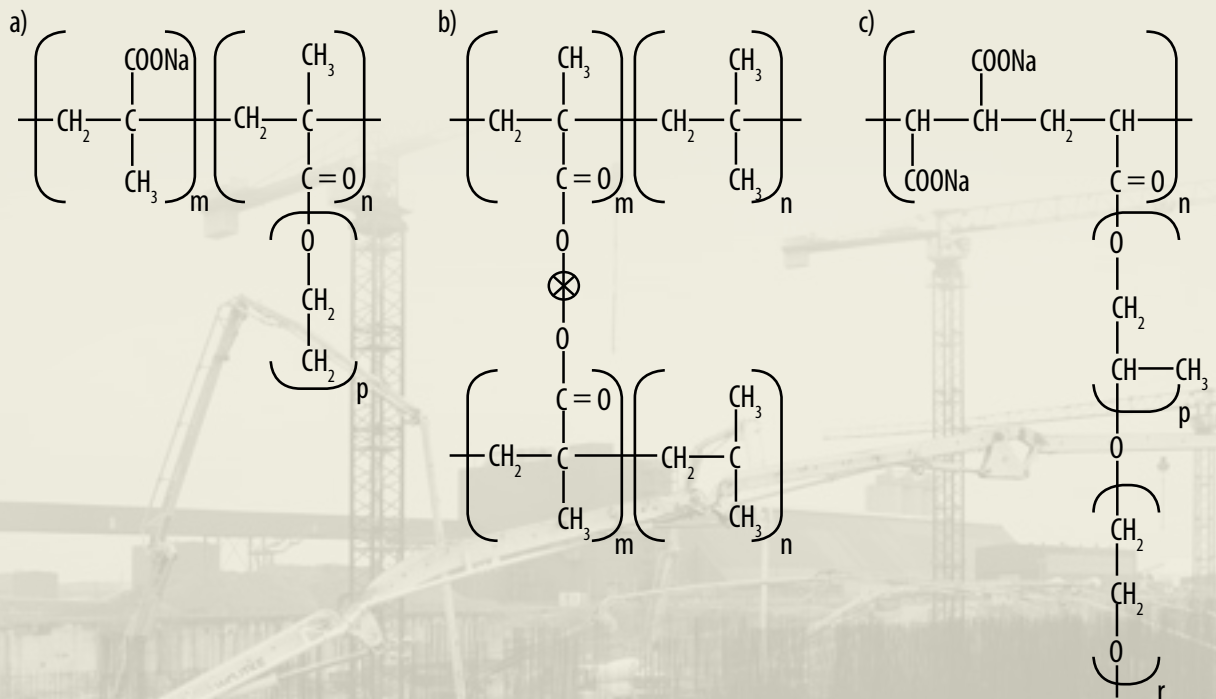
SUPERPLASTYFIKATORY II GENERACJI

KOPOLIMERY KWASU AKRYLOWEGO
Z AKRYLANAMI CAE

SIECIOWANE ŻYWICE AKRYLOWE
CLAP

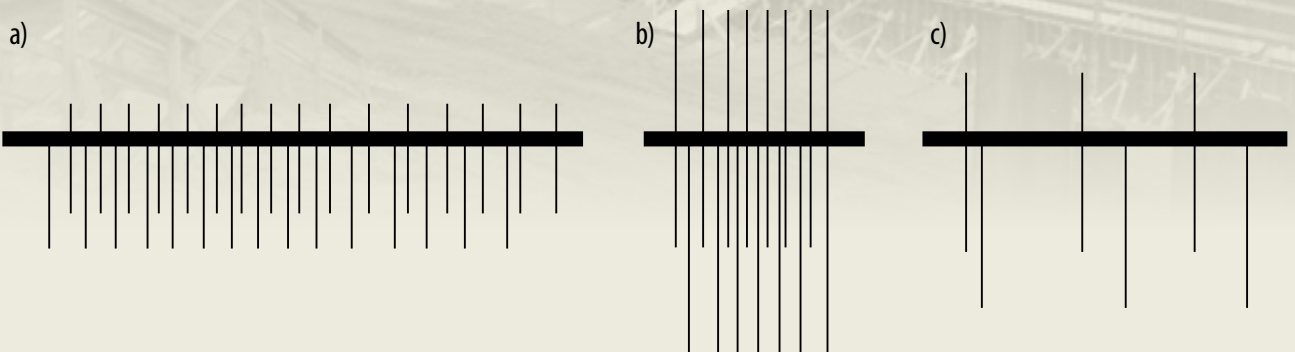
POLIETERY KARBOKSYLOWE
PCE

Rys. 9. Podział superplastyfikatorów II generacji z uwagi na łańcuchy boczne



Rys. 10 Budowa chemiczna domieszek upłynniających II generacji [1] a) kopolimer kwasu akrylowego z akrylanami CAE, b) sieciowana żywica akrylowe CLAP, c) polieter karboksylowy PCE

