

ABC BETONU

WSTĘP

Współczesne budownictwo stawia coraz wyższe wymagania materiałom budowlanym. Wznoszone budowle muszą być bezpieczne, trwałe, przyjazne dla środowiska, równocześnie muszą spełniać odpowiednie kryteria ekonomiczne. Te wszystkie wymagania spełnia beton, pod warunkiem, że zostanie prawidłowo zaprojektowany i wykonany.

Często jednak beton postrzegany jest jako nieskomplikowany materiał budowlany, którego technologia jest banalnie prosta. Takie podejście prowadzi w praktyce do wielu elementarnych błędów technicznych.

A przecież beton, jak każdy produkt wysokiej jakości musi być wykonany z odpowiednio wyselekcjonowanych składników i z zachowaniem ustalonych zasad technologicznych.

abc BETONU jest przewodnikiem po rozległym obszarze technologii betonu. Zwracając uwagę na podstawowe problemy związane z technologią betonu mamy nadzieję, że niniejszy poradnik będzie pomocny tym wszystkim, którzy projektują, produkują i użytkują ten materiał budowlany.

Na wstępie należy zwrócić uwagę, że nazwa „beton” nie określa jednoznacznie materiału budowlanego, gdyż obecnie wytwarza się wiele rodzajów i odmian betonów różniących się właściwościami, a co za tym idzie zakresem stosowania w budownictwie.

Przekazywany Państwu poradnik przedstawia najczęściej stosowany rodzaj betonu - **beton zwykły**.

CEMENT

Cementem nazywamy sproszkowany materiał wiążący o właściwościach hydraulicznych, a więc materiał, który po zarobieniu z wodą twardnieje i zachowuje swoje cechy wytrzymałościowe zarówno w powietrzu jak i w wodzie.

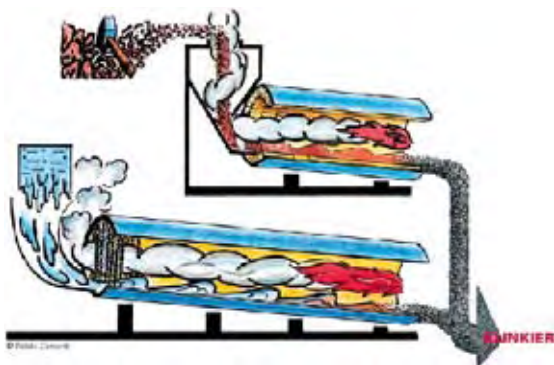
Początki produkcji cementu sięgają XIX wieku. Anglik Joseph Aspdin w roku 1824 uzyskał patent na wytwarzanie cementu portlandzkiego, a rok później rozpoczęto produkcję tego spoiwa.

Pierwszą cementownią na ziemiach polskich była cementownia w Groźcu, która powstała w 1857 roku. W owym czasie była to 6 cementownia na świecie.

Produkcja cementu

Podstawowym półproduktem przemysłu cementowego jest klinkier portlandzki. Surowcami używanymi do produkcji klinkieru są wapień, margle oraz glina. Są to surowce

zasobne w CaO , SiO_2 oraz zawierające znaczne ilości Al_2O_3 i Fe_2O_3 . Mieszanka surowców jest mielona, a następnie wypalana w piecu obrotowym w temperaturze ok. 1450°C .



Proces produkcyjny może być prowadzony dwoma podstawowymi metodami: mokrą i suchą. W pierwszej metodzie surowce wprowadzane są do pieca w postaci szlamu. Zaletą tej metody jest łatwość mieszania i korygowania mieszanki surowcowej natomiast wadą – duże zużycie energii. Zaletą metody suchej jest niskie zużycie energii, a co za tym idzie wyraźnie niższe

koszty produkcji. Istotną sprawą jest to, że jakość produktu (klinkieru portlandzkiego) nie zależy od stosowanej metody produkcji (sucha, mokra). W jednej i drugiej metodzie uzyskuje się porównywalne parametry jakościowe klinkieru.

Po wypaleniu mieszanki surowcowej uzyskuje się produkt (klinkier), zawierający cztery podstawowe minerały klinkierowe:

Alit - C3S - krzemian trójwapniowy

Belit - C2S - krzemian dwuwapniowy

C3A - glinian trójwapniowy

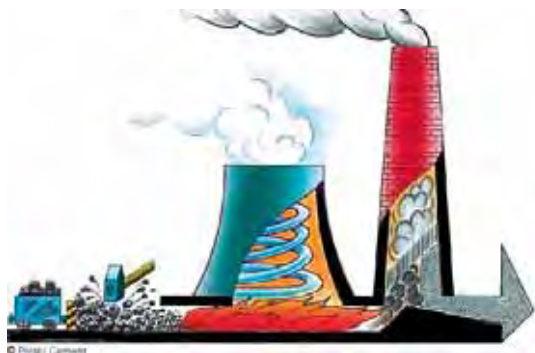
Brownmilleryt - C4AF - glinożelazian czterowapniowy

Skróty używane w chemii cementu:

CaO - C, Al_2O_3 - A, H_2O - H, SiO_2 - S, Fe_2O_3 - F, SO_3 - S

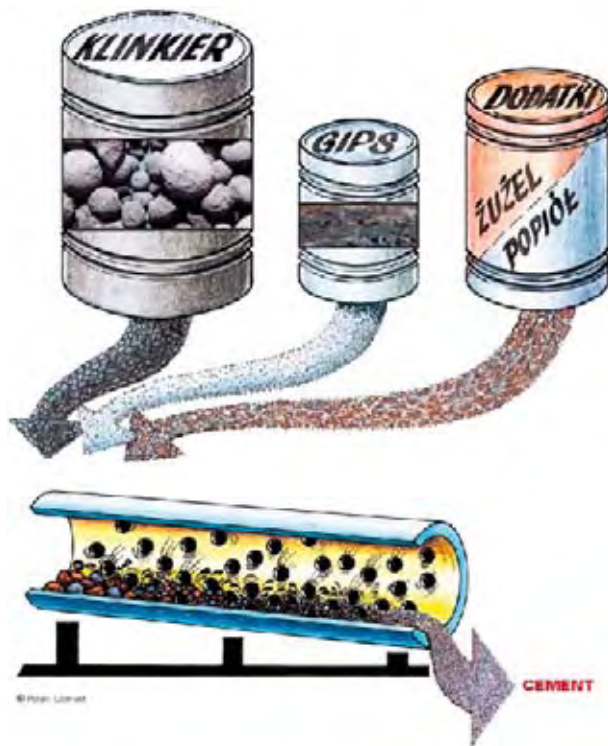
DODATKI

Żużel - powstaje jako produkt uboczny w procesie wielkopieczowym (produkcja surowki). W wyniku gwałtownego schłodzenia stopionego żużla wielkopieczowego uzyskuje się granulowany żużel wielkopieczowy, który jest bardzo wartościowym dodatkiem mineralnym do cementów.



Popiół - spalaniu węgla w zakładach energetycznych towarzyszy powstawanie odpadu jakim jest popiół.

W wyniku oczyszczania gazów spalinowych (w elektrofiltrach) wytrącane są tzw. popioły lotne, które wykorzystuje się jako dodatek do cementu.



Kolejnym etapem produkcji jest przemiał klinkieru z gipsem (lub anhydrytem), a otrzymanym produktem jest cement portlandzki. Podczas przemiału można wprowadzić dodatki hydrauliczne jak np. żużel wielkopieczowy lub popiół lotny, co pozwala uzyskać cementsy hutnicze, cement portlandzki z dodatkami lub cement pucolanowy.

