

**ćwiczenie A (A1/A2):**

**Projektowanie i wykonanie betonów  
wraz z uwzględnieniem stosowania domieszek chemicznych do betonów**

**Cel ćwiczenia:**

Celem zajęć laboratoryjnych jest zdobycie umiejętności projektowania składów mieszanek betonowych dla betonów zwykłych, spełniających wymagania normy PN-EN 206+A2:2021-08 „Beton - Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”, z uzupełnieniem krajowym PN-B-06265:2022-08 „Beton - Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność - Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08” oraz zdobycie umiejętności przygotowania próby laboratoryjnej dla receptury betonowej.

Zajęcia umożliwią poznanie dwóch metod projektowania, wchodzących zarazem do dwóch charakterystycznych grup: metodę trzech równań, wchodzącą w skład metod analitycznych oraz metodę znanego zaczynu, wchodzącą w skład metod analityczno-doświadczalnych.

**Przebieg ćwiczenia**

**Część A1 Projektowania betonu metodą analityczno-doświadczalną  
– metodą znanego zaczynu.**

1. Podanie przez prowadzącego treści zadania projektowego.
2. Analiza danych wejściowych do procesu projektowania i warunków wstępnych procesu:
  - a. Szczegółowa analiza dotycząca elementu, do którego realizacji służyć będzie projektowany beton (wymiary, rozkład prętów zbrojeniowych, itp.).
  - b. Analiza warunków wykonania elementu (technologia układania i zagęszczania mieszanki, warunki dojrzewania i pielęgnacji).
  - c. Ustalenie warunków eksploatacji gotowego elementu (charakterystyka oddziałujących czynników środowiskowych: narażenie na działanie wilgoci, zamarzanie, oddziaływanie środków odładzających oraz innych czynników o charakterze zarówno chemicznym jak i mechanicznym) oraz przyjęcie granicznych kryteriów dotyczących składu mieszanki betonowej i zawartości powietrza.
  - d. Przyjęcie założeń dotyczących podstawowych, wymaganych właściwości mieszanki betonowej i betonu stwardniałego (klasa konsystencji, klasa wytrzymałościowa betonu – zwykle narzucona z góry przez projekt, ustalenie, czy mieszanka betonowa będzie napowietrzona).
  - e. Dobór jakościowy kruszywa (jego rodzaju, maksymalnego uziarnienia, oraz fizycznych i mechanicznych właściwości użytkowych)
  - f. Dobór rodzaju i klasy cementu stosownie do wcześniejszych założeń.
  - g. Przyjęcie założeń dla możliwości stosowania dodatków mineralnych i/lub domieszek chemicznych
  - h. Przyjęcie zawartości zaprawy w mieszance betonowej w celu zapewnienia odpowiedniej urabialności, odpowiednio do rodzaju konstrukcji.
3. Ocena składu ziarnowego kruszyw tworzących mieszankę dobranych do krzywych uziarnienia mieszanki betonowej
4. Obliczenia wspólne dla analitycznych i doświadczalnych metod projektowania:
  - a. Określenie do obliczeń projektowych średniej wytrzymałości na ściskanie na podstawie założonej klasy betonu.
  - b. Obliczenie wartości parametru  $m=C/W$  ze wzoru Bolomey'a oraz sprawdzenie jego poprawności w odniesieniu do zaleceń normy (wynikających np. z warunków pracy betonu).
  - c. Założenie punktu piaskowego mieszanki kruszyw na podstawie przyjętej zawartości zaprawy w betonie i obliczonego stosunku  $C/W=m$ . Obliczenie stosunku w jakim należy zmieszać ze sobą kruszywa dla uzyskania mieszanki o założonym punkcie piaskowym oraz sprawdzenie poprawności przebiegu krzywej uziarnienia na podstawie zaleceń normy PN-B-06250:1988 Beton zwykły.

**Instrukcja wykonawcza do ćwiczeń laboratoryjnych  
TECHNOLOGIA BETONU  
WILiGZ, kierunek Budownictwo - II rok - semestr 3**

---

5. Przygotowanie zasadniczej próby kruszywa w ilości 25 kg o ustalonych wcześniej proporcjach.
6. Przygotowanie zaczynu o obliczonym wskaźniku W/C w ilości około 10 – 12 litrów
7. Dodawanie przygotowanego zaczynu do mieszanego w mieszarce laboratoryjnej kruszywa do momentu uzyskania mieszanki betonowej o żądanej konsystencji.
8. Ocena klasy konsystencji mieszanki betonowej z wykorzystaniem jednej lub dwóch metod badawczych, adekwatnych do projektowanej ciekłości mieszanki,
9. Ustalenie wynikowej masy zaczynu cementowego dodanego do mieszanki betonowej.
10. Określenie gęstości zagęszczonej mieszanki betonowej oraz obliczenie składu mieszanki betonowej na 1m<sup>3</sup> objętości.
11. Określenie zawartości powietrza w mieszance betonowej metodą ciśnieniową (alternatywnie określenie zawartości i jakości powietrza w mieszance betonowej metodą AVA – oznaczenie w formie pokazu)
12. Przygotowanie form do wykonania próbek betonowych do badań.
13. Ułożenie mieszanki betonowej w formach i jej zagęszczenie.
14. Rozformowanie próbek po 24 lub 48 godzinach wstępnego dojrzewania i umieszczenie próbek we właściwych warunkach pielęgnacji betonu

**Uwaga!!!**

**Na zajęciach obowiązuje odzież ochronna tj. fartuch ewentualnie rękawice robocze i okulary ochronne. Proszę przynieść na zajęcia kalkulatory dla usprawnienia prowadzenia obliczeń (Uwaga: prowadzenie obliczeń na smartphonie może doprowadzić do uszkodzenia powierzchni ekranu gdyż pracujemy z piaskami i innymi materiałami mogącymi zarysować ekranu!!!)**

