

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Trwałość zmęczeniowa modyfikowanych chudych betonów przeznaczonych do podbudów dróg terenów wiejskich

EWA OŁDAKOWSKA

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

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

STRESZCZENIE

Podbudowy są ważnym elementem konstrukcji nawierzchni drogowych. Ich zasadniczym zadaniem jest zmniejszenie naprężeń, powstających od obciążeń eksploatacyjnych, do poziomu dopuszczalnego naprężenia, jakie może przenieść podłoże gruntowe. Do wykonywania podbudów wykorzystuje się wiele materiałów i technologii. Otrzymujemy dzięki temu podbudowy różniące się właściwościami wynikającymi z zastosowanych materiałów.

Artykuł opisuje korzystny wpływ dodatku gumowego na trwałość zmęczeniową chudego betonu przeznaczonego do podbudów dróg terenów wiejskich. W pracy przedstawiono analizę wyników badań trwałości zmęczeniowej, na podstawie której można określić zależności funkcyjne pozwalające projektować konstrukcje nawierzchni z tego rodzaju podbudowami.

The fatigue life of modified lean concretes designed for foundations of roads in the rural areas

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

ABSTRACT

The foundations are an important structural element of road pavements. Their main task is to reduce the stresses resulting from the operational loads to the level of allowable stress which the soil substrate may transmit. The foundations are made with use of various materials and technologies. It allows to obtain the foundations differing in properties resulting from used materials.

This article describes the positive influence of the rubber addition on the fatigue life of lean concrete used for foundations of roads in the rural areas. It presents the analysis of results of the fatigue life tests which allow to determine the functional relationships, allowing for designing of structures of pavements with the foundations of such type.

1. PODBUDOWA W KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

Konstrukcja nawierzchni to układ warstw nawierzchni wraz ze sposobem ich połączenia [1] o ogólnym schemacie przedstawionym na Rysunku 1. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [2], powinna być projektowana i wykonana w taki sposób, aby:

- 1) przenosiła wszystkie oddziaływania i wpływy mogące występować podczas budowy i podczas użytkowania drogi, jeśli nie są przekraczane dopuszczalne naciski osi pojazdu na nawierzchnię,
- 2) miała trwałość co najmniej równą okresowi użytkowania określonemu w dokumentacji pro-

jektowej, pod warunkiem wykonania czynności wynikających z rodzaju wbudowanych materiałów, kosztów użytkowania i zasad utrzymania nawierzchni,

- 3) nie uległa zniszczeniu w stopniu nieproporcjonalnym do jego przyczyny.

Podbudowa to jedno- lub dwuwarstwowa dolna część konstrukcji nawierzchni drogowej, służąca do przenoszenia obciążeń od ruchu na podłoże. Jej przeznaczeniem jest zmniejszenie naprężeń pochodzących od nacisków kół samochodowych (skupiających się w warstwie ścieralnej na niewielkiej powierzchni styku koła z nawierzchnią), do wartości dopuszczalnego naprężenia, jakie może przenieść podłoże [1]. Podbudowa, zgodnie z [3, 4], powinna być na tyle jednorodna i równomiernie zagęszczona, by nie powodowała po-

Rysunek 1 Schemat konstrukcji nawierzchni. Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]

Figure 1 The schematic design of the pavement. Source: own work according to [1]