Rodzaje cementów powszechnego użytku wg PN-EN 197-1 z uwagi na ilość dodatków

Nazwa cementu	Oznaczenia wg PN-EN 197-1	Zawartość dodatku mineralnego, %	Zakres stosowania
cement portlandzki	CEM I	—	Cementy powszechnego zastosowania w budownictwie ogólnym, przemysłowym i specjalistycznym, w tym budownictwo drogowe
cement portlandzki wieloskładnikowy	CEM II/A CEM II/B	6 - 20 21 - 35	Cementy powszechnego zastosowania w budownictwie ogólnym, przemysłowym, w tym budownictwo drogowe
cement hutniczy	CEM III/A CEM III/B CEM III/C	36 - 65 66 - 80 81 - 95	Cementy powszechnego zastosowania w budownictwie ogólnym, przemysłowym, w tym szczególnie w budownictwie hydrotechnicznym oraz w budowlach pracujących w warunkach zwiększonego zagrożenia korozyjnego
cement pucolanowy	CEM IV/A CEM IV/B	11 - 35 36 - 55	Cementy powszechnego zastosowania w budownictwie ogólnym, przemysłowym, w tym budownictwo drogowe
cement wieloskładnikowy	CEM V/A CEM V/B	36 - 60 60 - 80	Budownictwo ogólne, specjalistyczne, wodno-inżynierskie

Cementy specjalne wg PN-B-19707

Cementy specjalne spełniają wymagania normy PN-EN 197-1. Dodatkowe wymagania dla cementów specjalnych przedstawiono poniżej.

Rodzaj cementu LH	Wymagania
CEM I do CEM V	Ciepło hydratacji po 41 godzinach poniżej 270 J/g (oznaczone metodą semiadiabatyczną)
	Ciepło hydratacji po 7 dniach poniżej 270 J/g (oznaczone metodą ciepła rozpuszczania)

Cement siarczanoodporny HSR

Rodzaj cementu HSR	Wymagania
CEM I do CEM V	$C_3A \leq 3\%$ Zawartość $Al_2O_3 \leq 5\%$ Wartość ekspansji w roztworze Na_2SO_4 po 1 roku $\leq 0,5\%$ ^b
CEM II/B-V	$C_3A \leq 10\%$ (w klinkierze), udział popiołu krzemionkowego Vc $\geq 25\%$, Wartość ekspansji w roztworze Na_2SO_4 po 1 roku $\leq 0,5\%$ ^b
CEM III	Udział granulowanego żużla, S $\geq 55\%$ Wartość ekspansji w roztworze Na_2SO_4 po 1 roku $\leq 0,5\%$ ^b
CEM IVd	$C_3A \leq 10\%$ (w klinkierze) Udział sumy pyłu krzemionkowego D i popiołu lotnego krzemionkowego Vc $\geq 25\%$ Wartość ekspansji w roztworze Na_2SO_4 po 1 roku $\leq 0,5\%$ ^b

a) Zawartość glinianu trójwapieniowego obliczana jest w % masy z równania $C_3A = 2,65 Al_2O_3 - 1,65 Fe_2O_3$
 Wyniki analizy chemicznej cementu przeliczone na substancje wyprażoną (bez strat prażenia) należy korygować o zawartość $CaCO_3$ i $CaSO_4$. Zawartość CO_2 oznaczana jest wg PN-EN 196-21

b) Badanie sprawdzające wykonywane 2 razy w roku

c) Nie dopuszcza się składników innych niż klinkier i popiół lotny krzemionkowy (V). Popiół lotny krzemionkowy (V) powinien spełniać wymagania:
 -Zawartość reaktywnego CaO mniejsza niż 5,0%
 -Zawartość reaktywnego SiO_2 nie mniej niż 25,0%
 -Zawartość strat prażenia poniżej 5,0%

d) W cementach CEM IV nie dopuszcza się składników głównych innych niż klinkier, pył krzemionkowy (D) i popiół lotny krzemionkowy (V). Udział popiołu lotnego krzemionkowego (V) w cementach CEM II/B-V i CEM IV (V) lub udział sumy pyłu krzemionkowego (D) i popiołu lotnego krzemionkowego (V) w cementach CEM IV (D-V) obliczana jest w % masy z równania: $V=NR \times 1,28$ gdzie NR stanowi zawartość pozostałości nierozpuszczalnej w cemencie oznaczana wg PN-EN 196-2.

Cement niskoalkaliczny NA

Rodzaj cementu HSR	Wymagania
CEM I CEM II ^a CEM IV CEM V	$\leq 0,6\% \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}^{\text{b}}$
CEM II/B-S	Udział granulowanego żużla wielkopiecowego, S $\geq 21\%$ $\leq 0,7\% \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}^{\text{b}}$
CEM III/A	Udział granulowanego żużla wielkopiecowego, S $\geq 49\%$ $\leq 0,95\% \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}^{\text{b}}$
	Udział granulowanego żużla wielkopiecowego, S $\geq 50\%$ $\leq 1,10\% \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}^{\text{b}}$
CEM III/B	Skład wg EN 197-1 $\leq 2,0\% \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}^{\text{b}}$
CEM III/C	Skład wg EN 197-1 $\leq 2,0\% \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}^{\text{b}}$
a) z wyjątkiem CEM II/B-S	
b) $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O}$	

Podstawowym kryterium klasyfikującym cementy jest ich klasa tj. wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach twardnienia (wyrażona w MPa) zaprawy normowej wykonanej z danego cementu. Obecnie Polska Norma (PN-B-19701) przewiduje następujące klasy cementów: 32,5; 42,5; 52,5.

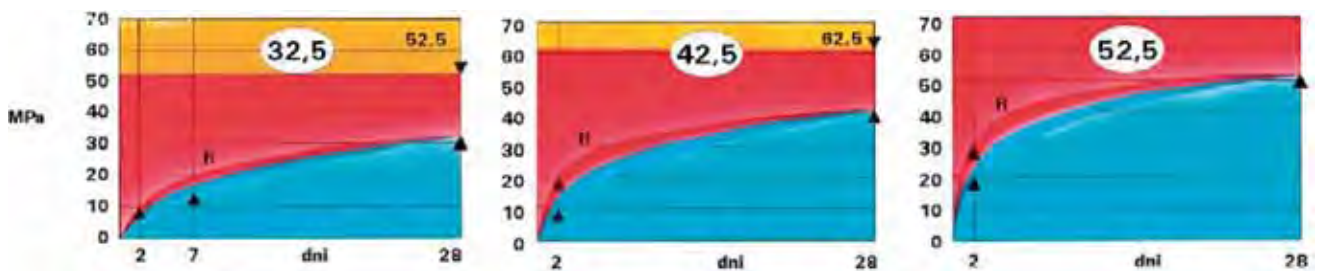
Klasy wytrzymałości

Nowe klasy wytrzymałości!

KLASA WYTRZYMAŁOŚCI (wytrzymałość po 28 dniach w MPa)		Wytrzymałość wczesna w MPa		
Normy obowiązujące	Norma znowelizowana	Normy obowiązujące (po 3 dniach)	Norma znowelizowana (po 2 dniach)	
			odmiana szybkotwardnąca (II)	
25	32,5	12,0*	16,0*	10,0
35		15,0		
45	42,5	20,0	10,0	20,0
50	52,5	22,0	20,0	30,0
55		25,0		
60		27,0		

* Po 7 dniach twardnienia

© Polski Cement



HYDRATACJA*

Cement po zarobieniu z wodą ulega hydratacji, czyli uwodnieniu. Ilość wody niezbędna do hydratacji cementu waha się od 20 do 25% jego masy.



