



**BOGDAN WOJEWÓDZKI**

bogdan.wojewodzki@wat.edu.pl



**PATRYK PRZYBYLSKI**

patryk.przybylski@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna

# Ocena właściwości betonu wałowanego do wykonywania nawierzchni drogowych

Beton wałowany został po raz pierwszy zastosowany w latach 30 XX wieku w Szwecji i od tamtej pory rozpowszechnił się w dziedzinach drogownictwa i hydrotechniki przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Chinach oraz krajach Europy Zachodniej. Znany jest tam pod nazwą RRC – Roller Compacted Concrete.

Beton wałowany (w skrócie BW) kojarzony jest przede wszystkim ze specjalnym sposobem wbudowywania, polegającym na tym, że mieszanka betonowa o wilgotnej konsystencji układana jest typowym rozścielaczem drogowym, a następnie zagęszczana walcami drogowymi. Mieszanka

charakteryzuje się niewielką ilością wody zarobowej, co skutkuje zerowym opadem stożka a co za tym idzie, uzyskaniem konsystencji betonu zbliżonej do konsystencji wilgotnego gruntu.

Technologia BW łączy ze sobą zalety nawierzchni betonowych, takich jak: trwałość, odporność na koleinowanie oraz niskie koszty eksploatacyjne, z szybkością wbudowywania i krótkim czasem oddania nawierzchni do ruchu, charakterystycznymi dla dróg z betonu asfaltowego. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że do wykonania nawierzchni z BW wystarczy sprzęt, którym dysponuje praktycznie każda firma wykonująca roboty drogowe w Polsce.

Według definicji zawartej w *Ogólnej Specyfikacji Technicznej [1]*, beton wałowany – jest to beton powstały z mieszanki betonowej o optymalnej wilgotności (umożliwiającej uzyskanie maksymalnej gęstości objętościowej w procesie zagęszczania walcami), wyznaczonej zmodyfikowaną metodą Proctora, układanej i zagęszczanej przy użyciu maszyn do robót ziemnych. Charakterystyczny dla tej technologii jest szybki przyrost wytrzymałości betonu i dzięki temu krótki czas oddania inwestycji do użytku publicznego.

## Podstawowe charakterystyki betonu wałowanego

Bardzo istotnym czynnikiem podczas rozkładania BW jest uzyskanie stanu wilgotności optymalnej, ponieważ przy zbyt suchej mieszance nie uzyskuje się właściwego wskaźnika zagęszczenia, natomiast w przypadku zbyt mokrej mieszanki

zagęszczana warstwa nie wytrzyma nacisku walców w trakcie wałowania i przemieszcza się. Walec zagęszczający nawierzchnię z betonu wałowanego powinien mieć masę co najmniej 8 ton, natomiast sam proces zagęszczania powinien być dwuetapowy tzn. obejmujący zagęszczanie walcem stalowym wibracyjnym a następnie walcem ogumionym, w celu osiągnięcia odpowiedniej struktury powierzchni.

Proces zagęszczania warstwy betonowej jest najważniejszym etapem budowy i od prawidłowego prowadzenia zagęszczania zależy jakość wykonywanej nawierzchni betonowej.

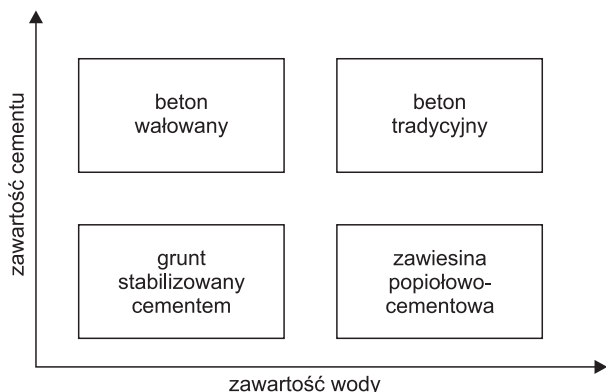
Zgodnie z zasadami techniczno-budowlanymi jak również w zgodności z *Ogólną Specyfikacją Techniczną [1]*, minimalna grubość warstwy wbudowywanego betonu wałowanego wynosi 12 cm. Beton wałowany może być układany w warstwie o maksymalnej grubości 20 cm w stanie zagęszczonym. W przypadku konieczności wbudowywania warstw o większych grubościach konieczne jest udokumentowanie w zakresie uzyskania wystarczającego wskaźnika zagęszczenia w obrębie spodu warstwy.

