



for. Pollytag

Płyta żelbetowa mostu Praskiego w Warszawie wykonana z pollytagbetonu

# Beton lekki kruszywowy

Obecny rozwój technologii produkcji i zastosowanie betonów lekkich stwarza o wiele większe pole do popisu dla projektantów i konstruktorów niż to było dawniej.

Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się w polskim budownictwie wprowadzanie nowych, ale także powrót do dawnych technologii, nadal dających znakomite efekty. Dużą rolę odgrywa w tych dziedzinach współpraca pomiędzy firmami szukającymi wciąż nowych nisz rynkowych i jednostkami naukowo-badawczymi. Właśnie w wyniku takich mariaży odradzają się na nowo bardzo dobrze już znane technologie produkcji materiałów budowlanych. Nie są to jednak te same technologie co dawniej. Są nowocześniejsze, bardziej wydajne i energooszczędne oraz coraz bardziej przyjazne dla środowiska.

Postęp technologiczny nie ominął także betonów lekkich, dawniej kojarzonych z nie zawsze dobrej jakości bloczkami i pustakami żużlowo-cementowymi lub z prefabrykowanymi elementami wielkometryrowymi („wielką płytą”). Obecny rozwój technologii produkcji i zastosowanie betonów lekkich stwarza o wiele większe pole do popisu dla projektantów i konstruktorów niż to było dawniej. Do wykonania betonów lekkich wykorzystywane są kruszywa lekkie zarówno pochodzenia naturalnego, takie jak diatomity, pumeks, skoria, popioły i tufy (wszystkie oprócz diatomitu pochodzenia wulkanicznego), jak również sztuczne. Znane są one pod różnymi nazwami handlowymi, ale ogólnie można podzielić je na następujące grupy:

- kruszywa lekkie produkowane z surowców mineralnych poddanych obróbce termicznej, np. keramzyt, glinoporyt
- kruszywa lekkie produkowane z odpadów przemysłowych poddanych obróbce termicznej, np. łupkoporyt, popiołoporyt, granulowany żużel wielkopiecowy
- kruszywa lekkie produkowane z odpadów przemysłowych nie poddanych obróbce termicznej, np. łupkoporyt ze zwalów, żużel paleńskowy, granulowane popioły lotne itp.

Niezależnie od rodzaju i pochodzenia kruszywa lekkie mają kilka cech wspólnych, ważnych z punk-

tu widzenia projektowania i wykonania mieszanki betonowej. Oprócz niskiej gęstości objętościowej, która jest pochodną dużej porowatości (w tym otwartej), charakteryzują się mocno rozwiniętą powierzchnią ziaren oraz nasiąkliwością znacznie wyższą niż kruszywa do betonów zwykłych. Pamiętać zatem należy, że projektując beton lekki trzeba uwzględnić dodatkowo wodę konieczną do odpowiedniego nawilżenia kruszywa. Oprócz tego bardzo rozwinięta powierzchnia ziaren wymaga większej ilości zaczynu do ich pokrycia. Podnosi to w niektórych przypadkach zużycie cementu na 1 m<sup>3</sup> betonu. Można to wyeliminować poprzez zastosowanie dodatków mineralnych, m.in. popiołów lotnych.

Warto by na początek przypomnieć najbardziej podstawowe pojęcia i cechy charakterystyczne dla betonów lekkich. Polska norma PN-B-06263: 1991 „Beton lekki kruszywowy” oraz euronorma podają ścisłą definicję, iż betonem lekkim nazywamy beton, którego gęstość objętościowa w stanie suchym nie przekracza 2000 kg/m<sup>3</sup>. Oprócz tego rozróżnia trzy typy betonów lekkich kruszywowych (patrz tabela 1). W tym przypadku jako kryterium podziału stosujemy współczynnik jamistości.