NAWIERZCHNIA <i>(warstwa lub zespół warstw, służących do przejmowania i rozkładania obciążeń od ruchu na podłoże i zapewniających dogodne warunki ruchu)</i>	WARSTWA ŚCIERALNA <i>(warstwa nawierzchni poddana bezpośredniemu oddziaływaniu ruchu i czynników atmosferycznych)</i>	
	WARSTWA WIĄŻĄCA <i>(warstwa zapewniająca lepsze rozłożenie naprężeń w nawierzchni i przekazywanie ich na podłoże)</i>	
	PODBUDOWA <i>(dolna część nawierzchni, służąca do przenoszenia obciążeń od ruchu na podłoże)</i>	PODBUDOWA ZASADNICZA (*) <i>(górną część podbudowy, spełniająca funkcję nośnej konstrukcji nawierzchni)</i>
	PODBUDOWA POMOCNICZA (**) <i>(dolna część podbudowy, spełniająca poza funkcjami nośnymi, funkcje zabezpieczenia nawierzchni przed działaniem wody, mrozu, przenikaniem cząstek podłoża)</i>	
PODŁOŻE <i>(grunt rodzimy lub nasypowy leżący pod nawierzchnią do głębokości przemarzania, jednak nie mniej niż do głębokości, na której naprężenia pionowe od największych obciążeń użytkowych wynoszą 0,02 MPa)</i>	PODŁOŻE ULEPSZONE <i>(warstwa podłoża, leżąca bezpośrednio pod nawierzchnią, ulepszona w celu umożliwienia przejścia ruchu budowlanego i właściwego wykonania nawierzchni, spełniająca wymagania określone dla podłoża)</i>	
<p>(*) Podbudowa zasadnicza może zawierać warstwę wzmacniającą (służy do wzmocnienia istniejącej nawierzchni bądź stosowana jest w budowie nawierzchni dla ruchu bardzo ciężkiego) lub (i) warstwę wyrównawczą (służy do wyrównywania nierówności podbudowy lub profilu istniejącej nawierzchni).</p> <p>(**) Podbudowa pomocnicza może zawierać warstwę:</p> <ul style="list-style-type: none"> • mrozoochronną, której głównym zadaniem jest ochrona nawierzchni przed skutkami mrozu, • odsączającą, służącą do odprowadzenia wody przedostającej się do nawierzchni, • odcinającą, uniemożliwiającą przenikanie cząstek do warstwy leżącej powyżej. 		

wstawania nadmiernych odkształceń, spękań i innych uszkodzeń wyżej położonych warstw bitumicznych, pozostając jednocześnie stopniowym przejściem od słabego podłoża do warstw o dużych modułach sztywności (warstwa wiążąca, ścieralna). Od dołu podbudowa powinna być zabezpieczona przed nadmiernym zawilgoceniem (warstwa odsączająca), przemarzaniem (warstwa mrozoochronna), przenikaniem do niej drobnych cząsteczek podłoża gruntowego (warstwa odcinająca). Wszystkie warstwy podbudowy powinny być ze sobą dobrze związane, zapewniając korzystny rozkład naprężeń na podłożu.

2. MODYFIKOWANE CHUDE BETONY JAKO MATERIAŁ DO PODBUDÓW DRÓG TERENÓW WIEJSKICH

Zużyte opony samochodowe, będące surowcem uciążliwym dla środowiska ze względu na ilość, mogą być cennym modyfikatorem właściwości sztywnych podbudów drogowych, wykonywanych w konstrukcjach nawierzchni asfaltowych i cementowych, stosowanych w terenach wiejskich. Podbudowy z chudego betonu to podbudowy charakteryzujące się dużą wytrzymałością w porównaniu z podbudowami z innych materiałów, pozwalającą uzyskać wymaganą nośność całej konstrukcji nawierzchni, przy stosunkowo małej grubości podbudowy. Doświadczenia pokazują też, że podbudowy te odznaczają się długim okresem dojrzewania oraz zmianami w postaci spękań skurczowych. Powstające podczas hydratacji cementu spękania mogą rozwijać się pod wpływem zmian temperatury i powodować spękania odbite w warstwach nawierzchni asfaltowej.

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. Próbą skutecznego i ekologicznego rozwiązania jest zastosowanie do podbudów z chudych betonów rozdrobnionych zużytych opon samochodowych. Guma, ze względu na swe „elastyczne” właściwości, może wpłynąć na ograniczenie lub likwidację spękań odbitych oraz poprawić trwałość zmęczeniową.

3. TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA

W połowie lat 90. rozpoczęto w Polsce wprowadzanie metod mechanistycznych projektowania nawierzchni. Metody te obejmują analizę konstrukcji nawierzchni opartą o teoretyczne elementy mechaniki i dodatkowo o wyniki badań eksperymentalnych. Podstawową cechą charakterystyczną tych metod jest określenie trwałości zmęczeniowej. Kryteria uszkodzeń zmęczeniowych, w znacznej większości wykorzystywanych obecnie metod mechanistycznych projektowania konstrukcji nawierzchni drogowych z warstwą podbudowy półsztywnej (chudy beton), określone są w zależności od: wytrzymałości materiału podbudowy na rozciąganie przy zginaniu, naprężeń wywołanych w tej warstwie przy powtarzalnych obciążeniach, początkowego i granicznego odkształcenia rozciągającego przy pojedynczym obciążeniu.

Najpopularniejszym stosowanym kryterium zmęczeniowym, które dotyczy typowych podbudów związanych spoiwami hydraulicznymi, jest kryterium zaproponowane przez Uniwersytet w Illinois (USA) (kryterium zmęczeniowe Dempseya) [1]:

$$\lg N_k = 11,784 - 12,121 \left[\frac{\sigma}{R_{zgin}} \right] \quad (1)$$

gdzie:

N_k – liczba obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych w podbudowie związanej spoiwem hydraulicznym,

σ – naprężenia rozciągające w warstwie podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym wywołane przez obciążenia ruchem drogowym,

R_{zgin} – wytrzymałość materiału podbudowy na rozciąganie przy zginaniu.

Wprowadzenie składnika modyfikującego w postaci rozdrobnionej gumy wpływa na zmianę charakteru pracy oraz właściwości materiałowych „nowych” podbudów.

4. MATERIAŁY I METODA BADAŃ

Mieszkankę betonową do wykonania próbek sporządzono z następujących składników:

- cement portlandzki CEM I 32,5 spełniający wymagania norm PN-EN 197-1: 2002 [5] i PN-EN 197-2: 2002 [6],
- piasek rzeczny płukany 0÷2 mm,

- mieszanka żwirowa 2÷31,5 mm,
- rozdrobnione odpady gumowe wyprodukowane przez firmę ABC Recykling S.A. Krosno Odrzańskie, pochodzące ze zużytych opon samochodowych, o uziarnieniu 0-2 mm (mieszanka pyłu, miazgi, granulatu), wprowadzane do zarobu poprzez zmniejszenie zawartości kruszywa przy uwzględnieniu objętości zamienianych materiałów.

Zaprojektowane receptury charakteryzowały się stałą zawartością cementu (130 kg/m³) oraz składem granulometrycznym kruszywa (wynik analizy sitowej pokazano na Rysunku 2). Receptury stosowanych mieszanek podano w Tabeli 1.



Rysunek 2 Wynik analizy sitowej
Figure 2 The result of sieve analysis

Mieszanki betonowe przygotowywano w laboratoryjnej betoniarnie przeciwbieżnej. Płyty o wymiarach 600 × 600 mm i grubości 60 mm, z których wycinano pojedyncze próbki prostopadłościenne do badań, wstępnie zagęszczano przy pomocy płyty wibracyjnej, po czym zagęszczanie kontynuowano przy pomocy ręcznego walca o masie 165 kg i średnicy wału 50 cm z dostosowaną do formy szerokością zagęszczania, wynoszącą 60 cm. Wskaźnik zagęszczenia mieszanki betonowej każdorazowo wynosił 98% maksymalnego zagęszczenia laboratoryjnego.

Badanie trwałości zmęczeniowej przeprowadzono zgodnie z [7] metodą czteropunktowego zginania belki prostopadłościennej (Rys. 3) w maszynie wytrzymałościowej o hydraulicznym układzie obciążania, umożliwiającym przykładanie obciążeń sinusoidalnie zmiennych. Badaniu poddano próbki o wymiarach: długość 400 ± 6 mm, szerokość 63 ± 6 mm, wysokość 50 ± 6 mm, które poddawane były cyklicznemu obciążaniu z częstotliwością 10 Hz. Przyłożenie siły wywołujące ugięcie belki odbywało się przy stałych wartościach amplitudy naprężenia. Badania prowadzono do momentu wyraźnego jej pęknięcia i przełamania.