Do podstawowych charakterystyk betonu wałowanego należą przede wszystkim:

- niewielka zawartość wody zarobowej (niski stosunek w/c),
- duża zawartość frakcji pylistych (<0,075 mm): 2–8%,
- możliwość stosowania kruszyw nieptukanych,
- typowa zawartość cementu,
- maksymalny wymiar ziaren: 22,4 mm (w przypadku warstwy ścieralnej) oraz 31,5 mm (w przypadku warstwy dolnej),
- zależność wytrzymałości i trwałości nawierzchni od właściwego zagęszczenia,
- zagęszczenie minimalne wynoszące 96% (według zmodyfikowanej metody Proctora),
- możliwość wykonywania szczelin dylatacyjnych w większych odstępach,



Fot. 1. Wygląd mieszanki betonu wałowanego



Rys. 1. Schemat przedstawiający rodzaj mieszanki w zależności od zawartości wody i cementu



Fot. 3. Rozkładanie mieszanki betonowej na powierzchnię z betonu wałowanego

Beton wałowany ma w budownictwie dużo możliwych zastosowań. Głównymi zastosowaniami są przede wszystkim:

- nawierzchnie drogowe i posadzki przemysłowe – jako górna warstwa betonowa lub podbudowa,
- zapory wodne,
- wały przeciwpowodziowe,
- nabrzeża i terminale portowe,

W badaniach skupiono się jedynie na drogowych zastosowaniach betonu wałowanego. Według *Ogólnej Specyfikacji Technicznej [1]*, w tej technologii możliwe jest wykonania:

- nawierzchni dróg kategorii ruchu KR1–KR2 – z betonu klasy minimum C25/30,
- nawierzchni dróg technologicznych (dojazdowych względnie serwisowych), dróg wewnętrznych, placów manewrowych itp. (o obciążeniu odpowiadającym kategoriom ruchu KR3–KR4 na drogach krajowych) – z betonu klasy minimum C30/37,
- podbudowy dróg kategorii ruchu KR1–KR7 – zgodnie z wytycznymi WT 5.

## Wady i zalety betonu wałowanego

Nawierzchnia z betonu wałowanego łączy ze sobą zarówno zalety nawierzchni asfaltowych jak i nawierzchni betonowych wykonywanych w standardowej technologii tzn. betonu wbudowywanego metodą ślizgową.



Fot. 2. Plac manewrowy wykonany z betonu wałowanego w miejscowości Rzeszyca

Zalety betonu wałowanego to:

- dłuższa żywotność od nawierzchni asfaltowych (średnio 2,5–3,5 razy),
- brak zjawiska koleinowania,
- zwiększone bezpieczeństwo ruchu użytkowników aniżeli w przypadku nawierzchni asfaltowych, niezależnie od rodzaju zastosowanego w mieszance mineralnej kruszywa (droga jasna = droga bardziej bezpieczna),
- krótki okres realizacji, porównując do standardowej betonowej technologii; po nawierzchnia może odbywać się ruch pojazdów lekkich już po 24 h od wbudowania,
- niższe koszty eksploatacji od nawierzchni asfaltowych,
- szybkie wykonywanie nawierzchni dzięki użyciu standardowego rozścielacza do wbudowywania warstw asfaltowych, a także brak konieczności stosowania dybli i kotew,
- transport mieszanki betonowej może odbywać się samochodami skrzyniowymi – bardziej ekonomicznymi od standardowych betonowozów,
- ograniczona jest intensywność zjawiska skurczu betonu (ze względu na zawartość w betonie jedynie wody czynnej), tym samym możliwe jest wykonywanie mniejszej ilości szczelin dylatacyjnych.

Wady:

- duże uzależnienie właściwości nawierzchni z betonu wałowanego od prawidłowego zagęszczenia – co oznacza konieczność zachowania wysokiego reżimu technologicznego,
- trudność w uzyskaniu odpowiedniej równości nawierzchni; w przypadku dróg wyższych kategorii, na których występują duże prędkości poruszania się pojazdów, zalecane jest ułożenie na betonie wałowanym warstwy ściernalnej z mieszanki mineralno-asfaltowej względnie z betonu wykonywanego tradycyjną metodą. Innym rozwiązaniem stosowanym niekiedy dla uzyskania wymaganej równości jest szlifowanie powierzchni (ang. diamond grind),

## Badania betonu wałowanego

Według oficjalnych dokumentów technicznych nie zostały dotychczas określone sposoby wykonywania próbek betonowych w trakcie wykonywania nawierzchni z betonu wałowanego, co stanowi obecnie główny problem przy realizacji



Fot. 4. Wykonane próbki betonowe

zakresu badań laboratoryjnych oraz kontroli wbudowywanego materiału w nawierzchnie wykonywane w tej technologii.

