

Radziszewski Piotr

Instytut Inżynierii Budowlanej

Wydział Budownictwa i Inż. Środowiska

Politechnika Białostocka

TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KOMPOZYTÓW MINERALNO - ASFALTOWYCH MODYFIKOWANYCH GUMĄ ZE ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH

1. Wstęp

Nawierzchnia bitumiczna poddawana wielokrotnemu obciążeniu od kół pojazdów samochodowych może ulec spękaniu wskutek zmęczenia pomimo, że naprężenie rozciągające lub odkształcenie pojedynczego obciążenia nie przekracza doraźnej wytrzymałości na rozciąganie lub odkształcenia niszczącego. Przyjmuje się, że warstwy asfaltowe konstrukcji jezdni nie powinny ulegać spękaniom zmęczeniowym od naprężeń rozciągających w spodzie warstwy w założonym okresie eksploatacji nawierzchni.

Odpady gumowe ze zużytych opon samochodowych ze względu na ich właściwości sprężyste wydają się być cennym materiałem, który może być zastosowany do modyfikacji kompozytów mineralno - asfaltowych o zwiększonej trwałości zmęczeniowej [2,3,4].

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wyników badań trwałości zmęczeniowej modyfikowanych kompozytów mineralno - asfaltowych.

2. Metodyka badań zmęczeniowych

Badania zmęczeniowych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych, możliwe do praktycznego wykorzystania w wymiarowaniu konstrukcji jezdni drogowych powinny jak najpełniej symulować warunki „in situ”. Istnieje wiele metod badań wytrzymałości zmęczeniowej [1,3,5]. Porównanie charakteru zmian obciążeń, od kół poruszających się pojazdów samochodowych w warstwach nawierzchniowych ze schematami obciążeń realizowanych w laboratorium, wskazuje że metoda badania belek na wielokrotne rozciąganie przy zginaniu jest najbardziej zbliżona do rzeczywistych warunków pracy nawierzchni „in situ”. Wykazali to między innymi autorzy programu SHRP (Strategie Highway Research Program), realizowanego w USA w latach 1988-92 poświęconego trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych, którzy na bazie wszechstronnych badań teoretycznych i doświadczalnych wybrał właśnie metodę zginania belki (beam test) jako najbardziej reprezentatywną metodę określania trwałości zmęczeniowej materiału budującego nawierzchnię drogową [1,5].

Uwzględniając wyniki tych prac autor wykonywał badania trwałości zmęczeniowej mieszank mineralno-asfaltowych wykonywano na stanowisku dostosowanym do przeprowadzania różnych symulacji dynamicznych. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1 (aparatus Schenck'a). Podstawowym elementem składowym urządzenia jest tłok hydrauliczny, pozwalający zadawać badanym próbkom obciążenia o charakterystykach bliskich tym, które powstają na spodzie nawierzchniowych warstw asfaltowych w warunkach „in situ”.

Próbka o kształcie beleczki o wymiarach 450*50*50 mm umieszczona jest w komorze klimatyzacyjnej umożliwiającej sterowanie temperaturą podczas badania. W skład systemu obciążenia wchodzi cztery mocowania klamrowe przyklejane do asfaltu o penetracji 45-60*0.1 mm. Poniżej i powyżej próbki badawczej znajdują się podpory rolkowe, dzięki którym możliwe jest punktowe przekazywanie obciążeń. Dwie dolne środkowe rolki tworzą łożo zginające służące do przekazywania przemieszczeń pionowych od dźwignika hydraulicznego.

Badania laboratoryjne były przeprowadzone przy zachowaniu następujących warunków:

- a) temperatura badania - 10°C,
- b) próbki mieszanki mineralno-asfaltowej w kształcie beleczek poddawano czteropunktowemu obciążeniu rozciągania przy zginaniu, zmieniającym się według funkcji $1/2*(1-\cos x)*(\text{haversine})$ o stałej wartości amplitudy odkształcenia (Rys.2),
- c) częstotliwość obciążeń 9.8 HZ.,
- d) zadawane były obciążenia o wielkościach amplitud odkształceń od 190 $\mu\text{m/m}$ do 550 $\mu\text{m/m}$,
- e) próbkę uważano za zniszczoną w tym momencie obciążenia, w którym moduł sztywności osiągał wartość równą połowie modułu sztywności (E_f).

