

SPRAWOZDANIE

METODA WZMOCNIENIA NAWIERZCHNI DROGOWEJ WARSTWĄ Z MIESZANKI ŻWIROWO-EMULSYJNEJ (GRAVE-EMULSION)

Temat Nr TN-226
Część I

Zleceniodawca: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
ul. Wspólna 1/3, 00 – 921 Warszawa

Umowa: Nr 4/GDDKiA/2002 z 10.06.2002 r.

Kierownik Tematu - dr inż. Zenon Szczepaniak

Opracowali:

mgr inż. Paweł Wysocki

mgr inż. Renata Horodecka

Kierownik Zakładu Technologii Nawierzchni

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, listopad 2002 r.
SPIS TREŚCI

1	MIESZANKA ŻWIROWO-EMULSYJNA GE	6
1.1	ZABIEG ODNAWIANIA	6
1.2	CHARAKTERYSTYKA MIESZANEK	6
1.3	CECHY SZCZEGÓLNE	7
1.4	ZASTOSOWANIE MIESZANKI ŻWIROWO-EMULSYJNEJ GE	7
1.5	MIESZANKA ŻWIROWO-EMULSYJNA GE W NAWIERZCHNI	8
1.6	ZAKRES STOSOWANIA MIESZANKI ŻWIROWO-EMULSYJNEJ GE	8
1.6.1	<i>Ogólne zasady zastosowania mieszanki GE</i>	8
1.6.2	<i>Zabiegi utrzymaniowe i naprawy cząstkowe</i>	8
1.6.3	<i>Poszerzenie drogi i poprawa geometrii</i>	9
1.6.4	<i>Wzmocnienie konstrukcji nawierzchni mieszanką żwirowo-emulsyjną GE</i>	9
2	OPRACOWANIE KRYTERIÓW DOBORU MATERIAŁÓW DO WYKONANIA WZMOCNIEŃ MIESZANKĄ GE	9
2.1	DOBÓR EMULSJI ASFALTOWEJ	9
2.1.1	<i>Rodzaj emulsji</i>	9
2.1.2	<i>Dobór rodzaju asfaltu i jego zawartość w mieszance GE</i>	10
2.1.3	<i>Dobór emulgatora</i>	10
2.1.4	<i>Woda do mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE</i>	11
2.2	DOBÓR MATERIAŁÓW MINERALNYCH	11
2.2.1	<i>Maksymalny wymiar ziaren mieszanki mineralnej</i>	11
2.2.2	<i>Krzywe uziarnienia</i>	12
2.2.3	<i>Stopień przekruszenia kruszywa</i>	14
2.2.4	<i>Odporność na rozdrabnianie</i>	15
2.2.5	<i>Zanieczyszczenie kruszywa</i>	15
2.2.6	<i>Skład chemiczny kruszywa</i>	15
2.2.7	<i>Wypełniacz mineralny</i>	16
3	OPRACOWANIE METODYKI PROJEKTOWANIA SKŁADU MIESZANKI ŻWIROWO-EMULSYJNEJ GE	18
3.1	UZIARNIENIE MIESZANKI MINERALNEJ	18
3.2	ZAWARTOŚĆ WYPEŁNIACZA	19
3.3	EMULSJA ASFALTOWA	19
3.3.1	<i>Rodzaj emulsji asfaltowej</i>	19
3.3.2	<i>Zawartość asfaltu w mieszance GE</i>	19
3.4	METODYKA PROJEKTOWANIA SKŁADU MIESZANKI ŻWIROWO-EMULSYJNEJ GE	19
3.4.1	<i>Zakres badań</i>	19
3.4.2	<i>Właściwości</i>	20
3.5	DOBÓR SKŁADU MIESZANKI	20
4	ZAPROJEKTOWANIE SKŁADU TYPOWYCH MIESZANEK GE O UZIARNIENIU 0/12 MM I 0/16 MM METODĄ DURIEZ	21
4.1	ZAKRES STOSOWANIA	21
4.2	PODSTAWOWE OKREŚLENIA I SKRÓTY	21
4.3	ZASADA BADANIA	22
4.4	SPRZĘT STOSOWANY DO BADAŃ	22
4.4.1	<i>Formy</i>	22
4.4.2	<i>Prasa</i>	22
4.5	PRZYGOTOWANIE PRÓBEK	22
4.5.1	<i>Warunki przygotowania próbek</i>	22
4.5.2	<i>Wypełnienie form</i>	22
4.5.3	<i>Zagęszczenie próbek</i>	23
4.6	WYKONANIE BADANIA	23
4.6.1	<i>Sprawdzenie próbek</i>	23
4.6.2	<i>Dojrzewanie próbek</i>	23
4.6.3	<i>Podział próbek</i>	23
4.6.4	<i>Próba ściskania prostego</i>	23
4.7	WYNIKI BADAŃ	23
4.7.1	<i>Wytrzymałość na ściskanie</i>	23
5	WYMAGANIA DLA MIESZANKI ŻWIROWO-EMULSYJNEJ (GRAVE-EMULSION)	23

5.1	TYPY MIESZANEK GE.....	23
5.2	UZIARNIENIE.....	24
5.3	MINIMALNA ILOŚĆ LEPISZCZA	24
5.4	WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE	24
6	OPRACOWANIE RECEPTUR MIESZANKI ŻWIROWO-EMULSYJNEJ (GRAVE-EMULSION)	25
6.1	KRUSZYWO.....	25
6.1.1	<i>Bazalt z Wilkowa</i>	25
6.1.2	<i>Kruszywo pomiedziowe z Huty miedzi z Głogowa</i>	26
6.1.3	<i>Kruszywa dolomitowe z Siewierzy</i>	26
6.2	DOBÓR EMULSJI ASFALTOWEJ.....	27
7	WYKONANIE PRÓBEK MIESZANKI GE W LABORATORIUM I PRZEPROWADZENIE BADAŃ CECH FIZYCZNYCH I MECHANICZNYCH.....	28
7.1	WYTRZYMAŁOŚĆ METODĄ DURIEZ.....	28
7.1.1	<i>Badanie mieszanki GE na bazalcie z Wilkowa (MB 0/12 mm)</i>	28
7.1.2	<i>Badanie mieszanki GE na kruszywie pomiedziowym (MPm 0/12 mm)</i>	31
7.1.3	<i>Badanie mieszanki GE na kruszywie dolomitowym (MD 0/12 mm)</i>	34
7.1.4	<i>Badanie mieszanki GE na kruszywie dolomitowym (MDg 0/16 mm)</i>	35
7.2	TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA W TEMPERATURZE 10 ⁰ C.....	38
7.2.1	<i>Zakres metody</i>	38
7.2.2	<i>Stosowanie metody</i>	38
7.2.3	<i>Aparatura</i>	38
7.2.4	<i>Warunki badania</i>	39
7.2.5	<i>Wymiary próbek</i>	40
7.2.6	<i>Wyniki badań, obliczenia</i>	40
7.3	KOLEINOWANIE LCPC W TEMPERATURZE 60 ⁰ C.....	43
7.3.1	<i>Zakres metody</i>	43
7.3.2	<i>Stosowanie metody</i>	43
7.3.3	<i>Aparatura</i>	44
7.3.4	<i>Warunki badania</i>	44
7.3.5	<i>Materiały do prób</i>	44
7.3.6	<i>Wyniki badań, obliczenia</i>	45
RYS. 8.	WYKRES PRZEDSTAWIAJĄCY WARTOŚCI ŚREDNIE GŁĘBOKOŚCI KOLEINY W PRÓBKACH MIESZANKI PORÓWNAWCZEJ BA 0/20 MM /WARIANT I/.....	49
7.4	MODUŁ SZTYWNOŚCI W APARACIE NAT W TEMPERATURZE 0 ⁰ C, 10 ⁰ C, 20 ⁰ C.....	50
7.4.1	<i>Zakres metody</i>	50
7.4.2	<i>Aparatura</i>	50
7.4.3	<i>Warunki badania</i>	50
7.4.4	<i>Wymiary próbek</i>	52
7.4.5	<i>Wyniki badań, obliczenia</i>	52

Przedmiot badań i program pracy

Przedmiot badań

Przedmiotem badań była mieszanka żwirowo-emulsyjna (grave-emulsion), która stosowana jest jako wzmocnienie istniejącej nawierzchni drogowej. Jest to mieszanka opracowana we Francji i powszechnie tam stosowana. Upowszechniła się w latach 70 – tych, gdy stosowano ją do wzmacniania przebudowywanej sieci drogowej. Wykorzystanie tej mieszanki w programie wzmacniania polskiej sieci drogowej może być bardzo efektywne technicznie i kosztowo. Technologia ta daje możliwości stosowania tańszych materiałów, wykorzystując szczególne właściwości tego typu mieszanki z emulsją asfaltową.

Dawniej, przy odnawianiu starych dróg, doziarnianie nowym kruszywem i mieszanie z emulsją wykonywano na miejscu. Dostosowanie technologii do dróg o większym znaczeniu polegało na dowozie całości surowca mineralnego (na przykład 0/50) na teren budowy i mieszanie go tam z emulsją. Nazywano to stabilizacją na miejscu.

Później mieszanie zaczęto wykonywać w wytwórniach stacjonarnych produkujących mieszanki "na zimno". Obecnie, po ulepszeniu technologii produkt ten jest nazywany mieszanką żwirowo-emulsyjną (grave-emulsion) typu GE, która jest kruszywem stabilizowanym emulsją. [4]

Mieszanka żwirowo-emulsyjna GE daje użytkownikom wiele zalet. Nabyte doświadczenia pozwalają na precyzyjne określenie warunków, w których powinna być produkowana i stosowana.

Mieszanki mineralno-emulsyjne są materiałem, który stosowany w odpowiednich warunkach, daje dobre wyniki. Warunki stosowania wynikają z następujących zależności:

- a) materiał wytwarzany jest na zimno. Może być produkowany w wytwórniach prostych i łatwo przenaszalnych co pozwala na wykonywanie małych robót. Wytwórnie bardziej złożone i większe umożliwiają dużą wydajność i lepszą kontrolę jakości produkcji,
- b) jest to materiał na bazie asfaltu. Ilość czystego asfaltu jest taka sama jak w przypadku mieszanki mineralno-bitumicznej,
- c) woda zawarta w mieszance powinna mieć możliwość prawie całkowitego odparowania. W przeciwnym wypadku jej własności nie będą wiele odbiegały od mieszanek mineralnych bez dodatków stabilizujących; przepuszczalne podłoże jest korzystnym czynnikiem,
- d) mieszanka żwirowo-emulsyjna jest materiałem łatwym do rozłożenia lecz trudnym do dobrego zagęszczenia; należy podkreślić, że uzyskanie dobrego wskaźnika zagęszczenia jest podstawowym warunkiem uzyskania wysokich parametrów technicznych.
- e) jeżeli nośność podłoża i poziom ruchu umożliwiają takie wymiarowanie, mieszanka żwirowo-emulsyjna może być wbudowywana warstwą o ograniczonej grubości. Jest to materiał bardzo przydatny do wyrównań i korekt przekroju poprzecznego.

Generalnie mieszanka żwirowo-emulsyjna jest materiałem, którego zachowanie w nawierzchni okazało się bardzo dobre, jeżeli stosowane są warstwy o małej grubości (10 do 12 centymetrów lub mniej) na drogach o niezbyt dużym ruchu. Ponadto jest to materiał najlepiej przystosowany do korekt przekroju poprzecznego.