5. WYNIKI BADAŃ, ICH ANALIZA I OCENA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ

Badaniu trwałości zmęczeniowej poddano próbki betonu kontrolnego oraz próbki zawierające rozdrobnione odpady gumowe. Wyniki badań zaprezentowano w sposób graficzny na Rysunku 4.

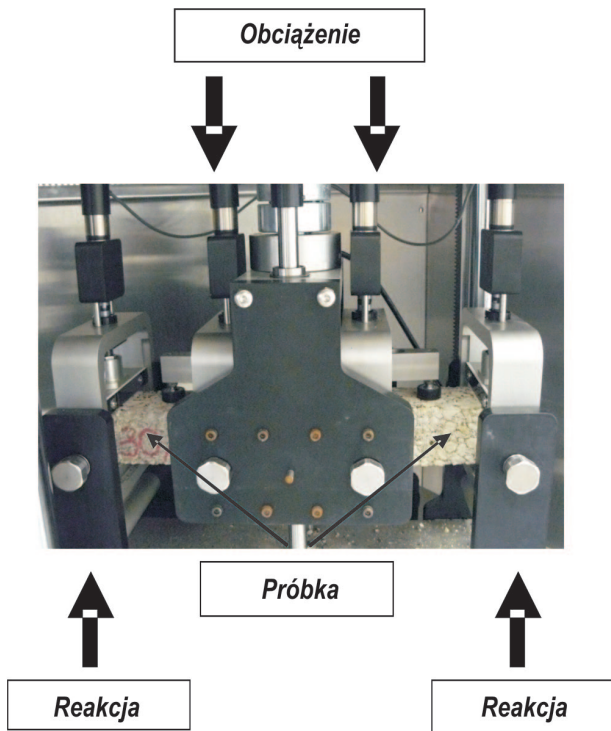
Tabela 1 Składy mieszanek betonowych na 1 m³

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
5	130	114	2 014	110
6	130	143	1 960	108

* 1 – mieszanka betonowa zawierająca w swym składzie tylko kruszywo naturalne

2, 3, 4, 5, 6 – mieszanki betonowe, zawierające rozdrobnione odpady gumowe w ilości odpowiednio 1,3%, 2,6%, 4%, 5,6% i 7,3% w stosunku do masy kruszywa



Rysunek 3 Widok próbki podczas badania trwałości zmęczeniowej wraz ze schematem obciążania

