

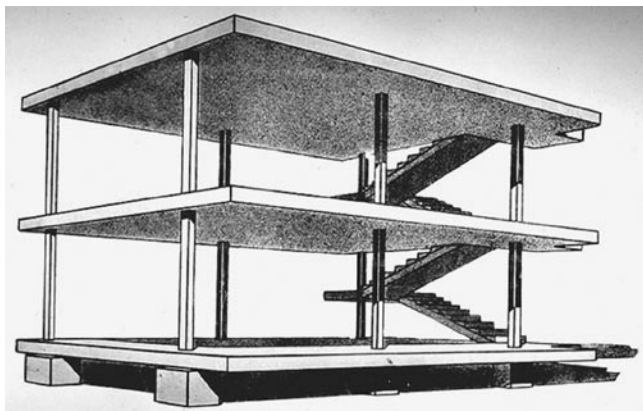
# Powtarzalność mieszanki betonowej przy produkcji elementów prefabrykowanych na podstawie badań wytrzymałości na ściskanie

Mateusz Benkowski, Jarosław Dąbkowski, Aleksandra Kryszczuk, Maciej Stodulski, Sebastian Wojtasiewicz – pod kierunkiem mgr inż. Magdaleny Pytki-Leśniak – opiekuna młodzieży i KMT PZITB, Państwowe Szkoły Budownictwa, Gdańsk

## 1. Wprowadzenie

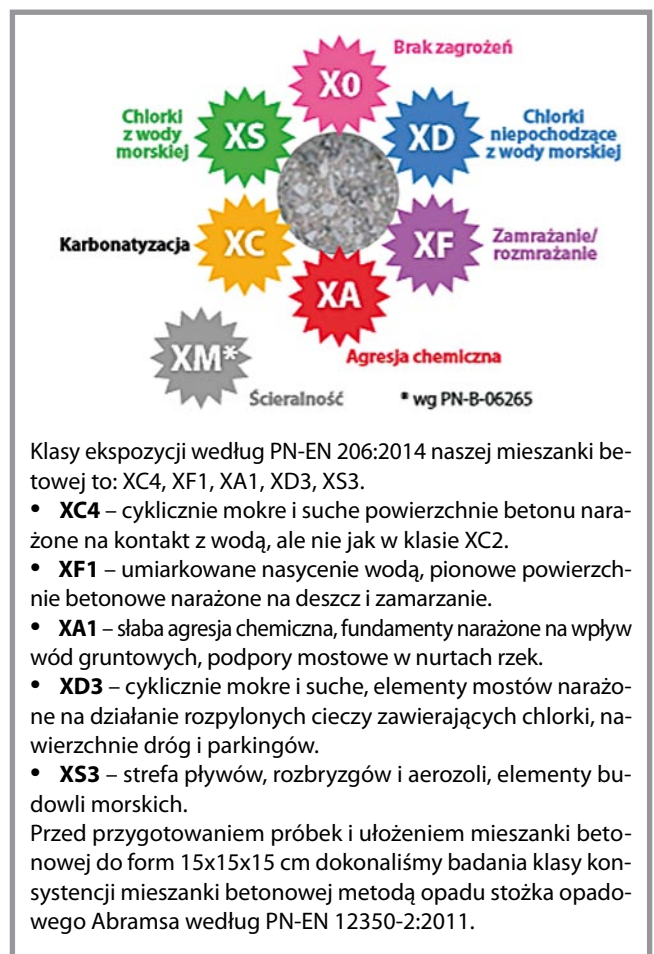
Prefabrykacja w budownictwie sięga czasów rzymskich. Starożytni Rzymianie tworzyli z kamiennego kruszywa, gipsu, wody, wapna i popiołów wulkanicznych materiał przypominający dzisiejszy beton. Wykorzystywali go w konstrukcjach, które dzisiaj nazwalibyśmy monolitycznymi. Wykonywali także elementy w formach o określonych gabarytach – prefabrykaty do budowy np. akweduktów, przepustów czy tuneli. Prefabrykacja pojawiła się ponownie wraz z wynalezieniem współczesnego betonu z cementu portlandzkiego w pierwszej połowie XIX wieku. Za początek współczesnej prefabrykacji można uznać pojawienie się żelbetu – w tym siatkobeton w postaci betonowej donicy, którą opatentował naczelnny ogrodnik Paryża w 1867 roku. Wielka prefabrykacja betonowa zaczęła się w 1914 roku od pomysłu budynku Le Corbusiera nazwanego Domino.