Najbardziej znanym dokumentem opisującym tę technologię jest "Instrukcja dla budowy warstw podbudowy nawierzchni z mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE" wydana przez francuskie Centralne Laboratorium Mostów i Dróg (LCPC) w 1974 r.

Program pracy

Zgodnie z programem praca składa się z dwóch etapów:

Etap I

1. Opracowanie kryteriów doboru materiałów do wykonywania wzmocnień mieszanką GE
 - ◆ dobór emulsji asfaltowej, w tym dobór rodzaju asfaltu i emulgatora,
 - ◆ dobór materiałów mineralnych.
2. Opracowanie metodyki projektowania składu mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE
3. Zaprojektowanie składu typowych mieszanek GE o uziarnieniu 0/12 mm i 0/16 mm metodą Duriez
4. Wykonanie próbek mieszanki GE (60 – 80 próbek) w laboratorium i przeprowadzenie badań cech fizycznych i mechanicznych:
 - ◆ wytrzymałość na ściskanie metodą Duriez,
 - ◆ koleinowanie LCPC w temperaturze 60⁰C,
 - ◆ trwałość zmęczeniowa w temperaturze 10⁰C,
 - ◆ moduł sztywności w aparacie NAT w temperaturze 0⁰C, 10⁰C, i 20⁰C.

Etap II

1. Przygotowanie i wykonanie odcinka doświadczalnego wzmocnienia nawierzchni o długości od 300 m do 1000 m:
 - ◆ badania warunków gruntowo-wodnych i ugięć FWD przed wykonaniem wzmocnienia,
 - ◆ zaprojektowanie wzmocnienia metodą mechanistyczną konstrukcji nawierzchni z warstwą GE,
 - ◆ badanie ugięć i czaszy ugięć po wzmocnieniu,
 - ◆ analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogi KR3 – KR5
2. Ustalenie warunków wytwarzania, magazynowania, transportu, rozkładania i zagęszczania warstw z mieszanki GE
3. Ustalenie danych wyjściowych do obliczeń metodą mechanistyczną
4. Sprawozdanie z prac zawierające ocenę wyników i wnioski.

Sprawozdanie to jest realizacją etapu I.

1 Mieszanka żwirowo-emulsyjna GE

1.1 Zabieg odnawiania

Zabieg odnawiania jest zwykle stosowany na drugorzędnej sieci drogowej i polega na spulchnieniu nawierzchni, poprawieniu profilu równiarką i poprawieniu krzywej uziarnienia przez dodanie nowego kruszywa oraz na nadaniu odpowiedniej kohezji materiałowi mineralnemu przez wprowadzenie emulsji asfaltowej zastosowanej w ilości 5-6 kg/m². Ten zabieg składa się z szeregu operacji. Są to :

- a) spulchnianie
- b) bronowanie
- c) profilowanie
- d) dodatek kruszywa
- e) skropienie emulsją asfaltową
- f) mieszanie pługiem i broną
- g) końcowe wyrównanie
- h) wałowanie.

Sprzęt wykonujący skrapianie i mieszanie naogół przejeżdża przez odcinek dwa do trzech razy. Doskonale wyniki są uzyskiwane przy zastosowaniu tej technologii postępowania do odnowienia starych dróg żwirowych i żuźlowych.

1.2 Charakterystyka mieszanek

Mieszanka żwirowo-emulsyjna jest uzyskiwana poprzez rozproszenie wolnorozpadowej emulsji asfaltowej o kontrolowanym czasie rozpadu w mieszance mineralnej a następnie wymieszanie "na zimno".

Lepiszczce wytrącone z emulsji selektywnie osadza się na drobnych cząstkach, tworząc mastyks bardzo bogaty w asfalt, który pokrywa większe ziarna i zespala całą mieszankę.

Nie ma pełnego podobieństwa pomiędzy mieszanką żwirowo-emulsyjną a mieszanką mineralno-bitumiczną wykonaną na gorąco, nawet jeśli mieszanka ta została wykonana z tego samego kruszywa i z tego samego asfaltu użytego w tej samej ilości.

Mieszanka żwirowo-emulsyjna po wymieszaniu składników jest dobrze urabialna i pozostaje taka aż do końca zagęszczania.

Podczas zagęszczania następuje ostateczny rozpad emulsji i powstający mastyks znacznie zwiększa kohezję. Ponieważ asfalt wydzielający się z emulsji w pierwszej kolejności pokrywa (otacza) w nadmiarze małe cząstki mieszanki mineralnej, w rezultacie powstały mastyks odkształca się niewiele pod wpływem szybkozmiennych naprężeń przekazywanych dolnej warstwie podbudowy, zaś powolne odkształcenia mieszanki żwirowo-emulsyjnej nie powodują pęknięć podbudowy.

Duże ziarna stykają się ze sobą bezpośrednio i kąt tarcia wewnętrznego jest tak samo duży po, jak i przed dodaniem emulsji. Przyjmuje się, że minimalny kąt tarcia wewnętrznego dla GE powinien wynosić najczęściej co najmniej 35⁰ (minimum absolutne 33⁰).

Zachowanie wysokiej wartości kąta tarcia wewnętrznego powoduje, że GE jest odporna na koleinowanie. Zjawisko to, podobnie jak i pełzanie, praktycznie nie występuje. Wykonano próby na odcinkach o ruchu bardzo ciężkim (RN 506 w dolinie Chamonix i

CD 54 Ivry w regionie Paryża). Materiał ten można stosować bez przeszkód nawet na znacznych wzniesieniach. Znane są przykłady wielokilometrowych odcinków o spadku 22%. [11]

Pod wpływem obciążeń statycznych zachodzą jedynie niewielkie odkształcenia. Emulsja asfaltowa o kontrolowanym czasie rozpadu stosowana w ilości 6 % w stosunku do kruszywa 0/20 0/14 a nawet 0/10 zapewnia mieszance odpowiednią kohezję bez osłabienia tarcia wewnętrznego. W wyniku tego właściwie zagęszczona mieszanka żwirowo-emulsyjna nie deformuje a jedynie dostosowuje się do odkształceń podbudowy. Szczególnie dobrze mieszanka żwirowo-emulsyjna dostosowuje się do powolnych odkształceń podbudowy i jej użycie jest specjalnie wskazane w miejscach, gdzie grunty mogą się odkształcać.

1.3 Cechy szczególne

Mieszanki mineralno-emulsyjne są jednym z lepszych rozwiązań, które są stosowane do ulepszania właściwości mieszanek żwirowo-piaskowych (pospółkowych) zawierających największą zawartość składników nie kruszonych. Korzystanie z przewoźnych wytwórni sprawia, że produkcja mieszanki żwirowo-emulsyjnej jest opłacalna.

Mieszanka żwirowo-emulsyjna może być układana w warstwach różnej grubości i jest ona odpowiednia zarówno do warstw dużej grubości, jak i do konstrukcji wielowarstwowych.

Po wyrównaniu nawierzchni wykonanej z mieszanki żwirowo-emulsyjnej ruch pojazdów może być dopuszczony natychmiast.

Dzięki temu istnieją możliwości :

- a) przejazdu ciężarówek z materiałami na miejsce budowy po budowanej nawierzchni,
- b) utrzymania ciągłości ruchu pojazdów; często mieszanki mineralno-emulsyjne są kładzione bez zatrzymywania ruchu,
- c) otwarcia ruchu wkrótce po położeniu mieszanki żwirowo-emulsyjnej a także na okres przed położeniem warstwy ścieralnej.

Inną cechą charakterystyczną mieszanek mineralno-emulsyjnych jest zdolność do zatrzymywania (nie przenoszenia) spękań z dolnej warstwy stabilizowanej cementem lub innym spoiwem hydraulicznym.

Mieszanka żwirowo-emulsyjna może być magazynowana przez kilka miesięcy, co umożliwia wyprodukowanie jej na zapas i stosowanie w razie potrzeby.

1.4 Zastosowanie mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE

Mieszanka żwirowo-emulsyjna GE jest odpowiednia do budowy i utrzymania nawierzchni drogowych. Jest stosowana niemal we wszystkich pracach drogowych. W budowie nowych nawierzchni : do górnej i dolnej warstwy podbudowy, a także do warstwy wiążącej.

W robotach utrzymaniowych do napraw cząstkowych, remontów kapitalnych, poprawy geometrii itp.

1.5 Mieszanka żwirowo-emulsyjna GE w nawierzchni

Tak jak inne mieszanki mineralno-bitumiczne również mieszanki mineralno-emulsyjne mogą być stosowane jako jedna lub 2 - 3 warstwy. Głównie ich zastosowanie jest jednak w nowych konstrukcjach wielowarstwowych oraz do napraw.

Mieszanka żwirowo-emulsyjna GE jest jednym z najlepszych materiałów do budowy górnej warstwy podbudowy. Zalecane jest 100 % zagęszczenie takiej warstwy, aby zapewniona była odpowiednia nośność.

Dolna warstwa podbudowy takiej nawierzchni powinna być wykonana ze żwirów, jeśli grunt ma małą nośność. Będzie to ułatwiało odwodnienie nawierzchni. Skuteczny system odwodnienia umożliwia szybką eliminację przenikającej wody i redukuje zmiany nośności i ryzyko uszkodzeń występujące przy zamarzaniu.

Górna warstwa podbudowy z mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE i dolna ze żwiru niestabilizowanego stanowią optymalną konstrukcję nawierzchni.

Najczęściej stosowaną grubością mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE jest 8-15 cm. Czasami stosowana jest grubość 20-25 cm.

Częste zmiany temperatury nawierzchni są źródłem pęknięć skurczowych w warstwach wykonywanych z betonów cementowych.

Przeprowadzone kilka lat wcześniej prace wykazały, że rozwiązaniem tego problemu jest umieszczenie 8 cm warstwy wiążącej z mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE pomiędzy warstwą z betonu cementowego i warstwą ścieralną. Doświadczenie wskazuje, że pęknięcia skurczowe warstwy z betonu cementowego nie przenoszą się przez warstwę z mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE. Konstrukcje takie dobrze zachowują się przy obciążeniu każdym rodzajem ruchu, a szczególnie, gdy zastosowano żwiry piaszczyste, a asfalt do produkcji emulsji ma penetrację 180/220.

W nowych konstrukcjach lub przy pełnej przebudowie powyższe rozwiązanie pozwala uzyskać bardziej ekonomiczną strukturę nawierzchni niż struktury tradycyjne.

1.6 Zakres stosowania mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE

1.6.1 Ogólne zasady zastosowania mieszanki GE

Jeśli istniejąca warstwa ścieralna wymaga poprawy szorstkości i usunięcia deformacji nawierzchni, to należy wyrównać zdeformowaną nawierzchnię przed położeniem nowej warstwy ścieralnej. Mieszanka żwirowo-emulsyjna GE jest najodpowiedniejszym materiałem do wykonania powtórnego profilowania nawierzchni.

1.6.2 Zabiegi utrzymaniowe i naprawy cząstkowe

Naprawy cząstkowe obejmują prace o małym zakresie. Dlatego materiały mineralne otaczane emulsją są odpowiednie do takich prac. Używając mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE, mogą być wykonywane takie naprawy miejscowe jak wypełnianie ubytków w nawierzchni lub ponowne profilowanie krawędzi.

Naprawy lub nowe warstwy wykonane ze szczelnych mieszanek mineralno-emulsyjnych GE mogą być zamknięte powierzchniowym utwaleniem, natomiast wykonane z

otwartych mieszanek muszą być zamknięte przed zastosowaniem powierzchniowego utrwalenia.