W technicznej literaturze zagranicznej metoda formowania próbek betonu wałowanego została opisana jedynie w *ASTM C1176-1992 Standard Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table*. Procedura polega na zagęszczaniu próbek na stoliku wibracyjnym pod obciążeniem w postaci stalowego krążka o masie 9,1 kg i średnicy 146 mm. Stolik wibracyjny powinien charakteryzować się częstotliwością drgań wynoszącą 60 Hz i podwójną amplitudę drgań tzn. od 0,08 do 0,43 mm pod obciążeniem próbki o masie 1,1 kg.

Inną metodą wykonywania próbek z BW wykorzystywaną w Europie Zachodniej, a w szczególności w Anglii jest metoda oparta na normie brytyjskiej BS-EN 13286-51, której polskim odpowiednikiem jest norma *PN-EN 13286-51 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym – Część 51: Metoda przemysłowego badania próbek związanych spoiwem hydraulicznym za pomocą zagęszczania młotem wibracyjnym*. Zasada badania polega na zagęszczeniu cylindrycznej względnie sześcienniej próbki za pomocą młota wibracyjnego, wyposażonego w odpowiednie kwadratowe lub kołowe stalowe stopy o nominalnych wymiarach wynoszących  $0,6d$  oraz  $0,95d$ , gdzie  $d$  – średnica próbki. Maksymalny wymiar ziaren dla betonu wałowanego wynosi 22,4 mm – dla warstw ściernych oraz 31,5 mm – dla podbudów.

Celem badań laboratoryjnych jest określenie podstawowych właściwości betonu wałowanego oraz określenie jego przydatności do budowy nawierzchni dróg lokalnych w Polsce.

W ramach badań wykonano próbę przeliczenia nacisku walca, który jest wymagany przy wykonywaniu nawierzchni z betonu wałowanego na jednostkę powierzchni.

Obliczanie nacisku jednostkowego walca (dla walców gładkich):

$$p = \frac{F}{b\sqrt{dh}} = \frac{69kN}{187cm \times \sqrt{115cm \times 5cm}} = 15,39 \frac{N}{cm^2} = 153,9kPa \quad (1)$$

$F$  – siła nacisku walca [kN]

$b$  – długość pobocznic walca [cm]

$d$  – średnica walca [cm]

$h$  – głębokość wciskania się walca w grunt [cm]

W ramach badań wykonano łącznie ponad 60 próbek betonowych na których przeprowadzono następujące badania:

- wytrzymałości betonu na ściskanie (po 24 h, 48 h, 7 dniach oraz 28 dniach),
- wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu,
- wytrzymałości na zginanie,
- odporności na zamrażanie/odmrażanie w środowisku soli odladzających.

## Wyniki badań

- Przyrost wytrzymałości betonu na ściskanie

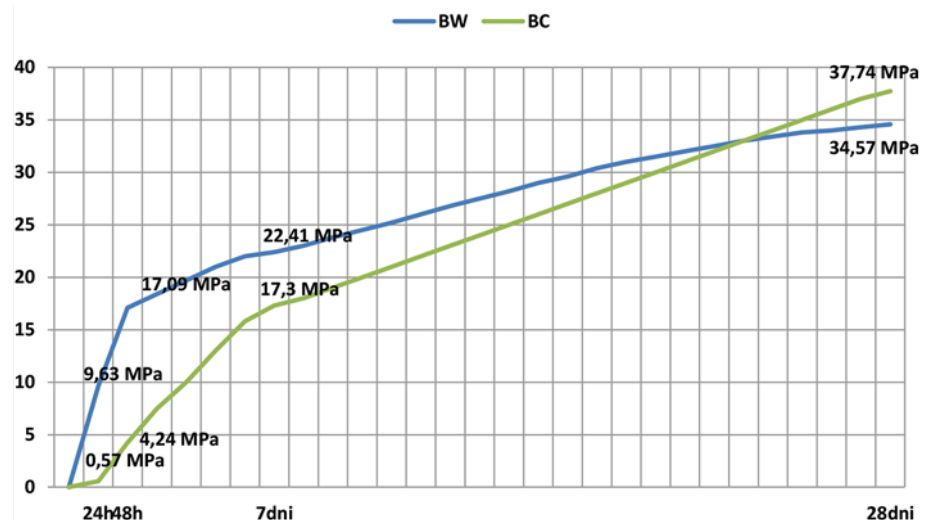
Poddając ocenie wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu wałowanego w czasie zauważyć można, że beton wałowany wykazuje zalety w porównaniu do betonu standardowego już na samym początku okresu pielęgnacji – poprzez bardzo szybki przyrost wytrzymałości.