3. Parametry określone w badaniach zmęczeniowych

Podczas badań laboratoryjnych rejestrowano następujące wartości charakteryzujące mieszanki mineralno-asfaltowe:

N - liczba obciążeń,

F - amplituda siły obciążenia,

ξ - amplituda odkształcenia,

v - amplituda przemieszczenia,

ϕ - kąt przesunięcia fazowego między naprężeniem a odkształceniem.

Obliczano ponadto:

W_{dis} - energia rozpraszana w jednym cyklu obciążenia,

W_t - sumaryczna energia rozpraszana,

E^* - kompleksowy moduł sprężystości,

E_1 - rzeczywista część kompleksowego modułu sprężystości,

E_2 - urojona część kompleksowego modułu sprężystości,

Wartość energii rozpraszanej w jednym cyklu (W_{dis}) i sumarycznej (W_t) otrzymywano na podstawie obliczeń według wzorów:

$$W_{dis} = \pi \cdot \xi^2 \cdot E^* \cdot \sin \phi \quad (1)$$

$$W_t = \sum_{i=1}^N W_{dis} \quad (2)$$

Moduł kompleksowy obliczono wykorzystując następującą zależność:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (3)$$

Dla każdej badanej próbki określono reprezentatywny moduł kompleksowy E_0 po N_0 cyklach obciążenia. Procedura wyznaczania modułu E_0 i $E_f = 1/2 \cdot E_0$ była następująca (Rys 3):

- określenie stycznej do wykresu (część liniowa wykresu) funkcji modułu sztywności i liczby obciążeń (E-N),
- wyznaczenie punktu, w którym styczna przecina oś pionową E w punkcie E_0 ,
- wykreślenie poziomej linii z punktu E_0 do przecięcia wykresu funkcji E-N; współrzędne tego punktu określają wartość E_0 i N_0 ,
- wykreślenie poziomej linii na wysokości wartości modułu sztywności $1/2 \cdot E_0 = E_f$,
- wyznaczenie punktu o współrzędnych (N_f , $1/2 \cdot E_0$) = (N_f , E_f).

Wartość N_f określa trwałość zmęczeniową badanej próbki.

4. Procedury wykonywania modyfikacji kompozytów mineralno-asfaltowych

W realizowanym programie badawczym porównano właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych na nawierzchnie dla ruchu ciężkiego. Stos okrucowy, o krzywej uziarnienia przedstawionej na rys.4, zestawiono z grysów granitowych frakcji 2/6, 6/11 i 11/16, piasku łamanego, piasku naturalnego oraz mączki wapiennej. Jako lepiszcze użyto asfalt D-70 modyfikowany miałem gumowym z zużytych opon samochodowych. Zastosowano dwa rodzaje modyfikacji. W pierwszym przypadku użyto 15% miału gumowego drobnoziarnistego i 85% asfaltu D-70. W drugim przypadku zastosowano 17% miału gumowego gruboziarnistego, 3% plastyfikatora i 80% asfaltu D-70.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono w skrócie dane dotyczące odpowiednio pierwszego i drugiego sposobu modyfikacji asfaltu D-70. Całkowity czas mieszania w pierwszym przypadku wynosił 4 godziny 20 min., w drugim 8 godzin 20 minut.

Tabela 1. Procedura modyfikacji asfaltu D-70 (85%) miałem gumowym drobnoziarnistym (15%). Właściwości lepiszcza.

	Lepiszczce	Temperatura mieszania [°C]	Penetracja [0.1 mm]	Indeks penetracji
Asfalt D-70	Asfalt	160	66.6	-0.72
20 minut szybko-obrotowego mieszania	Asfalt+guma	203	42.7	+1.19
Wolnoobrotowe mieszanie 4 h	Asfalt+guma	203	61.3	+1.05

Tabela 2. Procedura modyfikacji asfaltu D-70 (80%) gruboziarnistym miałem gumowym (17%) i plastyfikatorem (3%). Właściwości lepiszcza.

	Lepiszczce	Temperatura mieszania [°C]	Penetracja [0.1 mm]	Indeks penetracji
Asfalt D-70	Asfalt	160	66.3	-0.72
20 minut szybko-obrotowego mieszania	Asfalt+guma	205	40.3	+0.42
Wolnoobrotowe mieszanie 4h	Asfalt+guma	203	60.3	+1.51
Wolnoobrotowe mieszanie - dalsze 4h	Asfalt+guma	204	71.0	+1.33

Proces mieszania kruszywa z lepiszczem asfaltowym i zagęszczenie mieszanki odbywał się w ściśle określonych temperaturach otrzymywanych z wykresu BTDC (Tabela 3).

