



Temat specjalny

BETON – MATERIAŁ BUDOWLANY CORAZ BARDZIEJ UNIWERSALNY

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne



Beton jest obecny praktycznie w każdym rodzaju budownictwa. Jednocześnie żaden inny budulec nie jest wykorzystywany do tylu różnych celów. Ponieważ można mu nadać w zasadzie dowolny kształt, to nic dziwnego, że stanowi podstawę najróżniejszych obiektów budowlanych – od autostrad przez obiekty mostowe, hydrotechniczne aż po najwyższe na świecie drapacze chmur.



Beton, kiedyś uznawany za zimny i nieprzyjazny, obecnie, dzięki ciągłemu doskonaleniu i nowym rozwiązaniom w zakresie jego użycia, zmienia swoje oblicze. Materiał, będący niegdyś zwykłym budulcem, stanowi dziś jeden z istotnych elementów najnowocześniejszych projektów.

Z historii betonu

Najstarsze ślady stosowania betonu datuje się na 7000 r. p.n.e., ponieważ to właśnie z tego okresu pochodzą budowle w Izraelu, w których podłogi i fragmenty ścian wykonano z betonu ze spoiwem wapiennym i kruszywem z rozdrobnionego wapienia. Jeszcze przed naszą erą z podobnego rodzaju betonu budowano podłogi chat rybackich w Serbii i dachy domów w Meksyku. Niemniej wynalezienie i rozpowszechnienie betonu jako materiału budowlanego przypisywane jest starożytnym Rzymianom, którzy w IV w. p.n.e. stosowali technikę wznoszenia konstrukcji z betonu. Polegała ona na wlewaniu rzadkiej zaprawy między dwie murowane z kamienia ściany, które pełniły jednocześnie rolę szalunku traconego, i wrzucaniu do środka gruzu kamiennieo-ceramicznego. Już sto lat później Rzymianie potrafili wytwarzać beton odpowiadający z definicji betonowi współczesnemu, stanowiący mieszaninę kamieni, wody i cementu, która po związaniu twardniała, tworząc sztuczną skałę. Obiekty budowlane, do wykonania których używano betonu na bazie cementu pucolanowego, można do dziś oglądać na terenach obecnych Włoch, zaś w Neapolu w latach 37–41 powstał pierwszy na świecie budynek w technologii prefabrykacji [1].

Właściwości i podział betonów

Angielska nazwa betonu *concrete* pochodzi od łacińskiego słowa *concretus*, oznaczającego zrośnięty, co odnosi się do konsystencji betonu – najpierw jest płynny, a kiedy zwiąże, staje się twardy jak kamień. Co ciekawe, podstawowe zasady produkcji betonu nie zmieniły się od ponad wieku, a kluczowymi elementami są nadal odpowiedni dobór składników i czas.

Wśród najważniejszych cech betonu wymienia się trwałość, wytrzymałość, inercję cieplną, duże walory akustyczne, ochronę przeciwpożarową i przeciwwodną oraz łatwość jego użycia. Ponadto beton nie stanowi zagrożenia dla zdrowia człowieka i jest ekologiczny, co ma duże znaczenie w przypadku budownictwa zrównoważonego.

Stosowane w praktyce betony można podzielić według różnych kryteriów. Ze względu na gęstość objętościową (ρ_0) dzieli się je na betony ciężkie ($\rho > 2600 \text{ kg/m}^3$), zwykłe ($\rho \geq 2000 \text{ kg/m}^3$) i lekkie ($\rho < 2000 \text{ kg/m}^3$). Z racji przeznaczenia w konstrukcji wyróżnia się cztery rodzaje betonu. Z betonu konstrukcyjnego wykonuje się elementy, które mogą przejmować obciążenia zewnętrzne od innych elementów. Wytrzymałość na ściskanie takiego betonu powinna odpowiadać klasie $\geq \text{C16/20}$, w której mieści się beton zwykły. Kolejny rodzaj betonu, konstrukcyjno-izolacyjny, charakteryzuje się tym, że może przejmować pewne obciążenia, a jednocześnie posiada podwyższone walory izolacji termicznej. Jego wytrzymałość na ściskanie waha się w granicach od 4 do 10 MPa. Beton izolacyjny, służący w zasadzie wyłącznie do wykonywania elementów, które przenoszą co najwyżej własny ciężar, musi spełniać odpowiednie wymagania izolacji termicznej. Jego wytrzymałość na ściskanie nie przekracza 6 MPa. Beton architektoniczny,

Jakie zalety betonu decydują o jego bardzo dużej popularności w budownictwie?