Beton jamisty jest wykonywany z kruszywa lekkiego o uziarnieniu ≥4 mm, bardzo często stosowane są wręcz pojedyncze frakcje, np. 4-8 mm lub 8-16 mm. Inną cechą charakterystyczną dla tego

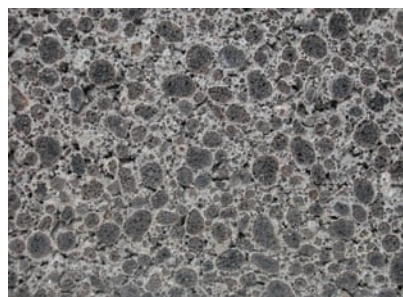
Tabela 1. Kryterium podziału betonów lekkich kruszywowych

| Rodzaj tekstury betonu | Współczynnik jamistości | $j = 1 - \frac{V_s}{V_b}$ <p><math>V_s</math> – objętość składników betonu<br/><math>V_b</math> – objętość betonu</p> |
|------------------------|-------------------------|---|
| Beton jamisty          | 0,30 < j                |   |
| Beton półzwarty        | 0,15 < j ≤ 0,30         |   |
| Beton zwarty           | j ≤ 0,15                |   |



for. Grzegorz Łój

Tekstura betonu lekkiego jamistego



for. Grzegorz Łój

Tekstura betonu lekkiego półzwartego

betonu są przestrzenie pomiędzy ziarnami kruszywa nie wypełnione zaczynem cementowym. Zaczyn cementowy jedynie otacza i spaja punkto-wo w miejscach styku ziarna kruszywa. Dzięki takiej właśnie strukturze beton lekki jamisty osiąga bardzo niski współczynnik przewodności ciepła  $\leq 0,35$  W/mK, ale wiąże się z tym inne, ujemne cechy. Niestety jego wytrzymałość jest z reguły niewielka i zazwyczaj nie przekracza 3 MPa, ponadto znaczna ilość pustych przestrzeni pomiędzy ziarnami kruszywa powoduje znaczną jego nasiąkliwość i niewielką mrozoodporność. Wszystkie te cechy razem wzięte czynią z betonu jamistego doskonały materiał izolacyjny do wznoszenia ścian wewnętrznych i osłonowych ścian zewnętrznych, przy czym należy pamiętać o zabezpieczeniu betonu przed działaniem czynników atmosferycznych (np. dobrym tynkiem).

Beton lekki półzwały przygotowywany jest w taki sposób, aby ilość frakcji kruszywa drobnego (poniżej 4 mm) stanowiła co najmniej 15%, a jednocześnie przestrzenie pomiędzy kruszywem grubym nie były wypełnione w więcej niż 85% ich ogólnej objętości. W betonie tym jako kruszywo drobne stosowane są najczęściej frakcje piaskowe kruszyw lekkich. Aby nie pogorszyć jego właściwości izolacyjnych, nie powinno się natomiast stosować piasku naturalnego. W zależności od wytrzymałości na ściskanie, która waha się w granicach od 3 do 14 MPa, oraz przy współczynniku przewodzenia ciepła nie przekraczającym 0,5 W/mK beton półzwały może być stosowany jako materiał izolacyjno-konstrukcyjny.

Beton zwarty pod względem swoich właściwości jest całkowitym przeciwieństwem betonu jamistego. Jego cechą charakterystyczną jest to, że zaprawa wypełnia więcej niż 85% przestrzeni pomiędzy ziarnami kruszywa grubego. Można tutaj doszukać się podobieństw do betonu zwykłego, zwłaszcza jeśli chodzi o niektóre właściwości i zakres jego stosowania. Natomiast różnice wynikające z zastosowania do jego wykonania kruszywa lekkiego widoczne są wyraźnie w gęstości objętościowej (często ponad 25% niższej niż betonu zwykłego) oraz wartości współczynnika przewodności cieplnej, co pokazuje tabela 2.

Niezależnie od rodzaju tekstury i zastosowanego kruszywa, betony lekkie w zależności od ich wytrzymałości norma PN-B-06263: 1991 rozróżnia następujące klasy betonów: LB 2,5; LB 5,0; LB 7,5; LB 10,0; LB 12,5; LB 15; LB 17,5; LB 20,0; LB 25,0; LB 30,0.