Tabela 3. Temperatura mieszania i zagęszczania mieszanek mineralno asfaltowych odczytanych z wykresu BTDC.

Lepiszczce	Temperatura mieszania [°C]	Temperatura zagęszczania [°C]
------------	----------------------------	-------------------------------

	Najniższa (6P)	Optymalna (1.7P)	Najniższa (25P)	Optymalna (6P)	Najwyższa (1.7P)
Asfalt D-70	123	144	102	123	144
Lepiszczce gumowo-asfaltowe (gruboziarnisty miąż gumowy)	163	177	135	149	nie stosuje się
Lepiszczce gumowo-asfaltowe (drobnoziarnisty miąż gumowy)	163	177	135	149	nie stosuje się

Standardową mieszankę wykonywano w temperaturze 140°C, natomiast mieszankę z modyfikowanymi lepiszczami w temperaturze 170°C. Wytwarzanie mieszanki dokonywano w specjalnym urządzeniu mieszającym o parametrach umożliwiających jednorazowo wyprodukowanie całego zarobu na płytę o wymiarach 60*60*6 cm.

Mieszankę mineralno-asfaltową przed zagęszczeniem poddawano procesowi krótkoterminowego starzenia, polegającemu na wygrzaniu mieszanki w komorze klimatyzacyjnej w temperaturze 135°C przez 4 godziny.

Zagęszczanie mieszanki mineralno-asfaltowej wykonywano w dwóch etapach. Po ułożeniu rozgrzanej mieszanki w formie, zagęszczano ją dynamicznie w bratorze ręcznym o podstawie zagęszczającej 10-15 cm, przez około 1 minutę (symulacja wstępnego zagęszczania nawierzchni asfaltowej deską wibracyjną). Drugi etap zagęszczenia odbywał się przy użyciu ręcznego walca stalowego o ciężarze 165kG, średnicy 50 cm. i szerokości wałowania 60 cm. Czas wałowania wynosił około 2 minuty. Mieszankę mineralno-asfaltową z modyfikowanym lepiszczem zagęszczano w temperaturze 140-150°C. Wycinanie z płyt próbek-beleczek odbywało się następnego dnia. Zwracano przy tym uwagę, by linie cięć znajdowały się conajmniej w odległości 2 cm. od strony powierzchni kontaktu płyty ze ściankami formy oraz 1-2 cm. od góry i spodu próbki.

4. Analiza wyników badań zmęczeniowych

Wyniki badań zmęczeniowych mieszanek mineralno-asfaltowych posłużyły do znalezienia zależności funkcyjnych $N_f - E$ i $N_f - W_t$.

Poprzez realizację liniowej regresji otrzymano następujące funkcje:

$$\log N_f = a_1 + b_1 * \log E_1 \quad (4)$$

$$\log N_f = a_2 + b_2 \cdot \log W_t \quad (5)$$

Wyniki obliczeń podano w tablicy 4 i przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Tablica 4. Współczynniki regresji równań zmęczeniowych.

Rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej	a_1	b_1	R^2	a_2	b_2	R^2
Standardowa mieszanka mineralno-asfaltowa na nawierzchni dla ruchu ciężkiego	16.91	-5.00	0.98	-1.26	0.60	0.99
Mieszanka z asfaltem modyfikowanym miałem gumowym gruboziarnistym z plastyfikatorem	18.16	-5.00	0.99	-1.08	0.63	0.98
Mieszanka z asfaltem modyfikowanym miałem gumowym drobnoziarnistym	19.73	-5.66	0.84	-1.51	0.71	0.98

Otrzymywane wartości współczynników kierunkowych b_1 i b_2 dla trzech rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych niewiele różnią się między sobą, co daje w efekcie równoległość wykresów funkcji. Szczególnie to widać na przykładzie mieszanki standardowej i mieszanki z lepiszczem modyfikowanym miałem gruboziarnistym z dodatkiem plastyfikatora. Nieco inny „charakter” zachowuje mieszanka zawierająca asfalt modyfikowany miałem gumowym drobnoziarnistym. Przyczyną takiego stanu jest prawdopodobnie to, że asfalt z miałem drobnoziarnistym wchodzi w reakcję chemiczną w większym stopniu niż z miałem gruboziarnistym. Powstaje nowa, trwała struktura o innej niż czysty asfalt charakterystyce fizykochemicznej.

