

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Modyfikowane podbudowy dróg dojazdowych do obiektów wiejskich

EWA OŁDAKOWSKA

**POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I INŻYNIERII ŚRODOWISKA,
ZAKŁAD INŻYNIERII DROGOWEJ**

Słowa kluczowe: chudy beton, podbudowa drogowa, rozdrobnione odpady gumowe

STRESZCZENIE

Podbudowy z chudych betonów wykonywane są w konstrukcjach nawierzchni asfaltowych i cementowych dróg dojazdowych do obiektów wiejskich. Zaletą podbudów z chudego betonu, w porównaniu z podbudowami z innych materiałów, jest ich duża wytrzymałość, która pozwala uzyskać wymaganą nośność całej konstrukcji nawierzchni, przy relatywnie małej grubości podbudowy. Poza dużą nośnością podbudowy te odznaczają się też wadami, a mianowicie: długim okresem dojrzewania oraz zmianami w postaci spękań skurczowych. Przykładem prostego i skutecznego, a zarazem ekologicznego rozwiązania, które zaprezentowano w pracy, jest zastosowanie do podbudów rozdrobnionych odpadów gumowych pochodzących ze zużytych opon samochodowych.

Modified foundations of the access roads for the rural objects

Keywords: lean concrete, road foundation, disintegrated rubber waste material

ABSTRACT

The road foundations from the lean concretes are realized in the structures of the asphalt and cement access roads for the rural objects. Their advantage, in comparison with the foundations made from other materials, is high strength, which allows to obtain the required load capacity of the whole pavement structure for the relatively low foundation thickness. Besides high load capacity those road foundations have also the disadvantages: long curing time and changes in form of shrinkage cracks. An example of simple and efficient, as well as ecological solution, which has been presented in the document, is the application of disintegrated rubber waste material from used vehicle tyres for realization of the road foundations.

1. DROGI DOJAZDOWE DO OBIEKTÓW WIEJSKICH

Zgodnie z podziałem wprowadzonym przez Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [1] droga dojazdowa to droga należąca do najniższej z klas dróg publicznych (droga klasy D). Droga dojazdowa to także droga zaliczana do kategorii dróg gminnych, czyli dróg stanowiących uzupełniającą sieć, służącą miejscowym potrzebom, z wyłączeniem dróg wewnętrznych.

W 2010 roku w Polsce wśród 406 122,1 km dróg publicznych ponad 57% (232 880,4 km) stanowiły drogi gminne, z czego zaledwie 43 968,2 km to drogi miejskie, a 188 912,2 km to drogi zamiejskie, w tym 120 603,5 km o nawierzchni gruntowej [2] i 68 308,7 km o nawierzchni twardej (drogi o podatnej lub półsztywnej konstrukcji nawierzchni bądź o konstrukcji sztywnej, zdecydowanie rzadziej spotykanej). Do dróg gminnych, poza drogami dojazdowymi, zaliczamy także drogi klasy L (lokalne) i wyjątkowo klasy Z (zbiorcze). Jednak znaczna większość to drogi dojazdowe, przede wszystkim do budowli wiejskich, i to zarówno do obiektów mieszkalnych, jak i obiektów użyteczności publicznej, obiektów gospodarczo-składowych (przeznaczonych do przechowywania produktów rolnych i sprzętu rolniczego), obiektów inwentarskich (przeznaczonych do produkcji zwierzęcej) oraz obiektów i urzędzeń specjalnych (związanych z produkcją rolniczą i pomocniczą, także obiekty przemysłu rolnego).

2. TYPOWE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE NAWIERZCHNI DROGOWYCH O KATEGORII RUCHU KR1 I KR2

Typowa konstrukcja nawierzchni podatnej to układ następujących warstw:

- warstwa ścieralna – asfaltowa o grubości 4 cm lub 5 cm (odpowiednio dla kategorii ruchu KR1 i KR2),
- warstwa wiążąca – asfaltowa o grubości od 4 cm do 6 cm i/lub podbudowa z betonu asfaltowego o grubości od 7 cm do 11 cm w zależności od kategorii ruchu (KR1 lub KR2) i typu konstrukcji (A, B, C, D),
- podbudowa o grubości od 14 cm do 20 cm, wykonana z następujących materiałów: z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie lub

z tłucznia kamiennego, z kruszywa naturalnego stabilizowanego mechanicznie bądź z piasku otoczonego asfaltem.