Konstrukcje tego typu nigdy nie powstały, ale stanowiły inspirację dla wielu projektantów. W Polsce prefabrykację zastosowano po raz pierwszy w 1897 roku, gdy w zakładzie w Białych Błotach otwarto filię niemieckiej firmy Cossebande z Saksonii, która wchodziła w skład firmy budowlanej Windschild & Langelott. Fabryka produkowała elementy budowlane, m.in. rury betonowe oraz skrzynki burzowe dla ulic



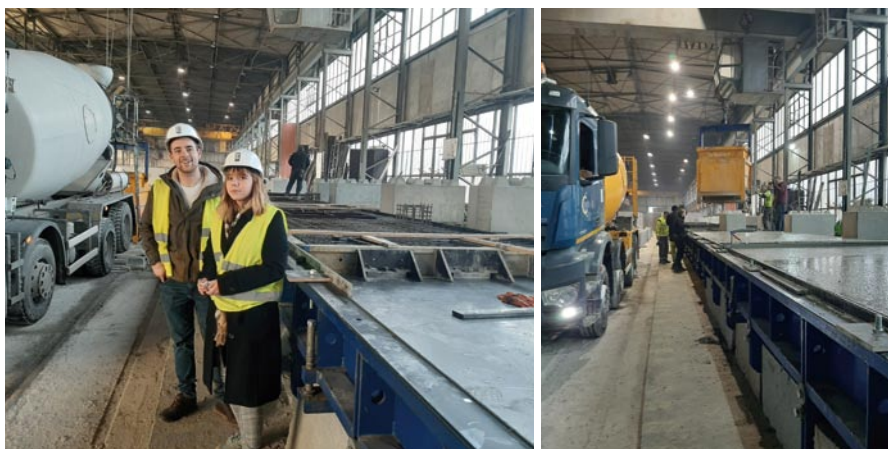
Rys. 1. Budynek Domino z 1914 roku

i odwadniania gruntów. Pracownicy uczestniczyli również w budowie mostów, urządzeń kanalizacyjnych i wodociągowych oraz urządzeń odwadniających, które istnieją do dziś. Początek XX w. to rozwój prefabrykacji drogowej. W 1939 roku w Polsce istniało blisko 200 wytwórni betonowych. Masowa produkcja prefabrykatów betonowych w latach 50. i 70. spowodowała, że tego typu rozwiązania przez wiele lat kojarzono negatywnie. Od lat 90. wraz z wymianą myśli technicznej z krajami rozwiniętymi zaobserwować można



**Rys. 2.** Układanie mieszanki betonowej

ponowny wzrost zainteresowania prefabrykacją betonową. Beton to materiał, który w budownictwie od zawsze znajduje zastosowanie jako materiał konstrukcyjny. Wznoszenie obiektów budowlanych z przygotowanych fabrycznie elementów o wysokiej jakości i funkcjonalności staje się coraz bardziej atrakcyjne dla inwestorów wobec rosnących kosztów prowadzenia inwestycji i robót.



## 2. Badania mieszanki betonowej

Nasza praca badawcza miała na celu potwierdzenie parametrów technicznych mieszanki betonowej stosowanej w zakładzie prefabrykacji. W pracy badawczej określiliśmy podstawowe parametry wytrzymałościowe i fizyczne. Zgodnie z atestem producenta mieszanka betonowa charakteryzowała się właściwościami:

- typ betonu PN-EN 206+A1.2016+PN-B-06205,
- klasa ekspozycji – XC4 XF1 X A1 XD3 XS3,
- klasa wytrzymałości C35/45,
- spoiwa cement CEM II AV 42,5 R,
- uziarnienie 16 mm.

Beton to materiał powstały ze zmieszania cementu, kruszywa grubego i drobnego, wody oraz ewentualnych domieszek, dodatków lub włókien (zbrojenia rozproszonego), który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu.