Strategia utrzymania drogi o małym lub średnim ruchu i na której przewiduje się wzrost liczby ciężkich pojazdów może polegać na zastosowaniu kolejno powtórnego profilowania nawierzchni i powierzchniowego utrwalenia.

1.6.3 Poszerzenie drogi i poprawa geometrii

Kiedy poziom ruchu przekracza pewien próg, wtedy konieczne jest poszerzenie nawierzchni. Prace poszerzenia nawierzchni muszą uwzględniać nie tylko aktualny poziom ruchu ale i przewidywany jego średni wzrost.

Mieszanka żwirowo-emulsyjna jest odpowiednim materiałem do wykonywania prac poszerzeniowych ponieważ umożliwia:

- a) prawidłowe wykonywanie złączeń ze starą nawierzchnią,
- b) ułożenie poszerzenia na kilka dni przed warstwą ścieralną i otwarcie ruchu, co niweluje występujący efekt osiadania..

1.6.4 Wzmocnienie konstrukcji nawierzchni mieszanką żwirowo-emulsyjną GE

Kiedy wzrost obciążenia ruchem jest niewielki, wzmocnienie konstrukcji może być ograniczone do położenia nowej warstwy ilości 200 - 250 kg/m² mieszanki żwirowo-emulsyjnej. Na powierzchni tej warstwy wykonuje się powszechnie dwukrotne powierzchniowe utrwalenie.

Kiedy ruch wzrasta w poważnym stopniu lub kiedy wykonanie wzmocnienia opóźnia się, wtedy warstwa wzmacniająca mieszanki żwirowo-emulsyjnej powinna być grubsza - przynajmniej 300 kg/m². Zazwyczaj grubość warstwy określana jest w zależności od natężenia ruchu i ugięcia.

Jeśli wykonywana jest bitumiczna warstwa ścieralna na gorąco, wtedy grubość warstwy mieszanki żwirowo-emulsyjnej zmniejsza się o grubość tej warstwy bitumicznej.

2 Opracowanie kryteriów doboru materiałów do wykonania wzmocnień mieszanką GE

2.1 Dobór emulsji asfaltowej

2.1.1 Rodzaj emulsji

Rodzaj emulsji jest zasadniczym czynnikiem dla jakości mieszanki żwirowo-emulsyjnej. Przedstawiciel inwestora musi się oprzeć na wynikach badań laboratoryjnych przed podjęciem decyzji o przyjęciu emulsji proponowanej przez przedsiębiorstwo robót drogowych lub przed jej odrzuceniem i zażądaniem dostawy innej emulsji.

Własności mieszanki żwirowo-emulsyjnej mogą się znacznie różnić w zależności od emulsji. Zdecydowana większość emulsji stosowanych w technice mieszanki żwirowo-emulsyjnej to emulsje kationowe. Zapewniają one mieszance mniejszą wrażliwość na warunki pogodowe w okresie dojrzewania materiału.

Powinny to być emulsje wolnorozpadowe, aby zasadnicza część rozpadu następowała pomiędzy wyjściem materiału z mieszalnika a początkiem zagęszczania. Oznaczenia dotyczące właściwości emulsji zostały wyszczególnione w części "Badania cech fizycznych i mechanicznych".

Oznaczenia dotyczące emulsji (opisane w zeszycie 24 CPC) składają się między innymi z:

- a) pomiaru zawartości wody,
- b) oceny adhezji. Adhezja powinna być taka, aby 75% kruszywa pozostawało otoczone na końcu próby,
- c) oznaczenie pH.

2.1.2 Dobór rodzaju asfaltu i jego zawartość w mieszance GE

Asfalty używane do produkcji emulsji w zależności od potrzeb budowy należą do trzech następujących kategorii:

- a) asfalt 180/220, najczęściej stosuje się go na małych budowach dróg o niewielkim natężeniu ruchu, podobnie do poprawek przekroju poprzecznego, podbudów, poszerzeń jezdni lub pobocza. Jest to spowodowane lepszymi warunkami sklejenia z niższą warstwą, łatwiejszym rozkładaniem i zagęszczeniem mieszanki żwirowo-emulsyjnej.
- b) asfalt 80/100, jest to asfalt używany do budowy dróg o wysokim natężeniu ruchu,
- c) asfalt 40/50 jest generalnie zarezerwowany do budowy dróg o bardzo dużym natężeniu ruchu.

Przy doborze asfaltu należy uwzględnić jakość podłoża i klimat, a zwłaszcza temperaturę zewnętrzną (w szczególności należy wykluczyć stosowanie asfaltu 40/50 w klimacie szczególnie zimnym).

Zawartość asfaltu w mieszance powinna być określona dla poszczególnych robót na podstawie badań laboratoryjnych. Dla każdej założonej zawartości wypełniacza badania powinny być przeprowadzone dla trzech równych zawartości asfaltu. Ogólnie, według wytycznych z 1974 asfalt, powinien stanowić dodatek 3 do 4% mieszanki.

W przypadku zwiększonej ilości wypełniacza, zwiększona jest również ilość lepiszcza.

Norma NF P 98-121 określa minimalną ilość lepiszcza na:

- a) 4.2% dla typu 1,
- b) 3.2% dla typu 2,
- c) 3.8% dla typu 3.

2.1.3 Dobór emulgatora

W przypadku emulgatora jego dobór powinien opierać się na rodzaju kruszywa. W zależności od kwasowości kruszywa należy tak dobrać emulgator, aby po zastosowaniu go w emulsji i następnie emulsji w mieszance żwirowo-emulsyjnej GE, dało się ono otoczyć. Zbyt szybki rozpad emulsji nie jest wskazany.

W badaniach zastosowano następujące emulgatory do emulsji:

- a) Polyram L-80,
- b) Polyram SL,

c) Stabiram AD.

2.1.4 Woda do mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE

Woda zarobowa do ewentualnego użycia w procesie wytwarzania mieszanki żwirowo-emulsyjnej powinna być z wodociągów lub z własnego ujęcia. W wypadkach wątpliwych powinna być przebadana laboratoryjnie.

2.2 Dobór materiałów mineralnych

Pod pojęciem mieszanki mineralnej należy rozumieć mieszanekę naturalną lub nie, o uziarnieniu ciągłym składającą się z grysów, żwiru i piasku (piasek gruby i piasek drobny) zawierającego drobniejsze frakcje.

2.2.1 Maksymalny wymiar ziaren mieszanki mineralnej

Wytyczne francuskie charakteryzują to w następujący sposób:

dla kruszywa 0/D maksymalny wymiar ziarna D frakcji grubej wynosi normalnie:

- dla warstwy wiążącej nawierzchni bitumicznej $14 \text{ mm} < D < 20 \text{ mm}$
- dla warstwy wzmacniającej $14 \text{ mm} < D < 20 \text{ mm}$
- dla podbudowy nawierzchni bitumicznej $14 \text{ mm} < D < 31.5 \text{ mm}$

Te stosunkowo niewielkie wymiary maksymalne pozwalają uzyskać dobrą jednorodność co ułatwia wymieszanie i otoczenie jak również ogranicza segregację w trakcie poszczególnych operacji wytwarzania i wbudowywania. Jednocześnie, uziarnienie to pozwala na uzyskanie wymaganej gładkości.

W przypadku pospótek, żwirów kruszonych, które bardzo często nie mogą spełnić warunków stopnia przekruszenia kruszywa, dopuszcza się przyjęcie mniejszych maksymalnych wymiarów ziaren, jeżeli wskaźniki przekruszenia otrzymane dla wyżej opisanych wymiarów maksymalnych nie spełniają stosownych wymagań.

Norma francuska NF P 98-121 wyróżnia trzy typy mieszanki GE: typ 1 o uziarnieniu 0/10 lub 1/14 stosowany do korekt przekroju poprzecznego oraz typ 2 i 3 o uziarnieniu 0/10 i 1/14 lub 0/20 stosowane do dolnych warstw podbudowy.

Wytyczne hiszpańskie dla kruszywa 0/D przewidują maksymalny wymiar ziarna D frakcji grubej:

- dla warstwy wiążącej nawierzchni bitumicznej $20 \text{ mm} < D < 25 \text{ mm}$
- dla warstwy wzmacniającej $20 \text{ mm} < D < 25 \text{ mm}$
- dla podbudowy nawierzchni bitumicznej $25 \text{ mm} < D < 40 \text{ mm}$

Wytyczne hiszpańskie zawierają zbiorczą tabelę wymagań w stosunku do samego materiału w zależności od rodzaju jak również w stosunku do jego składników.

2.2.2 Krzywe uziarnienia

W Wytycznych francuskich i hiszpańskich podano przedziały dla poszczególnych frakcji (krzywe graniczne). Nowa norma francuska podaje krzywą optymalną bez narzucania ograniczeń.

2.2.2.1 Dobór krzywych uziarnienia

Określenie składu granulometrycznego mieszanki żwirowo-emulsyjnej następuje na podstawie studium laboratoryjnego według wskazań zawartych w drugiej części niniejszego opracowania.

Należy przyłożyć dużą wagę do starannej kontroli dobranego uziarnienia zarówno w trakcie wytwarzania kruszywa jak i jego mieszania w instalacji wytwórczej.

2.2.2.2 Podział na frakcje

Mieszanekę wytwarza się z dwóch lub trzech frakcji kruszywa.

Na przykład, dla mieszanki 0/20, kiedy kruszywo będzie dostarczane w dwóch rodzajach, najwygodniej jest podzielić na frakcje 0/6 i 6/20. Do wykonania warstw wiążących nawierzchni przewidzianych do ruchu ciężkiego podział na dwie frakcje będzie możliwy jedynie w przypadku sprawdzenia powtarzalności uziarnienia frakcji 0/6. W ogólnym przypadku zaleca się jednak podział na trzy frakcje to znaczy 0/4, 4/10 i 10/20. Inne sposoby podziału frakcji są możliwe do stosowania uwzględniając możliwie najlepiej następujące elementy:

- a) możliwość instalacji urządzeń do przesiewania piasku (problemy wynikające z zapychania się sit),
- b) konieczność, w celu zachowania ustalonej laboratoryjnie receptury, dodawania frakcji korygującej (uziarnienie, zawartość frakcji pyłowej lub inny stopień przekruszenia kruszywa),
- c) konieczność zrównoważenia wydatków poszczególnych dozowników kruszywa urządzenia wytwarzającego mieszanekę żwirowo-emulsyjną GE.

UWAGA: Można rozważyć stosowanie jednej frakcji pełnej np. 0/20 jedynie w przypadku nawierzchni drogi o bardzo małym ruchu KR1 i KR2 i pod warunkiem, że kruszywo ma regularne i odpowiadające wymaganiom krzywe uziarnienia.

2.2.2.3 Krzywe graniczne uziarnienia

Przypomina się definicje używanych krzywych granicznych uziarnienia:

Krzywe graniczne uziarnienia mieszanki mineralnej

- a) krzywe graniczne specyfikacji: określają strefę, w której powinny się znajdować krzywe uziarnienia mieszanki mineralnej.
- b) krzywe graniczne tolerancji: określone są jedynie przez swoją szerokość i powinny zawierać w sobie co najmniej 95% krzywych uziarnienia 0/D z kontroli produkcji mieszanki.

Docelowa teoretyczna krzywa uziarnienia 0/D, która znajduje się w środku krzywych granicznych tolerancji, zostanie określona na podstawie wytycznych zawartych w części: „Uziarnienie mieszanki mineralnej”.