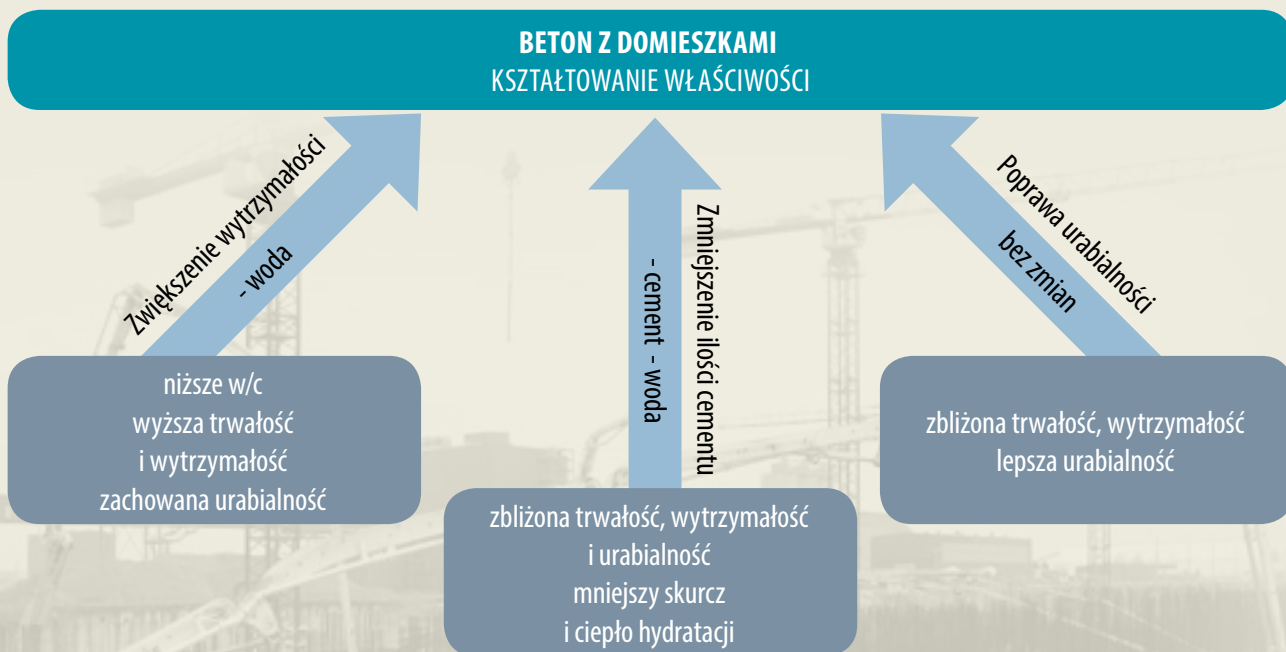
Wpływ na efektywność działania domieszki z grupy superplastyfikatorów II generacji ma budowa łańcucha polimerowego (rys. 11). Polimery posiadające długi główny łańcuch z podstawnikami o krótkim łańcuchu powodują nieznaczne upłynnienie oraz krótkie utrzymanie konsystencji (rys. 11a). Polimery o krótkich głównych łańcuchach, oraz długich bocznych skutkują silnym upłynnieniem mieszanki betonowej (rys. 11b,c). Częstość występowania łańcuchów bocznych wpływa na utrzymanie konsystencji w czasie – im częstość wyższa tym dłuższy efekt upłynnienia.