Ponadto oprócz klas wytrzymałości, w zależności od gęstości objętościowej betonu w stanie suchym wyróżnione zostały w powyższej normie odpowiednie odmiany betonów lekkich (tabela 3). Dodatkowo omawiana norma zakłada następujące klasy mrozoodporności betonów lekkich: F25, F50 i F75.

### Tyle mówi nam norma, a jak to wygląda w praktyce?

Wykorzystanie kruszyw lekkich produkowanych w oparciu o nowoczesne technologie pozwalające na uzyskanie bardzo jednorodnego produktu

Tabela 2. Wybrane wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla betonów lekkich kruszywowych

| Gęstość objętościowa betonu lekkiego w stanie suchym kg/m <sup>3</sup> | Wartość współczynnika przewodzenia ciepła $\lambda$ dla betonu lekkiego [W/mK] |                  |                              |                  |                              |                  |
|--|--|------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
|  | z łupkoporytu  |                  | z keramzytu                  |                  | z żuźla paleniskowego        |                  |
|  | o normalnej wilgotności 5–6%   | wilgotnego 8–10% | o normalnej wilgotności 5–6% | wilgotnego 8–10% | o normalnej wilgotności 5–6% | wilgotnego 8–10% |
| 800  | -  | -                | 0,29                         | 0,35             | -                            | -                |
| 1000   | 0,37   | 0,41             | 0,39                         | 0,43             | -                            | -                |
| 1500   | 0,64   | 0,69             | 0,81                         | 0,90             | 0,66                         | 0,74             |
| 1800   | 0,84   | 0,88             | -                            | -                | 0,85                         | 0,95             |

Dla porównania: dla betonu zwykłego  $\lambda > 1,20$  W/mK

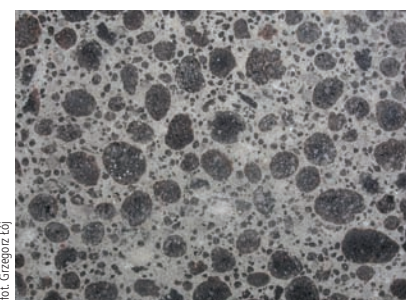
Tabela 3. Odmiany betonu lekkiego kruszywowego

| Odmiana   | 0,8     | 1,0      | 1,2       | 1,4       | 1,6       | 1,8       | 2,0       |
|---|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Gęstość objętościowa w stanie suchym, kg/m <sup>3</sup> | 600–800 | 801–1000 | 1001–1200 | 1201–1400 | 1401–1600 | 1601–1800 | 1801–2000 |

o stałych, ściśle kontrolowanych parametrach, pozwoliło na rozszerzone zastosowanie betonów lekkich w budownictwie. Dawniej dominującą rolę odgrywała tutaj prefabrykacja. Obecnie wysoka jakość kruszyw lekkich oraz wprowadzenie domieszek chemicznych nowej generacji otwiera inne możliwości zastosowania betonów lekkich. Można pokusić się o stwierdzenie, iż beton lekki wkracza na tereny zarezerwowane do tej pory dla innych materiałów konstrukcyjnych. Przykładem niech tutaj będą mosty budowane w tej technologii (most Koningspleijburg w Arnhem, Holandia) oraz stropy w budynkach wielokondygnacyjnych. Dzięki swoim korzystnym cechom nadaje wykonanym z niego konstrukcjom nowe, bardzo korzystne właściwości.