Krzywe graniczne poszczególnych frakcji mieszanki mineralnej

- krzywe graniczne tolerancji: określają dla każdej frakcji maksymalne odchylenia od średniej krzywej uziarnienia. 95% krzywych uziarnienia z kontroli powinno spełniać ten warunek.
- krzywe graniczne uziarnienia produkcji: są to krzywe graniczne w których mieści się 95% krzywych uziarnienia określonych w czasie produkcji kruszywa (te krzywe graniczne powinny się mieścić wewnątrz krzywych granicznych tolerancji).

Po dokładnym określeniu wszystkich wymienionych krzywych granicznych, czyli znając średnie krzywe uziarnienia poszczególnych frakcji, można przystąpić do dozowania składników mieszanki mineralnej. Polega to na dobraniu proporcji tak, aby możliwie najbardziej zbliżyć się do krzywej 0/D określonej podczas badań laboratoryjnych

Piasek

Piasek o uziarnieniu 0/2, 0/4, i 0/6 mm powinien spełniać wymagania krzywych granicznych tolerancji podanych w tablicy 2.2.

Tablica 2.2 (wg WF)

Sito [mm]	Piaski		
	0/2	0/4	0/6
0.08	± 5	± 4	± 3
1.00	± 12	± 12	± 10
2.00	- 15	± 10	± 12
4.00		- 15	± 10
			- 15

Szczególną uwagę należy zwrócić na ograniczenie i kontrolę rozrzutu zawartości pyłów w piaskach. Typowe odchylenia zostaną określone na podstawie co najmniej 20 różnych próbek.

Grysy i żwiry

Grysy i żwiry do mieszanki żwirowo-emulsyjnej należy dobrać tak, aby granice frakcji należały do sit o następujących prześwitach oczek [mm]: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 20, 31.5. Jeżeli górne i dolne wartości są dwiema kolejnymi wartościami z tej listy, krzywe graniczne tolerancji kruszywa będą zdefiniowane następującymi warunkami:

- nie więcej niż 15% ziaren większych od dolnej granicy d',
- nie więcej niż 15% ziaren mniejszych od górnej granicy d,
- ziarna przechodzące przez d oraz odrzut od d' mniejszy od 25%.

Jeżeli d i d' są *dwiema nie kolejnymi wartościami*, krzywe graniczne tolerancji kruszywa będą zdefiniowane następującymi warunkami:

- nie więcej niż 10% ziaren większych od dolnej granicy d'

- nie więcej niż 10% ziaren mniejszych od górnej granicy d
- ziarna przechodzące przez d oraz odrzut od d' mniejszy od 18%.

2.2.3 Stopień przekruszenia kruszywa

Pomimo dodatkowych trudności powstających przy wytwarzaniu, a następnie przy zagęszczaniu kruszywa przekruszonego i łamanego, uważa się za konieczne stosowanie, przynajmniej w przypadku nawierzchni przenoszących duży ruch, kruszywa o wysokim stopniu przekruszenia (o wysokiej graniastości). Pozwala to na ograniczenie ryzyka powstawania kolein pod ruchem i na zapewnienie stabilności nawierzchni.

Pod względem stopnia przekruszenia wyróżnia się:

- kruszywa pochodzące z kamieniołomów skał litych: zalicza się do nich kruszywa i żwiry rzeczne tak, aby największy wymiar kruszywa naturalnego był co najmniej równy czterokrotności najmniejszego wymiaru kruszywa łamanego. Taki materiał nazywamy "całkowicie łamanym".
- inne pospółki i kruszywa rzeczne, dla których stopień połamania jest określony *wskaźnikiem przekruszenia*. Wskaźnikiem przekruszenia kruszywa 0/D nazywamy procentową zawartość w tym kruszywie elementów pochodzących ze skruszenia frakcji ponad D, występującej w kruszywie w postaci naturalnej. (Jeżeli przygotowanie kruszywa odbywa się w jednej kruszarce bez uprzedniego wyeliminowania jakichkolwiek frakcji, wskaźnik przekruszenia będzie równy procentowemu udziałowi ziaren większych od D zawartych w kruszywie w postaci naturalnej.).

Aby otrzymać materiał o maksymalnym stopniu przekruszenia kruszywa z materiału rzecznoego, należy go na wstępie rozdzielić na kilka frakcji (piasek, żwir, kamienie). Umożliwi to na przynajmniej częściowe wyeliminowanie piasku o zbyt gładkich ziarnach (odpiaszczenie). Następnie każda z frakcji zostaje skierowana do odpowiedniej kruszarki ustawionej w taki sposób, aby jak najmniej (lub wcale) kruszywa wchodzącego opuszczało ją bez skruszenia. W tym przypadku wskaźnik przekruszenia będzie określany osobno dla każdej z kruszarek, zaś ogólny wskaźnik przekruszenia mieszanki mineralnej będzie obliczany na podstawie ilości kruszywa opuszczającego poszczególne kruszarki.

Kruszywo o wskaźniku przekruszenia 100% ma niższy stopień przekruszenia od kruszywa całkowicie łamanego.

Tablica 2.3 określa rodzaje stosowanego kruszywa w zależności od zastosowania i od ruchu. Dla kruszywa niecałkowicie łamanego podano minimalne wartości wskaźnika przekruszenia. Przez ruch dzienny należy rozumieć "całkowitą ilość w obydwu kierunkach ruchu samochodów ciężarowych kategorii g i więcej (ładowność 5 t i więcej)".

Tablica 2.3 Stopień przekruszenia - wskaźnik skruszenia mieszanki

Ruch Całodzienny C > g	Kategoria ruchu	Wzmocnienie		Nowa nawierzchnia	
		Minimum	Zalecane	Warstwa wiążąca	Podbudowa na- wierzchni bit.
< 150	T3 - T4	> 25%	> 40%	> 25%	bez wymagań
150 do 600	T2 - T3	> 40%	> 60%	> 40%	> 25%
600 do 1000	T1	Konieczność specjalnych badań (*)		> 25%	
> 1000	T1	Konieczność specjalnych badań (*)		> 40%	

(*) Należy zwrócić szczególną uwagę na grubość warstwy ścieralnej

W przypadku niektórych kruszyw całkowicie łamanych, można napotkać trudności z osiągnięciem wymaganych parametrów (zagęszczalność). W takim wypadku można być zmuszonym do tolerowania dodatku 10% (w stosunku do całości mieszanki mineralnej) piasku o gładkich ziarnach (piasku pochodzącego z pokładów aluwialnych, który nie był dokruszany w kruszarce, piasek wydmowy).

2.2.4 Odporność na rozdrabnianie

Współczynnik Los Angeles powinien odpowiadać warunkom podanym w tabelicy 2.4 (wartości graniczne dotyczą wszystkich oznaczeń nie zaś wartości średniej).

Może wyniknąć potrzeba użycia piasków, bądź z tego samego źródła co kruszywo, bądź pochodzących z pokładów których grube frakcje spełnią warunki tabelicy 2.5.

MROZOOPDORNOŚĆ

Mrozoodporność oznaczana jest na podstawie zmiany współczynnika Los Angeles po 25 cyklach zamrażania - rozmrażania. Ta zmiana powinna być mniejsza od 20%.

Tabela 2.4 Maksymalne wartości dopuszczalne współczynników Los Angeles i Micro Deval+ w obecności wody

Ruch C > g	Wzmocnienie		Nawierzchnie nowe			
			Warstwa wiążąca		Podbudowa naw. asfalt	
	Los Angeles	Micro Deval + woda	Los Angeles	Micro Deval + woda	Los Angeles	Micro Deval + woda
< 150	30	25	30	25	40	30
150 - 600	25	15	30	25		30
> 600	Wymaga specjalnych badań (*)				40	30

(*) Należy zwrócić szczególną uwagę grubość warstwy ścieralnej

2.2.5 Zanieczyszczenie kruszywa

Wskaźnik piaskowy piasku 0/2 lub frakcji 0/2 piasków 0/d wynosi:

- ponad 45 jeżeli zawartość pyłu w tym piasku 0/2 jest mniejsza od 12%,
- ponad 40 jeżeli zawartość pyłu w tym piasku jest zawarta między 12 a 15%,
- ponad 35 jeżeli zawartość pyłu w tym piasku jest większa od 15%.

Zawartość części organicznych w kruszywie powinna być mniejsza od 0.2%.

2.2.6 Skład chemiczny kruszywa

Skład mineralny i rodzaj powierzchni kruszywa to ważne czynniki rozpadu emulsji i adhezji lepiszcza. Generalnie można dobrać emulsję dostosowaną do danego kruszywa i spełniającą warunki adhezji i prędkości rozpadu. Wybór emulsji może jednak w

szczególnych przypadkach pociągać za sobą stosunkowo długie terminy (badania laboratoryjne) rzędu miesiąca.

2.2.7 Wypełniacz mineralny

Uzyskanie wystarczającej zagęszczalności i odpowiednich właściwości mechanicznych materiału wymaga minimalnej zawartości wypełniacza. Zazwyczaj można to zapewnić używając więcej frakcji najdrobniejszej. Można również stosować dodatek wypełniacza.

Wypełniacz powinien mieć uziarnienie takie, aby co najmniej 80% zawartości przechodziło przez sito 0.08 mm i 100% przez sito 0.2 mm.

Stosowanie dodatku wypełniacza przy produkcji mieszanki żwirowo-emulsyjnej należy uznać za wyjątkowe ze względu na trudności jakie pociąga to za sobą na budowie.

Wytyczne hiszpańskie zawierają zbiorczą tabelę wymagań w stosunku do samego materiału w zależności od rodzaju jak również w stosunku do jego składników. Wyszczególnione są tam również rodzaje asfaltów w zależności od kategorii ruchu.

Tablica 2.5 Mieszanka GE - Wymagania hiszpańskie

Zastosowanie	Ruch	Kruszywo							Emulsja		Mieszanka GE	
		Uziarnienie	Maksymalny wymiar ziaren	Stopień przekruszenia	Ścieralność Los Angeles	Zawartość ziaren płaskich	Wskaźnik piaskowy	Wskaźnik plastyczności	Typ emulsji	Penetracja	Zachowanie wytrzymałości	Wytrzymałość
Górne warstwy	T0-T1	GEA-1	25 mm	>90	<25	<30	>50	brak	K3-K4	60/70	>75	>1000
	T2-T3	GEA-1	25 mm	>75	<30	<30	>40	brak	K3-K4	60/70 80/100	>50	>750
podbudowy	T4	GEA-1 GEA-2	40 mm	>50	<35	<35	>30	<10	K3-K4	80/100	>50	>500
Warstwy wzmocnienia	T0-T1	GEA-1	20 mm	>90	<25	<30	>50	brak	K3-K4	60/70	>75	>1000
	T2-T3	GEA-1	20 mm	>75	<30	<30	>40	brak	K3-K4	60/70 80/100	>50	>750
konstrukcji	T4	GEA-1 GEA-2	25 mm	>50	<35	<35	>30	<10	K3-K4	80/100	>50	>500
Dolne warstwy podbudowy	T0-T1-T2	GEA-1 GEA-2	40 mm	>50	<35	<35	>35	<10	K3-K4	80/100	>50	>500
	T3-T4	GEA-1 GEA-2	40 mm	-	<35	<35	>25	<10	K3-K4	150/200	>50	>500
Pobocza	T0-T1-T2	GEA-1 GEA-2	40 mm	>50	<40	<40	>35	<10	K3-K4	80/100	>50	>500
	T3-T4	GEA-1 GEA-2	40 mm	-	<35	<35	>25	<10	K3-K4	150/200	>50	>500

3 Opracowanie metodyki projektowania składu mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE

3.1 Uziarnienie mieszanki mineralnej

Według wytycznych francuskich krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej 0/D powinna odpowiadać wymaganiom określonym w tabelicy 3.1.