W początkowym okresie gliniany wapniowe (CA) uwadniają się bardzo szybko - zjawisko to należy hamować tak, aby nie dopuścić do przedwczesnego tężenia zaczynu. Dodatek siarczanu wapniowego (gips lub anhydryt) powoduje spowolnienie tych procesów poprzez utworzenie uwodnionych siarczano-glinianów wapniowych otaczających ziarna glinianów.

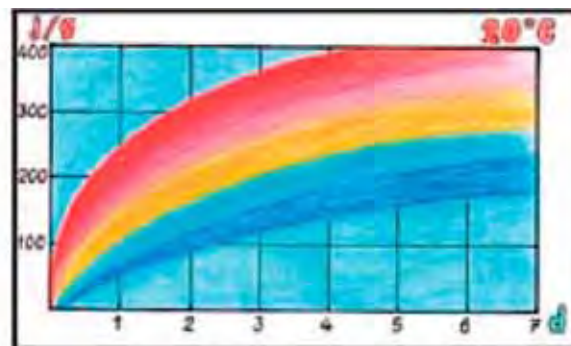
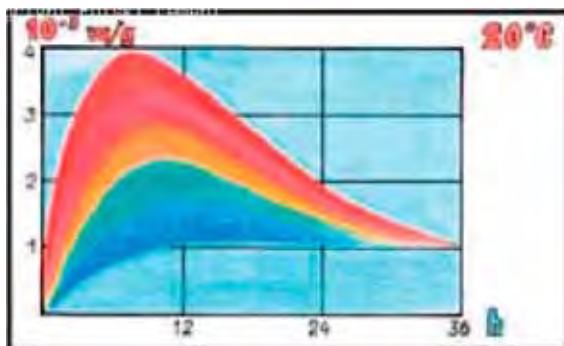
Krzemiany wapniowe (CS) ulegają wolniej uwodnieniu niż gliniany, a procesowi hydratacji towarzyszy powstawanie wodorotlenku wapniowego i bardzo trwałej struktury uwodnionych krzemianów wapniowych (CSH).

Żużel wielkopiecowy i popiół lotny wchodzi w reakcję chemiczną z utworzonym wodorotlenkiem wapniowym tworząc także uwodnione krzemiany wapniowe. Powstałe hydraty zagęszczają strukturę wpływając korzystnie na trwałość zaczynu cementowego.

* Zastosowano uproszczone oznaczenia minerałów klinkierowych i niektórych produktów hydratacji.

EFEKTY CIEPLNE

Procesom hydratacji towarzyszy wydzielanie ciepła. Cementy portlandzkie wysokich klas w porównaniu z cementami zawierającymi dodatki, wydzielają znacznie większe ilości ciepła. W przypadku wznoszenia dużych maszywów betonowych należy stosować cementy o niskim cieple hydratacji, by nie dopuścić do powstania naprężeń termicznych prowadzących do powstania rys i mikrospekkań.



■ cement szybkosprawny

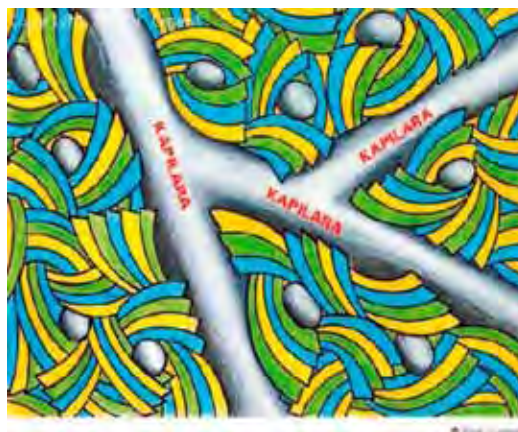
■ cement zwykły

■ cement o niskim cieple hydratacji

STRUKTURA ZACZYNU CEMENTOWEGO

Stwardniały zaczyn cementowy wypełniony jest gęsto ułożonymi produktami hydratacji, pomiędzy którymi występują wolne przestrzenie zwane porami. Zawartość i kształt porów ma decydujące znaczenie dla wytrzymałości i trwałości zaczyń cementowych. Niewielkie pustki (pory żelowe od 0,1 do 0,01 μm) nie mają dużego znaczenia, jednak większe pory kapilarne powodują znaczne obniżenie jakości betonu.

Pory kapilarne są przede wszystkim wynikiem stosowania większej ilości wody niż wynika to z rzeczywistego zapotrzebowania mieszanki betonowej. Dlatego też bardzo ważnym czynnikiem jest odpowiedni stosunek ilości wody do cementu (w/c), którego wartość wpływa bezpośrednio na jakość betonu. Niska wartość wskaźnika wodno-cementowego (w/c) pozwala uzyskać betony wysokiej jakości, i przeciwnie - nadmiar wody (wysoka wartość w/c) znacznie pogarsza wszystkie parametry betonu.



WODA

Czystość wody jest podstawowym warunkiem prawidłowej hydratacji cementu. Wody zawierające chlorki, siarczany, czy też związki organiczne nie mogą być stosowane w produkcji betonu. Woda wydzielająca zapach, nieprzeźroczysta musi zostać zbadana laboratoryjnie w celu potwierdzenia przydatności do produkcji betonu.

KRUSZYWO

Pospolite określenie „kamień”, powszechnie używane nawet przez fachowców budowlanych, ma związek z drugoplanowym traktowaniem kruszywa i często prowadzi do bagatelizowania jego jakości. A przecież kruszywo zajmuje największą objętość betonu (ok. 70%) i ma decydujące znaczenie dla uzyskania wysokiej jakości świeżej mieszanki betonowej i stwardniałego betonu.

PODZIAŁ KRUSZYW:

Kruszywa naturalne

- powstały w wyniku naturalnych procesów przyrodniczych takich jak wietrzenie skał

i erozyjne działanie wody. Okruchy skalne, które przemieszczały się w korytach rzek uzyskały okrągły kształt i nazywane są kruszywem otoczkowym.

Kruszywa łamane

- powstają w wyniku mechanicznego kruszenia skał. Najczęściej są to skały magmowe (granit, sjenit, bazalt) i skały węglanowe (wapień, dolomit). Kruszywa uzyskane ze skał magmowych charakteryzują się wysoką wytrzymałością na ściskanie i są używane do produkcji betonów wysokich klas.



WŁAŚCIWOŚCI KRUSZYW

Czystość kruszyw jest niezbędna dla uzyskania wysokiej jakości betonu. Zanieczyszczenia organiczne, głównie kwasy humusowe (powstają z rozkładu części roślin), wpływają niekorzystnie na przebieg wiązania cementu.

Pyły mineralne, za które uważa się ziarna mniejsze od 0,063mm, oblepiają ziarna kruszywa, zmniejszając powierzchnię kontaktu zaczynu cementowego z kruszywem. Są również niepożądane ze względu na wchłanianie dużej ilości wody - duża wodożądność.



Kształt ziaren

Kruszywa łamane mają kształt zbliżony do graniastosłupów o wyraźnych, ostrych krawędziach; kruszywa naturalne są zaokrąglone i mają kształt zbliżony do kuli. W obu przypadkach są to ziarna o najkorzystniejszym kształcie ze względu na mały stosunek powierzchni do objętości, co minimalizuje zużycie cementu na pokrycie powierzchni ziaren.