Z rys.5 wynika, że dla mieszanek z lepiszczem modyfikowanym miałem gumowym występuje wyraźne przesunięcie wykresów równań zmęczeniowych w kierunku wyższych wartości trwałości zmęczeniowych. Dla tych samych amplitud odkształceń trwałość zmęczeniowa mieszanek z lepiszczem modyfikowanym jest od 15 do 20 razy większa od takich samych mieszanek z lepiszczem czystym D-70.

Na rys.6 przedstawiono wykresy sumarycznej energii rozpraszanej W_t w funkcji trwałości zmęczeniowej N_f . Wykresy dla mieszanek z asfaltem modyfikowanym miałem gumowym położone są bardzo blisko siebie a jednocześnie są znacznie oddalone od wykresu dla mieszanki standardowej. Jeżeli porównamy sumaryczną energię rozpraszania przy stałej wartości N_f , to okazuje się, że mieszanki mineralno-asfaltowe z lepiszczami modyfikowanymi charakteryzują się większymi wartościami tych energii. Stąd też wynika, że mieszanka standardowa odznacza się mniejszą energią rozpraszania na cykl obciążenia. Wykres sumarycznej energii rozpraszania wyraźnie rozróżnia mieszanki mineralno-asfaltowe od modyfikowanych.

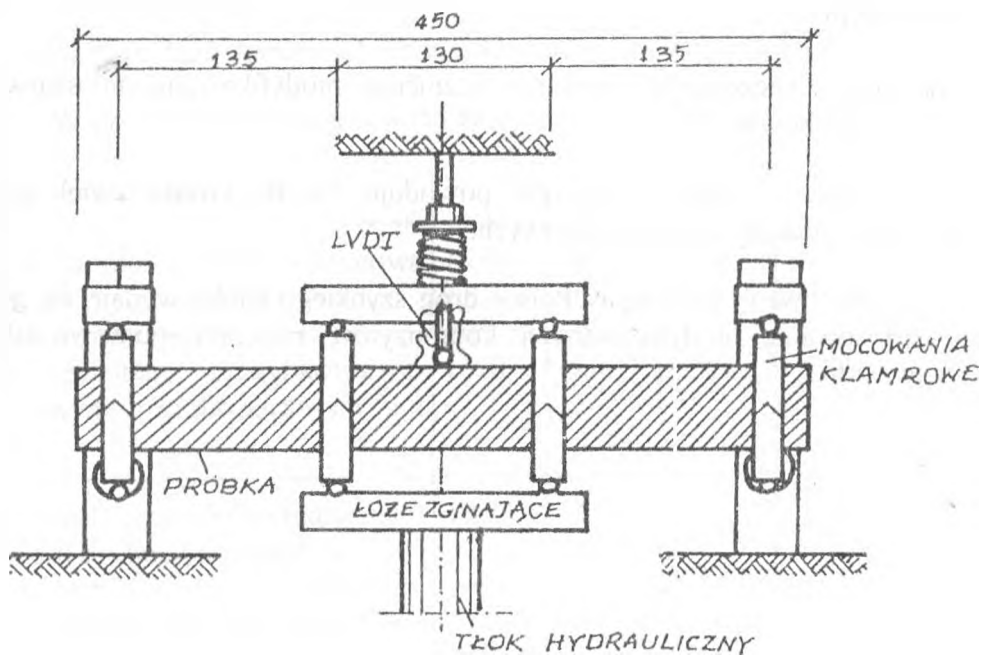
Wnioski

Na podstawie wyników badań mieszanek mineralno-asfaltowych z lepiszczem modyfikowanym miałem gumowym można sformułować następujące wnioski:

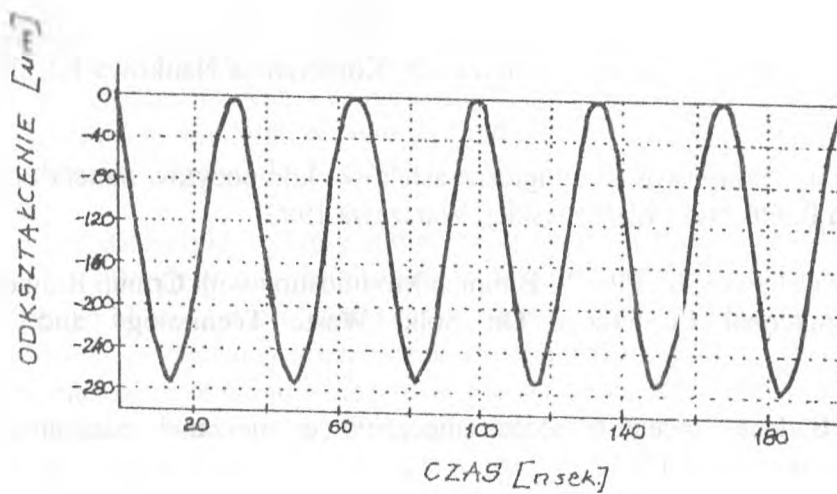
1. Asfalty modyfikowane charakteryzują się poprawionymi właściwościami w porównaniu z asfaltem wyjściowym.
2. Charakterystyki zmęczeniowe wyraźnie różnicują modyfikowane mieszanki mineralno-asfaltowe i niemodyfikowanych.
3. Modyfikacja asfaltu miałem gumowym powoduje 15-20- krotne zwiększenie trwałości zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych.
4. W związku z planowaną budową w Polsce dróg szybkiego ruchu wydaje się godnym uwagi propozycja zastosowania modyfikowanych kompozytów mineralno-gumowo-asfaltowych do budowy nawierzchni.

Bibliografia:

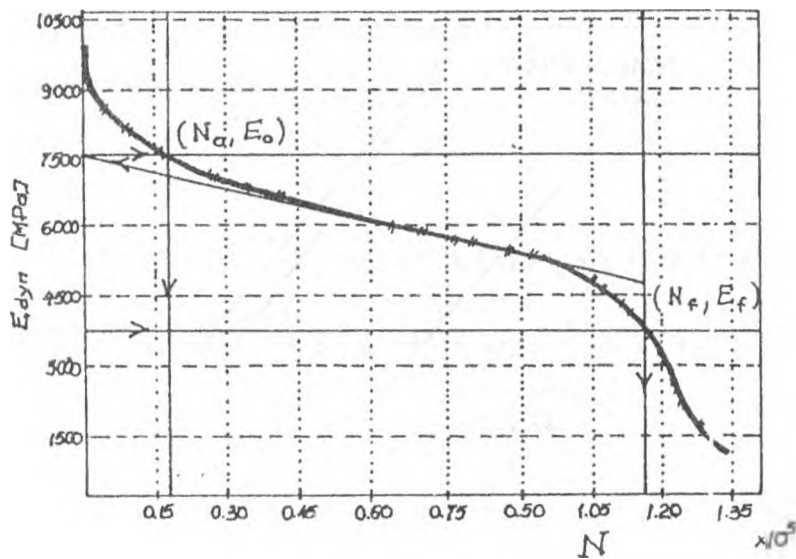
1. Deacon J.A., Tayebali A.A., Coplantz J. S., Finn F.N., Monismith C.L.: Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC 1994.
2. Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P.: Zastosowanie gumy ze zużytych opon samochodowych do modyfikacji asfaltów drogowych. Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1995.
3. Kalabińska M., Piłat J.: Właściwości reologiczne asfaltów i kompozytów mineralno-asfaltowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993
4. Radziszewski P., Kalabińska M., Piłat J.: Bitumen Modification with Crumb Rubber Used Tires. The Eleventh International Conference On Solid Waste Technology and Management, Philadelphia 1995.
5. Radziszewski P.: Badanie i ocena trwałości zmęczeniowej mieszanek mineralno-asfaltowych. Drogownictwo nr 10, Warszawa 1993.