**Część A2      Projektowania betonu metodą analityczną – metodą trzech równań  
Indywidualne zadanie analityczno-obliczeniowe**

Dla zadania projektowego realizowanego podczas zajęć praktycznych należy przeprowadzić obliczenie składu ilościowego mieszanki betonowej metodą Trzech Równań Bukowskiego i weryfikację analityczną wyników obliczeń obejmująca:

- sprawdzenie obliczonego składu mieszanki betonowej pod względem: zawartości cementu (minimalnej, stosownie do rodzaju i warunków pracy elementu oraz maksymalnej, stosownie do projektowanej klasy betonu), wskaźnika W/C (zapewniającego odpowiednią trwałość betonu w danych warunkach eksploatacji), rzeczywistej objętości zaprawy oraz ziaren poniżej 0,125 mm,
- przeliczenie receptury z kruszywa suchego dla warunków produkcyjnych uwzględniających wilgotności wykorzystywanych kruszyw oraz
- korekta niezgodności z założeniami normy PN-EN 206.

Sprawozdanie z ćwiczenia obejmujące obliczenia z części A1 oraz rozwiązanie zadania analitycznego z części A2 oraz porównanie i omówienie otrzymanych wyników z obu metod projektowania składu mieszanek betonowych powinno być oddane w terminie do 7 dni od wykonania ćwiczenia. Podstawową formą oddania sprawozdania do oceny jest przesłanie skanu odręcznie wykonanego sprawozdania na platformie MS-Teams (dopuszczalne jest również złożenie sprawozdania w formie „papierowej”).

**Wymagany zakres wiadomości**

Znajomość podstawowych pojęć stosowanych w technologii betonu. Znajomość podstaw dobierania parametrów mieszanki betonowej do zamierzonego sposobu jej wbudowania oraz znajomość zasad dobierania parametrów betonu do zamierzonego zastosowania w konstrukcji z uwzględnieniem wymagań warunków eksploatacyjnych pracy danej konstrukcji. Znajomość metod projektowania betonu metodą trzech równań i metodą znanego zaczynu. Znajomość równań z uwzględnieniem wartości stałych i zasad dobierania zmiennych zapisanych w równaniach. Zasady dobierania rodzaju cementu i kruszywa w zależności od rodzaju i przeznaczenia projektowanego betonu.

**Warunki zaliczenia:**

1. Pozytywna ocena ze sprawdzianu podstawowych wiadomości wymaganych przy projektowaniu składu mieszanki betonowej odbywającego się na początku zajęć z zakresu. (test w formie papierowej lub na platformie MS Teams – rozwiązywany na smartphonach albo odpowiedź ustna)
2. Pozytywna ocena Sprawozdania zawierającego wyniki obliczeń z obu sposobów projektowania składu mieszanki betonowej (analitycznej i analityczno-doświadczalnej) oraz porównanie i dyskusję wyników. (zadanie oddane w terminie 7 dni od zakończenia zajęć skan odręcznie rozwiązane zadania przesłane przez platformę MS Teams, dopuszczalna jest również forma papierowa)
3. Aktywny udział w zajęciach - dodatkowo osoby wyróżniające się aktywnym zaangażowaniem w pracach podczas zajęć mogą liczyć na dodatkowe punkty, mające wpływ na podwyższenie oceny z ćwiczenia.

**Literatura:**

1. W. Nocuń-Wczelik i inni „Cement – Metody badań; Wybrane kierunki stosowania” wydanie 2 popr. i uzup. Wydawnictwo AGH, Kraków 2015 (można również korzystać z wydania 1 z 2010r.). – rozdział 9: „Projektowanie betonów zwykłych i badanie ich właściwości – podstawy”
2. Beton : technologie i metody badań : praca zbiorowa — [Concrete : technologies and test methods] / red. nauk. Jan DEJA; Marek GAWLICKI, Zdzisław B. KOHUTEK, Łukasz KOTWICA, Artur ŁAGOSZ, Radosław MRÓZ, Waldemar PICHÓR. — Kraków : Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2020.
3. J. Śliwiński, „Beton zwykły - projektowanie i podstawowe właściwości”, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 1999.
4. J. Małolepszy, J. Deja, W. Brylicki, M. Gawlicki, „Technologia betonu - metody badań”, Wydawnictwo AGH, Kraków 2000.
5. ABC Betonu, Wydawnictwo SPC, <https://www.polskicement.pl/abc-betonu/>
6. Norma PN-EN 206+A2:2021-08 „Beton - Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”.
7. Norma PN-B-06265:2022-08 „Beton - Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność - Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08”
8. Norma PN-B-06250; 1988 „Beton zwykły”.
9. Norma PN-EN 12350-1:2019-07 „Badania mieszanki betonowej. Część 1. Pobieranie próbek i uniwersalna aparatura” (lub zamiennie PN-EN 12350-1:2009 „Badania mieszanki betonowej. Część 1. Pobieranie próbek”)
10. Norma PN-EN 12350-2:2019-07 Badania mieszanki betonowej. Część 2. Badanie konsystencji metodą opadu stożka.
11. Norma PN-EN 12350-3:2019-07 Badania mieszanki betonowej. Część 3. Badanie konsystencji metodą Vebe.
12. Norma PN-EN 12350-4:2019-08 Badania mieszanki betonowej. Część 2. Badanie konsystencji metodą oznaczania stopnia zagęszczalności.
13. Norma PN-EN 12350-5:2019-08 Badania mieszanki betonowej. Część 2. Badanie konsystencji metodą stolika rozptywowego.