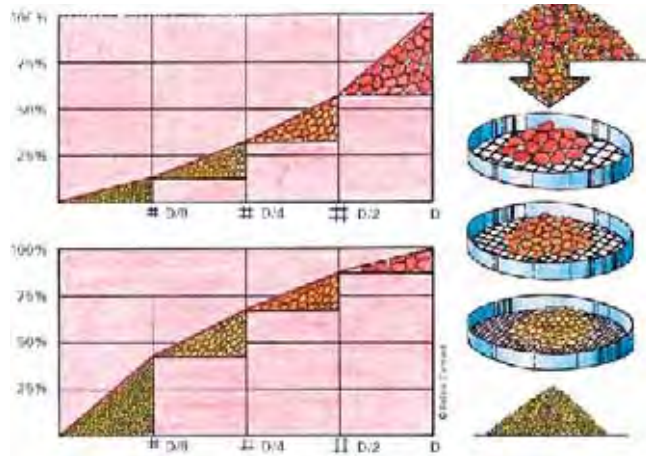


Niezależnie od pochodzenia kruszywa, mogą w nim występować również ziarna wydłużone i płaskie, które, występując w nadmiarze, utrudniają szczelne ułożenie mieszanki betonowej. Ponadto w trakcie zagęszczania betonu, pod ziarnami płaskimi wydziela się woda, która po odparowaniu pozostawia pustki obniżające wytrzymałość i szczelność betonu.

Uziarnienie kruszywa


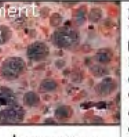



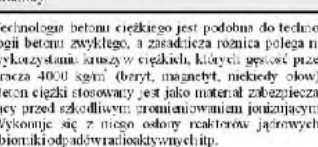
Oznaczenie składu ziarnowego wykonuje się metodą analizy sitowej. Metoda polega na przesianiu kruszywa przez zestaw sit kontrolnych i ustaleniu ilości kruszywa, które pozostało na poszczególnych sitach. Kruszywo, którego wymiar ograniczony jest wielkością sit nazywa się frakcją ziarnową. W Polsce stosuje się następujące sita normowe (o boku kwadratowym) charakteryzujące kruszywa do betonów zwykłych:

- 0,125;
- 0,25;
- 0,5;
- 1,0;
- 2,0;
- 4,0;
- 8,0;
- 16,0;
- 31,5/32,0;
- 63,0 i 125,0mm - (PN-86/B-06712).



BETON

Charakterystyka

B E T O N	lekki Gęstość: 1800-2000 kg/m³	 Praszkowy cement	 Produkuje się wiele gatunków i odmian betonów lekkich. W zależności od technologii produkcji można wyróżnić: betony komórkowe (gazobeton, pianobeton), betony lekkie kruszywowe (jamisty, pórwnaty, zwarty). Cechą charakterystyczną tych betonów jest bardzo niski współczynnik przewodności cieplnej (0,02-1,2 W/mK) oraz stosunkowo niska wytrzymałość na ściskanie (przeciętnie 10-20 MPa). Stosowane są jako materiały izolacyjne (izolacja termiczna) lub izolacyjno-konstrukcyjne.
	zwykły Gęstość: 2300-2500 kg/m³	 bezkruszywowo	 kruszywowo
	ciężki Gęstość: 2300-2500 kg/m³	 struktura betonu zwykłego	 Beton zwykły jest jednym z podstawowych materiałów budowlanych. Jako materiał konstrukcyjny przewyższa właściwościami mechanicznymi wyroby „ceramiki czerwonej”. Z betonu zwykłego produkuje się zarówno małe elementy jak np. betonowa kostka brukowa, jak i potężne konstrukcje monolityczne np. łamy, zapory wodne. Beton zwykły jest doskonałym materiałem do budowy dróg, mostów i innych elementów infrastruktury.

Projektowanie składu betonów zwykłych

Beton zwykły wytwarza się z: kruszywa grubego, piasku, cementu i wody oraz ewentualnych dodatków mineralnych i domieszek chemicznych.

W praktyce stosuje się następujące metody projektowania składu betonu:

- doświadczalne
- obliczeniowe
- obliczeniowo-doświadczalne

We wszystkich tych metodach, opierając się na podstawowych równaniach: wytrzymałości, szczelności i wodożądności, dąży się do uzyskania pożądanych cech świeżej mieszanki i stwardniałego betonu przy minimalnym zużyciu cementu i maksymalnej ilości kruszywa.

Definicje:

zaczyn cementowy - mieszanina cementu i wody

zaprawa - mieszanina cementu, wody i piasku

mieszanka betonowa - mieszanina wszystkich składników przed związaniem betonu
beton - „sztuczny kamień”, powstały z mieszanki betonowej po zakończeniu wiązania. Projektowanie betonu polega na ilościowym ustaleniu optymalnego udziału poszczególnych składników betonu, w celu uzyskania wymaganych właściwości świeżej mieszanki betonowej i stwardniałego betonu.



Podstawy teoretyczne

Kruszywo i piasek tworzy w betonie szkielet kamienny, który powinien spełniać dwa warunki:

- maksymalnie wypełniać objętość tak, aby ilość „pustek” była możliwie mała
- całkowita powierzchnia szkieletu powinna być jak najmniejsza, aby minimalizować zużycie cementu.

Zaczyn cementowy pełni funkcję „kleju”, którego jakość zależy od stosunku wody do cementu (w/c). Wartość tego wskaźnika powinna być możliwie niska.

W celu uzyskania szczelnego stosu ziarnowego (szkieletu kamiennego) zostały opracowane graniczne krzywe uziarnienia kruszywa (PN-88/B-06250) dla kruszyw o różnym maksymalnym wymiarze ziaren: 16,0; 31,5 i 63,0mm.

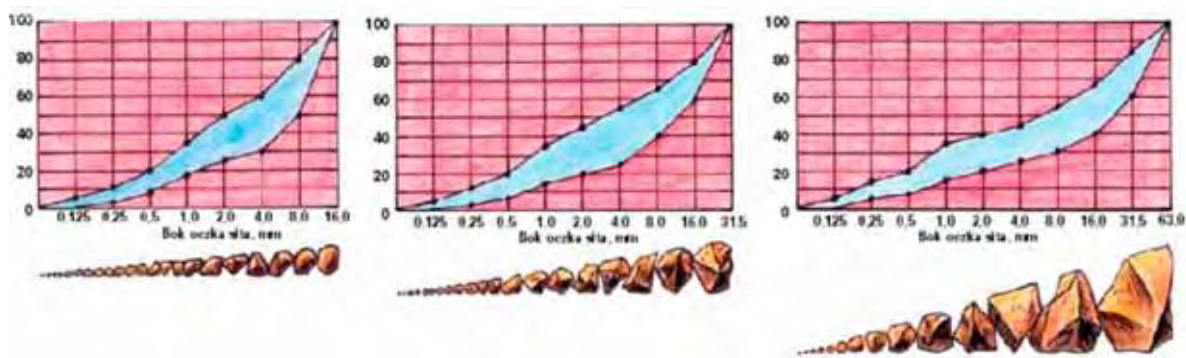
Zalecane krzywe uziarnienia piasku frakcji 0 do 2 mm



Najdrobniejszym kruszywem jest piasek, którego uziarnienie nie mieści się w granicach 0 - 2 mm.