### 2.1. Opis badań

Mieszanka betonowa, która została poddana badaniom, była dostarczona jako beton towarowy, przez jednostkę niebędącą wykonawcą, zagęszczana mechanicznie na stołach wibracyjnych.

Określiliśmy też klasę ekspozycji, czyli w jakich warunkach oddziaływania możemy materiał przez nas badany zastosować.

Oddziaływania mogą mieć charakter chemiczny lub fizyczny, mogą wpływać na beton lub na zbrojenie, lub inne znajdujące się w nim elementy metalowe,



**Rys. 3.** Badanie temperatury mieszanki betonowej

które w projekcie konstrukcyjnym nie zostały uwzględnione jako obciążenia.

Pomiar opadu stożka mieścił się w granicach 160–210 mm. Na podstawie tabeli 1 określiliśmy klasę konsystencji mieszanki betonowej jako S4.



**Rys. 4.** Normowe formy do próbek

**Tabela 1.** Klasy konsystencji mieszanki betonowej

| Metoda                           | Klasa konsystencji | Wartości graniczne [mm] |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------|
| Opad stożka z PN-EN 12350-2:2011 | S1                 | 10–40                   |
|                                  | S2                 | 50–90                   |
|                                  | S3                 | 100–150                 |
|                                  | S4                 | 160–210                 |
|                                  | S5                 | ≥ 220                   |



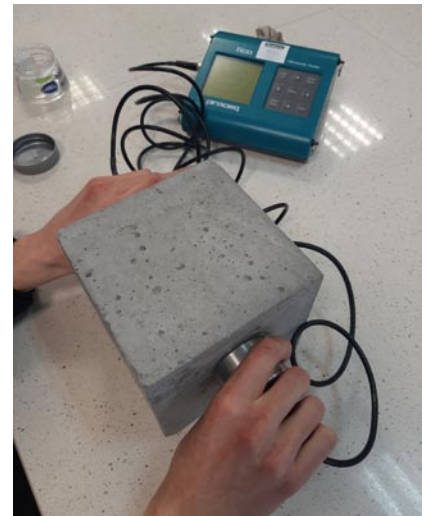
**Rys. 5.** Badanie metodą opadu stożka według PN-EN 12350-2:2011



**Rys. 6.** Próbkę rozformowane przygotowane do pielęgnacji



**Rys. 7.** Pielęgnacja i dojrzewania betonowych próbek



**Rys. 8.** Pomiar betonoskopem próbek betonowych

**Rys. 9.** Badanie młotkiem Schmidta



Projekt badawczy obejmował przygotowanie normowych próbek w określonych czasach/porach 6-miesięczne, 28-dniowe, 21-dniowe, 14-dniowe, 7-dniowe i 3-dniowe. Próbkę betonowe o normowych wymiarach 15x15x15 cm dojrzewały w warunkach laboratoryjnych wilgotnych.

Ponieważ wytrzymałość betonu w eksploatowanych obiektach należy oceniać na podstawie wyników badań przeprowadzanych metodami niszczącymi, nieniszczącymi przeprowadziliśmy badania oboma metodami. W celu zwiększenia dokładności oceny wytrzymałości i jednorodności betonu w konstrukcjach budowlanych należy równolegle stosować kilka diagnostycznych metod badawczych, wykorzystując również specjalistyczne metody uzasadnione naukowo i przystosowane do praktyki budowlanej.

Przeprowadziliśmy badania nieniszczące za pomocą młotka Schmidta oraz

**Rys. 10, 11, 12.** Maszyny wytrzymałościowe, na których prowadziliśmy badania



betonoskopu. Metoda ultradźwiękowa (rys. 9) badania wytrzymałości betonu na ściskanie polega na pomiarze prędkości rozchodzenia się podłużnych fal ultradźwiękowych w badanym elemencie konstrukcyjnym. W zależności od celu badania określa się wytrzymałość betonu na ściskanie w poszczególnych miejscach pomiarowych lub średnią wytrzymałość betonu w konstrukcji.

Jednym z popularniejszych sposobów klasyfikowania parametrów zrealizowanych elementów konstrukcji betonowych i żelbetonowych jest nieniszcząca metoda badań jakości betonu przy wykorzystaniu młotka Schmidta (rys. 9), w której wytrzymałość i jednorodność betonu określa się za pomocą pomiaru liczby odbicia, a następnie statystycznej analizy wyników pomiarów na podstawie zależności empirycznych. Badania te mogliśmy przeprowadzić dzięki uprzejmości Wydziału Inżynierii Łądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej.