Tabela 3.1 Krzywe uziarnienia

Mieszanka	Sito #, mm	Przechodzi, % (m/m)
GE 0/20	6.00	48 do 61
	2.00	31 do 44
	0.50	17 do 26
GE 0/31.5	6.00	52 do 58
	2.00	27 do 36
	0.50	14 do 23

Dla robót wykonywanych bez obciążenia ruchem obowiązuje całość obszaru określonego przez krzywe graniczne. Dla robót wykonywanych pod ruchem zaleca się aby krzywa 0/D była zawarta w przedziale 2 mm w górnych 2/3 przedziałów określonych w tabelicy 5. Pozwala to uniknąć wyrwań które mogą być spowodowane przez pojazdy jeżdżące po warstwie mieszanki mineralno-emulsyjnej. Przedziały podane w tej tabeli nie odpowiadają tolerancji produkcji, lecz określają granice w których powinna się znajdować teoretyczna krzywa uziarnienia 0/D.

Według wytycznych hiszpańskich krzywa 0/D powinna odpowiadać wymaganiom określonym w tabelicy 3.2.

Tabela 3.2 Krzywe uziarnienia

Sito UNE	GEA-1	GEA-2
40		100
25	100	80-100
20	80-100	65-90
10	50-80	45-75
5	30-60	30-60
2.5	20-45	20-45
0.63	10-25	10-25
0.32	8-20	8-20
0.16	5-15	5-15
0.08	3-12	3-12

Norma francuska NF P 98-121 zakłada wyjściowe uziarnienia mieszanek GE zestawione w tabelicy 3.3

Tabela 3.3 Uziarnienia mieszanek GE wg NF P 98-121

Mieszanka GE Procent przechodzący przez oczka #mm	Typ 1		Typ 2 i 3		
	0/10	0/14	0/10	0/14	0/20
20	-	-	-	-	95
14	-	95	-	95	-
10	95	-	95	-	-
6.3	60	60	55	58	55
2	40	40	38	36	33
0.5	19	19	18	18	17
0.08	7	7	7	7	6

3.2 Zawartość wypełniacza

Zawartość wypełniacza ustalana jest dla konkretnych robót w trakcie badań laboratoryjnych, które powinny dotyczyć co najmniej dwóch przypadków zawartości pyłów. W zasadzie według wytycznych francuskich zawartość wypełniacza powinna mieścić się w następujących przedziałach:

- mieszanka mineralno-emulsyjna do warstwy wiążącej : 4 do 8%,
- mieszanka mineralno-emulsyjna do podbudowy : 3 do 7%.

W badaniach należy uwzględnić wartości skrajne tych przedziałów ze względu na rozrzut zawartości wypełniacza w kruszywie używanym na budowie.

Jak to widać w tablicy 7 nastąpiła zmiana w podejściu do mieszanki GE i zakłada się większą zawartość wypełniacza w mieszance tzn. ok. 7%.

3.3 Emulsja asfaltowa

3.3.1 Rodzaj emulsji asfaltowej

Oznaczenia dotyczące emulsji (opisane w zeszycie 24 CPC) składają się między innymi z:

- a) pomiaru zawartości wody,
- b) oceny adhezji. Adhezja powinna być taka, aby co najmniej 75% powierzchni kruszywa pozostawało otoczone na końcu próby,
- c) oznaczenie pH.

3.3.2 Zawartość asfaltu w mieszance GE

Zawartość asfaltu w mieszance powinna być określona dla poszczególnych robót na podstawie badań laboratoryjnych. Dla każdej założonej zawartości wypełniacza badania powinny być przeprowadzone dla trzech równych zawartości asfaltu. Ogólnie, według wytycznych z 1974 asfalt, powinien stanowić dodatek 3 do 4% mieszanki.

3.4 Metodyka projektowania składu mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE

3.4.1 Zakres badań

Znaczenie wpływu rodzaju emulsji na właściwości mieszanki mineralno-emulsyjnej może spowodować konieczność wykonania testów laboratoryjnych z wieloma rodzajami emulsji. Aby otrzymać wyniki w możliwie krótkim terminie, badania ograniczają się do próby zanurzania - ściskania (tzw. próba Duriez w 18⁰C) zawierająca określenie:

- zagęszczalności LCPC (pomiar geometryczny),
- wytrzymałość na ściskanie przy 18⁰C,
- stosunek zanurzenie – ściskanie.

Te próby muszą być wykonywane zgodnie z instrukcją LCPC.

3.4.2 Właściwości

Mieszanka mineralno-emulsyjna 0/12 i 0/16 wykonywane z surowców określonych w części pierwszej, ze składników opisanych w części drugiej, powinny w czasie badań laboratoryjnych wymagania opisane w tabelicy 3.4.

Tabela 3.4 Wymagania wg wytycznych 1974

Próba zanurzania-ściskania w 18 st C	Warstwa wiążąca lub podbudowa
Zagęszczalność LCPC	> 85%
Wytrzymałość na ściskanie [bary]	
- z asfaltem 180/220	> 20
- z asfaltem 80/100	> 30
- z asfaltem 40/ 50	> 40
Stosunek zanurzenie-ściskanie	> 0.55

Według NF P 98-121 wykonuje się próbę Duriez (NF P 98-251-4). Wymagania NF P 98-121 zestawiono w tabelicy 3.5.

Tabela 3.5 Wymagania wg NF P 98-121

Próba Duriez (NF P 98-251-4)	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Procentowa zawartość wolnych przestrzeni	-	<15%	<13%
Wytrzymałość na ściskanie (MPa)			
- z asfaltem 180/220	-	>2	>2.5
- z asfaltem 70/100	-	>3	>3.5
- z asfaltem 50/70	-	>3.5	>4
- innym lepiszczem	-	>4	>4
Stosunek zanurzenie-ściskanie R/r	>0.55		

3.5 Dobór składu mieszanki

Skład granulometryczny, ilość wypełniacza, zawartość lepiszcza i rodzaj emulsji to czynniki które pozwolą na możliwie najlepsze spełnienie warunków podanych w tabelicach 3.3 i 3.5.

W przypadku wahania, przed ostateczną decyzją o wyborze, należy oprzeć się na następujących uwagach:

- Aby otrzymać jednocześnie wytrzymałość na zmęczenie i odporność na tworzenie się kolein trzeba aby zagęszczalność, *absolutnie konieczna*, została uzyskana dzięki dobrze dobranemu uziarnieniu mieszanki (granulometria, zawartość wypełniacza) przy niewielkiej zawartości lepiszcza. Należy więc zwrócić szczególną uwagę na mieszanki o uziarnieniu zapewniającym mały procent wolnych przestrzeni aby, mimo niewielkiego wypełnienia lepiszczem, ich zagęszczalność była wystarczająca (umożliwiając jednak eliminację wody w trakcie zagęszczania).
- W celu uwzględnienia nieregularności normalnych w trakcie produkcji i zagęszczania, zawsze jest lepiej wybrać skład mieszanki tak, aby zagęszczalność w pierwszym rzędzie i wytrzymałość mechaniczna w drugim ulegały możliwie małym zmianom gdy zmieniają się parametry techniczne składu materiału, nawet jeżeli końcowe właściwości mechaniczne, maksymalne będą nieco gorsze.
- Należy uwzględnić zdobyte doświadczenie, tak w stosowaniu na placu budowy jak i późniejszym zachowaniu się mieszanki żwirowo-emulsyjnej.

4 Zaprojektowanie składu typowych mieszanek GE o uziarnieniu 0/12 mm i 0/16 mm metodą Duriez

4.1 Zakres stosowania

Niniejsza instrukcja określa metodę badania mieszanek żwirowo-emulsyjnych na zimno typu GE i ma na celu określenie wytrzymałości na ściskanie próbek bez i z zanurzeniem w wodzie dla danych warunków zagęszczania i temperatury.

Metoda ta pozwala również na określenie ilości wolnych przestrzeni.

Badania dotyczą mieszanek o frakcji 0-16 maksimum (badanie mieszanek o frakcji do 0-31.5 wymaga zastosowania większych form).

4.2 Podstawowe określenia i skróty

Skróty :

Z_L	Zawartość lepiszcza : masa lepiszcza w mieszance pomnożona przez 100 i odniesiona do masy suchego kruszywa, % (m/m)
W	Całkowita zawartość wody : całkowita masa wody w próbce pomnożona przez 100 (woda z emulsji + woda dodana + woda z kruszywa) odniesiona do masy suchego kruszywa + asfalt,
ρ_p	Gęstość strukturalna określona na podstawie ważenia w wodzie, g/cm^3
ρ_k	Gęstość pozorna kruszywa, g/cm^3
ρ_{ma}	Gęstość mieszanki mineralno-bitumicznej, g/cm^3
P	Procentowa zawartość wolnych przestrzeni, % (v/v)
% V_L	Zawartość wolnych przestrzeni wypełnionych przez lepiszcze, % (v/v)
t	Temperatura badania: temperatura przechowywania próbek bez zanurzenia, $^{\circ}C$
R	Wytrzymałość na ściskanie w temperaturze t $^{\circ}C$ przy prędkości przesuwu tłoka 1 mm/s, po 15 dniach kondycjonowania próbek, MPa
r	Wytrzymałość na ściskanie w temperaturze t $^{\circ}C$ przy prędkości przesuwu tłoka 1 mm/s, po 15 dniach kondycjonowania próbek w tym 7 w zanurzeniu w wodzie, MPa
r/R	Odporność na działanie wody: stosunek pomiędzy wytrzymałością na ściskanie po zanurzeniu w wodzie a wytrzymałością na ściskanie po kondycjonowaniu próbek bez zanurzania, MPa

4.3 Zasada badania

Próbki do badania (12 szt.) zagęszcza się poprzez dwustronne ściskanie statyczne pod prasą. Dwie próbki są przeznaczone do oznaczania gęstości pozornej poprzez ważenie w wodzie, co służy do określania ilości wolnych przestrzeni w mieszance.

Pozostałych 10 próbek służy do wykonania badania na ściskanie po przechowywaniu 5 próbek w powietrzu i 5 zanurzonych w wodzie.

4.4 Sprzęt stosowany do badań

4.4.1 Formy

Do badania konieczny jest komplet co najmniej 12 metalowych form cylindrycznych o wewnętrznej średnicy $80 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ i o minimalnej wysokości 190 mm. Tłoki powinny mieć wymiar $79.8 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$. Na tłokach powinny znaleźć się nacięcia o głębokości 1 mm i szerokości 2 mm służące do odprowadzania wody w czasie zagęszczania. W takich formach można przygotować próbki do badań mieszanki o uziarnieniu do 16 mm.

4.4.2 Prasa

Prasa do zagęszczania: o obustronnym nacisku i zakresie 0 -100 kN. Należy zwrócić uwagę, że w wielu modelach pras konieczne jest umieszczanie rozpórki pomiędzy formą a kołnierzem tłoka. Jest to konieczne w trakcie napełniania form. Po usunięciu rozpórek ściskanie jest dwustronne. Prasa ta musi mieć możliwość utrzymania stałego nacisku przez 5 min.

Prasa do ściskania: o zakresie 0 - 100 kN i prędkości przesuwu tłoka 1 mm/s.