JĘDRZEJ ZDZIECHOWSKI, kierownik ds. rozwoju konstrukcji budowlanych i zrównoważonego budownictwa, Lafarge w Polsce

Beton to jeden z najbardziej uniwersalnych materiałów budowlanych. Służy ludziom już od czasów antycznych, a o jego trwałości świadczy chociażby

to, że wciąż możemy podziwiać takie budowle, jak Panteon w Rzymie czy Hagia Sophia w Stambule. Beton jest wyjątkowo wytrzymały, posiada dużą odporność i na ogień, i na mróz. Charakteryzuje się także dużą wytrzymałością na uderzenia oraz na działanie temperatury i wody. Jest również odporny na grzyby i pleśń. Dodatkowo ma dużą bezwładność termiczną oraz jest paroprzepuszczalny, co ma wpływ na zdrowy mikroklimat w budynkach, gdzie jest on stosowany. To właśnie dzięki swoim różnorodnym walorom beton jest idealnym materiałem do zadań specjalnych – przykładem może być przeprowadzone po raz pierwszy w Polsce podwodne betonowanie podczas realizacji projektu Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku.

O dużej popularności betonu decyduje także łatwość obróbki oraz jego walory estetyczne, które ostatnio są coraz częściej wykorzystywane przez projektantów. Możemy śmiało powiedzieć, że wróciła moda na beton – architektura współczesna docenia walory estetyczne tego materiału. Projektanci i wykonawcy inwestycji wykorzystują beton zarówno od strony technicznej – konstrukcyjnej, jak i wizualnej. Jest on stosowany nie tylko jako materiał inżynierski, ale także środek artystycznego wyrazu, który pozwala zrealizować określoną wizję projektanta. Obecnie dostępne są także specjalne odmiany betonu architektonicznego (np. barwionego w masie), które dają ogromne możliwości projektantom, aby tworzona przez nich bryła była nie tylko funkcjonalna, ale mogła także przemawiać artystycznie do odbiorców. Mamy coraz więcej przykładów obiektów, gdzie beton stanowi podstawę przekazu artystycznego. Można powiedzieć, że wymagania projektantów wobec betonu powodują rozwój technologii betonu, a to znowu jest podstawą do tworzenia coraz śmielszych projektów. Z własnego doświadczenia mogę powiedzieć, że bliska współpraca architekta z wykonawcą i producentem betonu już w trakcie opracowywania koncepcji powoduje, że końcowy efekt jest bardzo dobry i spełnia oczekiwania wszystkich stron.

nazywany także strukturalnym, jest wykorzystywany do konstruowania elementów monolitycznych i prefabrykowanych. Pełni przede wszystkim funkcję dekoracyjną.

Podział ze względu na technologiczne warunki pracy uwzględnia beton hydrotechniczny, żaroodporny i wodosz-



czelny. Z kolei biorąc pod uwagę miejsce urabiania mieszanki, beton może być uzyskany z mieszanki wykonanej na lub poza placem budowy. Wymienione betony mogą należeć równocześnie do różnych grup, dlatego w praktyce podaje się tylko nazwę o najistotniejszym znaczeniu dla danego betonu [2].

Rola chemii budowlanej i domieszek

Już w czasach starożytnych beton wzbogacano różnymi naturalnymi domieszkami, które poprawiały jego właściwości – najczęściej były to tłuszcz zwierzęcy, krew lub mleko. Obecnie chemia budowlana to obszar, który stanowi jeden z fundamentów współczesnej technologii betonu, a domieszki do betonu to jedna z najszybciej rozwijających się grup materiałów budowlanych. W obrębie chemii budowlanej znajdują się także dodatki polimerowe, dzięki którym uzyskuje się betony polimerowo-cementowe i żywiczne oraz innowacje w zakresie materiałów wykończeniowych, izolacyjnych, naprawczych i do ochrony powierzchniowej. Dzięki ciągłemu rozwojowi w dziedzinie chemii budowlanej coraz lepsze właściwości betonów umożliwią realizację coraz śmielszych projektów konstrukcji budowlanych [3].

