

Wybrane zagadnienia betonowania płyty fundamentowej w kontekście fundamentu blokowego pod maszynę wielkogabarytową

Selected issues of concreting the foundation slab in the context of a block foundation for a large-size machine

mgr inż. Marek Bladowski (ORCID: 0009-0004-8618-7386), Agencja Budowlana BiS sp. z o.o.

DOI: 10.5604/01.3001.0054.4881

Streszczenie: W pracy opisano wybrane zagadnienia betonowania płyty fundamentowej w kontekście fundamentu blokowego pod maszynę wielkogabarytową. W zakres artykułu wchodzi omówienie konstrukcji fundamentu pod maszynę, wyzwań pojawiających w procesie betonowania płyty fundamentu, ryzyka przegrzania się mieszanki betonowej, nadzoru i kontroli procesu produkcyjnego, a przede wszystkim odpowiedniej pielęgnacji mieszanki betonowej. Zawarte informacje oraz wnioski z tej analizy mogą stanowić cenne wskazówki dla inżynierów nadzorujących proces wykonywania fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe.

Słowa kluczowe: fundamenty pod maszyny, fundamenty blokowe, konstrukcje inżynierskie, technologia betonu, konstrukcje betonowe

Abstract: The paper describes selected issues of concreting the foundation slab in the context of a block foundation for a large-size machine. The scope of the article includes a discussion of the structure of the foundation for the machine, the challenges arising in the process of concreting the foundation slab, the risk of overheating of the concrete mixture, supervision and control of the production process, and, above all, proper care of the concrete mixture. The information contained and conclusions from this analysis may constitute valuable tips for engineers supervising the process of building foundations for large-size machines.

Keywords: foundations for machines, block foundations, engineering structures, concrete technology, concrete structures.

1. Wprowadzenie

W dzisiejszym rozwijającym się środowisku przemysłowym i budowlanym maszyny wielkogabarytowe odgrywają kluczową rolę w procesach produkcyjnych oraz infrastrukturze. Te potężne urządzenia, takie jak frezarki bramowe, walcarki i prasy wymagają nie tylko precyzyjnego projektowania, ale również solidnych fundamentów, aby zapewnić im stabilność, trwałość i bezpieczeństwo w czasie eksploatacji. Właściwe fundamenty są niezbędne nie tylko dla efektywnego funkcjonowania maszyn, ale także dla uniknięcia awarii, uszkodzeń konstrukcji i zagrożeń dla personelu oraz otoczenia [1].

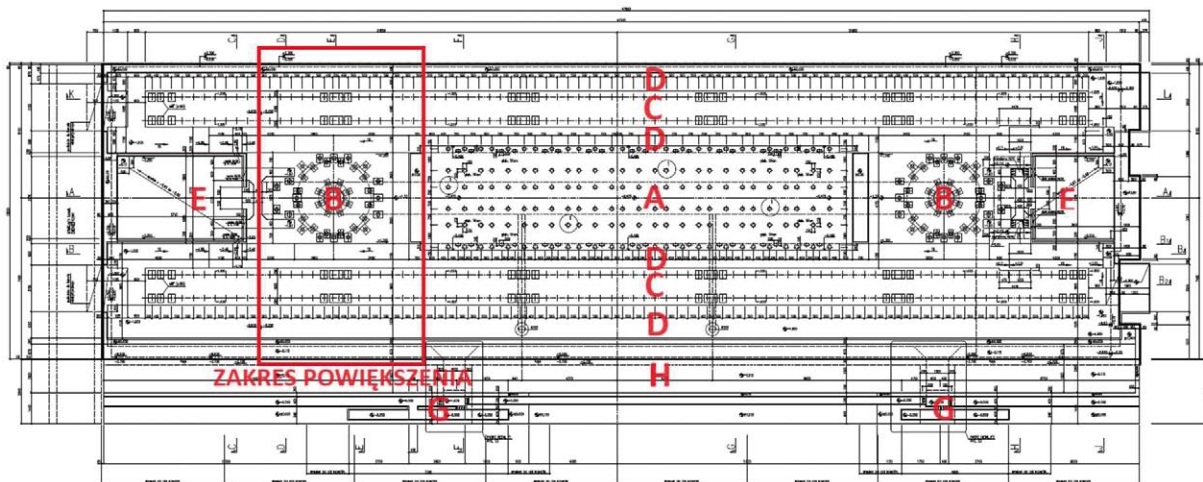
Celem tego artykułu jest przybliżenie czytelnikowi złożonych aspektów związanych z technologią betonu w kontekście projektowania i budowy fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe. Skupimy się na kluczowych wyzwaniach związanych z betonowaniem fundamentów pod tego typu urządzenia, w tym na zagadnieniach związanych z geometrią fundamentu, ryzykiem przegrzania mieszanki betonowej

oraz środkami zaradczymi mającymi na celu minimalizację tych ryzyk.