4.5 Przygotowanie próbek

4.5.1 Warunki przygotowania próbek

Próbki należy przygotowywać w laboratorium przez wymieszanie w mieszalniku laboratoryjnym przez 30 sekund. Próbki mieszanki GE wykonuje się w temperaturze otoczenia, tzn. $18-20^{\circ}\text{C}$.

4.5.2 Wypełnienie form

Do form należy wsypać mieszankę odważoną w takiej ilości, aby po odparowaniu wody jej masa wynosiła około 1000 g. Wielkość odważki w gramach oblicza się z następującego wzoru:

$$M = 1000 (1+W) \text{ g} \pm 1 \text{ g}$$

Próbkę należy wsypać do formy w jednej porcji najwcześniej po 15 minutach a najpóźniej po 1 godzinie po wymieszaniu.

4.5.3 Zagęszczenie próbek

Zagęszczanie próbek powinno być dwustronne. Dla próbek o uziarnieniu do 0-16 mm należy przyłożyć siłę $60 \text{ kN} \pm 0.5 \%$. Siła ta powinna zostać osiągnięta w czasie maksimum 60 s i utrzymana przez 300 do 305 sekund. Próbki powinny zostać rozformowane między 12 a 24 godziną po zagęszczeniu.

4.6 Wykonanie badania

4.6.1 Sprawdzenie próbek

Po rozformowaniu próbki są numerowane i ważone z dokładnością do 1 g.

4.6.2 Dojrzewanie próbek

Próbki dojrzewają przez 7 dni w temperaturze 18°C przy wilgotności względnej powietrza $50\% \pm 10\%$.

Następnie próbki są ważone z dokładnością do 1 g.

4.6.3 Podział próbek

2 próbki służą do określania ρ_p (na podstawie ważenia w wodzie).

5 próbek służy do przechowywania w zanurzeniu

5 próbek służy do przechowywania w powietrzu.

4.6.4 Próba ściskania prostego

W dniu D+15 następuje próba ściskania prostego w temperaturze 18°C niezależnie od sposobu przechowywania próbki od dnia D+8 do D+15.

Prędkość poruszania się tłoka powinna wynosić $1 \text{ mm/s} \pm 0.1 \text{ mm/s}$. Wytrzymałość na ściskanie określana jest na podstawie maksymalnej siły przy zginiataniu próbki.

4.7 Wyniki badań

4.7.1 Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie jest stosunkiem maksymalnej siły przy zginiataniu próbki do pola powierzchni kołowego przekroju próbki. Wytrzymałość na ściskanie jest wyrażana w megapascalach.

5 Wymagania dla mieszanki żwirowo-emulsyjnej (grave-emulsion)

5.1 Typy mieszanek GE

Wyróżnia się trzy podstawowe typy mieszanki GE

Tablica 5.1 Rodzaje GE (grave-émulsion)

Typ	Zastosowanie	Uziarnienie
1	GE do wypełnień, kolein, korekt przekroju poprzecznego	GE1/10, GE1/12.8
2	GE do dolnych warstw podbudowy	GE2/10, GE2/12.8, GE2/16
3	GE do górnych warstw podbudowy lub warstw wiążących na drogach o lekkim ruchu	GE3/10, GE3/12.8, GE3/16
4	GE do wzmocnienia nawierzchni	GE3/16, GE3/20

5.2 Uziarnienie

W tablicy 5.2 podano 5 krzywych optymalnego uziarnienia mieszanek mineralnych do mieszanki GE. Na wzór normy francuskiej NF P 98-121 w wymaganiach nie podano krzywych granicznych lecz jedynie krzywą optymalną. Projektowanie krzywej polega na możliwie bliskim jej odtworzeniu, przy czym najistotniejsze są punkty na sicie 0.075, 0.5 i 2.0 mm. Nie określa się dopuszczalnego odchylenia od krzywej optymalnej ze względu na wpływ rodzaju emulsji i innych czynników.

Tablica 5.2 Uziarnienie mieszanki GE

Mieszanka GE Przechodzi przez sito	Typ 1		Typ 2 i Typ 3		
	GE1/10	GE1/12.8	GE2/10 GE3/10	GE2/12,8 GE3/12,8	GE2/16 GE3/16
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
16	-	-	-	-	85
12.8	100	95	100	95	-
10	95	-	95	-	-
6.3	60	60	55	58	55
2	40	40	38	36	33
0.5	19	19	18	18	17
0.075	7	7	7	7	6

5.3 Minimalna ilość lepiszcza

Minimalna ilość lepiszcza wynosi dla mieszanki GE:

typu 1: 4.4%

typu 2: 4,0%

typu 3: 3.6%

Maksymalną ilość lepiszcza ogranicza wymaganie wytrzymałości na ściskanie R .

5.4 Właściwości mechaniczne

Wymagania mechaniczne określone przez wytrzymałość na ściskanie metodą Duriez oraz zawartość wolnej przestrzeni dla poszczególnych typów mieszanek podano w tablicy 5.3.

Tablica 5.3 Wymagania dla mieszanki GE

Próba Duriez	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Zawartość wolnej przestrzeni, % v/v	<12	<15	<13
Wyrzymałość na ściskanie R, MPa			
Próbki z: - asfaltem D 200 (180/220)	>2,8	>2	>2,5
- asfaltem D 100 (70/100)	>3,8	>3	>3,5
- asfaltem D 70 (50/70)	>4,5	>3,5	>4
- innym lepiszczem	>4,5	>4	>4
Stosunek wytrzymałości r/R	>0,55		

Poszczególne typy mieszanki GE muszą spełniać wymagania podane w tablicy 5.3.

Metoda przygotowania próbek, warunki oznaczenia wytrzymałości na ściskanie oraz znaczenie skrótów zostały opisane w punkcie 5 niniejszego opracowania.

6 Opracowanie receptur mieszanki żwirowo-emulsyjnej (grave-emulsion)

6.1 Kruszywo

Do badań użyto następujące kruszywa:

- kruszywo bazaltowe z Wilkowa,
- kruszywo dolomitowe z Siewierza,
- kruszywo pomiedziowe z Głogowa

Skład granulometryczny wszystkich wymienionych kruszyw został oznaczony w laboratorium IBDiM.

6.1.1 Bazalt z Wilkowa

Cztery frakcje kruszywa bazaltowego poddano analizie sitowej, której wyniki zestawiono w tablicy 6.1.

Tablica 6.1 Uziarnienie kruszyw bazaltowych z Wilkowa

Przechodzi przez sito	0/4	2/5	5/8	8/11
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
16	-	-	-	100
12.8	-	-	-	98,9
10	-	-	100	52,1
6.3	100	100	37,5	2,2
4	86,0	69,1	1,2	1,1
2	60,8	6,6	-	-
0.5	38,57	-	-	-
0.075	11,0	0,5	0,4	0,4

Gęstość rzeczywista kruszywa bazaltowego ρ_k wynosi 3,00 g/cm³.

Skomponowano mieszankę mineralną (oznaczonej MB) o składzie zbliżonym do zalecanych krzywych uziarnienia GE 2/12,8 i GE3/12,8.

Mieszanka MB

0/4	50%
2/5	10%
4/8	10%
8/11	30%

6.1.2 Kruszywo pomiedziowe z Huty miedzi z Głogowa

Trzy frakcje kruszywa pomiedziowego z Głogowa poddano analizie sitowej, której wyniki zestawiono w tablicy 6.2.

Tablica 6.2 Uziarnienie kruszywa pomiedziowego z Głogowa

Przechodzi przez sito	0/4	2/8	6,3/12,5
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
16	-	-	100
12.5	-	-	96,7
10	-	100	48,2
6.3	100	66,7	1,4
4	97,5	7,4	0,2
2	68,7	0,6	-
0.5	24,1	-	-
0.075	5,7	0,4	0,2

Gęstość rzeczywista kruszywa ρ_k wynosi 3,070 g/cm³.

Skomponowano mieszankę mineralną (oznaczonej MPm) o składzie zbliżonym do zalecanych krzywych uziarnienia GE 2/12,8 i GE3/12,8.

Mieszanka MPm

wypełniacz (mączka wapienna)	4 %
0/4	22 %
2/8	24 %
6,3/12,8	22 %

6.1.3 Kruszywa dolomitowe z Siewierzy

Analizie sitowej poddano trzy frakcje kruszywa dolomitowego z Sandomierza. Wyniki zestawiono w tablicy 6.3.

Tablica 6.3 Uziarnienie kruszywa dolomitowego z Sandomierza

Przechodzi przez sito	0/4	4/8	8/16
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
16	-	-	100
12,8	-	-	64,2

Przechodzi przez sito	0/4	4/8	8/16
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
10	100	100	19,6
8	99,7	86,3	4,6
6,3	99,3	61,2	1,2
4	98,2	25,9	0,7
2	71,6	7,4	-
0,5	32,2	2,6	-
0,075	6,0	2,5	0,7

Gęstość rzeczywista kruszywa ρ_k wynosi 2,790 g/cm³.

Skomponowano mieszankę mineralną (oznaczonej MD) o składzie zbliżonym do zalecanych krzywych uziarnienia GE 2/12,8 i GE3/12,8.

Mieszanka MD

0/4	45 %
4/10	30 %
10/12,8	25 %

6.2 Dobór emulsji asfaltowej

Na podstawie laboratoryjnych prób oznaczenia rozpadu emulsji asfaltowej na drobnych frakcjach badanych kruszyw wytypowano spośród szeregu wykonanych emulsji asfaltowych wybrano 2 emulsje, emulsje: A i B.

Emulsje A, B, C i D wykonano w młynku laboratoryjnym i przeprowadzono badania. Skład emulsji podano w tablicy 6.4. Wyniki zestawiono w tablicy 6.5.

Tablica 6.4 Skład emulsji asfaltowych

Lp.	Składnik	Zawartość składnika w emulsji, g			
		Emulsja A	Emulsja B	Emulsja C	Emulsja D
1	Asfalt D-100 Płock	62,5	63,7	61,3	61,1
2	Emulgator Polyram L-80	0,9	-	0,7	-
3	Emulgator Polyram SL	-	0,9	-	0,7
4	Woda	do 100	do 100	do 100	do 100

Badania emulsji przeprowadzono według Warunków Technicznych „Drogowe kationowe emulsje asfaltowe EmA-99”, Seria „I”, Zeszyt 60, IBDiM, Warszawa 1999 r.

Tablica 6.5 Wyniki badań emulsji A i B

Lp.	Właściwość	Wyniki badań emulsji				Wymagania wg EmA-99
		A	B	C	D	
1	Zawartość lepiscza, % (m/m)	63,7	64,9	62,5	62,0	54-66
2	Lepkość BTA ϕ 4 mm	8,0	7,5	6,0	8,0	< 15

3	Pozostałość na sicie # 0,50 mm	0	0	0	0	< 0,10
4	Pozostałość na sicie # 0,16 mm	0,01	0,2	0,4	0,2	< 0,25
5	Indeks rozpadu, g/100g	189,2	190,0	156	148	> 120
6	Sedymentacja, % (m/m)	0,1	0,2	0,4	0,2	< 5,0
7	Stopień otoczenia kruszywa:					
	bazaltowego,	100	90	90	80	≤ 85
	pomiedziowego,	100	80	90	70	
	dolomitowego	90	100	80	80	

Do dalszych badań wybrano emulsje A i B, które wykazały się najlepszym stopniem pokrycia kruszywa. Emulsja A zastosowana została do mieszanki z kruszywem bazaltowym i pomiedziowym, natomiast emulsja B do mieszanki z kruszywem dolomitowym.