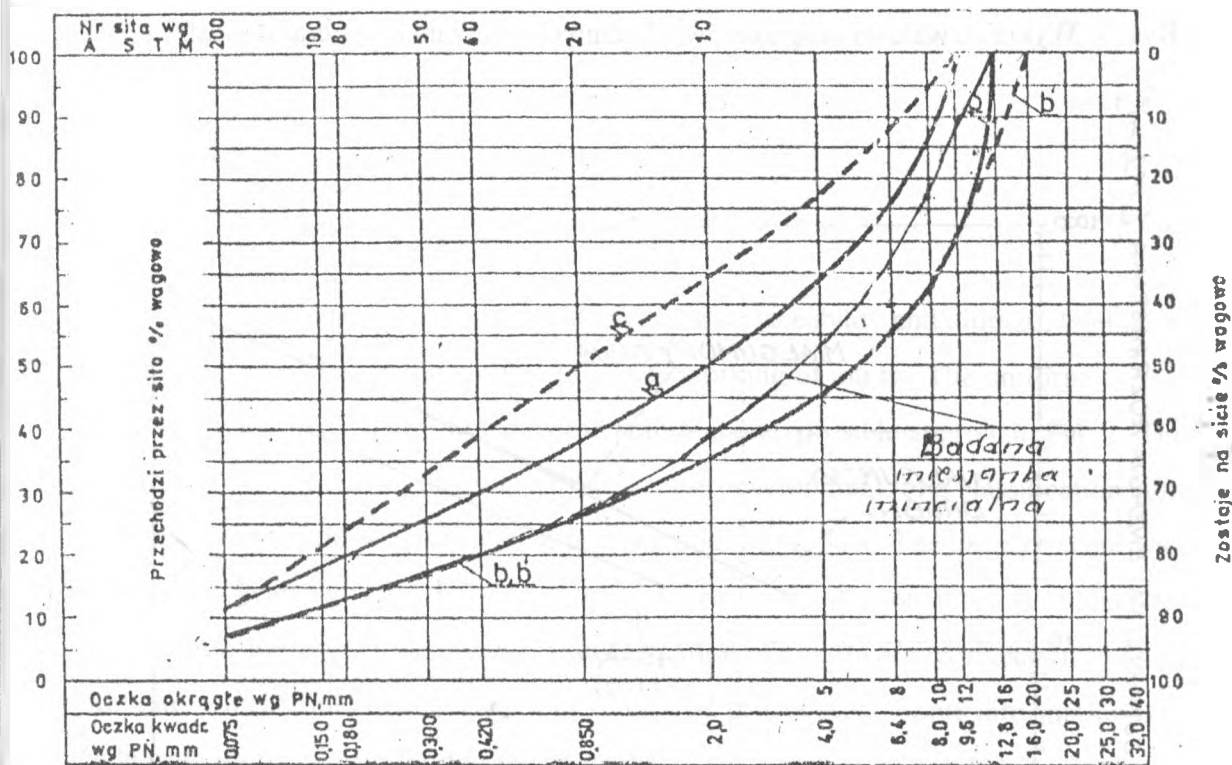
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego (aparatus Schenck'a)



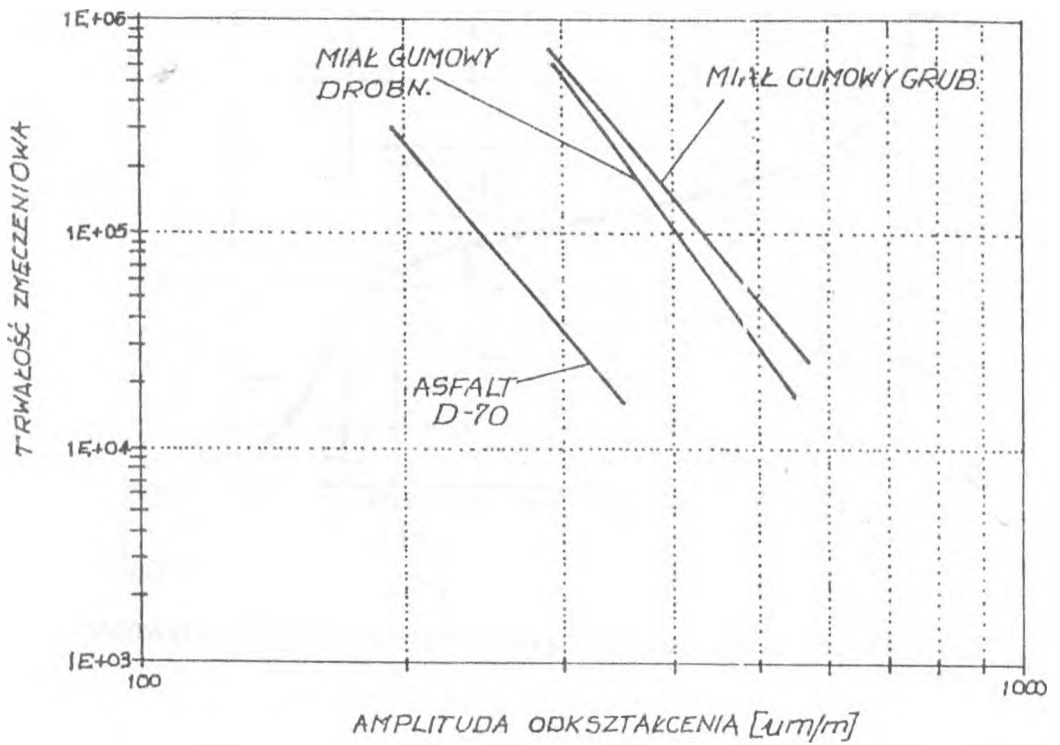
Rys. 2. Schemat funkcji obciążenia (haversine) w badaniach zmęczeniowych