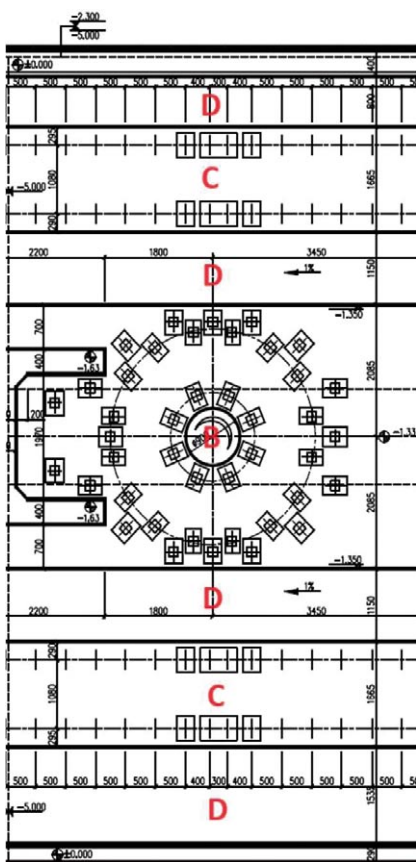
W kolejnych sekcjach omówiony zostanie konkretny przypadek, z analizą trudności napotkanych w praktyce oraz opisem zastosowanych rozwiązań, które przyczyniły się do skutecznego zrealizowania fundamentu pod frezarkę bramową. Fundament został wykonany przez Agencję Budowlaną BiS na terenie zakładu produkcyjnego firmy IN-BUL. Zawarte informacje oraz wnioski z tej analizy mogą stanowić cenne wskazówki dla inżynierów nadzorujących proces wykonywania fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe, poczynwszy od projektowania mieszanki betonowej, przez jej wbudowanie – po pielęgnację.

2. Konstrukcja fundamentu pod frezarkę bramową

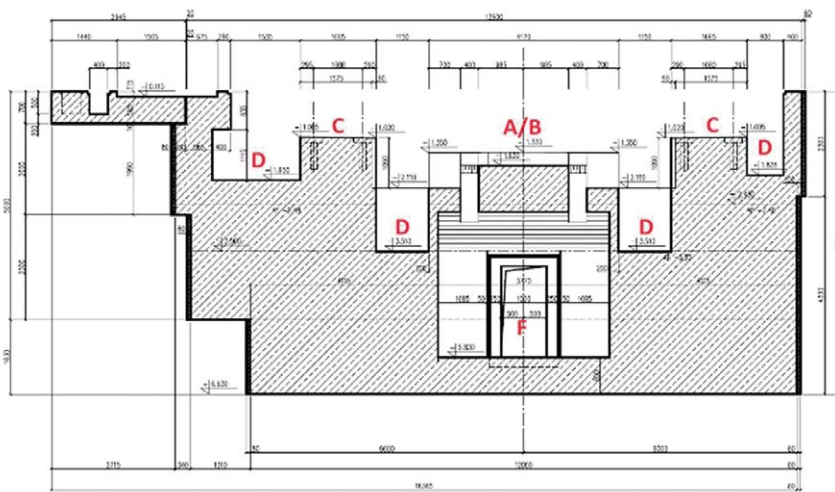
Fundamenty pod maszyny wielkogabarytowe, takie jak frezarki bramowe, muszą być odpowiednio zaprojektowane pod kątem swojej geometrii, aby zapewnić stabilność



Rys. 1. Rzut fundamentu (źródło: Dokumentacja projektowa IN-BU; autor: mgr inż. Elżbieta Wiewiórska)



Rys. 3. Powiększenie wycinka rzutu fundamentu. (źródło: Dokumentacja projektowa IN-BUL; autor: mgr inż. Elżbieta Wiewiórska)



Rys. 2. Przekrój fundamentu (źródło: Dokumentacja projektowa IN-BUL; autor: mgr inż. Elżbieta Wiewiórska)

i trwałość w długotrwałej eksploatacji [2]. Do studium przypadku przyjęto fundament pod frezarkę bramową, którego konstrukcję przedstawiono na rysunkach 1, 2 oraz 3. Obiekt ten stawił spore wyzwania wykonawcze przede wszystkim ze względu na złożoność geometrii. Górna powierzchnia fundamentu jest wielopoziomowa, a składają się na nią: płyta stołu roboczego stałego (A), płyty stołów roboczych obrotowych (B), torowiska (C), kanały technologiczne (D), zejście (E) do tunelu technologicznego (F) oraz

fundamenty pod szafy elektryczne (G), płyta pomocnicza z torowiskiem dla wózka (H).