7 Wykonanie próbek mieszanki GE w laboratorium i przeprowadzenie badań cech fizycznych i mechanicznych

7.1 Wytrzymałość metodą Duriez

7.1.1 Badanie mieszanki GE na bazalcie z Wilkowa (MB 0/12 mm)

7.1.1.1 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 3,6 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MB oraz emulsję asfaltową A. Skład mieszanki GE podano w tablicy 7.1.

Tablica 7.1 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, cz. wag.
kruszywo bazaltowe, mieszanka MB	100
STABIRAM AD (8 % roztwór wodny)	1,0
emulsja A	5,9
woda zarobowa	1,7
zawartość asfaltu	3,6

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.2 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.2 Wyniki badań mieszanki MB-3,6

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm ³	% (v/v)	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	-	-	3,3	-	2,637
2	2	moczone	-	-	3,6	-	3,055
3	3	moczone	-	-	4,0	-	3,105
4	4	moczone	-	-	3,4	-	3,085
5	5	moczone	-	-	3,8	-	3,732
6	6	w powietrzu	2,428	13,4	3,1	2,757	-

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
7	7	w powietrzu	2,410	14,0	2,3	3,573	-
8	8	w powietrzu	2,415	13,9	2,6	3,603	-
9	9	w powietrzu	2,417	13,8	3,3	3,961	-
10	10	w powietrzu	2,421	13,7	3,0	4,080	-
11	11	-	-	-	-	-	-
12	12	-	-	-	-	-	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.3.

Tablica 7.3 Wyniki badań mieszanki MB-3,6

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	V_L	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (m/m)	-
1	2,418	2,804	38,3	0,87

7.1.1.2 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,0 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MB oraz emulsję asfaltową A. Skład mieszanki GE podano w tablicy 7.4.

Tablica 7.4 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, cz. wag.
kruszywo bazaltowe, mieszanka MB	100
STABIRAM AD (8 % roztwór wodny)	1,0
woda zarobowa	1,8
emulsja A	6,5
zawartość asfaltu	4,0

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.5 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.5 Wyniki badań mieszanki MB-4,0

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm ³	% (v/v)	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	-	-	3,1	-	2,866
2	2	moczone	-	-	3,1	-	2,697
3	3	moczone	-	-	2,5	-	2,607
4	4	moczone	-	-	2,6	-	2,657
5	5	moczone	-	-	3,9	-	3,384
6	6	w powietrzu	2,425	12,9	2,2	2,717	-
7	7	w powietrzu	2,417	13,2	3,5	3,155	-
8	8	w powietrzu	2,429	12,7	2,8	3,583	-
9	9	w powietrzu	2,429	12,7	4,2	2,289	-
10	10	w powietrzu	2,414	13,3	-	-	-

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
11	11	w powietrzu	2,428	12,8	3,2	2,488	-
12	12	w powietrzu	2,425	12,9	3,4	2,438	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tabelicy 7.6.

Tabela 7.6 Wyniki badań mieszanki MB-4,0

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	V_L	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (m/m)	-
1	2,424	2,784	57,9	1,02

7.1.1.3 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,4 %

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MB oraz emulsję asfaltową A. Skład mieszanki GE podano w tabelicy 7.7.

Tabela 7.7 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, cz. wag.
kruszywo bazaltowe, mieszanka MB	100
STABIRAM AD (8 % roztwór wodny)	1,5
woda zarobowa	1,8
emulsja A	7,2
zawartość asfaltu	4,4

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tabelicy 7.8 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tabela 7.8 Wyniki badań mieszanki MB-4,4

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm ³	% (v/v)	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	-	-	3,3	-	3,842
2	2	moczone	-	-	3,6	-	3,433
3	3	moczone	-	-	3,6	-	4,130
4	4	moczone	-	-	2,7	-	3,762
5	5	moczone	-	-	2,6	-	3,483
6	6	w powietrzu	2,438	11,8	3,5	3,881	-
7	7	w powietrzu	2,437	11,8	2,3	3,633	-
8	8	w powietrzu	2,437	11,8	2,4	3,404	-
9	9	w powietrzu	2,430	12,1	2,8	4,230	-
10	10	w powietrzu	2,421	12,4	2,4	3,334	-
11	11	w powietrzu	2,418	12,5	3,1	3,155	-
12	12	w powietrzu	2,423	12,3	2,6	2,607	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.9.

Tablica 7.9 Wyniki badań mieszanki MB-4,4

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	V_L	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (m/m)	-
1	2,429	2,764	65,5	1,08

7.1.2 Badanie mieszanki GE na kruszywie pomiedziowym (MPm 0/12 mm)

7.1.2.1 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 3.6 %

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MMPm oraz emulsję asfaltową A. Skład mieszanki GE podano w tablicy 7.10.

Tablica 7.10 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, cz. wag.
kruszywo pomiedziowe, mieszanka MPm	100
STABIRAM AD	1,0
woda zarobowa	1,8
emulsja A	5,9
zawartość asfaltu	3,6

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.11 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.11 Wyniki badań mieszanki MPm-3,6

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm ³	% (v/v)	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	-	-	3,1	-	1,742
2	2	moczone	-	-	3,0	-	1,801
3	3	moczone	-	-	3,0	-	2,000
4	4	moczone	-	-	3,5	-	1,742
5	5	moczone	-	-	3,9	-	1,791
6	6	w powietrzu	2,518	12,1	4,2	3,633	-
7	7	w powietrzu	2,509	12,5	4,0	3,503	-
8	8	w powietrzu	2,507	12,5	3,8	3,304	-
9	9	w powietrzu	2,494	13,0	3,7	3,583	-
10	10	w powietrzu	2,508	12,5	3,6	3,633	-
11	11	w powietrzu	2,488	13,2	3,4	3,503	-
12	12	w powietrzu	2,509	12,5	4,0	3,503	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.12.

Tablica 7.12 Wyniki badań mieszanki MPm-3,6

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	V_L	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (m/m)	-
1	2,505	2,866	56,2	0,51

7.1.2.2 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,0 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MPm oraz emulsję asfaltową A. Skład mieszanki GE podano w tablicy 7.13.

Tablica 7.13 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, cz. wag.
kruszywo pomiedziowe, mieszanka MPm	100
STABIRAM AD	1,0
woda zarobowa	1,8
emulsja A	6,5
zawartość asfaltu	4,0

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.14 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.14 Wyniki badań mieszanki MPm-4,0

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm ³	% (v/v)	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	-	-	3,4	-	2,239
2	2	moczone	-	-	4,2	-	1,791
3	3	moczone	-	-	3,8	-	1,941
4	4	moczone	-	-	2,9	-	1,891
5	5	moczone	-	-	3,7	-	2,209
6	6	w powietrzu	2,525	11,2	3,7	3,384	-
7	7	w powietrzu	2,511	11,7	4,6	3,583	-
8	8	w powietrzu	2,521	11,4	5,0	3,881	-
9	9	w powietrzu	2,513	11,7	4,7	3,533	-
10	10	w powietrzu	2,510	11,8	3,8	4,200	-
11	11	w powietrzu	2,510	11,8	3,8	3,105	-
12	12	w powietrzu	2,508	11,8	3,8	3,533	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.15.

Tablica 7.15 Wyniki badań mieszanki MPm-4,0

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	V_L	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (m/m)	-
1	2,514	2,845	64,0	0,56

7.1.2.3 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,4 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MPm oraz emulsję asfaltową A. Skład mieszanki GE podano w tablicy 7.16.

Tablica 7.16 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, cz. wag.
kruszywo pomiedziowe, mieszanka MPm	100
STABIRAM AD	1,0
woda zarobowa	1,8
emulsja A	7,2
zawartość asfaltu	4,4

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.17 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.17 Wyniki badań mieszanki MPm-4,4

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm^3	% (v/v)	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	-	-	2,9	-	1,990
2	2	moczone	-	-	2,9	-	1,970
3	3	moczone	-	-	3,8	-	1,990
4	4	moczone	-	-	2,5	-	1,990
5	5	moczone	-	-	3,3	-	2,010
6	6	w powietrzu	2,535	10,2	2,9	4,031	-
7	7	w powietrzu	2,542	10,0	3,8	3,533	-
8	8	w powietrzu	2,540	10,1	3,2	3,931	-
9	9	w powietrzu	2,528	10,5	4,2	3,682	-
10	10	w powietrzu	2,538	10,1	3,6	3,533	-
11	11	w powietrzu	2,532	10,3	4,1	3,682	-
12	12	w powietrzu	2,537	10,2	2,9	3,782	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.18.

Tablica 7.18 Wyniki badań mieszanki MPm-4,4

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	V_L	r/R
-	g/cm^3	g/cm^3	% (m/m)	-
1	2,514	2,845	77,3	0,56

7.1.3 Badanie mieszanki GE na kruszywie dolomitowym (MD 0/12 mm)

7.1.3.1 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,0 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MD oraz emulsję asfaltową A. Skład mieszanki GE podano w tablicy 7.19.

Tablica 7.19 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, % (m/m)
kruszywo dolomitowe, mieszanka MD	100
STABIRAM AD (8 % roztwór wodny)	1,0
woda zarobowa	1,8
emulsja A	6,5
zawartość asfaltu	4,0

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.20 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.20 Wyniki badań mieszanki MD-4,0

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm^3	% (v/v)	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	-	-	1,8	-	2,836
2	2	moczone	-	-	2,6	-	3,125
3	3	moczone	-	-	1,9	-	2,737
4	4	moczone	-	-	2,7	-	2,418
5	5	moczone	-	-	3,1	-	2,687
6	6	w powietrzu	2,367	9,3	3,5	4,080	-
7	7	w powietrzu	2,353	9,8	3,3	3,762	-
8	8	w powietrzu	2,354	9,8	3,1	4,419	-
9	9	w powietrzu	2,353	9,8	3,2	4,439	-
10	10	w powietrzu	2,357	9,7	3,7	3,334	-
11	11	w powietrzu	2,362	9,5	3,2	3,832	-
12	12	w powietrzu	2,360	9,5	3,2	4,409	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.21.

Tablica 7.21 Wyniki badań mieszanki MD-4,0

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	V_L	r/R
-	g/cm^3	g/cm^3	% (m/m)	-
1	2,358	2,609	69,9	0,68

7.1.4 Badanie mieszanki GE na kruszywie dolomitowym (MDg 0/16 mm)

7.1.4.1 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 3,5 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MDg oraz emulsję asfaltową B. Skład mieszanki GE podano w tablicy 78.22.

Skład mieszanki mineralnej MDg

0/4	45 %
4/10	30 %
10/16	25 %

Tablica 7.22 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, % (m/m)
kruszywo dolomitowe, mieszanka MDg	100
STABIRAM AD	1,0
woda zarobowa	1,8
emulsja B	5,7
zawartość asfaltu	3,5

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.23 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.23 Wyniki badań mieszanki MDg-3,5

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	Os	R	r
-	-	-	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	2,7	-	1,791
2	2	moczone	3,3	-	1,095
3	3	moczone	3,3	-	2,189
4	4	moczone	2,9	-	2,060
5	5	moczone	3,5	-	1,493
6	6	w powietrzu	3,1	3,543	-
7	7	w powietrzu	3,8	3,583	-
8	8	w powietrzu	4,3	3,901	-
9	9	w powietrzu	3,6	4,279	-
10	10	w powietrzu	2,2	3,553	-
11	11	w powietrzu	3,1	4,279	-
12	12	w powietrzu	4,9	4,429	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.24.