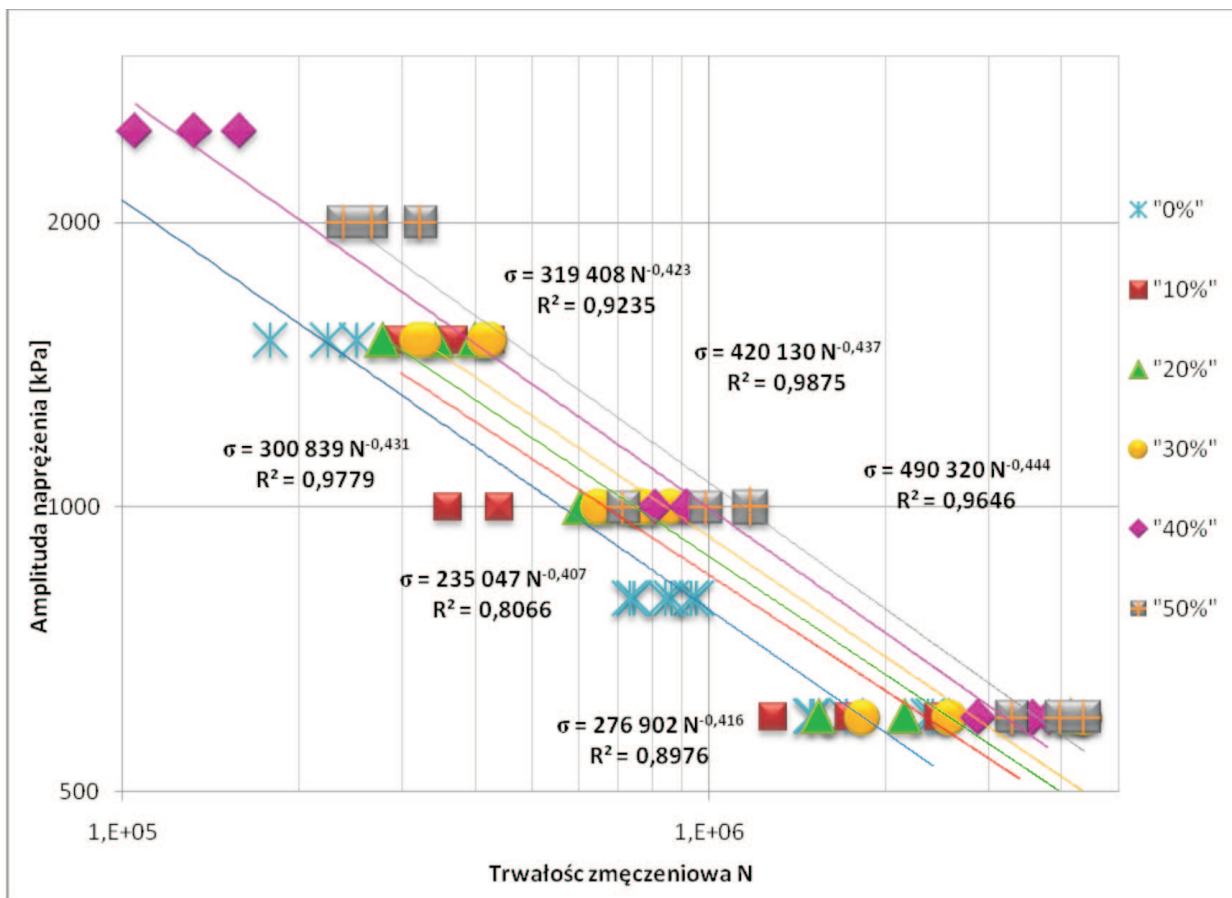
Figure 3 The view of the sample during the fatigue life test with the load diagram waste material on the load amplitude

Wstępna analiza statystyczna wyników badania wykazała, że dla różnej zawartości rozdrobnionej gumy oraz różnego poziomu amplitudy naprężenia istnieje rozrzut wartości trwałości zmęczeniowej.

Do określenia istotności wpływu zawartości dodatku gumowego (czynniki X_1) oraz poziomu amplitudy naprężenia (czynniki X_2) na tle rozrzutu wartości trwałości zmęczeniowej w poszczególnych próbach, zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji wyników badania. Zastosowano kodowanie z sigma-ograniczeniami, a wartości kodowane zmiennych ustalono na trzech poziomach -1 (dolny), 0 (środkowy) i 1 (górny).

Jednolitość rzędu wariancji poszczególnych prób sprawdzono za pomocą kryterium Cochra. Stwierdzono, że wariancje prób są jednorodne, a rezultaty badania odtwarzalne, ponieważ obliczeniowa wartość kryterium Cochra, przy liczbie powtórzeń w próbce $n=3$ oraz liczbie porównywalnych wariancji $N=9$, wynosi:

$$G = \frac{1348567,0608 \times 10^3}{4925292,2143 \times 10^3} = 0,2738 \quad (2)$$



Rysunek 4 Zależność trwałości zmęczeniowej chudych betonów i chudych betonów modyfikowanych rozdrobnionymi odpadami gumowymi od amplitudy naprężenia