2.1. Głębokość fundamentu

Głębokość fundamentu jest istotnym parametrem, który ma bezpośredni wpływ na nośność i stabilność całej konstrukcji. Przy wyznaczaniu głębokości należy uwzględnić rodzaj gruntu oraz obciążenia, które maszyna będzie generować w trakcie eksploatacji. Ponadto znaczenie ma konstrukcja samej maszyny. W tym przypadku znaczące jest umiejscowienie tunelu technologicznego pod płytą główną stołu roboczego, w którym przeprowadzone są instalacje konieczne do odpowiedniej pracy maszyny (rys. 4). Przełożyło się to na głębokość sięgającą powyżej 6,50 m.

2.2. Szerokość fundamentu

Szerokość fundamentu ma za zadanie zapewnić odpowiednią powierzchnię kontaktu z podłożem. W przypadku maszyn wielkogabarytowych, takich jak frezarki bramowe,

Rys. 4. Tunel technologiczny (źródło: materiały własne)



szerokość fundamentu jest często proporcjonalna do obciążeń, jakie generuje maszyna. Zapewnienie odpowiedniej szerokości pozwala na równomierne rozłożenie obciążeń na grunt oraz minimalizację ryzyka nierównomiernego osiadania. W analizowanym przypadku szerokość fundamentu wyniosła około 13,50 m.

2.3. Długość fundamentu

Długość fundamentu jest ściśle związana z wymiarami samej maszyny oraz koniecznością zapewnienia odpowiedniego rozłożenia nacisków na grunt. W przypadku frezarek bramowych, które mogą mieć długie prowadnice, długość fundamentu musi być starannie zaplanowana, aby zagwarantować stabilność konstrukcji. W analizowanym fundamencie, ze względu na gabaryty obrabianych elementów, a co za tym idzie wielkości stołów roboczych, długość całej konstrukcji osiągnęła prawie 50 m.

3. Wyzwania betonowania płyty dennej

Betonowanie płyty dolnej fundamentu pod maszyny wielkogabarytowe, takie jak frezarki bramowe jest procesem złożonym, który wiąże się z pewnymi specyficznymi wyzwaniami (rys. 5). Płyta denna stanowi kluczową część konstrukcji, ponieważ przenosi obciążenia dynamiczne generowane przez pracującą maszynę na grunt [3]. W związku z tym, istotne jest zapewnienie trwałości, jednorodności i odporności tej powierzchni na różne obciążenia i warunki środowiskowe.

Rys. 5. Szalunek płyty dennej (źródło: IN-BUL; autor: Paweł Bulczak)



3.1. Gabaryty płyty dennej

W przypadku maszyn wielkogabarytowych płyta denna może osiągać znaczne rozmiary i objętości. Betonowanie dużej powierzchni w jednym etapie wiąże się z ryzykiem nierównomiernego wiązania i wysychania, co może prowadzić do powstania rys oraz niejednorodności konstrukcji [4].

Skomplikowane kształty i wymiary płyty dennej mogą utrudnić jednolite rozprowadzenie mieszanki betonowej.

3.2. Kontrola skurczu betonu

Skurcz betonu to naturalny proces, który występuje w wyniku odparowywania wody z mieszanki betonowej w trakcie jej wiązania. W przypadku płyty dennej, skurcz może prowadzić do powstawania rys, osłabienia struktury i obniżenia trwałości. Kontrola skurczu jest kluczowa, a strategie takie jak stosowanie domieszek zmniejszających skurcz oraz odpowiednia pielęgnacja po betonowaniu mają istotne znaczenie [5].