W składzie domieszek do betonu mogą znaleźć się substancje organiczne lub nieorganiczne. Kilkadziesiąt aprobowanych i deklarowanych substancji, z których mogą być komponowane, wymienia norma określająca podstawowe wymagania dla domieszek PN-EN 934-1 *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu*. Cz. 1. *Wymagania podstawowe*. Ich zasadniczą wspólną cechą jest przede wszystkim brak oddziaływania korozyjnego. Wszystkie składniki potrzebne do wytworzenia betonu towarowego są objęte normami zharmonizowanymi, stanowiąc tym samym wyroby budowlane i podlegając obowiązkowemu oznakowaniu znakiem CE lub znakiem budowlanym. Tylko takie mogą być używane do wytwarzania betonu, jeśli producent chce deklarować jego zgodność z normą PN-EN 206-1. Skuteczność stosowanych domieszek chemicznych ocenia się według wytycznych zawartych w grupie norm PN-EN 480 [4].

Zadaniem dodatków, które mają postać pyłów, okruszków lub włókien, jest polepszenie wybranych właściwości betonu, zaoszczędzenie cementu i uzupełnienie pylastych frakcji kruszywa. Jako dodatki pylaste stosowane są głównie mielony, granulowany żużel wielkopiecowy, popiół lotny i pył krzemionkowy.

Popiół lotny dodany do mieszanki poprawia jej urabialność i wpływa na podwyższenie odporności betonu na agresywne środowisko siarczanowe, poważne spowolnienie twardnienia betonu czy podwyższenie jego odporności na temperaturę z 400 do 600 °C. Podobnie oddziałuje żużel granulowany słabo zasadowy, zmielony do miąższości, jaka cechuje popioły. Efekty stosowania żużla mogą być nawet korzystniejsze niż w przypadku popiołu, gdyż żużel jest aktywniejszy i skuteczniej uszczelnia beton.

Pył krzemionkowy dodany do betonu w ilości 2–3% masy cementu (więc raczej jako domieszka) bardzo korzystnie wpływa na polepszenie urabialności mieszanki przy zachowaniu dobrej lepkości. Bentonit, skała ilasta, polepsza właściwości tiksotropowe mieszanek betonowych. Natomiast dodatki okruskowe, stosowane tylko do zewnętrznych warstw wyrobów betonowych, powodują podwyższenie odporności na ścieranie, chropowatość, odpowiednie zabarwienie i czasami szczelność. Żywyce syntetyczne jako dodatki wykazują znaczną adhezję z kruszywem i ze stwardniałym zaczynem. Odpowiednio dobrany kompozyt żywiczny polepsza urabialność mieszanki betonowej, a także wytrzymałość i właściwości fizyczne oraz chemiczne. Dodatki w postaci opiłków stalowych, rozdrobnionego węgliku krzemu, korundu, żużli ołowianych lub miedziowych, stłuczki porcelanowej stosuje się, by uodpornić beton na ścieralność. Jeśli beton ma się cechować wysoką odpornością na uderzenia i drgania, korzystne są dodatki o wydłużonym kształcie, jak wióry żeliwne czy krótkie odcinki drutu stalowego (beton z takim dodatkiem jest szczególnie odporny na zmęczenie i jednocześnie na ścieranie). Do betonów, które mają cechować się tylko podwyższoną odpornością na zmęczenie, używa się dodatków włóknistych z włókna szklanego, z tworzyw sztucznych i włókna mineralne, a nawet roślinne [2].

Nowoczesna prefabrykacja

Prefabrykacja, czyli masowe wytwarzanie elementów budowlanych w zakładzie produkcyjnym, jest niewątpliwie czynnikiem, który umożliwił mechanizację, rytmikę i masowość produkcji. Współczesne budownictwo, chcąc przekraczać ograniczenia, m.in. związane z wysokością i rozpiętością budowli, wykorzystuje prefabrykaty jako efektywne konstrukcje, które cechuje wysoka wartość stosunku rozpiętości do wysokości



Wykorzystaj w swoich realizacjach 100 lat doświadczeń BASF

Domieszki do betonu
Posadzki przemysłowe
Systemy hydroizolacji
Systemy naprawcze

Master Builders Solutions - kompleksowe rozwiązania w zakresie domieszek do betonu, posadzek przemysłowych, systemów hydroizolacji oraz systemów naprawczych betonu.

Nowoczesne produkty, wieloletnie doświadczenie, konkretne rozwiązania. Znalezienie wiarygodnego wsparcia dla Twoich projektów, nigdy nie było łatwiejsze.

Po więcej informacji odwiedź naszą stronę www.master-builders-solutions.basf.pl

 **BASF**

We create chemistry

przekroju. W technologiach prefabrykowanych mogą być wznoszone budynki dochodzące do 80 kondygnacji, a niewątpliwym atutem konstrukcji prefabrykowanych jest wytrzymałość, przez co dodatkowy zapas bezpieczeństwa w nich zawarty jest przeważnie znacznie większy niż wymagany przepisami normy projektowej.