Po okresie 28 dni beton wykonany w standardowej technologii osiągnął większą wartość wytrzymałości. Wytrzymałość na ściskanie jest o około 8,5% wyższa od 28-dniowej wytrzymałości na ściskanie betonu wałowanego.

- Badanie wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

Wymaganie dotyczące parametru wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu wynosi minimum 2,5 MPa (dla kategorii ruchu KR1–KR2) oraz 3,5 MPa (dla podbudów dla kategorii ruchu KR3–KR7).

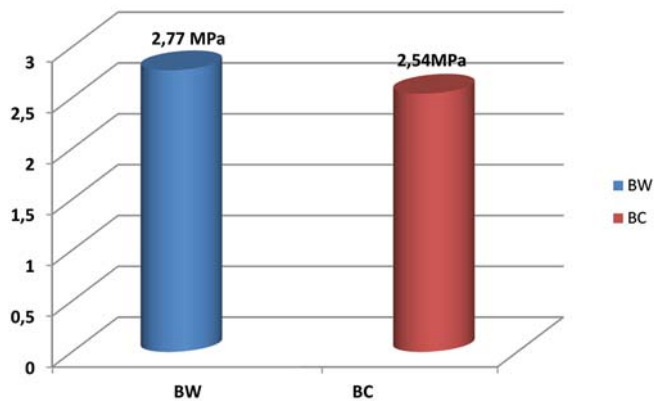
Uzyskane wyniki badań wykazały, że próbki betonowe z betonu wałowanego spełniły wymagania i beton ten nadaje się dla kategorii ruchu KR1, KR2 oraz KR3 (dla których według normy minimalna wytrzymałość wynosi 2,5 MPa).



Rys. 2. Porównanie przyrostów wytrzymałości betonu wałowanego i standardowego w czasie



Fot. 5. Przebieg badania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu



Rys. 3. Porównanie wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

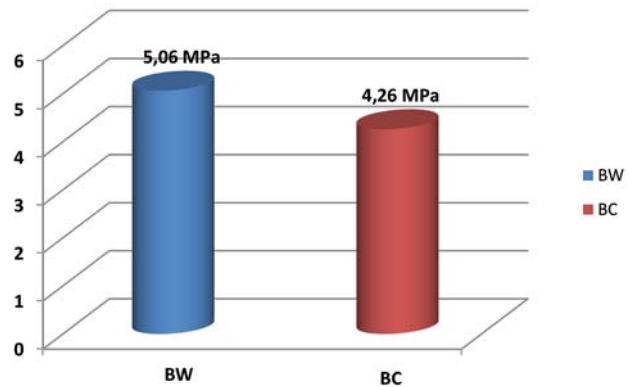
- Badanie wytrzymałości na zginanie



Fot. 6. Belka betonu wałowanego podczas badania wytrzymałości na zginanie

- Badanie odporności na zamrażanie/odmrażanie w środowisku soli odladzających

Najbardziej kontrowersyjnym badaniem było badanie wytrzymałości na zamrażanie/odmrażanie z udziałem soli odladzających, wykonywane jako badanie powierzchniowego złuszczenia. Typowa zawartość cementu przy braku możliwo-