Rys. 6. Betonowanie płyty dennej (źródło: IN-BUL, autor: Paweł Bulczak)



3.3. Zarządzanie temperaturą wiązania

W trakcie wiązania mieszanki betonowej generowane jest ciepło, które może skutkować przegrzaniem się betonu, zwłaszcza w przypadku dużych objętości betonu, charakterystycznych dla fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe. Nadmierny wzrost temperatury może wpływać negatywnie na właściwości fizyczne betonu i prowadzić do rys oraz osłabienia struktury.

Wyzwania związane z betonowaniem płyty dennej fundamentu pod maszyny wielkogabarytowe wymagają starannej analizy i odpowiedniego planowania procesu. Inżynierowie muszą uwzględnić zarówno aspekty techniczne, jak i praktyczne, aby zapewnić trwałe i niezawodne fundamenty, które będą służyć przez wiele lat, minimalizując ryzyko uszkodzeń oraz awarii maszyn.

4. Ryzyko przegrzania mieszanki betonowej

W trakcie procesu betonowania fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe (rys. 6) jednym z kluczowych aspektów do rozważenia jest ryzyko przegrzania się mieszanki betonowej w wyniku wysokiego ciepła hydratacji. Hydratacja to proces reakcji chemicznej, w wyniku której beton twardnieje, generując jednocześnie ciepło. W przypadku dużych objętości betonu, takich jak płyty denne fundamentów wzmożona reakcja hydratacji może prowadzić do nadmiernego wzrostu temperatury wewnątrz masy betonowej.

4.1. Skutki przegrzania mieszanki betonowej

Przegrzanie mieszanki betonowej może mieć negatywny wpływ na jej wytrzymałość, trwałość i właściwości fizyczne. Nadmierna temperatura może skutkować powstawaniem

mikropęknięć, osłabieniem struktury, a nawet zwiększonym ryzykiem powstawania trwałych deformacji [6]. W skrajnych przypadkach przegrzanie może prowadzić do całkowitego uszkodzenia betonu.

4.2. Projektowanie mieszanki betonowej

Aby zminimalizować ryzyko przegrzania się mieszanki betonowej, projektowanie składu mieszanki odgrywa kluczową rolę. Zastosowanie odpowiednich domieszek opóźniających proces hydratacji oraz kontrola proporcji składników mieszanki mogą pomóc w kontrolowaniu temperatury w trakcie wiązania. W przypadku fundamentu pod frezarkę bramową mieszanka była projektowana indywidualnie przez specjalistów z zakresu technologii betonu, a jej skład przedstawiony jest tabeli 1.

Tabela 1. Skład mieszanki betonowej

Rodzaj składnika	Składnik
Kruszywo	Piasek 0/2
	Żwir 2/8
	Żwir 8/16
	Żwir 16/32
Cement	CEM III/A-42,5 N LH HSR NA
Dodatek	Popiół lotny
Woda	Woda wodociągowa
Domieszka	MasterPozzolith 18BVC
	MasterGlenium SKY 686
	MasterSet R 433

4.3. Monitorowanie temperatury

Nadzór nad temperaturą w trakcie procesu wiązania jest istotny w zapobieganiu przegrzewania się betonu. Zaawansowane technologie umożliwiają monitorowanie temperatury wewnątrz masy betonowej oraz w otoczeniu. To pozwala na śledzenie reakcji chemicznych i w razie potrzeby podejmowanie działań korygujących, takich jak chłodzenie mieszanki za pomocą wody. W analizowanym przypadku temperatura mieszanki była sprawdzana poprzez termometry umieszczone w mieszance. Temperatura mieszanki w ciągu trzech dni od betonowania wzrosła do 39°C, a następnie sukcesywnie spadała, po tygodniu osiągając 25°C, a po 14 dniach zrównała się z temperaturą otoczenia.

Ryzyko przegrzania mieszanki betonowej stanowi istotne wyzwanie podczas budowy fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe. Odpowiednie projektowanie mieszanki, monitorowanie temperatury oraz współpraca między specjalistami z różnych dziedzin są kluczowe dla zapewnienia trwałych i bezpiecznych fundamentów, które sprostają wymaganiom maszyn i otoczenia.

5. Nadzór i kontrola procesu produkcyjnego

Aby zapewnić wysoką jakość fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe, kluczowe jest prowadzenie nadzoru i kontroli nad całym procesem produkcyjnym, począwszy

od przygotowania mieszanki betonowej, aż po jej wbudowanie i dojrzewanie.