Na coraz szersze wykorzystanie prefabrykatów wpływają ich liczne zalety, takie jak możliwość osiągania przez nie wysokiej wytrzymałości, wykorzystanie do podpierania i stabilizacji konstrukcji przenoszących duże obciążenia, odporność na wpływy korozyjne, agresję chemiczną czy silne uderzenia, mała relaksacja naprężeniowa. Ponieważ prefabrykaty można wykonywać z różnych materiałów, uzyskuje się potrzebne właściwości – w zależności od potrzeb prefabrykat może być np. ciężki albo lekki, porowaty albo szczelny, może się unosić na wodzie albo być zatapiający [5].

Szeroki zakres zastosowań

Beton używany do nawierzchni dróg znalazł uznanie wśród inwestorów, projektantów i wykonawców, stąd nawierzchnie betonowe są obecnie stosowane zarówno na sieci dróg autostradowych, krajowych, jak i gminnych. Dla kierowców, którzy są końcowymi użytkownikami tego typu nawierzchni, istotne są krótsza droga hamowania, brak zjawiska koleinowania, lepsza widoczność, rzadsze remonty związane z 50-letnią żywotnością dróg betonowych i niższe zużycie paliwa, wynikające z mniejszych oporów toczenia. Nie bez znaczenia dla ochrony

środowiska, a także w aspekcie zrównoważonego rozwoju jest fakt, że nawierzchnie betonowe w 100% podlegają recyklingowi. Co więcej, najnowsze dane pokazują, że budowanie nawierzchni w technologii betonowej ma także głębokie uzasadnienie ekonomiczne [6].

Wśród nawierzchni betonowych wyróżnia się kilka typów. Najczęściej stosowanym rodzajem są nawierzchnie niezbrojone i niedyblowane. Początkowo układano je na podłożu gruntowym, jednak przy dużym obciążeniu ruchem samochodowym dochodziło do degradacji szczelin dylatacyjnych spowodowanych erozją podłoża. Obecnie nawierzchnie niezbrojone i niedyblowane wykonuje się na podłożu ulepszonym, odpornym na erozję. W nawierzchni, na 1/3 grubości płyty, wykonywane są podłużne i poprzeczne nacięcia szczelin dylatacyjnych.

Kolejnym rodzajem są nawierzchnie dyblowane i kotwione. Jak pokazuje praktyka, dyblowanie płyt znacznie polepsza ich współpracę na szczelinach dylatacyjnych. Wówczas płyty mniej klawiszują, a szczeliny dylatacji mniej się rozszerzają [7].

Jedną z możliwych technologii zapewniających wybudowanie trwałych nawierzchni o dużej nośności jest technologia betonu wałowanego, będąca połączeniem zalet tradycyjnej technologii betonu nawierzchniowego z łatwością i wydajnością układania nawierzchni bitumicznej. Ponadto technologia betonu wałowanego posiada niewątpliwą zaletę w postaci krótkiego czasu realizacji – średnia wydajność budowy to 60–120 m/h. Szybko także uzyskuje się sprawność użytkową nawierzchni, ponieważ obciążenie ruchem pojazdów osobowych jest możliwe już po 24–48 godzinach. Co ważne, do wykonania nawierzchni w technologii betonu wałowanego nie jest konieczne angażowanie specjalistycznego sprzętu. Budowa odbywa się z wykorzystaniem dokładnie takich samych urządzeń i maszyn, jak w przypadku nawierzchni bitumicznej, czyli rozścielaczy i walców [8].

Beton stosowany w budowie obiektów inżynierii komunikacyjnej, w tym mostów czy wiaduktów, z uwagi na fakt, że jest poddawany dużym obciążeniom mechanicznym oraz działaniu zmiennych temperatur i środków odladzających, musi się charakteryzować wysoką jakością. W budownictwie mostowym trwałość można zdefiniować jako zdolność konstrukcji betonowej do pełnienia swojej funkcji przez okres planowanego użytkowania w projektowanych warunkach bez ponoszenia nadmiernych kosztów napraw i konserwacji. Dlatego przy projektowaniu betonów w konstrukcjach mostowych trzeba uwzględnić czynniki technologiczne związane z kształtowaniem odpowiedniego poziomu wytrzymałości, jak i trwałością betonu. Beton stosowany w budownictwie mostowym powinien się więc charakteryzować konkretnymi właściwościami. Należą do nich dobra urabialność mieszanki betonowej (przez co najmniej 60–90 minut), odpowiednio wysoka wytrzymałość na ściskanie w okresie normowym (po 28 dniach dojrzewania) oraz wysoka trwałość związana ze szczelnością [9].