Przykładowa konstrukcja nawierzchni półsztywnej to konstrukcja, która poza asfaltową warstwą ścieralną i wiążącą charakteryzuje się podbudową wykonaną z gruntu lub kruszywa stabilizowanego spoiwem hydraulicznym albo podbudową z chudego betonu. Natomiast wzorcowa konstrukcja sztywna to warstwa nawierzchniowa z betonu cementowego (17 – 20 cm) ułożona na różnych podbudowach: z chudego betonu, z gruntu stabilizowanego cementem, z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie i z betonu asfaltowego.

3. PODBUDOWY ZWIĄZANE SPOIWAMI HYDRAULICZNYMI – PROBLEM SPĘKAŃ ODBITYCH I PRÓBY ZABEZPIECZENIA NAWIERZCHNI PRZED ICH POWSTAWANIEM

Zabezpieczenie przed pęknięciami (spękaniem) odbitymi, pojawiającymi się w warstwie powierzchniowej nawierzchni jest istotnym problemem podbudowy związanej spoiwami hydraulicznymi.

Pęknięcia odbite są odwzorowaniem istniejących pęknięć i nieciągłości warstw w materiale podbudowy, propagowanych w górę, w kierunku koncentracji naprężeń i nieciągłości struktury materiału, prowadzących do lokalnego przekroczenia wytrzymałości granicznej. Występują zwykle w nawierzchniach asfaltowych posadowionych na podbudowach związanych hydraulicznie lub starych i popękanych nawierzchniach asfaltowych. Spęknięcia odbite, jeśli nie towarzyszą im przemieszczenia pionowe, nie ograniczają podstawowej funkcji nawierzchni, niemniej zapoczątkowują przyspieszony proces jej niszczenia.

Warstwy zawierające w swoim składzie spoiwo cementowe ulegają skurczowi technologicznemu, na skutek którego tworzą się w nich mikrospęknięcia. Ułożenie warstw asfaltowych i obciążenie ruchem samochodowym nawierzchni drogowej wpływa na powiększanie się spęknięć w podbudowie. Rozszerzanie i kurczenie się materiału podbudowy w wyniku zmian temperatury i działania obciążenia kołem samochodowym powoduje pojawianie się naprężeń rozciągających i ścinających w warstwach asfaltowych leżących nad spęknięciami w podbudowie [3]. Początkowo powstają one w dole warstw asfaltowych, a po pewnym

czasie stają się dobrze widoczne na powierzchni drogi. Powstałe rysy otwierają się i zamykają w wyniku rozszerzalności termicznej mieszanki mineralno-asfaltowej. Gdy w otwartą rysę wnika woda i zanieczyszczenia chemiczne oraz mineralne, następuje proces niszczenia nawierzchni. Woda, penetrując w głąb nawierzchni, w temperaturze ujemnej zamarza i zwiększa swą objętość, przez co na ścianki rysy oddziałują duże naprężenia ściskające. Następuje destrukcyjne rozluźnienie mieszanki mineralno-asfaltowej w obrębie rysy i wypadanie cząstek. Pyły i grubsze ziarna mineralne wnikaające w rysę zmniejszają właściwości „klejące” mieszanki mineralno-asfaltowej i uniemożliwiają jej zamknięcie w wysokich letnich temperaturach. W konsekwencji występują liczne wykruszenia na krawędzi rysy i wykształca się niebezpieczna szczelina obniżająca komfort jazdy i trwałość nawierzchni.

