

# BETON

## BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1

**Beton** – materiał powstały ze zmieszania cementu, wody, kruszywa grubego i drobnego oraz ewentualnych domieszek i dodatków, który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu.

**Mieszanka betonowa** – całkowicie wymieszane składniki betonu, które są jeszcze w stanie umożliwiającym zagęszczenie wybraną metodą

**Beton stwardniały** – beton, który jest w stanie stałym i który osiągnął pewien poziom wytrzymałości

## BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1

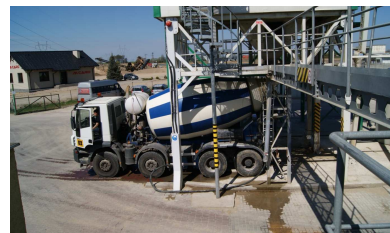
**Beton wytworzony na budowie** – beton wyprodukowany na placu budowy przez wykonawcę na jego własny użytek

**Beton towarowy** – beton dostarczony jako mieszanka betonowa przez osobę lub jednostkę niebędącą wykonawcą

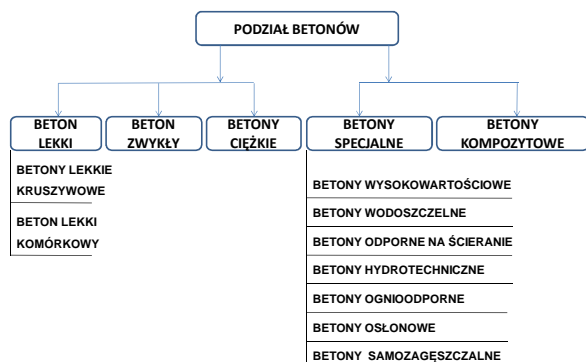


## BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1

**Zarób mieszanki betonowej** – jest to mieszanina otrzymana z jednej porcji składników załadowanych do betoniarki lub jedna porcja mieszanki dostarczona do miejsca wykorzystania.



## BETON – klasyfikacja



## BETON – klasyfikacja

**Klasyfikacja betonów ze względu na gęstość objętościową:**

- betony ciężkie  $\rho_o \geq 2600 \text{ kg/m}^3$
- beton zwykły  $\rho_o$  od 2600  $\text{kg/m}^3$  do 2000  $\text{kg/m}^3$
- betony lekkie  $\rho_o \leq 2000 \text{ kg/m}^3$

## BETON – klasyfikacja

Klasyfikacja ze względu na składniki:

- betony cementowe,
- betony żywiczne,
- betony asfaltowe,
- betony żwirowe,
- betony tłuczniowo-keramzytowe,
- betony łupkoporytowe,
- betony strużkowe (wiórki, strużki drzew iglastych), itd.

## BETON – klasyfikacja

Do betonów zalicza się także tworzywa powstałe z zapraw cementowych lub wapiennych, spulchnionych za pomocą środków gazotwórczych lub/i pianotwórczych:

- autoklawizowane betony komórkowe,
- pianobetony,
- pianogazosilikaty.

## BETON

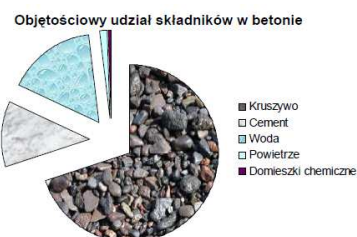
Klasyfikacja ze względu na sposób transportowania lub nanoszenia:

- beton towarowy,
- beton natryskowy.



Źródło: <http://www.niwa.szczecin.pl/>

## BETON – skład



Beton stanowi materiał budowlany powstały na skutek trwałego połączenia ziaren kruszywa zaczynem cementowym

GÓRAŹDŹE

## BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1

**Całkowita zawartość wody** – woda dodana oraz woda już zawarta w kruszywie i znajdująca się na jego powierzchni, a także woda w domieszkach i dodatkach zastosowanych w postaci zawiesin, jak również woda wynikająca z dodawania lodu lub naparzenia

**Efektywna zawartość wody** – różnica między całkowitą ilością wody w mieszance betonowej a ilością wody zaabsorbowaną przez kruszywo

## BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1

**Współczynnik woda/cement** – stosunek efektywnej zawartości masy wody do zawartości masy cementu w mieszance betonowej

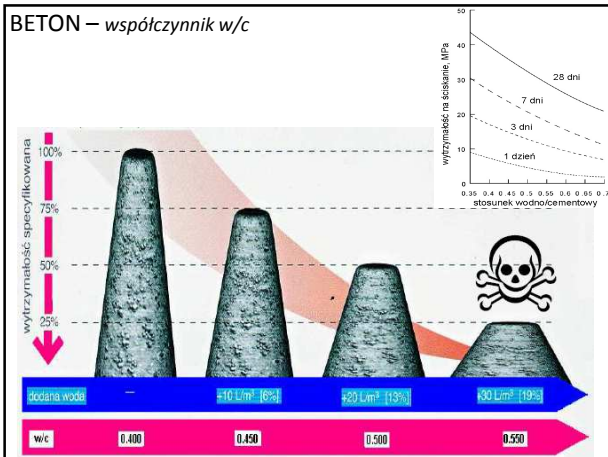
w/c



[http://www.polskicement.pl/files/Pages/112/uploaded/abc\\_betonu.pdf](http://www.polskicement.pl/files/Pages/112/uploaded/abc_betonu.pdf)

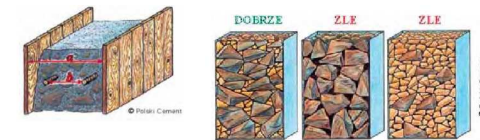
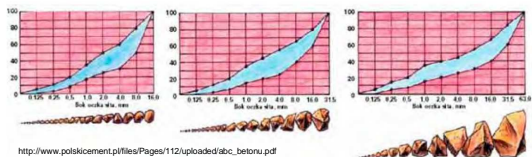
**Dlaczego nie wolno zwiększać współczynnika w/c?**

## BETON – współczynnik w/c



## BETON – projektowanie

Krzywe uziarnienia (łączne) grup frakcji kruszywa:



Źródło: [http://www.polskicement.pl/files/Pages/112/uploaded/abc\\_betonu.pdf](http://www.polskicement.pl/files/Pages/112/uploaded/abc_betonu.pdf)

14

## BETON – projektowanie

### Metoda trzech równań

Warunek wytrzymałości (równanie wytrzymałości)

$$f_c = A_i (C/W \pm 0,5)$$

Warunek konsystencji (równanie wodożądności)

$$W = C \cdot w_c + K \cdot w_k$$

Warunek szczelności (równanie szczelności)

$$C/p_c + K/p_k + W = 1000$$

$f_c$  – średnia wytrzymałość na ściskanie betonu po 28 dniach dojrzewania (MPa)

$A_i$  – współczynnik zależny od rodzaju kruszywa i klasy cementu

$C$  – ilość cementu (kg/m³ betonu)

$W$  – ilość wody (kg/m³ betonu)

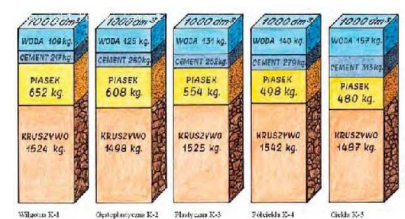
$K$  – ilość kruszywa (kg/m³ betonu)

$w_c$  – wodożądność cementu,  $w_k$  – wodożądność kruszywa

15

## BETON – przykładowe receptury

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



Źródło: [http://www.polskicement.pl/files/Pages/112/uploaded/abc\\_betonu.pdf](http://www.polskicement.pl/files/Pages/112/uploaded/abc_betonu.pdf)

16

## BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1

**Konsystencja i urabialność** – jest to zespół cech określających właściwości mieszanki betonowej, od których zależy podatność do wypełniania formy lub przestrzeni ograniczonej deskowaniem i zdolność zachowania nadanej postaci po zagęszczeniu i rozformowaniu.

## BETON – klasy konsystencji wg PN-EN 206-1

### Metody badań konsystencji mieszanki betonowej:

metoda opadu stożka (PN-EN 12350-2)



Klasa Opad stożka [mm]

S1	od 10 do 40
S2	od 50 do 90
S3	od 100 do 150
S4	od 160 do 210
S5	≥ 220

Zalecane granice od 10 mm do 210 mm

### BETON – klasy konsystencji wg PN-EN 206-1

Metoda rozplywu (PN-EN 12350-5)