- przeciętne betony
- betony o wysokiej wytrzymałości

Krzywe uziarnienia (łącznie) grup frakcji kruszywa:



Przykłady kruszyw



Piasek 0-2 mm



Zwir 4-16 mm



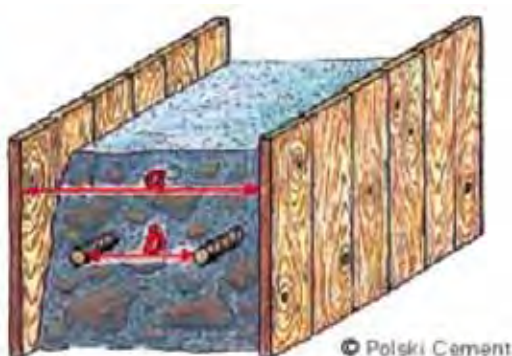
Cement 4-16 mm



Rzecz 4-8 mm

Dobór uziarnienia

Przy doborze uziarnienia kruszywa należy kierować się zasadą, aby kruszywo było możliwie grube. Zbyt duży udział frakcji drobnych (piasek) w mieszaninie kruszyw prowadzi do nieuzasadnionego wzrostu zapotrzebowania na cement (pogorszenie ekonomicznych warunków produkcji betonu) oraz wodę. Powoduje to także pogorszenie wielu cech stwardniałego betonu. W praktyce, należy jednak uwzględnić dodatkowo pewne ograniczenia, wynikające z grubości elementu betonowego i stosowania zbrojenia.



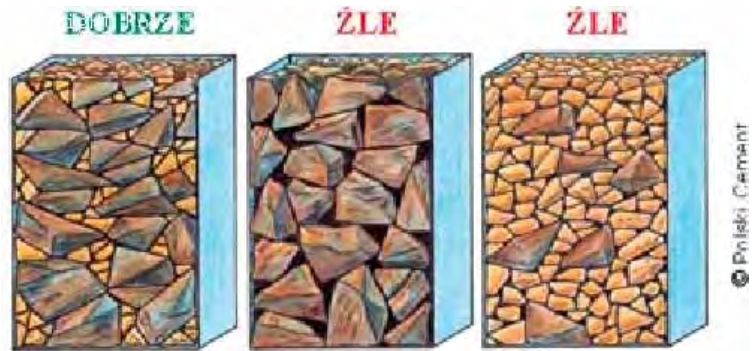
Maksymalny wymiar ziaren kruszywa nie może być większy niż:

- a $1/3$ najmniejszego wymiaru przekroju poprzecznego elementu
- b $3/4$ odległości między prętami zbrojenia

Należy dążyć do tego, aby w całej mieszance kruszyw obecne były (w odpowiednich proporcjach) wszystkie frakcje ziarnowe. Brak lub niedobór pewnych frakcji ziarnowych prowadzi do wyraźnego pogorszenia urabialności świeżej mieszanki oraz obniża jakość stwardniałego betonu.

Kształt elementu betonowego ograniczony jest formą (deskowaniem). Podczas zagęszczania mieszanki betonowej w pobliżu ściany formy, kruszywo grube ma ograniczoną możliwość do ścisłego wypełnienia objętości (inaczej niż ma to miejsce w „środku” elementu

betonowego). Powstałe luki między grubymi frakcjami kruszywa muszą być wypełnione zaprawą i w efekcie zapotrzebowanie na nią w pobliżu ścian formy rośnie. Zjawisko takie określa się jako „efekt ściany”.



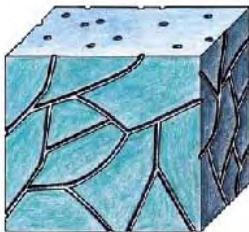
Mieszanka betonowa stosowana do produkcji cienkościennych elementów o skomplikowanym kształcie powinna zawierać większą ilość zaprawy niż mieszanki przeznaczone do betonowania dużych maszywów.

PN 88/B-06250	
Rodzaje wyrobów, elementów lub konstrukcji	Zalecana ilość zaprawy w dm^3 na 1 m^3 mieszanki betonowej
Zelbetowe i betonowe konstrukcje masywne o najmniejszym wymiarze przekroju większym niż 500 mm i kruszywie do 63 mm	400–450
Spreżone, zelbetowe i betonowe wyroby, elementy i konstrukcje o najmniejszym wymiarze przekroju większym niż 60 mm i kruszywie do 31,5 mm	450–550
Spreżone, zelbetowe i betonowe wyroby, elementy i konstrukcje o najmniejszym wymiarze przekroju nie większym niż 60 mm i kruszywie do 16 mm	500–550



Wskaźnik wodno-cementowy (w/c)

Wskaźnik wodno - cementowy (w/c)



WODA
CEMENT ↓ Niski wskaźnik w/c gwarantuje uzyskanie betonu wysokiej jakości.



WODA
CEMENT ↑ Wysoka wartość wskaźnika w/c wpływa bardzo niekorzystnie na szereg właściwości betonu

niższa wytrzymałość betonu (R)

wyższa porowatość

wyższa nasiąkliwość

niższa mrozoodporność

gorsze warunki ochrony stali

mniej odporność na działanie środowisk korozyjnych

© Polski Cement

Konsystencja

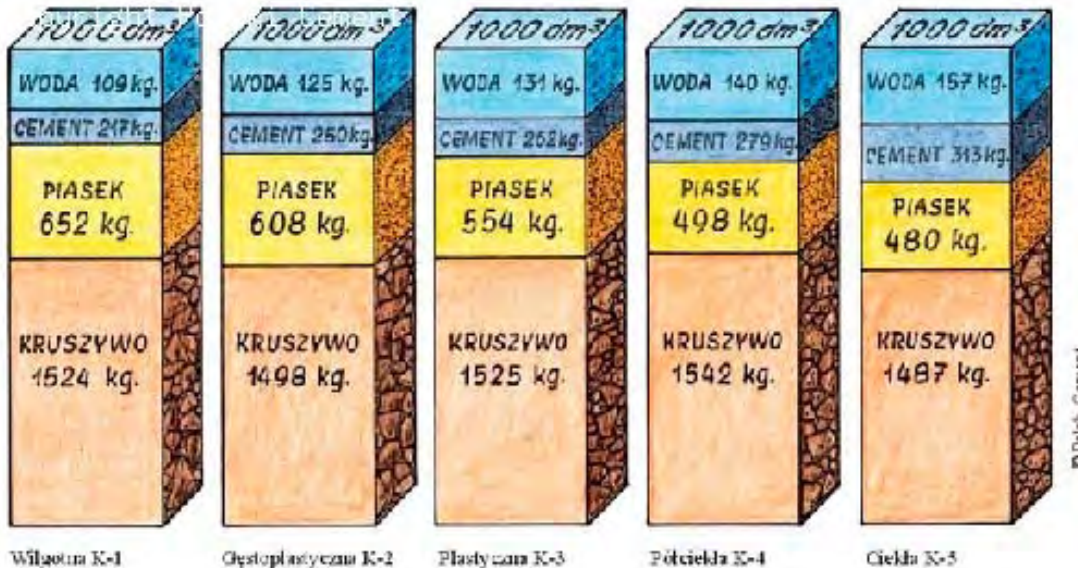
W zależności od sposobu zagęszczania mieszanki betonowej (mechaniczny, ręczny) powinna zostać dobrana jej właściwa konsystencja (ciekłość).



UWAGA:

W celu zwiększenia ciekłości w żadnym wypadku nie wolno dodawać wody (pogorszenie w/c), można natomiast zwiększyć ilość zaczynu cementowego (proporcjonalne zwiększenie ilości wody i cementu) lub zastosować domieszki chemiczne.