Liczne przykłady wybudowanych dotychczas kanałów betonowych w Polsce i w Europie są dowodem na wieloletnią wytrzymałość eksploatacyjną tego typu obiektów, co coraz częściej skłania inwestorów i zamawiających do powszechnego stosowania betonu w realizowanych i planowanych inwestycjach. Przemawiają za tym sztywność i trwałość konstrukcji, wysoka jakość i powtarzalność produkcji, produkcja przyjazna dla środowiska, wysoka odporność ogniowa, szczelność połączeń oraz najniższa spośród dostępnych systemów



NOE-PL Sp. z o.o., ul. Jezioraki 84, 02-863 Warszawa
tel.: 22 853 00 91, e-mail: warszawa@noe.pl



www.noe.pl

NOEtop S - GOTOWE DO UŻYCIA BHP ZINTEGROWANE Z TARCZAMI

Zaprojektowany dla szczególnie wysokich wymagań bezpieczeństwa na budowie. Platformy robocze z barierkami, drabiny i zastrzały przymocowane bezpośrednio do wielkoformatowych tarcz NOEtop są dostarczane na budowę gotowe do natychmiastowego użycia. Wystarczy tylko rozłożyć platformy robocze i wyprostować zastrzały i NOEtop S jest gotowy do pracy. Przed przeniesieniem w inne miejsce elementy nie wymagają demontażu. Wystarczy je tylko złożyć i w całości przenieść.



DESKOWANIA

NOE[®]top S

BHP zintegrowane z płytami szalunkowymi

ponadto w ofercie firmy NOE:

- pełny zakres systemów deskowań
- akcesoria do betonowania
- kompleksowa obsługa techniczna

foto: Hala Sportowa w Calais we Francji

www.noe.pl, www.noeplast.pl

Centrala Mazowsze
ul. Jezioraki 84
02-863 Warszawa
T +48 22 853 00 91
warszawa@noe.pl

Oddział Pomorze
ul. Grunwaldzka 35
84-230 Rumia
T +48 58 781 75 65
pomorze@noe.pl

Oddział Śląsk
ul. Ostatnia 3
41-909 Bytom
T +48 32 389 20 61
slask@noe.pl

Spośród wielu zalet betonu natryskowego, dla których jest on często stosowany w budownictwie, wymienia się trwałość. Jakie czynniki decydują o trwałości wykonanego betonu natryskowego?



inż. MICHAŁ PRZEDWOJEWSKI,
Product Manager – Budownictwo
Inżynieryjne, quick-mix Sp. z o.o.

Beton natryskowy łączy właściwości betonu jako materiału budowlanego z innowacyjną technologią aplikacji. Możliwość nanoszenia mieszanki w trudno dostępnych miejscach, doskonałe

zagęszczenie struktury, znakomita przyczepność do istniejącego podłoża, aplikacja na powierzchnie pionowe i stropowe, podawanie mieszanki na duże odległości (odcinki poziome i pionowe) oraz możliwość wykonywania częstych przerw technologicznych (natrysk metodą suchą) sprawiają, że technologia torkretu jest wciąż bezkonkurencyjna w trakcie realizacji wielu przedsięwzięć budowlanych. Trwałość, niezawodność i bezpieczeństwo konstrukcji to najważniejsze kryteria, jakimi powinien kierować się każdy uczestnik budowlanego procesu inwestycyjnego. Wspomniane kwestie decydują również o późniejszych kosztach utrzymania obiektu. Dlatego oczekując uzyskania betonu natryskowego z zachowaniem wszystkich istotnych jego właściwości, w tym wysokiej trwałości, należy zwrócić uwagę na kilka kluczowych kwestii, jakimi są:

- jakość stosowanych mieszanek mineralnych oraz posiadanie przez producenta wymaganych dokumentów potwierdzonych badaniami (karty techniczne, aprobaty techniczne, krajowe deklaracje właściwości użytkowych, badania wodoszczelności, karty charakterystyki);
- wsparcie techniczne ze strony dostawcy mieszanki na etapie powstawania koncepcji projektu oraz na etapie realizacji;
- korzystanie z usług wyłącznie doświadczonych firm wykonawczych (możliwość udokumentowania zrealizowanych obiektów).