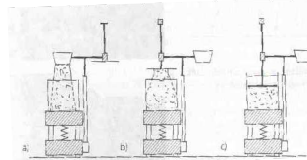


Klasa	Średnica rozplywu [mm]
F1	≤ 340
F2	od 350 do 410
F3	od 420 do 480
F4	od 490 do 550
F5	od 560 do 620
F6	≥ 630

Zalecane granice od 340 do 620

### BETON – klasy konsystencji wg PN-EN 206-1

Metoda Vebe (EN 12350-3)



Klasa	Czas Vebe [s]
V0	≥ 31
V1	od 30 do 21
V2	od 20 do 11
V3	od 10 do 6
V4	od 5 do 3

Zalecane granice od 30 s do 5 s

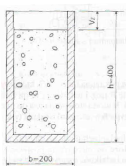
### BETON – klasy konsystencji wg PN-EN 206-1

Metoda stopnia zagęszczalności (EN 12350-4)

Pomiar różnicy poziomów mieszanki przed i po zagęszczeniu. Stopień zagęszczalności wylicza się wg wzoru:

$$C = h / (h - s)$$

gdzie:  
h=400 mm  
s – różnica wysokości po zagęszczeniu w odniesieniu do h=400mm



Klasa	Stopień zagęszczalności
C0	≥ 1,46
C1	od 1,45 do 1,26
C2	od 1,25 do 1,11
C3	od 1,10 do 1,04
	od 5 do 3

Zalecane granice od 1,04 do 1,46

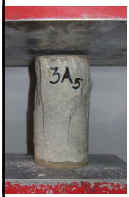
### BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1

**Wytrzymałość na ściskanie według PN-EN 206-1:2003** – wytrzymałość betonu na ściskanie wyrażana jest wytrzymałością charakterystyczną zdefiniowaną jako wartość, poniżej której może się znaleźć nie więcej niż 5% wyników wszystkich pomiarów wytrzymałości danego betonu.

### BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1



**Wytrzymałość charakterystyczna** – powinna być określona na próbkach o kształcie sześcianu o boku  $a=15\text{cm}$  ( $f_{ck, \text{cube}}$ ) albo walca o wymiarach  $D=15\text{cm}$  i  $H=30\text{cm}$  ( $f_{ck, \text{cyl}}$ ) po 28 dniach twardnienia w temp.  $20^\circ\text{C}$ .

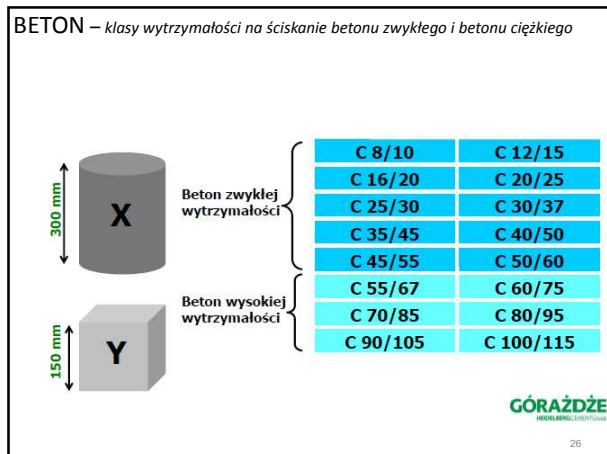


### BETON – podstawowe terminy i określenia wg PN-EN 206-1

**Klasy wytrzymałości wg PN-EN 206-1:2003** Podstawę klasyfikacji może stanowić wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie określana w 28 dniu dojrzewania na próbkach sześciennych o boku 15 cm lub walcowych o wymiarach o  $D=15\text{ cm}$  i  $H=30\text{ cm}$ .

**BETON – klasy wytrzymałości na ściskanie betonu zwykłego i betonu ciężkiego**

Klasa wytrzymałości na ściskanie	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczana na próbkach walcowych $f_{ck, cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczana na próbkach sześciennych $f_{ck, cube}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115



**BETON – klasy wytrzymałości na ściskanie betonu lekkiego**

Klasa wytrzymałości na ściskanie	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczana na próbkach walcowych $f_{ck, cyl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczana na próbkach sześciennych $f_{ck, cube}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC40/44	40	44
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

Można przyjmować inne wartości, jeżeli ustali się z wystarczającą dokładnością oraz udokumentuje zależność między tymi wartościami i odpowiednią wytrzymałością oznaczoną na walcach

**BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne**

**Ważniejsze domieszki chemiczne:**

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

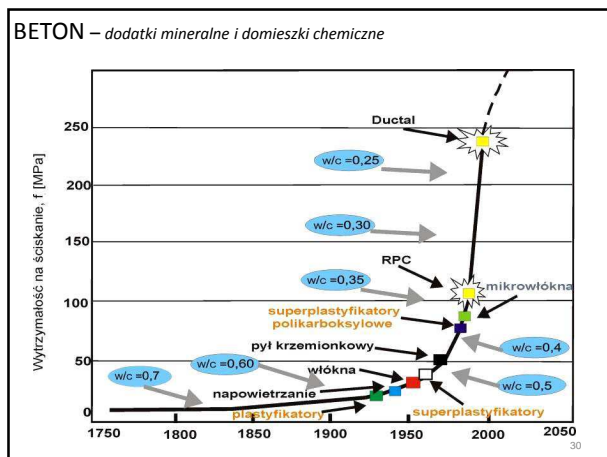
Dozuje się je w ilości 0.2% do 5% masy cementu.

*Uwaga: działanie drugorzędne!*

**BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne**

**Przykładowe dodatki do betonów:**

- pyły krzemionkowe
- popiół lotny
- zbrojenie rozproszone:
  - włókna stalowe,
  - włókna z tworzyw sztucznych,
  - włókna szklane,
  - włókna węglowe
  - włókna pochodzenia organicznego.



# BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne

## Plastyfikatory i superplastyfikatory

- **Plastyfikatory** - domieszki obniżające napięcie powierzchniowe wody zarobowej w stopniu umożliwiającym ograniczenie jej użycia o około 10%, przy zachowaniu tej samej konsystencji.
- **Superplastyfikatory** - powodują powstawanie wokół ziaren cementu podwójnej warstwy jonowej, dzięki której zmniejszają się siły tarcia i następuje intensywna dyspersja zaczynu cementowego. Superplastyfikatory umożliwiają redukcję zużycia wody zarobowej od 30% do 35%, przy zachowaniu projektowanej konsystencji.

# BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne

## Surowce

- **SMF** - sole sulfonowanych melaminowo-formaldehadowych polimerów,
- **SNF** - sole sulfonowanych naftalenowo-formaldehadowych polimerów
- oraz sulfonaty ligninowe i ich mieszaniny.

Domieszki te wpływają na równomierne rozłożenie kruszywa w mieszance, a tym samym na jednorodność mieszanki betonowej oraz na jednakowe zwilżenie ziaren kruszywa.

Najczęściej **dozowane** są w ilości od 1% do 5% w **stosunku do masy spoiwa**.

Zastosowanie w **maksymalnych dawkach, określonych przez producenta**, powodują jednak **zwiększenie napowietrzenia mieszanki betonowej**, a w **konsekwencji opóźnienie czasu wiązania cementu**.

# BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne

## Domieszki opóźniające wiązanie

Głównymi składnikami domieszek opóźniających wiązanie są **fosforany, cukry i tlenki metali**.

Po zastosowaniu takich domieszek na powierzchni ziaren klinkieru cementowego tworzy się otoczka, która hamuje dostęp wody i blokuje powstawanie zarodków krystalizacji, na których pojawiają się produkty hydratacji.

Domieszki opóźniające stosuje się w wypadku **dłuższego transportu betonu**, by **zapobiec rozpoczęciu procesu wiązania**. Modyfikatory te, dodane w ilości 0,2 ÷ 2,0% w stosunku do ilości cementu, **pozwalają zmniejszyć ilość wody zarobowej nawet o 10% i opóźnić czas wiązania od 3 do 24 godzin**. Domieszki opóźniające wiązanie działają również uplastyczniająco.

# BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne

## Skutki uboczne

Na przykład w wyniku wydłużenia czasu między początkiem a końcem wiązania betonu istnieje niebezpieczeństwo powstawania **rys skurczowych**, a na skutek opóźnienia czasu twardnienia może **zmniejszyć się wytrzymałość początkowa betonu**.

Zastosowanie opóźniaczy organicznych w połączeniu z niektórymi cementami może spowodować gwałtowne przyspieszenie wiązania, dlatego korzystniejsze jest stosowanie opóźniaczy nieorganicznych. **Przedozowanie może doprowadzić do powstania niekontrolowanych porów powietrznych, które obniżają wytrzymałość**.

# BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne

## Domieszki przyspieszające wiązanie

Stosowane są głównie w betonach natryskowych, szybkowiązających, uszczelniających i wodoszczelnych. Stosowane w ilości od 0,5% do 5,0% w stosunku do masy cementu.

Dzięki domieszkom przyspieszającym wiązanie można szybciej demontować formy i dlatego są stosowane przy produkcji wyrobów betonowych.

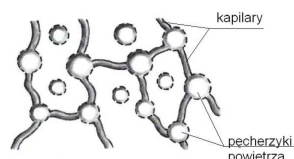
Domieszki te mogą wywoływać skutki uboczne: **niższą wytrzymałość końcową, większy skurcz** przy zastosowaniu maksymalnych lub wyższych od dopuszczonych przez producenta dawek, a efekty uzależnione są od rodzaju cementu.

# BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne

## Domieszki napowietrzające

Domieszki te poprzez redukcję napięcia powierzchniowego wody zarobowej wprowadzają do mieszanki kuliste **pory powietrzne o średnicy 0 ÷ 0,3 mm**, co **powoduje przerwanie istniejącego systemu kapilarnego betonu**.

Domieszki napowietrzające stosowane są najczęściej jako domieszki poprawiające mrozoodporność i podwyższające trwałość betonu.



Lukowski P. Domieszki do zapraw i betonów, Stowarzyszenie Producentów Cementów, Kraków 2008.

**BETON – dodatki mineralne i domieszki chemiczne****Domieszki uszczelniające**

- zmniejszają nasiąkliwość betonu poprzez hydrofobizację systemu kapilar,
- mają działanie uplastyczniające,
- pozwalają uzyskać szczelną strukturę betonu,
- w wysokim stopniu poprawiają trwałość i odporność betonu na działanie środowiska agresywnego.

Domieszki uszczelniające są drogie, dlatego częściej stosowane są domieszki upłynniające i technologie betonów wodoszczelnych, w których wskaźnik w/s (wodno-spoiwowy) jest bardzo niski.

**BETONY WYSOKOWARTOŚCIOWE****Betony wysokowartościowe****Podział betonów ze względu na wytrzymałość na ściskanie:**

- **BWW** - betony wysokiej wytrzymałości
- **BBWW** - beton bardzo wysokowartościowy
- **BUWW** - betony ultra wysokiej wytrzymałości
- **LBWW** - lekkie betony wysokowartościowe
- **Włóknobeton** wysokowartościowy

**BETONY WYSOKOWARTOŚCIOWE**

**BWW betony wysokiej wytrzymałości** to kompozyty cementowe o wytrzymałości na ściskanie **od 60 do 120 MPa**.

Zakres ten przyjęto za większością źródeł europejskich oraz amerykańskich (min. Beton DIN 1045, Eurocode 2, ACI 318-89).

**BBWW beton bardzo wysokowartościowy** – jego klasyfikacji dokonano poprzez przyporządkowanie wytrzymałości na ściskanie przedziału **od 120 do 180 MPa**.

**BUWW betony ultrawysokowartościowe** – betony najnowszej generacji o wytrzymałości na ściskanie powyżej **180 MPa**.

Podczas badań stwierdzono, że betony z dodatkiem mikrozbrojenia oraz poddane specjalnej obróbce cieplno-wilgotnościowej uzyskują wytrzymałości nawet ponad 800 MPa.

**BETONY WYSOKOWARTOŚCIOWE**

Betony wysokowartościowe stosuje się do:

- **wznoszenia budynków wysokich szkieletowych (o oszczędnych przekrojach),**
- **budowy tuneli,**
- **budowy platform wiertniczych,**
- **budowy nawierzchni drogowych odpornych na ścieranie,**
- **budowy mostów, itd.**

**BETONY WYSOKOWARTOŚCIOWE****Aby uzyskać wyższe parametry betonu należy:**

- zmniejszyć końcową porowatość zaczynu,
- stosować kruszywo łamane o  $R_m = 200-300 \text{ MPa}$ ,
- stosować bardzo drobne uszczelniające wypełniacze,
- poprawić przyczepność zaczynu do kruszywa,
- $w/c [BWW] 0.22 < w/c < 0.35$ ; stąd potrzeba stosowania superplastyfikatorów (SP) upłynniających mieszankę
- dobór odpowiedni kruszywa, spełnienie warunku najmniejszej wodozadržności i największej szczelności; stosować kruszywo bez frakcji  $0-0.05 \text{ mm}$ ; max. wielkość ziarna do 16 mm; najlepsze kruszywo łamane o kształcie zbliżonym do sześcianu.