Przykładowy skład betonu klasy B20, wykonanego z cementu klasy 32,5:



PN-88/B-06250

Konsystencja i jej symbol	Sposoby zagęszczania i warunki formowania (kształt przekroju, ilość zbrojenia)
Wilgotna K-1	mieszanki wibrowane (powyżej 100 Hz) i wibroprasowane; przekroje proste, rzadko zbrojone
Gęstoplastyczna K-2	mieszanki wibrowane lub ubijane ręcznie; przekroje proste, rzadko zbrojone
Plastyczna K-3	mieszanki wibrowane i ręcznie sztychowane, przekroje proste, normalnie zbrojone (około 1–2,5%) lub mieszanki wibrowane; przekroje złożone, rzadko zbrojone
Półciekła K-4	mieszanki wibrowane i ręcznie sztychowane, przekroje złożone, gęsto zbrojone lub ręcznie sztychowane; proste przekroje, normalnie zbrojone
Ciekła K-5	mieszanki ręcznie sztychowane

DOZOWANIE I MIESZANIE SKŁADNIKÓW BETONU

Dozowanie składników może odbywać się: objętościowo, wagowo i w sposób wagowo-objętościowy. Najlepszym rozwiązaniem jest metoda wagowa zapewniająca wysoką precyzję dozowania składników.



© Polski Cement

Mieszanie składników betonu ma na celu uzyskanie maksymalnej jednorodności świeżej mieszanki betonowej. Kruszywo, cement, woda oraz ewentualne dodatki i domieszki muszą stanowić jednolitą masę o równomiernym rozmieszczeniu składników. Niezależnie od rodzaju urządzenia mieszającego (betoniarki) powinno być ono wypełnione składnikami mieszanki w ok. 70%. Czas mieszania uzależniony jest od konsystencji mieszanki, jednak nie może być krótszy niż 1 min. (w przypadku konsystencji półciekłej i ciekłej).

W przypadku mieszanek o mniejszej ciekłości (wilgotna, gęstoplastyczna i plastyczna) należy czas mieszania wydłużyć dwu lub trzykrotnie. Kolejność

wprowadzania składników może być różna, jednak nigdy cement nie może być wprowadzany jako pierwszy, ze względu na możliwość przyklejenia się do wilgotnych ścian urządzenia mieszającego.

UKŁADANIE I ZAGĘSZCZANIE BETONU

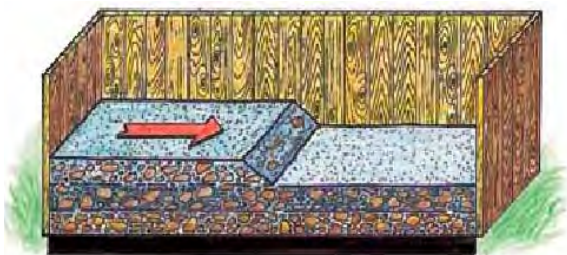
Zachowanie jednorodności mieszanki betonowej w trakcie układania jest podstawowym warunkiem uzyskania żądanych parametrów konstrukcji betonowych.

Nie wolno zrzucać mieszanek betonowych z dużych wysokości ze względu na możliwość segregacji składników betonu. W przypadku dużych wysokości należy stosować rynny lub rury.

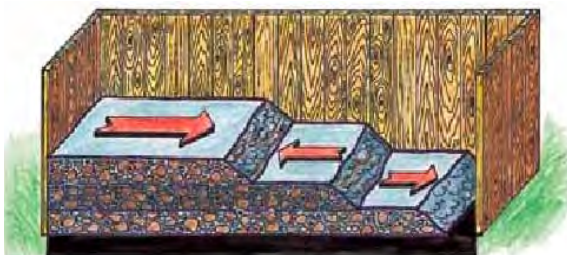


© Polski Cement

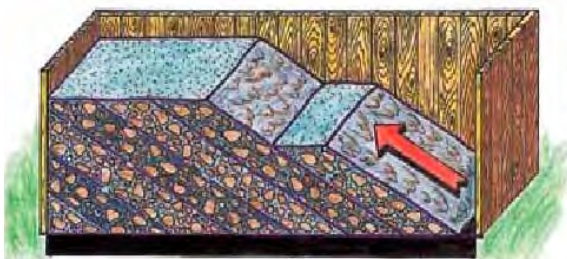
Prawidłowe sposoby układania mieszanki betonowej:



poziomymi warstwami ciągłymi - mieszankę układa się na całej powierzchni elementu betonowego, sposób ten jest korzystny w przypadku niezbyt dużych powierzchni

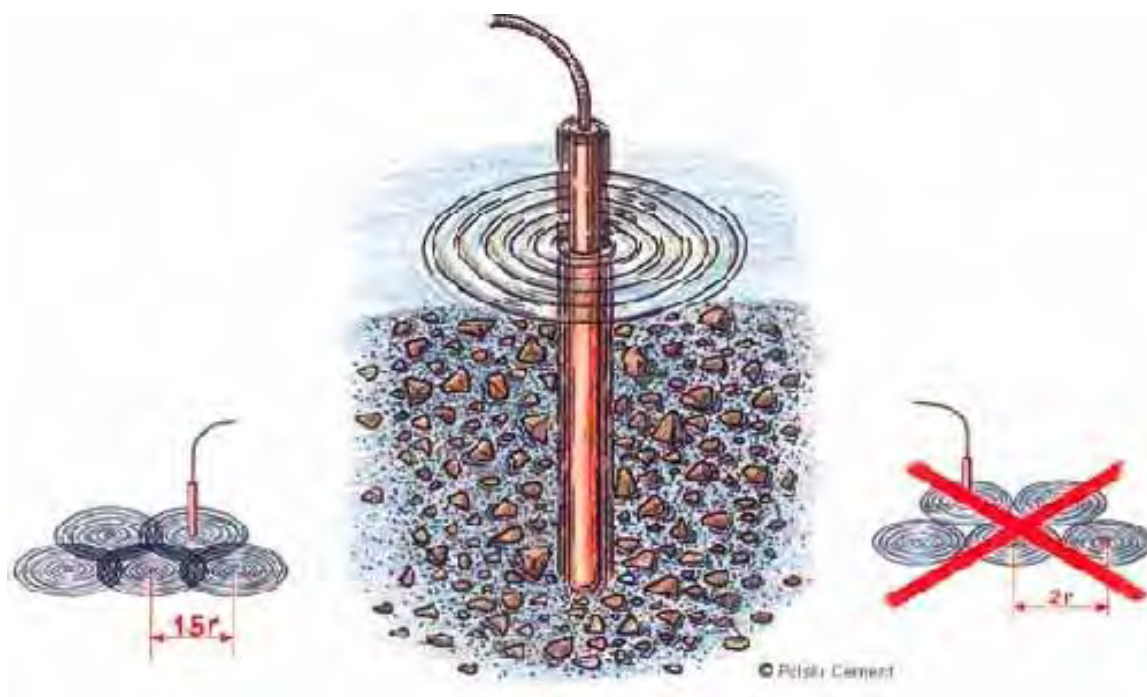


poziomymi warstwami ze stopniowaniem - sposób ten jest stosowany przy dużych powierzchniach i niewielkiej grubości



warstwami pochyłymi - mieszanka układana jest na całą wysokość elementu betonowego, sposób ten stosuje się w przypadku wysokich elementów