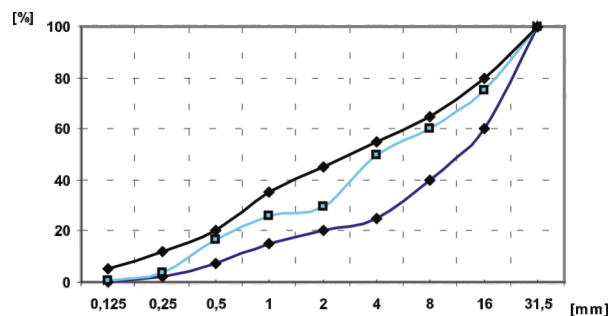
Próbą wzmocnienia lub przeciwdziałania propagacji spękań konstrukcji nawierzchni jest wbudowanie w warstwy nawierzchni: geosyntetyków, powłok z polimeroasfaltów czy innych tworzyw. Takie rozwiązania nie gwarantują jednak uniknięcia propagacji spękań w nawierzchniach z podbudową ze spoiwem hydraulicznym, a wiążą się ze znacznymi nakładami pracy i wysokimi kosztami. Przykładem prostego i skutecznego, a zarazem ekologicznego rozwiązania jest zastosowanie do podbudów z chudych betonów rozdrobnionych odpadów gumowych pochodzących ze zużytych opon samochodowych. Guma, ze względu na swe właściwości, może wpłynąć na ograniczenie lub likwidację spękań odbitych oraz poprawić wybrane właściwości techniczne podbudów drogowych.

4. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Do sporządzenia mieszanek betonowych jako spoiwo zastosowano cement CEM I 32,5 odpowiadający wymogom norm PN-EN 197-1:2002 i PN-EN 197-2:2002 [4,5] oraz kruszywo będące mieszaniną piasku rzeczno i mieszanki żwirowej o uziarnieniu do 31,5 mm. Składnikiem modyfikującym były rozdrobnione odpady gumowe, pochodzące ze zużytych opon samochodowych, w postaci mieszaniny pyłu, miazgi i granulatu gumowego, które wprowadzano do zarobu poprzez zmniejszenie zawartości kruszywa (piasek

0÷2 mm), uwzględniając objętość zamienianych materiałów. Wymieniano objętościowo 10%, 20% i 30% frakcji piaskowej.

W zaprojektowanych recepturach zachowano stałą zawartość cementu w mieszankach – 130 kg/m³ oraz skład granulometryczny kruszywa (krzywą uziarnienia kruszywa pokazano na Rysunku 1). Receptury stosowanych mieszanek podano w Tabeli 1.



Rysunek 1 Krzywa uziarnienia kruszywa
Figure 1 Curve of particle size of aggregate

Tabela 1 Składy mieszanek betonowych na 1 m³
Table 1 Concrete mix compositions per 1 m³

SERIA (*)	CEMENT	ROZDROBNIONE ODPADY GUMOWE	KRUSZYWO NATURALNE	WODA
-	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	130	–	1 970	214
2	130	29	2 171	116
3	130	57	2 119	114
4	130	85	2 067	112

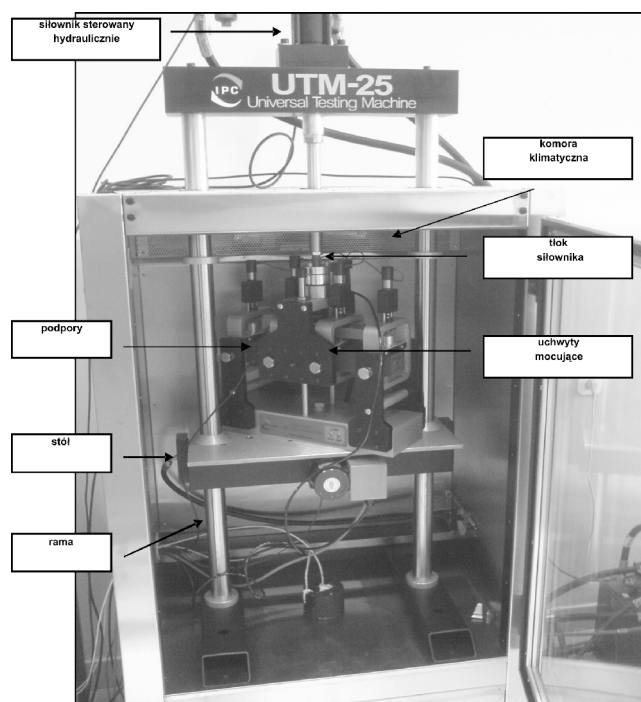
* 1 – chuda mieszanka betonowa, zawierająca kruszywo naturalne
2, 3, 4 – chude mieszanki betonowe, zawierające rozdrobnione odpady gumowe w ilości odpowiednio 1,3%, 2,6%, 4% w stosunku do masy kruszywa