Nie jest już kłopotliwe uzyskanie betonów lekkich klas LB 25; LB 30, a nawet wyższych (dzięki zastosowaniu cementu klasy 52,5 osiągnąć można wytrzymałości rzędu 70 MPa). Dzięki swojej niskiej gęstości objętościowej pozwala to obniżyć ciężar samej konstrukcji nawet o 25%. Uzyskiwane efekty są widoczne szczególnie tam, gdzie ciężar własny jest dominującym składnikiem obciążenia całkowitego konstrukcji (np. mosty, stropy). Zmniejszenie ciężaru samego elementu przy stałych właściwościach mechanicznych pozwala na zmniejszenie jego przekroju, co umożliwia obniżenie zużycia stali zbrojenio-wej i samego betonu. Ale nie tylko cechy mechaniczne skłaniają konstruktorów do zastosowania tego tworzywa. Obecnie istnieją już technologiczne możliwości wykonywania betonów lekkich o wysokiej trwałości i odporności na czynniki atmosferyczne. Dobrze zaprojektowane i wykonane lekkie betony konstrukcyjne mogą osiągać mrozoodporność F200 i wyższą.

Beton lekki stwarza również bardzo korzystne warunki do betonowania w niskich temperaturach. Dzięki ciepłu właściwemu zbliżonemu do ciepła betonu zwykłego oraz lepszej izolacyjności termicznej jest on mniej podatny na zniszczenia na skutek mrozu w pierwszych kilku dniach po betonowaniu.



Tekstura betonu lekkiego zwanego

Londyńskie centrum międzynarodowego biznesu Canary Wharf – stropy wykonane w technologii pollytagbetonu



foto: Pollytag



foto: Pollytag

Biurowiec Commerzbanku we Frankfurcie nad Menem (63 piętra, 258,7 m wysokości). Stropy wykonane w technologii mieszanej stalowo-żelbetowej z użyciem betonu lekkiego klasy LB50 na kruszywie Lytag

Oprócz wysokiej mrozoodporności nowoczesne betony lekkie charakteryzują się bardzo dobrą szczelnością. Uzyskiwana wodoszczelność jest nierzadko większa niż W12.

Nie ma także kłopotu z wykonaniem konstrukcji żelbetowych, a nawet sprężonych w tej technologii. Co ważniejsze beton lekki nie tylko stanowi ochronę stali zbrojeniowej przed czynnikami atmosferycznymi, ale również dzięki swojej niskiej przewodności cieplnej i dobrej żaroodporności kruszywa lekkiego sprawdza się w ekstremalnych warunkach, jakie występują w czasie pożaru.

Te i inne korzystne cechy skłaniają budowniczych do szerszego wykorzystywania betonów lekkich kruszywowych. Pomimo ich nieco wyższych kosztów wytworzenia (koszt kruszywa i nieznacznie podwyższone zużycie cementu w stosunku do betonów zwykłych) oraz pewnych specyficznych wymagań technologicznych przy produkcji betonu lekkie znajdują coraz więcej zastosowań. Produkcja betonów lekkich oprócz niewątpliwych korzyści technologicznych przynosi bardzo wymierne i pozytywne efekty w ochronie środowiska naturalnego. Oprócz zmniejszenia ilości wydobywanych kruszyw naturalnych, pozyskiwanie kruszyw sztucznych jest znakomitą sposobem utylizacji odpadów przemysłowych, np. popiołów lotnych albo hańdowanych odpadów z wydobywania węgla. Ponadto same sztuczne kruszywa lekkie są przyjazne dla środowiska, o czym może świadczyć fakt

szerokiego ich zastosowania w gospodarce wodnej i rolnictwie.

**mgr inż. Grzegorz Łój**  
**Zakład Materiałów Budowlanych**  
**AGH Kraków**

#### Literatura

1. W. Roszak, F. Kubiczek, Technologia betonów z kruszyw lekkich, Arkady, Warszawa 1979
2. A. M. Neville, Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2000
3. J. Małolepszy, J. Deja, W. Brylicki, M. Gawlicki, Technologia betonu. Metody badań, Wydawnictwo AGH, Kraków 2000
4. Z. Jamróży, Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa – Kraków 2000
5. Żenczykowski, Budownictwo ogólne
6. E. Kon, Wykonanie i stosowanie betonu lekkiego z kruszywa Pollytag, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1995
7. PN-78/B-01101, Kruszywa sztuczne. Podział, nazwy i określenia
8. PN-91/B-06263, Beton lekki kruszywowo
9. PN-86/B-23006, Kruszywa do betonu lekkiego