Zagęszczanie mieszanki betonowej wibratorem wężowym

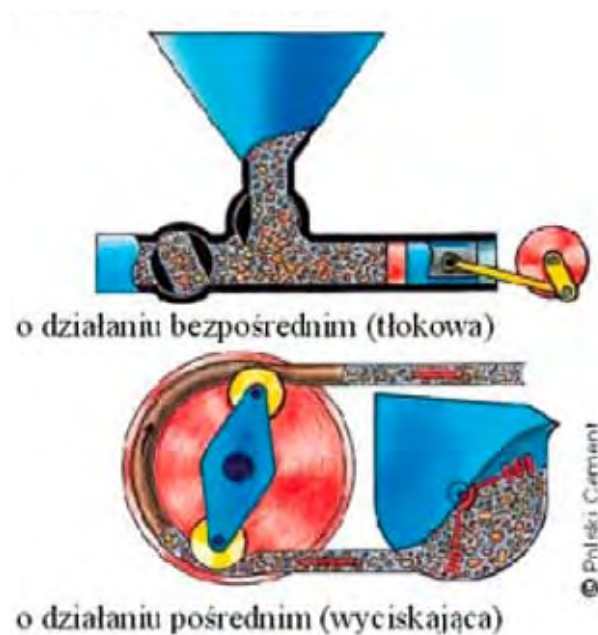


BETON TOWAROWY

Coraz większym powodzeniem cieszy się beton towarowy, który produkowany jest w specjalistycznych wytwórniach betonu gwarantujących wysoką jakość mieszanek betonowych. W takich warunkach najczęściej produkowany jest beton konsystencji półciekłej i ciekłej, który z powodzeniem może być pompowany. Pompy betonu pozwalają na podawanie mieszanki betonowej nawet na odległość 300m i wysokość 35m.



POMPY DO BETONU



PIELĘGNACJA BETONU

W początkowym okresie wiązania, beton narażony jest na utratę znacznych ilości wody. Woda wchłaniana jest przez chropowate deskowanie, ale bardziej niebezpieczne jest parowanie wody z powierzchni betonu.

Słońce i silny wiatr są naturalnymi czynnikami wpływającymi na szybką utratę wody przez

beton. Przyjmuje się, że w okresie letnim, z 1 m² świeżego elementu betonowego, w ciągu 1 godziny, wyparowuje ok. 2 litrów wody.

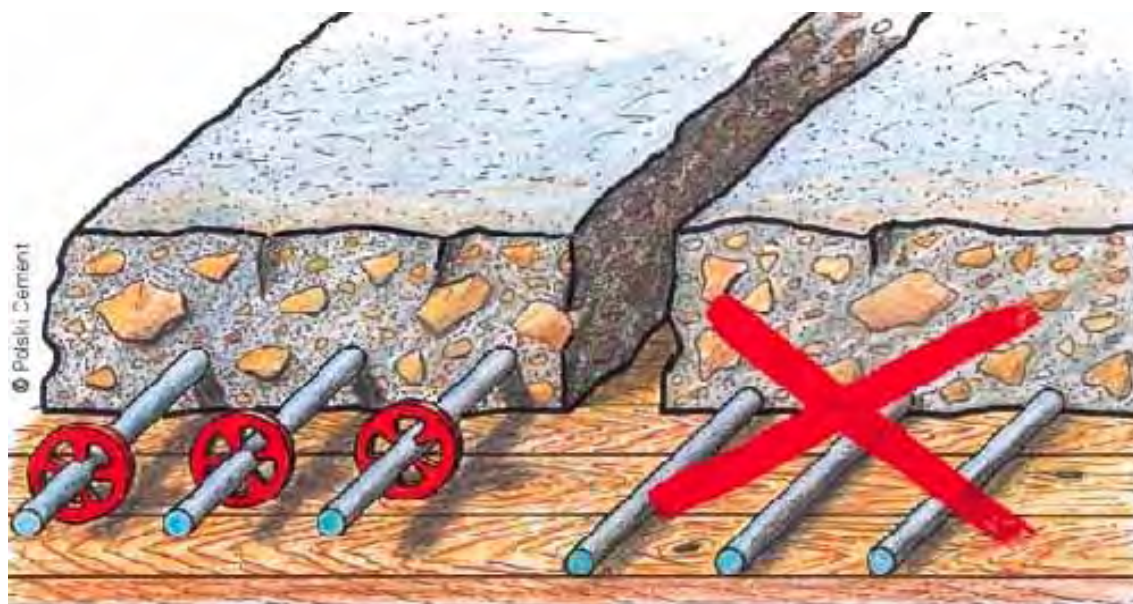


Dlatego też powierzchnia betonu musi być odpowiednio zabezpieczona. Można to uzyskać np. przez pokrycie powierzchni betonu środkiem chemicznym zapobiegającym parowaniu wody lub osłonić beton folią. W przypadku świeżych konstrukcji betonowych dojrzewających w okresie letnim należy systematycznie polewać je wodą. Świeży beton należy również chronić przed silnym deszczem. Wypłukanie

zaczynu cementowego z wierzchniej warstwy betonu odsłania kruszywo, które, słabiej związane, ulega łatwemu wykruszeniu. Powierzchnia betonu staje się chropowata, co dodatkowo pogarsza jej estetykę.

OCHRONA STALI

Prawidłowo zaprojektowany i wykonany beton stanowi znakomite zabezpieczenie dla stali zbrojeniowej (pasywacja stali).










wyniku reakcji chemicznej na powierzchni stali zostaje utworzona szczelna warstwa żelazianu wapniowego chroniąca stal przed korozją. Aby uzyskać pożądany i trwały efekt ochronny, powierzchnia stali przed betonowaniem musi być oczyszczona z ewentualnych produktów korozji (rdza), a pręty stalowe muszą zostać otoczone odpowiedniej grubości warstwą betonu (otulina). Nie można dopuścić do tego, żeby w trakcie betonowania „zbrojenie” spoczywało bezpośrednio na deskowaniu.

BADANIE CECH BETONU

Konsystencja

PN-88/B-0625C

Konsystencja	Ve – Be	STOŻEK
Wilgotna K1	 > 28 sek	—
Gęstoplastyczna K2	 27-14 sek	—
Plastyczna K3	 13-7 sek.	 2-5 cm
Półciekła K4	 < 6 sek.	 6-11 cm
Ciekła K5	—	 12-15 cm

W Polsce stosowane są dwie metody pomiaru konsystencji mieszanki betonowej:

metoda Ve-Be - polega na pomiarze czasu potrzebnego do wypłynięcia zaczynu cementowego na powierzchnię mieszanki betonowej podczas wibrowania

metoda stożka opadowego - polega na pomiarze różnicy wysokości formy stożkowej i wysokości stożka utworzonego przez mieszankę betonową po zdjęciu formy

WYTRZYMAŁOŚĆ

Wytrzymałość betonu na ściskanie oznaczana jest na kostkach sześciennych o długości



krawędzi 100, 150 i 200 mm, formowanych lub wycinanych z konstrukcji betonowej. Badana kostka betonowa poddawana jest działaniu siły ściskającej aż do momentu zniszczenia. Wytrzymałość na ściskanie definiowana jest jako stosunek maksymalnej wartości siły ściskającej (niszczącej próbkę) do pola powierzchni ściskanej. Wytrzymałość wyrażana jest w MPa.

DOMIESZKI CHEMICZNE

Domieszki chemiczne stosuje się w celu polepszenia właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Substancje te dozowane są w ilościach nie przekraczających 0,2-5,0% masy cementu.