Figure 4 The dependence of fatigue life of lean concretes and lean concretes modified with the grinded rubber

i jest mniejsza niż wartość krytyczna $G_{(0,05; 2, 9)} = 0,4775$ [8]. Wariancję generalną odtwarzania eksperymentu równą:

$$S_y^2 = \frac{4925292,2143}{9} = 547254,6905 \quad (3)$$

uznano za jednakową dla całego obszaru oddziaływania czynników. Rezultaty analizy wariancji zamieszczono w Tabeli 2. Porównując wartości obliczeniowe i tablicowe kryteriów Snedecora ustalono wpływ czynników X_1 i X_2 na trwałość zmęczeniową chudego betonu przeznaczonego do podbudów dróg terenów wiejskich. Stwierdzono istotny wpływ na trwałość zmęczeniową zarówno wielkości oddziałującego naprężenia, jak i ilości rozdrobnionych odpadów gumowych.

Tabela 2 Wyniki analizy wariancji wpływu czynników X_1 i X_2 na trwałość zmęczeniową chudego betonu
Table 2 The results of analysis of variance of influence of factors X_1 and X_2 on the fatigue life of lean concrete

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI	SUMA KWADRATÓW	LICZBA STOPNI SWOBODY	WARIANCJA	F_{emp}	F_{kr}
Czynnik X_1	3,810325E+12	2	1,905163E+12	3,6537	3,555
Czynnik X_2	2,825630E+13	2	1,412815E+13	25,6114	3,555
Współdziałanie czynników X_1 i X_2	1,670847E+12	4	4,177118E+11	0,7572	2,928
Błąd modelu	9,929424E+12	18	5,516347E+11		-
Razem	43,666896E+12	26	-	-	-

Jako funkcję opisującą zmiany trwałości zmęczeniowej przyjęto wielomian drugiego stopnia postaci:

$$\hat{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (4)$$

Wartości współczynników regresji zawarte w Tabeli 3 ustalono przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów, a istotność współczynników sprawdzono za pomocą testu t-Studenta przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Tabela 3 Wartości istotnych współczynników regresji
Table 3 The values of significant regression coefficients

ISTOTNE WSPÓŁCZYNNIKI REGRESJI	WARTOŚCI ISTOTNYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW REGRESJI
b_0	1 570 607
b_1	351 480
b_2	- 1 243 756
b_{12}	-314 742
b_{11}	-271 494
b_{22}	136 216

Oto równanie regresji zawierające tylko istotne współczynniki:

$$\hat{y} = 1\,570\,607 + 351\,480 X_1 - 1\,243\,756 X_2 - 314\,742 X_1 X_2 - 271\,494 X_1^2 + 136\,216 X_2^2 \quad (5)$$

Stopień dostosowania funkcji obiektu badań do wyników pomiarów sprawdzono za pomocą kryterium Snedecora, a efekty zawarto w Tabeli 4. Dane zawarte w tabeli potwierdzają zgodność modelu z danymi doświadczalnymi przedstawionymi na Rysunku 4. Analizując wykresy równań zmęczeniowych zauważamy wyraźne ich przesunięcie w kierunku coraz wyższych wartości wraz z rosnącą ilością rozdrobnionej gumy. Przy amplitudzie naprężenia równej 600 [kPa] próbki nie-

modyfikowanego chudego betonu osiągnęły średnią liczbę około 1 900 000 obciążeń do momentu zniszczenia. Trwałość zmęczeniowa próbek z zawartością odpowiadającą 10% frakcji piaskowej wymienionej na materiał odpadowy, wynosiła ponad 2 200 000 obciążeń, dodatek gumowy zastępujący objętościowo 20% piasku dał wyniki ponad 2 600 000 obciążeń, a guma zastępująca w 30% piasek – to 2 900 000 obciążeń. Przy wyższych wartościach amplitudy naprężenia obserwowano także analogiczną, coraz większą, liczbę obciążeń prowadzącą do zniszczenia próbki, rosnącą wraz ze wzrostem ilości rozdrobnionych zużytych opon samochodowych. Dodatek gumowy zastępujący w 10% frakcję piaskową wpłynął na uzyskanie liczby obciążeń większej średnio o około 26%, dodatek w ilości odpowiadającej 20% piasku to wyniki wyższe średnio o około 31%, natomiast ilość gumy odpowiadająca 30%, 40% i 50% piasku to wyniki bardzo dobre, bo korzystniejsze odpowiednio o ponad 39%, 52% i prawie 60%.