Wykonaliśmy także badania niszczące na maszynie do badania wytrzymałości betonu na ściskanie. Każdą z próbek zważyliśmy oraz poddaliśmy badaniu na ściskanie.

Wyniki naszych badań przedstawia poniższa tabela 2.

Na podstawie pomiarów możemy określić gęstość betonu oraz sklasyfikować na jej podstawie rodzaj betonu, wiedząc, że betony ze względu na gęstość dzielimy na:

- zwykłe – beton o gęstości w stanie suchym większej niż 2000 kg/m<sup>3</sup> i nie przekraczającej 2600 kg/m<sup>3</sup>,
- ciężkie – beton o gęstości w stanie suchym większej niż 2600 kg/m<sup>3</sup>,
- lekkie – beton o gęstości w stanie suchym nie mniejszej niż 800 kg/m<sup>3</sup> i nie większej niż 2000 kg/m<sup>3</sup>.

Na podstawie rezultatów ujętych w tabeli 2 można stwierdzić, że średnia wyników wyniosła 2349,05 kg/m<sup>3</sup>. Zatem nasz beton możemy zakwalifikować do grupy betonów zwykłych. Badanie gęstości mieszanki betonowej ma na celu



Rys. 13. Próbkę po zniszczeniu



Rys. 14. Próbkę po zniszczeniu

**Tabela 2.** Wyniki badań sześciennych próbek betonowych na ściskanie

| Nr próbki                | Waga [kg] | Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ] | Siła niszcząca [kN] | Wytrzymałość na ściskanie [MPa] | Średnia wytrzymałość [MPa] |
|--------------------------|-----------|------------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <b>Próbki 6-miesięcy</b> |           |                              |                     |                                 |                            |
| 1.0                      | 7,635     | 2262,22                      | 1024,0              | 45,51                           | <b>45,50</b>               |
| 2.0                      | 7,680     | 2275,56                      | 1064,0              | 47,29                           |                            |
| 3.0-uszkodzona           | 7,607     | 2253,93                      | 983,0               | 43,69                           |                            |
| <b>Próbki 28-dniowe</b>  |           |                              |                     |                                 |                            |
| 1.2                      | 8,129     | 2408,59                      | 1471,0              | 65,38                           | <b>63,84</b>               |
| 2.2                      | 8,217     | 2434,67                      | 1347,0              | 59,87                           |                            |
| 3.2                      | 8,126     | 2407,70                      | 1513,0              | 67,24                           |                            |
| 4.1                      | 8,126     | 2407,70                      | 1420,0              | 63,11                           |                            |
| 5.1                      | 8,110     | 2402,96                      | 1526,9              | 67,86                           |                            |
| 6.1                      | 8,050     | 2385,19                      | 1340,0              | 59,56                           |                            |
| <b>Próbki 21-dniowe</b>  |           |                              |                     |                                 |                            |
| 1.3                      | 7,921     | 2346,96                      | 1331,0              | 59,16                           | <b>54,96</b>               |
| 2.3                      | 7,775     | 2303,70                      | 1289,0              | 57,29                           |                            |
| 3.3                      | 7,823     | 2317,93                      | 1189,0              | 52,84                           |                            |
| 4.3                      | 7,635     | 2262,22                      | 1240,0              | 55,11                           |                            |
| 5.3                      | 7,948     | 2354,96                      | 1302,0              | 57,87                           |                            |
| 6.3                      | 7,662     | 2270,22                      | 1069,0              | 47,51                           |                            |
| <b>Próbki 14-dniowe</b>  |           |                              |                     |                                 |                            |
| 1.4                      | 7,880     | 2334,81                      | 1147,0              | 50,98                           | <b>53,69</b>               |
| 2.4                      | 8,105     | 2401,48                      | 1070,0              | 47,56                           |                            |
| 3.4                      | 8,025     | 2377,78                      | 1167,0              | 51,87                           |                            |
| 4.4                      | 8,013     | 2374,22                      | 1334,0              | 59,29                           |                            |
| 5.4                      | 8,050     | 2385,19                      | 1232,0              | 54,76                           |                            |
| 6.4                      | 8,152     | 2415,41                      | 1298,0              | 57,69                           |                            |
| <b>Próbki 7-dniowe</b>   |           |                              |                     |                                 |                            |
| 1.5                      | 8,090     | 2397,04                      | 1094,0              | 48,62                           | <b>46,67</b>               |
| 2.5                      | 7,954     | 2356,74                      | 1152,0              | 51,20                           |                            |
| 3.5                      | 8,003     | 2371,26                      | 953,0               | 42,36                           |                            |
| 4.5                      | 8,055     | 2386,67                      | 1088,0              | 48,36                           |                            |
| 5.5                      | 8,049     | 2384,89                      | 1047,0              | 46,53                           |                            |
| 6.5                      | 8,022     | 2376,89                      | 966,0               | 42,93                           |                            |
| <b>Próbki 3-dniowe</b>   |           |                              |                     |                                 |                            |
| 1.6                      | 7,802     | 2311,70                      | 758,0               | 33,69                           | <b>41,45</b>               |
| 2.6                      | 7,797     | 2310,22                      | 884,0               | 39,29                           |                            |
| 3.6                      | 7,769     | 2301,93                      | 1092,0              | 48,53                           |                            |
| 4.6                      | 7,885     | 2336,30                      | 958,0               | 42,58                           |                            |
| 5.6                      | 7,784     | 2306,37                      | 1062,0              | 47,20                           |                            |
| 6.6                      | 7,868     | 2331,26                      | 842,0               | 37,42                           |                            |