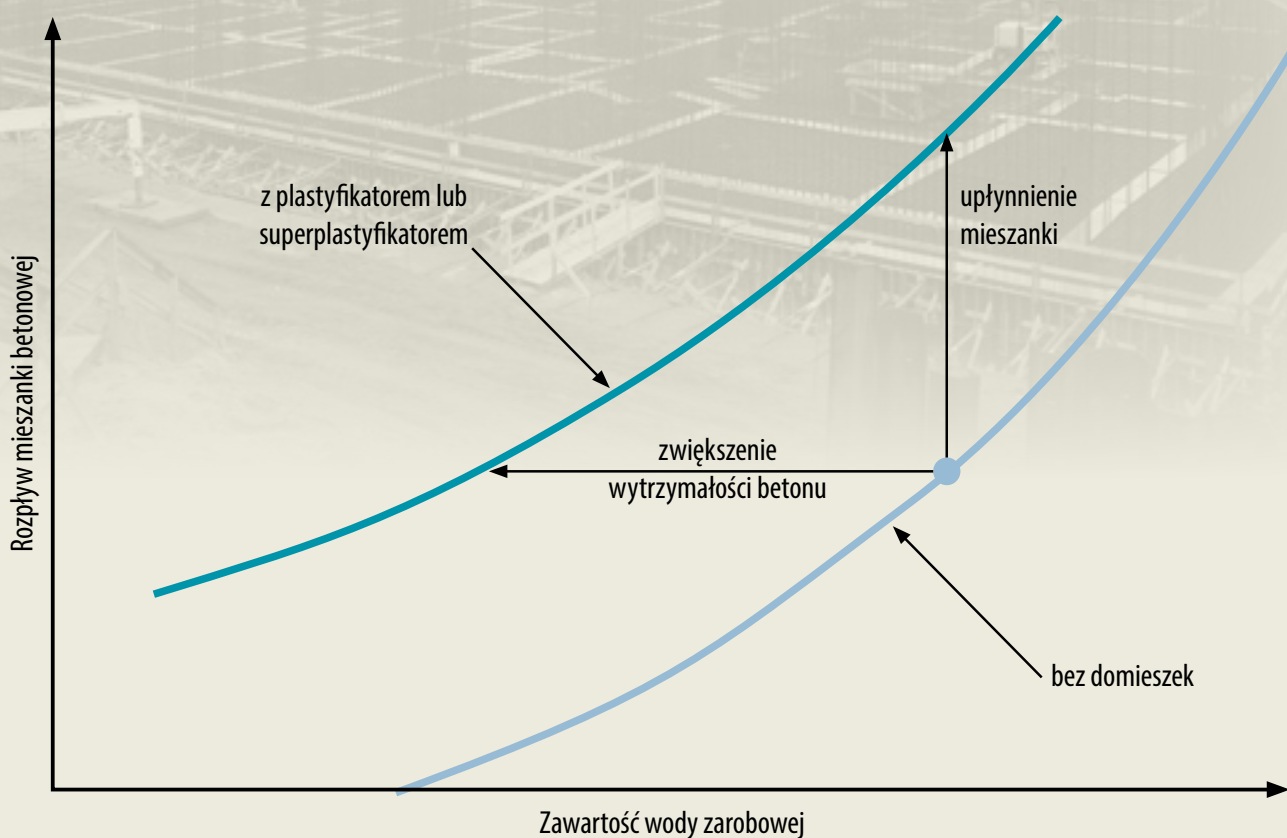
Rys. 11 Rodzaje łańcuchów domieszek polimerowych

Z praktycznego punktu widzenia, rezultaty stosowania domieszek upłynniających mogą być trojakiemu rodzaju (rys. 12):

- zwiększenie ciekłości mieszanki, co prowadzi do poprawy jej urabialności, bez zwiększania zawartości wody zarobowej (rys. 13),
- zwiększenie wytrzymałości i trwałości betonu, poprzez ograniczenie porowatości w wyniku zmniejszenia zawartości wody zarobowej (obniżenie współczynnika w/c),
- zmniejszenie ilości wydzielanego ciepła, w wyniku zmniejszenia zużycia cementu (nawet 10÷20%), bez obniżania wytrzymałości betonu.



Rys. 12. Efekty stosowania domieszek upłynniających



Rys. 13. Poglądowe przedstawienie wpływu domieszek upłynniających i uplastyczniających na właściwości mieszanki betonowej

Stosowanie domieszek uplastyczniających i upłynniających pozwala na korzystne modyfikowanie właściwości mieszanki betonowej i betonu stwardniałego. Możliwe jest projektowanie konstrukcji betonowych o wysokiej wytrzymałości, odporności na działanie środowiska i walorach architektonicznych oraz wykonanie tych konstrukcji w trudnych warunkach technicznych. Główne korzyści techniczne wynikające ze stosowania domieszek przedstawiono na rys. 14.

**KORZYŚCI TECHNICZNE
STOSOWANIA DOMIESZEK
REOLOGICZNYCH**

produkcja mieszanek o zwiększonej urabialności znacząco ułatwia proces wykonania konstrukcji oraz zmniejsza pracochłonność i energochłonność, nie wpływając przy tym na cechy techniczne betonu

produkcja urabialnych mieszanek o obniżonej zawartości wody i niskim współczynniku w/c umożliwia wdrożenie do praktycznego stosowania nowych generacji betonów – wysokiej wytrzymałości, wysokowartościowych, samozagęszczalnych, itp.

produkcja urabialnych mieszanek o niskiej zawartości cementu pozwala ograniczyć skurcz betonu i ilość wydzielanego ciepła, przez co możliwe jest wykonywanie betonowych konstrukcji maywnych

Rys. 14. Korzyści techniczne wynikające ze stosowania domieszek upłynniających i uplastyczniających