Do badań chudych betonów stosowano: walce o średnicy $d = 160$ mm i wysokości $h = 160$ mm oraz próbki prostokątne o wymiarach: długość 400 ± 6 mm, szerokość 63 ± 6 mm, wysokość 50 ± 6 mm. Wykonane próbki, po normowym okresie dojrzewania, poddano badaniom: wytrzymałości na ściskanie, trwałości zmęczeniowej, nasiąkliwości i odporności na działanie mrozu.

Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono na normowych próbkach walcowych

ściskanych w kierunku osi walca, za pomocą legalizowanej prasy hydraulicznej, trójzakresowej, o regulowanej szybkości narastania naprężenia, zgodnie z normą [6]. Wytrzymałość określano z dokładnością do 0,1 MPa jako średnią sześciu pomiarów. Oznaczenie wykonano po 7 i 28 dniach dojrzewania próbek.

Do badań trwałości zmęczeniowej, w oparciu o projekt normy [7], wybrano metodę czteropunktowego zginania belki w maszynie wytrzymałościowej o hydraulicznym układzie obciążania, który umożliwia przykładanie obciążeń sinusoidalnie zmiennych. Urządzenie do badania trwałości pokazano na Rysunku 2.



Rysunek 2 Urządzenie UTM do badania trwałości zmęczeniowej

Figure 2 UTM device for testing the fatigue life

Badaniu, sterowanemu komputerowo, z bezpośrednią wizualizacją na ekranie monitora określonych parametrów badania w rzeczywistym czasie, poddano próbki prostokątne, które wycinano za pomocą tarczy diamentowej z płyt wielkości 600 × 600 mm. W badaniu próbka poddawana była cyklicznemu obciążaniu z częstotliwością 10 Hz. Przyłożenie siły wywołujące ugięcie belki odbywało się przy stałych wartościach amplitudy naprężenia. Badania prowadzono do momentu zniszczenia próbki (wyraźne jej pęknięcie i przełamanie).

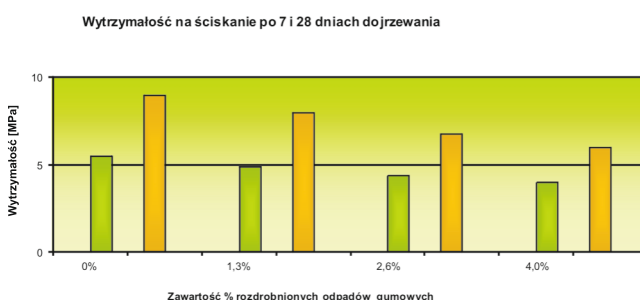
Oznaczenie nasiąkliwości przeprowadzono metodą nasycania w wodzie, o temperaturze pokojo-

wej, do stałej masy, uprzednio wysuszonych próbek walcowych.

Badanie mrozoodporności chudych betonów przeprowadzono, w oparciu o nieobowiązującą już normę [8], na próbkach w kształcie walca. Próbki poddano 50 cyklom zamrażania i odmrażania, w programowalnej komorze klimatycznej do badania mrozoodporności, firmy Toropol sp. z o.o., typ: K-015 (zakres zmian temperatur od 20°C do 20°C), po których badano wytrzymałość próbek. Spadek wytrzymałości badanych próbek, pod wpływem cyklicznego zamrażania i odmrażania, określono w stosunku do wytrzymałości próbek kontrolnych – przechowywanych w wodzie.

5. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

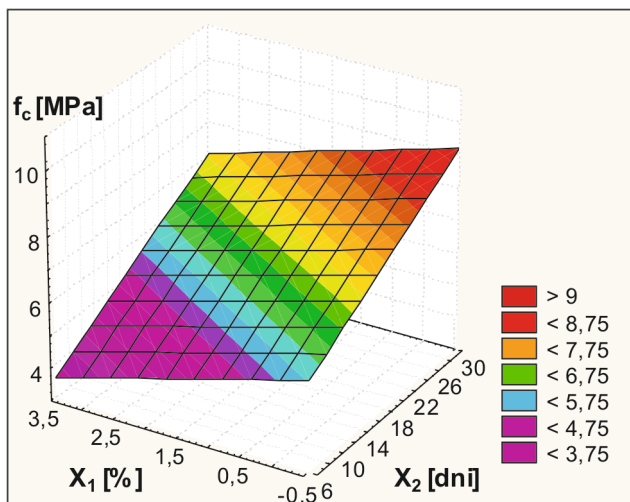
Średnie wartości wyników badań wytrzymałości na ściskanie, po 7 i 28 dniach dojrzewania, próbek kontrolnych i próbek zawierających rozdrobnione odpady gumowe przedstawiono na Rysunku 3. Natomiast na Rysunku 4 zaprezentowano zależność wytrzymałości chudego betonu na ściskanie (f_c) od zawartości rozdrobnionych odpadów gumowych (X_1) i wieku betonu (X_2).



Rysunek 3 Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie próbek chudego betonu, po 7 i 28 dniach dojrzewania

Figure 3 Average values of compression strength of lean concrete samples after 7 and 28 days of curing

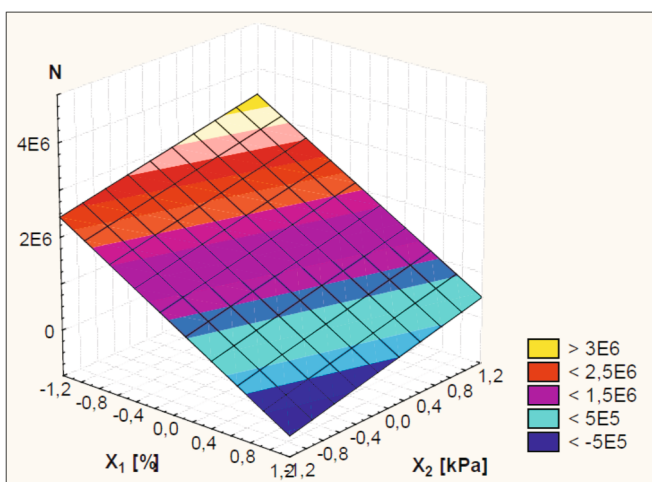
Na podstawie analizy Rysunku 3 można stwierdzić, że w chudych betonach wraz ze wzrostem ilości rozdrobnionych odpadów gumowych następuje spadek wytrzymałości na ściskanie, zauważalny już po 7 dniach. Spadek ten sięga 10% w przypadku betonów zawierających 1,3% frakcji gumowej, ponad 24% w przypadku betonów z zawartością 2,6% gumy i 33% dla betonów z 4% rozdrobnionych odpadów. Przy tym zaznaczyć należy, że wszystkie badane betony spełniają wymagania w zakresie wartości wytrzymałości na ściskanie zarówno po 7, jak i po 28 dniach dojrzewania.



Rysunek 4 Zależność wytrzymałości chudego betonu na ściskanie od zawartości rozdrobnionych odpadów gumowych i wieku betonu

Figure 4 Relation of lean concrete compression strength and content of disintegrated rubber waste material and concrete age

Badaniu trwałości zmęczeniowej (N) poddano próbki betonu kontrolnego oraz próbki zawierające rozdrobnione odpady gumowe, a jej zależność od zawartości rozdrobnionej gumy (X_1) i wielkości amplitudy przykładanego naprężenia (X_2) pokazano na Rysunku 5.



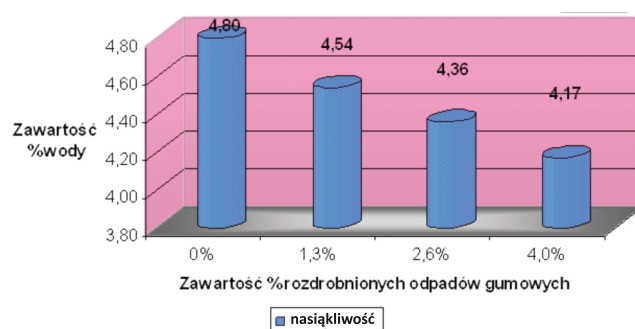
Rysunek 5 Zależność trwałości zmęczeniowej od zawartości rozdrobnionych odpadów gumowych i wielkości amplitudy przykładanego naprężenia