Tabela 4 Ocena adekwatności ustalonego modelu
Table 4 The assessment of adequacy of determined model

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI	SUMA KWADRATÓW	LICZBA STOPNI SWOBODY	WARIANCJA	F _{emp}	F _{kr}
Funkcja	3,181074E+13	5	6,362149E+12	464,7002	2,693
Reszta	2,875082E+11	21	1,369087E+10		-
Razem	3,209825E+13	26			-

Tabela 5 Liczba obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych (według równania Dempseya)
Table 5 Number of loads until the occurrence of the fatigue cracks (according to the Dempsey equation)

WYSZCZEGÓLNIENIE	ZAWARTOŚĆ ROZDROBNIONYCH ODPADÓW GUMOWYCH					
	0%	1,3%	2,6%	4%	5,6%	7,3%
$lg N_k$	11,784 - 3,339 σ	11,784 - 3,597 σ	11,784 - 4,753 σ	11,784 - 4,947 σ	11,784 - 5,050 σ	11,784 - 5,293 σ
$(R_{zgin}) [MPa]$	(3,63)	(3,37)	(2,55)	(2,45)	(2,40)	(2,29)

Zaprezentowane wyniki badań laboratoryjnych porównano z wynikami określonymi na podstawie równania zmęczeniowego Dempseya (wymaga ono ustalenia wytrzymałości na zginanie próbek). Rezultaty, w postaci wytrzymałości na zginanie próbek oraz liczby obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych określonej zgodnie z równaniem (1), zawiera Tabela 5.

Analiza danych zawartych w Tabeli 5 pokazuje wyraźny wpływ dodatku gumowego na wytrzymałość na zginanie próbek chudego betonu. Wytrzymałość ta spada wraz ze wzrostem ilości gumy, co oznacza, że otrzymujemy wyniki coraz mniejszej trwałości zmęczeniowej (zakładając stałą wartość naprężenia rozciągającego, wywołanego przez obciążenia ruchem drogowym, w warstwie podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym). Zaprzecza to wynikom przedstawionym na Rysunku 4. Zatem okazuje się, że do szacowania trwałości zmęczeniowej

chudych betonów modyfikowanych rozdrobnioną gumą nie możemy bezpośrednio wykorzystywać równania zaproponowanego przez Uniwersytet z Illinois (USA).

6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań, otrzymanych wyników i wykonanych analiz ustalono:

- 1) Zastosowanie rozdrobnionej gumy w chudych betonach przeznaczonych do podbudów drogowych wpływa na poprawę trwałości zmęczeniowej modyfikowanych betonów.
- 2) Trwałość zmęczeniowa chudych betonów z dodatkiem gumowym nie może być określana bezpośrednio przy wykorzystaniu istniejących i powszechnie stosowanych kryteriów do oceny trwałości zmęczeniowej podbudów związanych spoiwami hydraulicznymi.

LITERATURA

- [1] Piłat J., Radziszewski P., Nawierzchnie asfaltowe, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2007.
- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw 1999, Nr 43 poz. 430.
- [3] Kalabińska M., Piłat J., Technologia materiałów i nawierzchni drogowych, Warszawa, PWN, 1985.

- [4] Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Technologia materiałów i nawierzchni drogowych, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
- [5] PN-EN 197-1: 2002 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [6] PN-EN 197-2: 2002 Cement – Część 2: Ocena zgodności.
- [7] PN-EN 12697-24: 2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 24: Odporność na zmęczenie.
- [8] Zieliński W., Tablice statystyczne, Warszawa, Fundacja „Rozwój SGGW”, 1999.