**BETONY WYSOKOWARTOŚCIOWE****Lekkie betony wysokowartościowe**

Lekkie betony wysokowartościowe (**LBWW**) to betony powstałe z użyciem kruszyw lekkich, a przede wszystkim kruszyw sztucznych takich jak:

- **liapor** czy **leca** (ze spęcznionych glin)
- **lytag** (ze spiekanych popiołów lotnych).

**LBWW** stosuje się głównie w elementach konstrukcji platform wydobywczych i innych obiektów wykonywanych najpierw w suchych dokach (ze względu na gęstość materiału możliwy jest dogodny transport elementów do miejsca wbudowania) oraz w przęsłach mostów i przekryciach dużej rozpiętości.

W praktyce **LBWW o gęstości od 1850 do 2000 kg/m³**, uzyskują wytrzymałość na ściskanie **od 50 do 90 MPa**.



## BETONY WYSOKOWARTOŚCIOWE

**Włóknobeton wysokowartościowy** - jest to beton ze zbrojeniem rozproszonym w postaci włókien:

- ❖ metalowych,
- ❖ węglowych,
- ❖ polipropylenowych lub innych,

długości około 20 mm i przekroju najczęściej około 1mm<sup>2</sup>.

## BETONY WYSOKOWARTOŚCIOWE

**Betony samozagęszczalne** - to betony:

- ❖ o bardzo ciekłej konsystencji (normowy rozpliw 500÷700 mm),
- ❖ z dużą zawartością cementu (powyżej 600 kg/m<sup>3</sup>)
- ❖ oraz małą ilością kruszywa.

Wykonanie takich mieszanek jest możliwe tylko z zastosowaniem specjalnych dodatków i domieszek.

Korygują one:

- lepkość,
- zapobiegają segregacji,
- zmniejszają ciepło hydratacji.

## BETONY KOMPOZYTOWE

### Betony kompozytowe

Zastosowanie w betonie włókna rozproszonego jest niekiedy najlepszym sposobem na uniknięcie rys i pęknięć skurczowych oraz na poprawianie właściwości mechanicznych.

Betony kompozytowe najczęściej stosuje się do:

- budowy nawierzchni dróg, autostrad, mostów oraz dróg i posadzek przeznaczonych dla sprzętu ciężkiego
- wykonywania nawierzchni nabrzeży portowych lub budowy zbiorników w oczyszczalniach ścieków, zbiorników retencyjnych i kolektorów ściekowych
- wykonywania nawierzchni hal fabrycznych i targowych oraz posadzek o podwyższonej odporności na uderzenia i ścieranie
- wykonywania budowli wodnych narażonych na obciążenia dynamiczne

## BETONY KOMPOZYTOWE

**Mikrowłókna** stosuje się jako dodatek do:

- betonu natryskowego naprawczego (torkretowanie),
- do zapraw i mas samopoziomujących
- oraz przy produkcji prefabrykatów betonowych wielkogabarytowych i cienkościennych

**Zastosowanie mikrobrojenia ma zapobiec tworzeniu się mikrospeknię w twardniejącym betonie i powstawaniu rys skurczowych.** Można to osiągnąć, dodając niewielką ilość (około 0,1% objętości betonu) włókien o module sprężystości większym od modułu sprężystości betonu (np. włókno celulozowe, polipropylenowe).

## BETONY KOMPOZYTOWE

Włókna te są na tyle mocne, aby zwiększyć zdolność do przeciwstawiania się naprężeniom rozciągającym, wynikającym z procesu kurczenia się zaczynu cementowego. Dzięki temu powierzchnie wykonane z betonu kompozytowego pielęgnuje się podobnie jak wykonane z tradycyjnego materiału.

**Wyeliminowanie rys skurczowych poprawia:**

- szczelność,
- ogranicza nasiąkliwość betonu, chroniąc tym samym pręty zbrojeniowe przed korozją,
- zwiększa mrozoodporność bez konieczności stosowania dodatków napowietrzających do mieszanki.

Wynikiem tego jest ograniczenie procesu łuszczenia się powierzchni betonu podczas eksploatacji.

## BETON ARCHITEKTONICZNY



**GÓRAŹDŹE**  
HIDROLINIA S.C. WYSTĘP