potwierdzenie jednorodności dostarczanych partii betonu. Znaczna zmiana gęstości mieszanki betonowej może wynikać np. ze zbyt dużego napowietżenia mieszanki betonowej, co w późniejszym etapie wpływa na wytrzymałość betonu, a tym samym konstrukcji. Może również wynikać ze zmiany kruszyw użytych do produkcji betonu, efektem tego może być powstawanie ubytków, tzw. raków oraz spadek wytrzymałości.

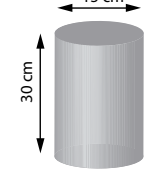
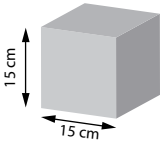
## 2.2. Spoiwo i kruszywo użyte do mieszanki betonowej

Cement użyty do przygotowania mieszanki betonowej – CEM II A-V 42,5 R to cement portlandzki popiołowy klasy 42,5 o składzie zgodnym z wymaganiami normy PN-EN 197-1. Cement CEM II/A-V 42,5 R. Przeznaczony jest m. in. do wytwarzania betonów na fundamenty i elementy konstrukcyjne budowli, elementy monolityczne oraz elementy prefabrykowane, przy wykonaniu których wymagana jest wysoka wytrzymałość wczesna, a proces dojrzewania zachodzi w warunkach naturalnych, w podwyższonej lub obniżonej temperaturze wytwarzania betonów komórkowych, lekkich kruszywowych oraz elementów prefabrykowanych wykonanych z tych betonów. Cement CEM II/A-V 42,5 R wyróżnia się: wysoką wytrzymałością wczesną, dobrą dynamiką narastania wytrzymałości na początku i w dłuższym okresie dojrzewania, możliwością dojrzewania w obniżonych temperaturach, dobrą urabialnością powstałej przy jego użyciu