Figure 5 Relation of fatigue life and content of disintegrated rubber waste material and amplitude of applied load

Z Rysunku 5 wynika, że istnieje niezaprzeczalny związek pomiędzy ilością rozdrobnionych odpadów gumowych a liczbą cykli obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych. Jest to związek korzystny, bowiem dodatek powoduje wzrost tej liczby, natomiast wzrost wartości amplitudy na-

prężenia wpływa zdecydowanie ujemnie na trwałość zmęczeniową, nie tylko tradycyjnego chudego betonu przeznaczonego do podbudów, ale też betonów modyfikowanych.

Badanie nasiąkliwości, określające maksymalną masę wody wchłoniętą przez próbkę zanurzoną w wodzie, pod działaniem normalnego ciśnienia atmosferycznego, przeprowadzono na normowych próbkach walcowych po 28 dniach ich dojrzewania. Wartości średnie wyników badań przedstawiono w sposób graficzny na Rysunku 6. Wyniki przedstawione na Rysunku 6 wykazują wyraźny związek między ilością rozdrobnionych odpadów gumowych a możliwością wchłaniania przez próbkę wody, pod działaniem normalnego ciśnienia atmosferycznego. Wzrost ilości mieszanki pyłu, miazgi i granulatu korzystnie osłabia możliwość wchłaniania przez próbkę wody.



Rysunek 6 Średnie wartości nasiąkliwości próbek chudego betonu

Figure 6 Average absorbability values for lean concrete samples

Nasiąkliwość betonów modyfikowanych gumą w ilości 1,3% jest niższa o ponad 5%, dodatek 2,6% powoduje spadek o około 9%, natomiast wyniki badania próbek z zawartością 4% frakcji gumowej to wyniki niższe o 13%. Są to bardzo korzystne wyniki biorąc pod uwagę właściwości związane z oddziaływaniem wody na chude betony przeznaczone do podbudów.

Mrozoodporność, oznaczana jako spadek wytrzymałości betonu po 50 cyklach zamrażania i rozmrażania, badano w każdej z czterech analizowanych prób, uwzględniając sześć powtórzeń. W żadnym przypadku nie przekroczyła granicy 20%, co wydaje się być obiecującym wynikiem. Najniższym, bo 8% spadkiem charakteryzował się chudy beton bez dodatków, betony modyfikowane osiągnęły spadki 10,6%, 12,8% oraz 15,4% przy zawartości gumy w ilości 1,3%, 2,6% i 4%.

6. WNIOSKI

Wybrane i zaprezentowane wyniki badań pozwalają wnioskować, że chude betony modyfikowane rozdrobnionymi odpadami gumowymi pochodzącymi ze zużytych opon samochodowych mogą być z powodzeniem stosowane jako materiał do podbudów dróg dojazdowych do obiektów wiejskich. Charakteryzuje je co prawda obniżona wytrzymałość na ściskanie, ale znacznie poprawiona

odkształcalność, obserwowana szczególnie przy zniszczeniu, którego charakter nie jest tak gwałtowny jak w betonach tradycyjnych. Zastąpienie w chudej mieszance betonowej, przeznaczonej do podbudów, kruszywa naturalnego dodatkiem gumowym wpływa korzystnie na poprawę trwałości zmęczeniowej takiego betonu, ogranicza nasiąkliwość oraz nie zmienia znacząco dobrej odporności na działanie niskich temperatur.

LITERATURA

- [1] Dziennik Ustaw 1999, Nr 43 poz. 430.
- [2] Transport – wyniki działalności w 2010 roku, Główny Urząd Statystyczny, www.stat.gov.pl.
- [3] Piąt J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2007.
- [4] PN-EN 197-1:2002 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [5] PN-EN 197-2:2002 Cement – Część 2: Ocena zgodności.
- [6] PN-S-96013:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa z chudego betonu. Wymagania i badania.
- [7] EN 12697-24:2003 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek na gorąco – Część 24: Odporność na zmęczenie.
- [8] PN-B-06250:1988 Beton zwykły.