ścieralność, niezwykle istotna dla kanałów deszczowych. Dzisiejsza wiedza producentów, poparta latami doświadczeń, w połączeniu z dostępem do najnowszych technologii oraz aktywną współpracą z producentami cementów przyczyniają się do systematycznego zwiększania popularności betonowych systemów kanalizacyjnych. Wśród głównych zalet kompletnych systemów kanalizacyjnych można wymienić:

- wytrzymałość i sztywność kolektorów, przekładające się na zapobieganie odkształceniom powierzchni dróg przez właściwe przenoszenie obciążeń,
- wysoką odporność na różnice temperatur, co przekłada się na czas eksploatacji rurociągów,
- zdolność do przenoszenia znacznych obciążeń statycznych i dynamicznych,

- możliwość stosowania wysokich wartości sił przecisku oraz bezproblemowe przewierthy przy zmiennych warunkach gruntowych dla technologii bezwykopowych [10].

W budownictwie elektroenergetycznym powszechnie stosuje się prefabrykowane słupy – do budowy linii niskiego i średniego napięcia czy też jako słupowe stacje transformatorowe, maszty telekomunikacyjne, słupy w liniach trakcji kolejowych i tramwajowych, konstrukcje wsporcze estakad i tablic reklamowych. Słupy te wyposażone są często w różne akcesoria, umożliwiające także montaż elementów trakcji lub elementów oświetleniowych. Z betonu lub żelbetu buduje się zapory wodne, które oprócz ochrony przeciwpowodziowej służą także do rezerwowania i pozyskania wody oraz do celów rekreacyjnych. Jak widać, ze względu na dużą dostępność i niewysoką cenę beton jako budulec jest trudny do zastąpienia. Coraz częściej znajduje też zastosowanie w architekturze wnętrz.

Podsumowanie

Dzięki najnowocześniejszym technologiom beton jako materiał stał się bardziej uniwersalny niż kiedykolwiek wcześniej, można go stosować bez zbrojenia, w technologii samozagęszczania, bez rys i pęknięć. Jest przy tym budulcem o wysokich walorach estetycznych i najwyższej jakości. Dzisiejszy beton może być lżejszy, bezpieczniejszy, elastyczniejszy oraz wytrzymały na ściskanie, zginanie i rozciąganie. Przyszłość betonu nie zna granic i nic dziwnego, że jest on materiałem nieustannie odkrywany na nowo [11].

Literatura

- [1] Raczkiewicz W.: *Beton – materiał budowlany znany od wieków*. „Przegląd Budowlany” 2012, nr 10, s. 13–18.
- [2] Jamroz Z.: *Beton i jego technologie*. Warszawa 2015.
- [3] Łukowski P.: *Nowe osiągnięcia w dziedzinie domieszek do betonu*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2015, nr 2, s. 32–36.
- [4] Bajorek G.: *Sterowanie właściwościami betonu przy użyciu domieszek*. „Inżynier Budownictwa”, dodatek specjalny „Chemia budowlana”, styczeń 2013, s. 62–68.
- [5] *Książeczka o prefabrykacji. Dlaczego prefabrykacja? Sto korzyści stosowania prefabrykacji* (online). Federacja Prefabrykacji Betonowej (BPCF). Dostępny w Internecie: http://www.bibm.eu/Documents/LittleBook_Polish.pdf (dostęp 2 sierpnia 2017).
- [6] Szruba M.: *Nawierzchnie betonowe*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2016, nr 5, s. 56–58.
- [7] Major M.: *Rodzaje nawierzchni betonowych* (online). „Świat Betonu”. Dostępny w Internecie: <http://www.swiatbetonu.pl/technologie/rodzaje-nawierzchni-betonowych/> (dostęp 2 sierpnia 2017).
- [8] Gruszczyński M.: *Beton wałowany – szansą na tanie i trwałe drogi lokalne*. „Przegląd Budowlany” 2016, nr 1, s. 24–28.
- [9] Glinicki M.: *Trendy rozwojowe technologii betonu*. „Przegląd Budowlany” 2007, nr 12, s. 24–30.
- [10] Kaczmarek J., Roehrych P.: *Rozwój zastosowań wyrobów produktów betonowych w infrastrukturze podziemnej*. Konferencja Dni betonu, Wisła, 11–13 października 2010.
- [11] Błaszczński T.Z.: *Cudowny świat betonu*. Targi Budma, Poznań, 24 stycznia 2012.