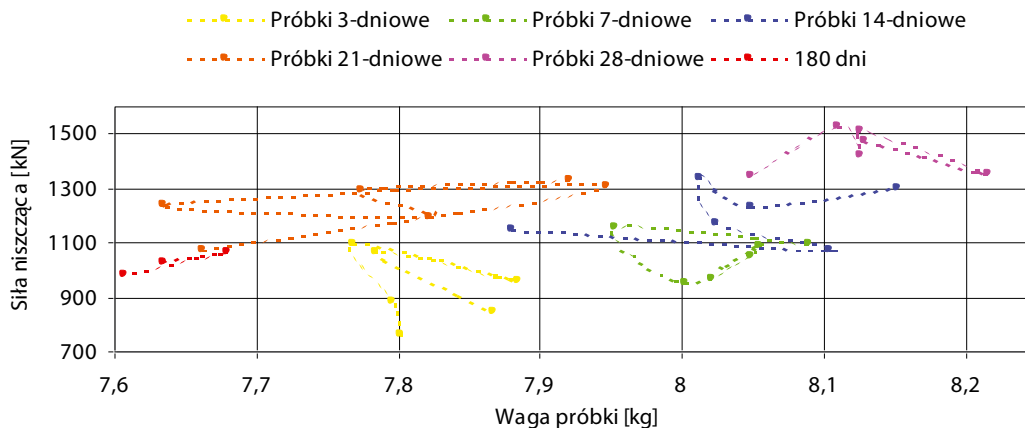
mieszanki betonowej, niskim skurczem przygotowanego przy jego użyciu betonu. Użycie cementu CEM II/A-V 42,5 R skraca czas budowy oraz proces produkcji prefabrykatów dzięki szybszemu rozformowaniu elementów konstrukcji i prefabrykatów, poprawia urabialność i pompowalność świeżej mieszanki betonowej oraz ogranicza zużycie energii potrzebnej do dobrego zagęszczenia mieszanki, zmniejsza ryzyko powstawania wykwitów węglanowych i ogranicza koszty związane z nagrzewaniem mieszanki betonowej.

Kruszywo – nasz beton należy do grupy betonów zwykłych, więc zastosowane uziarnienie 16 mm jest jak najbardziej uzasadnione.

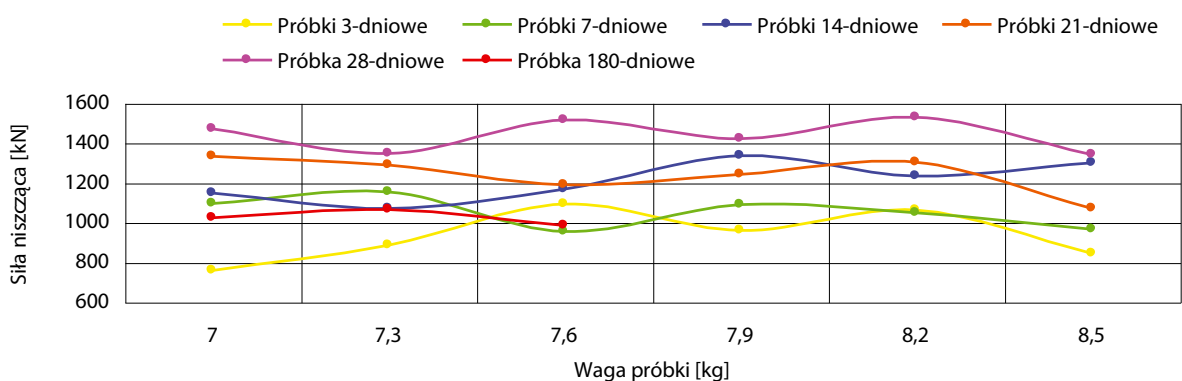
Klasa wytrzymałości na ściskanie – klasyfikacja obejmująca rodzaj betonu (zwykły, ciężki lub lekki), badanie polega

|  |  |
|--|--|
| <p>X – charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie betonu, określona na próbkach cylindrycznych po 28 dniach dojrzewania, <math>f_{ck}</math> [N/mm<sup>2</sup>]</p> |   |
| <p>Y – charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie betonu, określona na próbkach sześciennych, po 28 dniach dojrzewania, <math>f_{ck}</math> [N/mm<sup>2</sup>]</p>  |  |