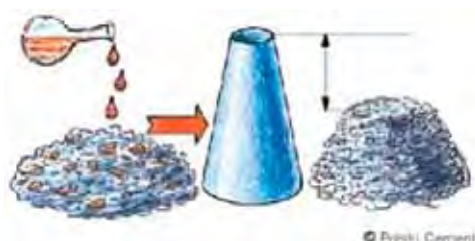
Istnieje wiele domieszek chemicznych - do najważniejszych należą:

- domieszki uplastyczniające,
- domieszki napowietrzające,
- domieszki przyspieszające lub opóźniające wiązanie i twardnienie,
- domieszki uszczelniające.

Domieszki uplastyczniające



Działanie domieszek uplastyczniających można porównać z utworzeniem się śliskiej otoczki na ziarnach kruszywa i cementu. Otoczki te, zmniejszając tarcie, ułatwiają przemieszczanie się ziaren powodując w efekcie zwiększenie ciekłości mieszanki betonowej.



Zalety stosowania domieszek uplastyczniających:

- zwiększenie ciekłości (konsystencja może się zmienić nawet o dwie jednostki)
- ograniczenie ilości wody przy stałej konsystencji - obniżenie w/c, czyli zwiększenie wytrzymałości lub zmniejszenie zużycia cementu.

Domieszki napowietrzające

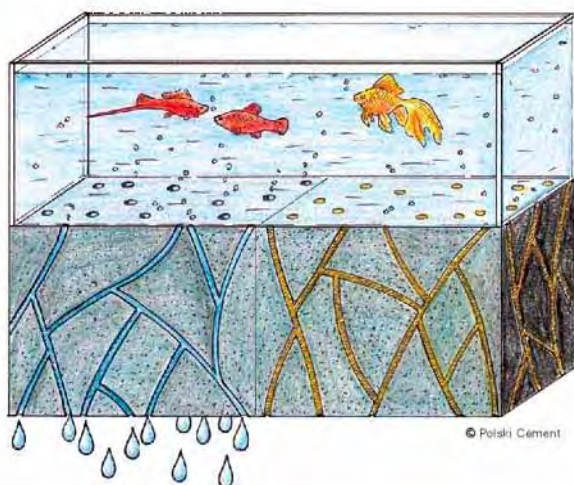
Wprowadzenie domieszek napowietrzających powoduje zmianę struktury betonu przez co uzyskuje się znaczną poprawę mrozoodporności.



W masie betonu powstają równomiernie rozłożone niewielkie pęcherzyki powietrza, które „przerywają” pory kapilarne (patrz struktura zaczynu cementowego). Woda zamarzając w kapilarach zwiększa swoją objętość, a powstający lód zamiast rozsadzać beton wciska się w powstałe pory powietrzne.

Domieszki uszczelniające

Domieszki uszczelniające stosuje się w celu poprawy wodoszczelności i zmniejszenia nasiąkliwości betonu. Prowadzi to do znacznego zwiększenia trwałości betonu.



Aby zrozumieć istotę działania domieszek uszczelniających należy pamiętać o istnieniu porów (kapilar) w zaczynie cementowym (patrz struktura zaczynu). Pory kapilarne tworzą „sieć mikrokanalików”, którymi woda lub czynniki agresywne wnikają w beton. Wyższą szczelność betonu wynikającą z działania domieszek chemicznych można uzyskać kilkoma sposobami:

- wypełnienie porów przez pyły mineralne,
- wprowadzenie substancji reagujących z

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (produkt hydratacji cementu), w wyniku, którego powstają trudno rozpuszczalne związki chemiczne wypełniające pory,

- zmniejszenie zwilżalności - hydrofobizacja - utrudniona penetracja czynników agresywnych,
- zmniejszenie ilości wody zarobowej - korzystne obniżenie wskaźnika w/c.

KOROZJA BETONU

Korozja siarczanowa

Wodne roztwory zawierające siarczany powodują jedną z najgroźniejszych w skutkach - korozję siarczanową. Niszczenie betonu wywołane siarczanami polega na powstaniu trudno rozpuszczalnych związków chemicznych i towarzyszącym temu zjawisku, wzroście objętości produktów reakcji. Znaczna objętość produktów korozyjnych prowadzi do powstania dużych naprężeń mechanicznych, a w konsekwencji beton - ulega zniszczeniu. Typowym przykładem korozji siarczanowej jest korozja etryngitowa - powstawaniu etryngitu towarzyszy zwiększenie objętości aż o 168%.



Korozja chlorkowa

Chlorki zawarte m.in. w wodzie morskiej, wodach kopalnianych wywołują korozję chlorkową. Innym źródłem agresywnego działania chlorków są tzw. środki odśnieżające (NaCl , CaCl_2) stosowane w zimowym utrzymaniu dróg.

Działanie chlorków jest podwójnie niebezpieczne: następuje niszczenie betonu w wyniku reakcji jonów chlorkowych z produktami hydratacji cementu, a dodatkowo, znacznemu przy-



spieszeniu ulegają procesy korozyjne stali zbrojeniowej. Ma to szczególne znaczenie w przypadku konstrukcji żelbetowych (mosty, wiadukty). Powstanie wżerów na powierzchni prętów stalowych powoduje znaczne zmniejszenie wytrzymałości całej konstrukcji żelbetowej, a w konsekwencji może doprowadzić do jej zniszczenia.

Korozja węglanowa

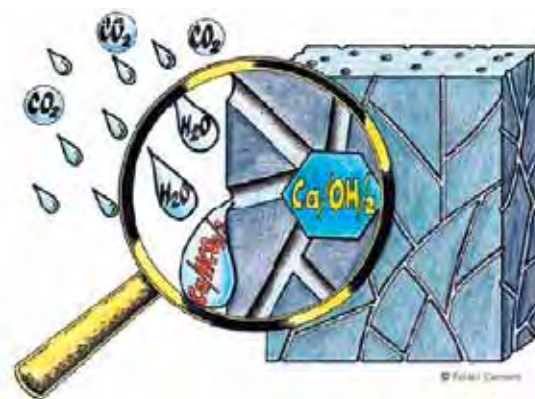
Dwutlenek węgla zawarty w powietrzu lub w roztworach wodnych wywołuje korozję węglanową. Mechanizm niszczenia betonu polega na osłabieniu struktury zaczynu cementowego spowodowanej wymywaniem produktu hydratacji - wodorotlenku wapniowego.

Proces korozyjny przebiega dwuetapowo:

- dwutlenek węgla reagując z wodorotlenkiem wapniowym powoduje powstanie węglanu wapniowego - CaCO_3 (trudno rozpuszczalny związek chemiczny). Prowadzi to do stopniowego zubożniania „otuliny” betonowej i stanowi zagrożenie dla stali zbrojeniowej (możliwość korozji).

- w wyniku dalszego działania dwutlenku

węgla i wody z węglanu wapniowego tworzy się kwaśny węglan wapniowy - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, który jako dobrze rozpuszczalny związek chemiczny jest wmywany z betonu.



Wysoką odporność korozyjną betonu uzyskuje się przez:

- wykonanie odpowiednio szczelnego betonu (niska porowatość) o niskim wskaźniku **w/c**,
- stosowaniu **właściwego rodzaju cementu** - cementy hutnicze, cementy z dodatkami, cementy siarczanoodporne i cementy pucolanowe,
- wprowadzenie domieszek chemicznych - **uszczelniające i uplastyczniające**.