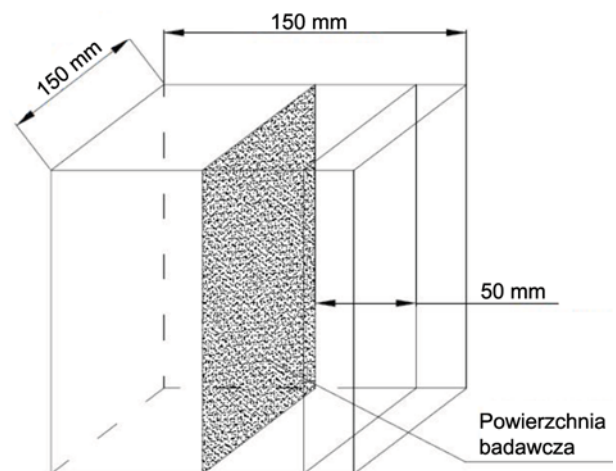
Rys. 4. Średnia wytrzymałość na zginanie betonu wałowanego i standardowego

ści napowietrzenia mieszanki budzą obawy co do możliwości zapewnienia odpowiedniej mrozoodporności. Z drugiej strony sucha konsystencja i wysoki stopień zagęszczenia zapewniają szczelną strukturę mieszanki, co pozwala zakładać dobre parametry w zakresie mrozoodporności betonu.

Badanie to przeprowadzono na próbkach sześciennych o wymiarach 15×15×15 cm. Podstawowym warunkiem jest odpowiednie kruszywo, które musi być mrozoodporne. Następnie materiał musi zostać tak dobrany, aby zapewnić szczelność konstrukcji, zaś sam beton RCC musi zostać tak zagęszczony aby przenieść odpowiednie obciążenie.

Próbki do badań, a także płytki badawcze o grubości 5cm są wycinane z sześciaków, i następnie przygotowywane do badania. Poddawane są cyklowi zamrażania i odmrażania z udziałem medium badawczego o grubości 3 mm (3% roztwór NaCl). Zamrażanie i rozmrażanie ocenia się poprzez pomiar masy złuszczenia z powierzchni próbki po 56 cyklach.

Badanie wykonuje się na czterech próbkach, wyciętych pojedynczo z formowanych kostek 150×150×150 mm. W pierwszym dniu po zaformowaniu kostki są przechowywane w formach i zabezpieczone przed wysuszeniem przez zastosowanie folii polietylenowej w temperaturze powietrza 20±2°C. Po kolejnych 24±2 godzinach, próbki rozformowuje się i umieszcza w łaźni. Po 7 dniach próbki wystawia



Rys. 5. Sposób przygotowania próbki betonowej do badania mrozoodporności (powierzchniowego złuszczenia)



Fot. 7. Przygotowana próbka betonowa przed zalaniem medium badawczym

się z wody i umieszcza w komorze klimatycznej, w której są przechowywane, aż do momentu rozpoczęcia badania. Po upływie 21 dni z każdej z próbek wycina się fragment (plaster) o grubości 5 cm. Przecięcie przeprowadzone jest prostopadle do zacieranej powierzchni. Powierzchnia badawcza znajduje się na środku próbki.

Po wykonaniu badań powierzchniowego złuszczenia przy udziale soli odladzających okazuje się, że zachowanie reżimu technologicznego umożliwi uzyskanie zadowalających wyników mrozoodporności betonu wałowanego.

Możliwe jest również wykonanie mieszanki o znacznie lepszych właściwościach w zakresie mrozoodporności, modyfikując mieszankę dodatkiem emulsji asfaltowej. Przeprowadzone badania wskazują, że dodatek emulsji zmniejsza nasiąkliwość betonu, a co za tym idzie zwiększa jego mrozoodporność.

Bezpośrednio po przecięciu próbkę należy wypłukać wodą bieżącą i zebrać nadmiar wody wilgotną gąbką. Po zmierzeniu wszystkich wymiarów próbki należy bezzwłocznie umieścić ją z powrotem w komorze klimatycznej. Po osiągnięciu przez próbkę wieku  $25 \pm 1$  dni, ściany boczne oraz dno próbki okleja się gumą (z wyjątkiem powierzchni badanej). Należy również wykonać rant uszczelniający z kleju silikonowego wokół badanej powierzchni. Powierzchnia badana po uszczelnieniu nie powinna być mniejsza niż 90% pierwotnej powierzchni badawczej próbki. Po uszczelnieniu próbkę umieszcza się z powrotem w komorze pielęgnacyjnej.

W 28 dniu dojrzewania betonu należy zalać powierzchnię próbki wodą zdemineralizowaną o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i utrzymywać taki poziom przez 72 godziny. Przed rozpoczęciem badania wszystkie powierzchnie próbki z wyjątkiem badanej powierzchni są termicznie izolowane styropianem o grubości 20 mm.