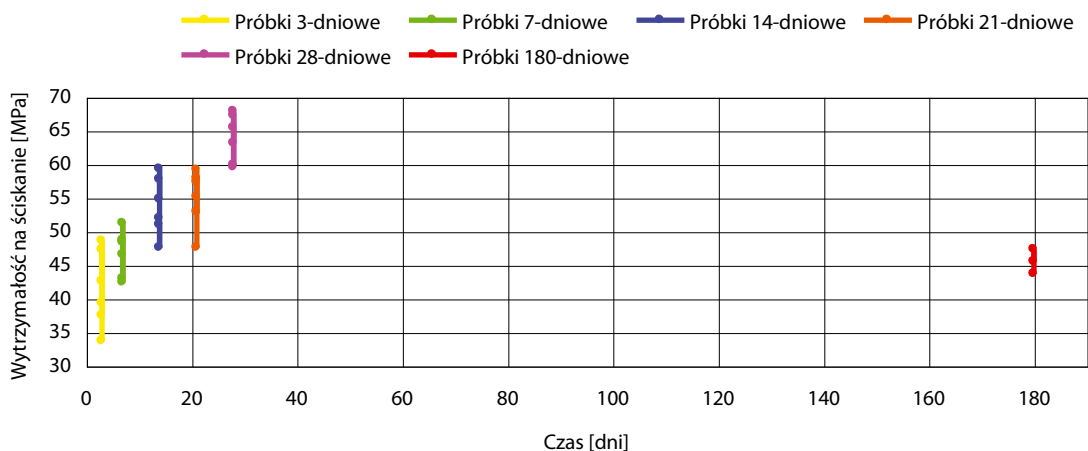
a)



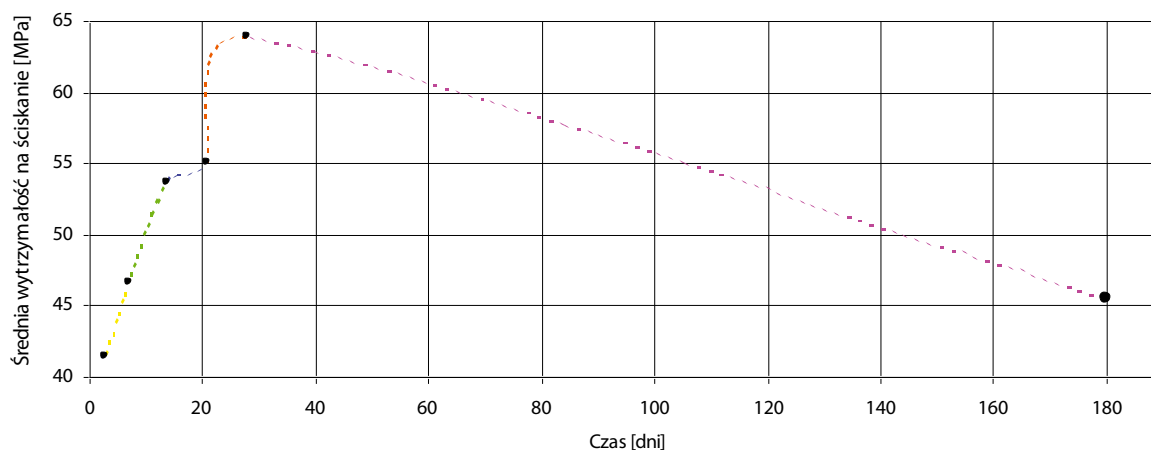
b)



Rys. 15. Zależność siły niszczącej od wagi próbki: a) w punktach pomiarowych, b) uśredniona w zadanym przedziale wagi próbek



Rys. 16. Zależność przyrostu wytrzymałości na ściskanie w czasie



Rys. 17. Zależność średniego przyrostu wytrzymałości na ściskanie w czasie

na określenie minimalnej wytrzymałości charakterystycznej oznaczonych na próbkach walcowych (o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm) oraz minimalnej wytrzymałości charakterystycznej oznaczonej na próbkach sześciennych (o boku 150 mm). Badania przeprowadziliśmy na próbkach sześciennych o wymiarach normowych. Zapytanie Państwo, co oznacza symbol C 35/45 (C X/Y) dla betonu zwykłego lub ciężkiego?

Na podstawie wyników badań wytrzymałości na ściskanie na próbkach sześciennych. Wykonaliśmy wykresy zależności siły niszczącej od wagi próbki – rysunek 15, zależności przyrostu wytrzymałości na ściskanie w czasie – rysunek 16 oraz średnią wytrzymałość na ściskanie – rysunek 17.

Z przedstawionych wykresów wynika, że badane przez nas próbki zostały wykonane z betonu klasy C35/C45.

### 3. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, iż zmiany warunków przechowywania próbek będą miały zawsze konsekwencje w kształtowaniu wytrzymałości stwardniałego betonu przez cały okres dojrzewania.