5.1. Przygotowanie mieszanki betonowej

Pierwszy krok w procesie to przygotowanie odpowiedniej mieszanki betonowej. Inżynierowie i specjaliści ds. materiałów muszą dbać o dokładne zachowanie proporcji składników, jakość używanych materiałów oraz kontrolę domieszek (tab. 1). Odpowiednie wstępne przygotowanie mieszanki jest kluczowe dla osiągnięcia optymalnych parametrów wiązania i minimalizacji ryzyka przegrzania (tab. 2).

5.2. Nadzór nad wytwarzaniem mieszanki

W trakcie produkcji mieszanki betonowej w betoniarni, konieczne jest ścisłe monitorowanie procesu. Zapewnienie odpowiednich warunków mieszania, wilgotności składników oraz tempa dostarczania składników wpływa na jakość ostatecznej mieszanki [7].

Tabela 2. Parametry mieszanki betonowej

Klasa wytrzymałości	C30/37
Klasa konsystencji	S3
Wodoszczelność	W8
Gęstość	2343 kg/dm ³
Zawartość powietrza	2,00%
Punkt piaskowy	33,3
W/C	0,71

5.3. Kontrola wbudowania mieszanki

Proces wbudowania mieszanki betonowej w konstrukcję fundamentu podlega specjalnym procedurom. Zapewnienie jednolitego rozprowadzenia mieszanki, prawidłowego zagęszczenia oraz eliminacji ewentualnych przestrzeni powietrznych jest istotne dla uzyskania trwałego fundamentu. Konieczne jest zachowanie odpowiedniego tempa i ciągłości betonowania. Niedopuszczalne jest przerywanie betonowania na czas dłuższy aniżeli wymiana betonowozu przy pompie.

Nadzór i kontrola procesu budowlanego fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe są kluczowe dla osiągnięcia wysokiej jakości konstrukcji. Wymagają one współpracy między różnymi specjalistami oraz ściślejszego monitorowania technicznych i środowiskowych aspektów, aby zapewnić trwałość i bezpieczeństwo fundamentów w długim okresie eksploatacji.

6. Pielęgnacja mieszanki betonowej

Pielęgnacja mieszanki betonowej po jej wbudowaniu jest kluczowym etapem w procesie budowy fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe. Odpowiednia pielęgnacja ma na celu utrzymanie optymalnych warunków nawilżenia i temperatury, co przyczynia się do osiągnięcia pełnej wytrzymałości i trwałości betonu.

6.1. Zachowanie wilgotności

Jednym z głównych celów pielęgnacji jest utrzymanie odpowiedniej wilgotności powierzchni betonu w okresie wiązania. Wilgoć jest niezbędna do właściwego przebiegu procesów chemicznych, które prowadzą do twardnienia betonu.

6.2. Zapobieganie skurczowi powierzchniowemu

Skurcz powierzchniowy to proces, w którym warstwa zewnętrzna betonu kurczy się szybciej niż jego wnętrze. To może prowadzić do powstawania pęknięć i osłabienia struktury. Pielęgnacja, która zapobiega nagłemu odparowywaniu wody z powierzchni, pomaga w minimalizacji tego rodzaju skurczu.

6.3. Metody pielęgnacji

Do metod pielęgnacji mieszanki betonowej zaliczają się m.in. utrzymywanie wilgotności poprzez regularne nawadnianie powierzchni, stosowanie mokrych mat czy folii, a w szczególności utrzymywanie fundamentu pod wodą, co można uzyskać poprzez montaż deskowania nad powierzchnią betonu [8]. W analizowanym przypadku została zastosowana ostatnia metoda. Trzeba tutaj zwrócić uwagę na temperaturę wody utrzymywanej na powierzchni fundamentu, która nie może być zbyt niska, w stosunku do temperatury mieszanki, żeby mieszanka nie doznała szoku termicznego [9]. Dlatego też nie należy stosować wody bezpośrednio z wodociągu. Przy tej konstrukcji wykorzystano wodę z wcześniej zapełnionego zbiornika z wodą w temperaturze otoczenia. Odpowiednio dobrane metody pielęgnacji zależą od rodzaju betonu, warunków atmosferycznych oraz charakterystyk konstrukcji.

6.4. Czas pielęgnacji

Czas trwania pielęgnacji jest zazwyczaj uzależniony od rodzaju betonu oraz warunków otoczenia. W przypadku betonu o wysokim cieple hydratacji, pielęgnacja może trwać dłużej, aby zapewnić odpowiedni proces wiązania. Zbyt wczesne przerwanie pielęgnacji może prowadzić do osłabienia struktury betonu. Przy wykonywaniu analizowanego obiektu górną powierzchnię fundamentu utrzymywano pod wodą przez 14 dni, a następnie do uzyskania pełnej wytrzymałości betonu, tj. do 28 dni od wbudowania mieszanki wilgotność utrzymywano poprzez zraszanie młodego betonu.