Badanie należy rozpocząć w 31 dniu dojrzewania betonu. Na 15 minut przed rozpoczęciem badania należy wymienić wodę zdemineralizowaną na roztwór badawczy 3% NaCl. Aby zapobiec parowaniu roztworu stosuje się pokrycie z folii.

Złuszczonej materiał z powierzchni badanej próbki zbierany jest po 7, 14, 28, 42 oraz 56 cyklach badawczych. Płukanie powierzchni próbki odbywa się nad specjalnym pojemnikiem. Po ponownym zalaniu badaną powierzchnię nową porcją roz-

tworu badawczego, próbkę wstawiamy z powrotem do komory.

Uzyskane wyniki pokazały, że analizowany beton wałowany charakteryzował się dobrą mrozoodpornością, zbliżoną do odporności kostki brukowej.

## Wnioski:

- beton wałowany jest technologią konkurencyjną dla nawierzchni asfaltowych,
- istotną barierą w powszechnym stosowaniu betonu wałowanego jest nieznanostwo technologii wśród inwestorów a także firm budowlanych, a ponadto przyzwyczajenie wykonawców do technologii asfaltowej,
- przebieg prac obejmujących wykonanie nawierzchni z betonu wałowanego nie jest bardziej skomplikowany od wykonania nawierzchni asfaltowych,
- beton wałowany spełnia wszystkie stawiane wymagania jako nawierzchnia drogowa,
- w celu uzyskania wyników badań odzwierciedlających rzeczywistość, próbki betonowe powinny zostać pobrane z nawierzchni, z uwagi na fakt, iż wykonanie próbek betonu wałowanego w warunkach laboratoryjnych, które odpowiadałyby warunkom panującym na budowie jest praktycznie niemożliwe,
- najważniejszym etapem wykonania nawierzchni z betonu wałowanego jest odpowiednie zagęszczenie, a także właściwa pielęgnacja betonu (mokra względnie powłokowa),
- nawet niewielkie różnice w stosunku w/c mogą spowodować pogorszenie właściwości mieszanki BW, a w konsekwencji wykonanej nawierzchni.

Zagadnienie wykonania nawierzchni drogowych z betonu wałowanego w Polsce jest w dalszym ciągu tematem mało znanym i nie docenianym. W artykule nie było możliwe przeanalizowanie wszystkich aspektów tej technologii. Przedstawiono pewien zarys tematu, który umożliwi wyciągnięcie szeregu istotnych wniosków, jak również podanie kolejnych kwestii, które wymagają jeszcze rozwiązania.

## Bibliografia

- [1] „Specyfikacja techniczna nawierzchni z betonu wałowanego dla potrzeb budowy nawierzchni drogowej”, GDDKiA
- [2] [http://www.drogibetonowe.pl/files/01\\_miastko.pdf](http://www.drogibetonowe.pl/files/01_miastko.pdf)
- [3] PN-EN 206-1:2003/A2:2006, Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [4] <http://www.betonowki.pl/powszechne-mity-na-temat-betonu>
- [5] [http://www.drogibetonowe.pl/files/01\\_miastko.pdf](http://www.drogibetonowe.pl/files/01_miastko.pdf)
- [6] <http://media.publicbroadcasting.net/kwmu/newsroom/images/3283403.JPG>
- [7] [http://www.gomaco.com/resources/worldstories/world39\\_2/complete.html](http://www.gomaco.com/resources/worldstories/world39_2/complete.html)
- [8] [http://home.arcor.de/speckoloeres/autobahn\\_19.html](http://home.arcor.de/speckoloeres/autobahn_19.html)
- [9] <http://www.progettodighe.it/main/le-dighe/article/alpe-gera>
- [10] <http://www.husqvarna.com/pl/construction/products/early-entry-saws-product-range/soff-cut-2000/>
- [11] [http://www.concrete.org.uk/fingertips\\_nuggets.asp?cmd=display&id=871](http://www.concrete.org.uk/fingertips_nuggets.asp?cmd=display&id=871)
- [12] EN 1992-1-1 (2004), Eurocode 2: Design of concrete structures
- [13] <http://www.rollercompacted.org/>
- [14] „Nawierzchnie betonowe na drogach gminnych” A. Szydło