Zaobserwowano następujące tendencje: próbki niewłaściwie pielęgnowane nie osiągają normowej wytrzymałości, ulegają także uszkodzeniom.

Wyniki badania wytrzymałości betonu na ściskanie przedstawiono na wykresach. Badany beton spełnił kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na ściskanie zgodnie z normą PN-EN 206 dla założonej w recepturze klasy wytrzymałości C35/45 już po 7 dniach dla próbek dojrzewających w wodzie w warunkach laboratoryjnych.

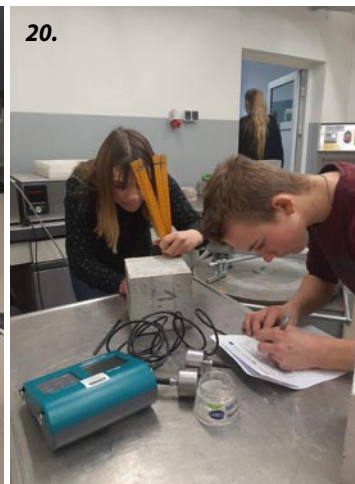
Czynniki, takie jak np.: prawidłowe przygotowanie prób i ich transport, odpowiednia jakość formy, stopień wilgotności prób bezpośrednio przed badaniem, centryczność ustawienia próbki w maszynie wytrzymałościowej podczas badania wytrzymałości, sposób sterowania maszyną wytrzymałościową, w zakresie prędkości obciążania podczas badania, szybkość zwiększania obciążenia podczas badania, określenie rodzaju i prawidłowości zniszczenia próbki po badaniu czy wiele innych, mogą mieć wpływ na wynik końcowy. Dla wielu osób powyższe zagadnienia mogą okazać się oczywiste, jednak z naszych obserwacji wynika, iż na terenie wytwórni betonu towarowego, a nawet w laboratoriach wciąż jeszcze można się spotkać z nieumyślnymi zaniedbaniami,



18.



19.



20.



21.



22.



23.

**Rys. 18.** Ważenie próbek

**Rys. 19.** Badanie młotkiem Schmidta

**Rys. 20.** Badania nieniszczące

**Rys. 21.** Badania betonoskopem

**Rys. 22.** Określenie gęstości próbek betonowych

**Rys. 23.** Badanie wytrzymałości na ściskanie

których konsekwencją jest umieszczenie w sprawozdaniu z badań niemiernego wyniku badania wytrzymałości na ściskanie stwardniałego betonu.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://pl.pinterest.com/pin/391672498818312032/?lp=true>  
 [2] Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Bogusława Stefańczyka, Budownictwo ogólne tom 1, Wydawnictwo Arkady, 2010  
 [3] Jamroz Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN  
 [4] Maj T., Wykonywanie i kontrolowanie robót konstrukcyjno-budowlanych BD.29 cz. 1 i cz. 2, podręcznik WSIP, 2019  
 [5] PN-EN 206-1 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność  
 [6] PN-EN 12504-2 Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych  
 [7] PN-EN 12390-3. Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań  
 [8] PN-EN 12504-4 Badania betonu. Część 4: Wytrzymałość na ściskanie. Wymagania dla maszyn wytrzymałościowych



#### Zespół

Artykuł napisaliśmy w ramach konkursu „Razem do zawodu” realizowanego przez Regionalną Izbę Gospodarczą Pomorza projektu pn. „Programy motywacyjne dla uczniów pomorskich szkół zawodowych” przygotowywanego przez Departament Edukacji i Sportu Urzędu Marszałkowskiego Województwa Pomorskiego w Gdańsku w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Pomorskiego na lata 2014–2020. Nawiązanie trwałej współpracy na linii uczeń, pracodawca, uczelnia wyższa podniosło wiedzę i umiejętności w zakresie przedmiotów zawodowych w szczególności technologii betonu całego naszego zespołu projektowego. Na zdjęciu uczniowie klasy trzeciej Technikum Budowlanego Państwowych Szkół Budownictwa im. prof. Mariana Osińskiego w Gdańsku; od lewej: Mateusz Benkowski, Jarosław Dąbkowski, opiekun zespołu mgr inż. Magdalena Pytka-Leśniak, Aleksandra Kryszczuk, Maciej Stodulski, Sebastian Wojtasiewicz.