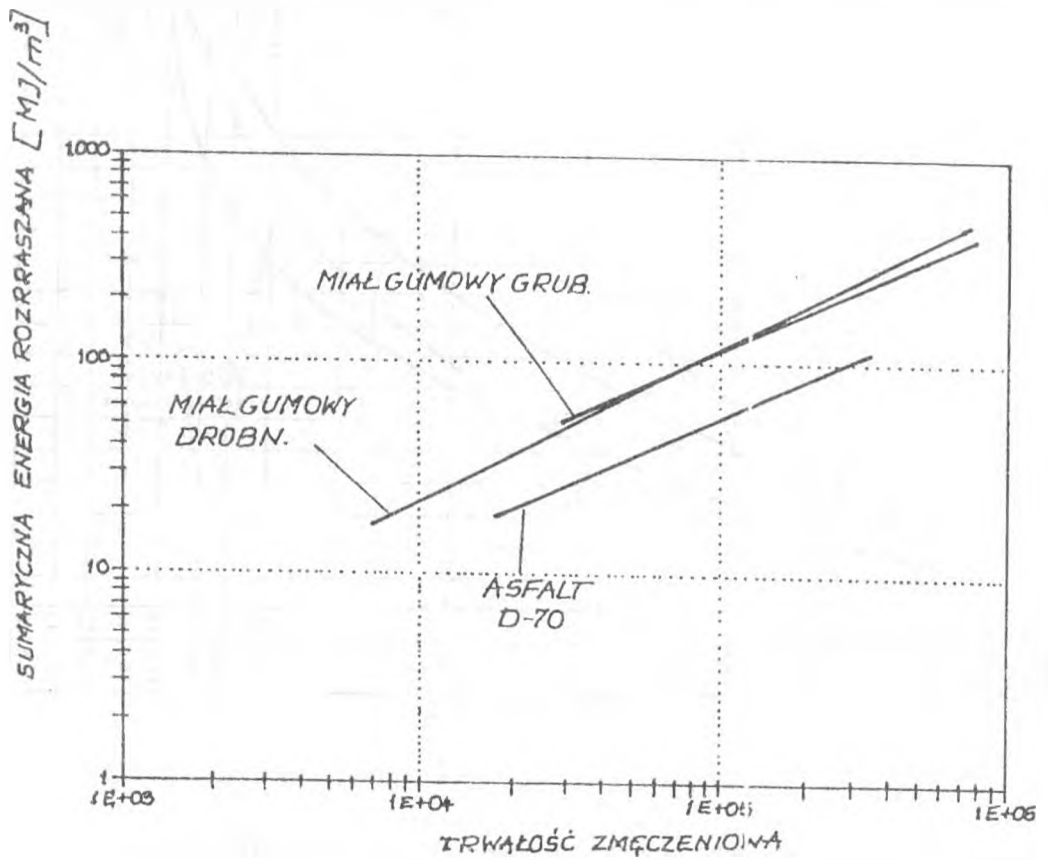
Rys. 3. Procedura wyznaczania reprezentatywnego modułu sztywności



Rys. 4. Stos okruskowy badanych kompozytów mineralno-asfaltowych



Rys. 5. Wykres trwałości zmęczeniowej badanych mieszanek mineralno - asfaltowych



Rys. 6. Wykres sumarycznej energii rozpraszania dla badanych mieszanek mineralno - asfaltowych