6.5. Kontrola procesu pielęgnacji

Nadzór nad procesem pielęgnacji jest istotny dla zapewnienia skuteczności. Regularne monitorowanie wilgotności powierzchni betonu oraz reakcji chemicznych pozwala na ewentualne korekty i dostosowanie strategii pielęgnacji w razie potrzeby [10].

Pielęgnacja mieszanki betonowej stanowi kluczowy element w procesie tworzenia trwałych fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe. Praktyki pielęgnacyjne muszą być dostosowane do konkretnych warunków i właściwości betonu, aby zapewnić optymalne parametry wytrzymałości, trwałości i stabilności konstrukcji.

7. Podsumowanie

W artykule omówiono kluczowe aspekty związane z betonowaniem fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe. Wskazano na znaczenie precyzyjnego projektowania geometrii fundamentu, aby zapewnić odpowiednią wytrzymałość i stabilność. Analizowano ryzyko przegrzania się mieszanki betonowej oraz przedstawiono środki zaradcze w projektowaniu mieszanki w celu minimalizacji tego zagrożenia.

Ponadto opisano proces nadzoru i kontroli podczas produkcji oraz wbudowywania mieszanki betonowej. Staranne przygotowanie, monitorowanie temperatury, kontrola procesu pielęgnacji oraz stosowanie właściwych metod pielęgnacyjnych stanowią kluczowe elementy w zapewnieniu optymalnych parametrów trwałości i wytrzymałości fundamentów.

Artykuł wskazuje, że efektywne projektowanie i realizacja fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe wymaga holistycznego podejścia. Wymaga to współpracy między inżynierami konstrukcyjnymi, inżynierami materiałowymi oraz specjalistami ds. betonowania. Optymalna technologia betonu powinna uwzględniać zarówno aspekty mechaniczne, jak i termiczne, aby zapewnić trwałe, stabilne i bezpieczne fundamenty, które sprostają wymaganiom maszyn przemysłowych.

Szczególną uwagę trzeba poświęcić na projekt i produkcję mieszanki betonowej do wykonywania fundamentów pod maszyny wielkogabarytowe. Nie jest to standardowa mieszanka, produkuje się ją incydentalnie, więc projekt i nadzór nad wytwarzaniem oraz wbudowaniem mieszanki należy powierzyć wyłącznie specjalistom w zakresie technologii betonu. W analizowanym przypadku był to Zakład Fundamentowania Instytutu Badawczego Dróg i Mostów z Warszawy. Wniosek z przeprowadzonej analizy jest jednoznaczny: precyzyjne projektowanie, staranne przygotowanie mieszanki, nadzór nad procesem produkcji i pielęgnacji to kluczowe czynniki w tworzeniu fundamentów zdolnych sprostać dynamicznym obciążeniom i trwać przez długie lata eksploatacji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Špak M. i in., Comparison of Conventional and Advanced Concrete Technologies in Terms of Construction Efficiency, 2016
- [2] Lipiński J., Fundamenty pod maszyny, Wydawnictwo Arkady, 1985
- [3] Mrozek W., Budownictwo Przemysłowe. Część 2: Fundamenty pod maszyny. Białystok, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 1990
- [4] Orłowski Z., Podstawy Technologii Betonowego Budownictwa Monolitycznego, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2013
- [5] Dondelewski H., Januszewski M., Betony Cementowe. Zagadnienia wybrane, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2019
- [6] Sharma T. i in., Alkaliphilic Bacillus species Show Potential Application in Concrete Crack Repair by Virtue of Rapid Spore Production and Germination Then Extracellular Calcite Formation, 2017
- [7] Januszewski M., Beton Towarowy, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017
- [8] Urban L., Poradnik Kierownika Budowy. Część 2. Rozdział 15. Konstrukcje betonowe i żelbetowe monolityczne, Warszawa, Arkady, 1990
- [9] Ercolani G. D. i in., Physical-Mechanical Behavior of Concretes Exposed to High Temperatures and Different Cooling Systems, 2017
- [10] Madduru Sri Rama Chand i in., Paraffin Wax as an Internal Curing Agent in Ordinary Concrete, 2015