Tablica 7.24 Wyniki badań mieszanki MDg-3,5

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	P	V_L	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (v/v)	% (m/m)	-
1	2,313	2,632	12,1	39,3	0,44

7.1.4.2 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,0 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MD oraz emulsję asfaltową B. Skład mieszanki GE podano w tablicy 7.25

Tablica 7.25 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, % (m/m)
kruszywo dolomitowe, mieszanka MDg	100
STABIRAM AD	1,0
woda zarobowa	1,8
emulsja B	6,5
zawartość asfaltu	4,0

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.26 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.26 Wyniki badań mieszanki MDg-4,0

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	Os	R	r
-	-	-	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	3,1	-	3,006
2	2	moczone	3,7	-	2,737
3	3	moczone	3,0	-	2,538
4	4	moczone	3,1	-	3,065
5	5	moczone	3,1	-	3,334
6	6	w powietrzu	3,3	4,926	-
7	7	w powietrzu	2,5	3,533	-
8	8	w powietrzu	3,7	4,080	-
9	9	w powietrzu	3,5	4,399	-
10	10	w powietrzu	3,7	4,548	-
11	11	-	-	-	-
12	12	-	-	-	-

Próbki Nr 11 i 12 uległy zniszczeniu podczas wyjmowania z form. Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.27.

Tablica 7.27 Wyniki badań mieszanki MDg-4,0

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	P	V_L	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (v/v)	% (m/m)	-
1	2,341	2,611	10,4	46,7	0,68

7.1.4.3 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,5 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MDg oraz emulsję asfaltową B. Skład mieszanki GE podano w tablicy 7.28.

Tablica 7.28 Skład mieszanki GE

Składniki	Zawartość, % (m/m)
kruszywo dolomitowe, mieszanka MDg	100
STABIRAM AD	1,0
woda zarobowa	1,8
emulsja B	7,3
zawartość asfaltu	4,5

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 7.29 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 7.29 Wyniki badań mieszanki MDg-4,5

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	Os	R	r
-	-	-	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	3,5	-	2,637
2	2	moczone	2,9	-	2,528
3	3	moczone	3,4	-	3,055
4	4	moczone	3,5	-	2,787
5	5	moczone	2,0	-	2,388
6	6	w powietrzu	3,3	3,891	-
7	7	w powietrzu	3,8	2,586	-
8	8	w powietrzu	4,3	2,966	-
9	9	w powietrzu	4,2	3,006	-
10	10	w powietrzu	4,6	2,189	-
11	11	w powietrzu	3,2	3,095	-
12	12	w powietrzu	3,5	2,986	-

Próbki Nr 11 i 12 uległy zniszczeniu podczas wyjmowania z form. Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 7.30.

Tablica 7.30 Wyniki badań mieszanki MDg-4,5

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	P	V_L	r/R
-	g/cm^3	g/cm^3	% (v/v)	% (m/m)	-
1	2,350	2,591	9,2	52,5	0,89

7.2 Trwałość zmęczeniowa w temperaturze 10 °C

7.2.1 Zakres metody

Procedura dotyczy badania trwałości i energii zmęczeniowej mieszanek żwirowo-emulsyjnych na próbkach belkowych wyciętych z nawierzchni lub zagęszczonych w laboratorium o wymiarach: 380 mm x 38 mm x 38 mm.

Punkt zniszczenia – moment, w którym badana próbka wykazuje spadek modułu sztywności o 50% w stosunku do początkowego modułu sztywności.

Trwałość zmęczeniowa – liczba cykli, po których próbka osiąga punkt zniszczenia.

7.2.2 Stosowanie metody

Badanie właściwości zmęczeniowych służy do określenia parametrów potrzebnych w mechanistycznych metodach projektowania konstrukcji nawierzchni.

Trwałość zmęczeniowa i energia zmęczeniowa mogą być używane do oszacowania trwałości zmęczeniowej nawierzchni bitumicznych pod powtarzalnym obciążeniem ruchem samochodowym. Dzięki tym parametrom można przewidzieć zachowanie mieszanek mineralno-asfaltowych po wbudowaniu.

7.2.3 Aparatura

System pomiarowy powinien być wyposażony w ramę obciążeniową, komorę termiczną oraz system kontroli i zbierania wyników.

Rama obciążeniowa

System pomiarowy powinien pracować na zasadzie sprzężenia zwrotnego. Komputer, będący elementem kontrolującym, powinien zapewnić stały poziom odkształceń podczas całego badania. Rama obciążeniowa powinna umożliwiać:

- a) zadanie obciążenia sinusoidalnego w zakresie częstotliwości od 5 do 10 Hz,
- b) poddanie próbki belkowej czteropunktowemu zginaniu, z możliwością swobodnego obrotu i przemieszczenia poziomego w miejscach podparcia i przyłożenia obciążenia.

Komora termiczna

Komora termiczna powinna mieć wystarczające wymiary do pomieszczenia próbki wraz z urządzeniami dodatkowymi i umożliwiać utrzymanie żądanej temperatury z dokładnością do 0,5°C.

System zbierania wyników

System powinien mieć możliwość pomiaru ugięcia belki, obliczenia odkształceń oraz powinien zapewnić utrzymanie stałego poziomu odkształceń. Ponadto powinien mieć możliwość zapisu numerów cykli, maksymalnych naprężeń rozciągających, kąta

przesunięcia fazowego, sztywności, energii rozproszonej i skumulowanej energii rozproszonej.

Inne elementy i materiały

Do przeprowadzenia badania potrzebne są następujące elementy:

- a) układ odniesienia dla czujników LVDT,
- b) kątownik aluminiowy do podpierania czujnika,
- c) element wzorcowy do prawidłowego mocowania obejm próbki.

7.2.4 Warunki badania

Wymiarowanie

Należy pomierzyć szerokość i wysokość próbki z dokładnością do 0,01 mm w trzech punktach rozmieszczonych w środkowych 100 mm próbki. Dla każdego wymiaru należy wyliczyć średnią z pomiarów z dokładnością do 0,1 mm.

Kondycjonowanie

Kondycjonowanie powinno wynosić od 2 do 4 h - przed badaniem każda próbka powinna być przez co najmniej dwie godziny przechowywana w żądanej temperaturze. Jeżeli różnica między temperaturą badania a temperaturą przechowywania próbki jest większa od 10°C, okres kondycjonowania należy wydłużyć do 4 godzin.

Mocowanie próbki

Przed zamocowaniem próbki należy rozewrzeć uchwyty. Środek próbki powinien pokrywać się ze środkiem ramy. Prawidłowe położenie obejm zapewnia się przy pomocy elementu wzorcowego. Po sprawdzeniu poprawności ułożenia próbki można zacisnąć uchwyty skrajne, a następnie środkowe.

Umieszczenie czujnika przemieszczenia

Czujnik LVDT umożliwia pomiar ugięcia belki w osi obojętnej. Czujnik powinien spoczywać w pozycji umożliwiającej pomiar od wartości „0”.

Dobór parametrów badania

Badanie przeprowadza się w następujących warunkach:

- a) częstotliwość 10 Hz,
- b) amplituda ugięcia belki powinna być tak dobrana aby uzyskana trwałość mieściła się w przedziale między 10^4 a 10^6 cykli,
- c) temperatura badania zazwyczaj wynosi 0, 10 lub 20°C.

Określenie początkowego modułu sztywności

Początkowy moduł sztywności jest określany po 100-tnym. cyklu obciążenia. Początkowy moduł sztywności jest niezbędny w ocenie wytrzymałości zmęczeniowej.

Uruchomienie badania

Po wprowadzeniu potrzebnych parametrów można uruchomić badanie. Należy pamiętać o włączeniu urządzeń zbierających wyniki i sterujących przebiegiem badania. Badanie należy przerwać, gdy moduł sztywności próbki zostanie zredukowany o więcej niż 50% w stosunku do początkowego modułu sztywności. W przypadku, gdy trwałość zmęczeniowa definiowana jest przez kryterium N1 badanie należy przedłużyć do 80% spadku modułu sztywności.

7.2.5 Wymiary próbek

W celu otrzymania gładkich i równoległych powierzchni próbek należy ściąć co najmniej po 6 mm z każdej strony. Ostateczne wymagane wymiary próbki wynoszą : 380 ± 6 mm (długość), 38 ± 6 mm (wysokość), 38 ± 6 mm (szerokość).

7.2.6 Wyniki badań, obliczenia

Podczas badania powinny być przeprowadzane w odstępach czasu zadanych przez operatora następujące obliczenia:

7.2.6.1 Maksymalne naprężenia rozciągające, Pa

$$\sigma_r = (0.357 \cdot P) / (b \cdot h) \quad (1)$$

P – przyłożona siła, N,
b – średnia szerokość, m,
h – średnia wysokość, m.

7.2.6.2 Maksymalne naprężenia przy rozciąganiu

$$\varepsilon_r = (12 \cdot \Delta \cdot h) / (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2) \quad (2)$$

Δ - maksymalne ugięcie belki, m,
a – odległość między wewnętrznymi uchwytami (0.119m),
L – odległość pomiędzy zewnętrznymi uchwytami (0.357m).

7.2.6.3 Moduł sztywności, Pa

$$S = \frac{\sigma_r}{\varepsilon_r} \quad (3)$$

7.2.6.4 Kąt przesunięcia fazowego, °

$$\phi = 360 \cdot f \cdot s \quad (4)$$

f – częstotliwość obciążenia, Hz,

s – czas opóźnienia między P_{\max} a Δ_{\max} , s.

7.2.6.5 Energia rozproszona, J/m³/cykl

$$D_i = \pi \cdot \sigma_i \cdot \varepsilon_i \cdot \sin(\phi) \quad (5)$$

7.2.6.6 Skumulowana energia rozproszona, J/m³

$$\sum_{i=1}^{i=n} D_i \quad (6)$$

$D_i = D$ dla i-tego cyklu obciążenia.

7.2.6.7 Początkowy moduł sztywności

Początkowy moduł sztywności jest ustalany przez wykreślenie zależności modułu sztywności (S) w funkcji cykli obciążenia (n) i regresji wyników wg funkcji wykładniczej wg wzoru:

$$S = A \cdot e^{b \cdot n} \quad (7)$$

A – stała równa początkowemu modułowi sztywności,

b – stała,

n – liczba cykli.

7.2.6.8 Liczba cykli zniszczenia

Zniszczenie jest zdefiniowane jako moment, w którym moduł sztywności próbki zostanie zredukowany do 50% wartości początkowego modułu sztywności. Liczba cykli może zostać obliczona z równania (7) lub z następującej zależności:

$$n_{f,50} = \frac{[\ln(S_{f,50} / A)]}{b} \quad (8)$$

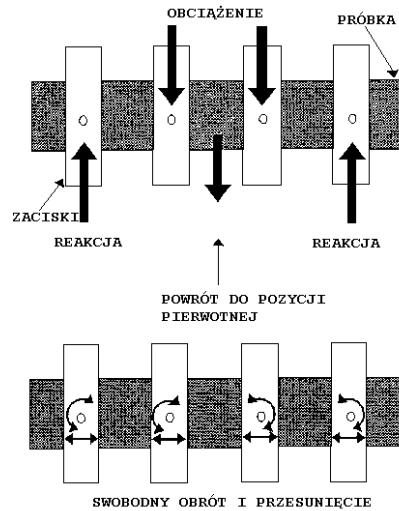
$S_{f,50}$ – 50% wartości początkowego modułu sztywności, Pa,

$S_{f,50}/A=0.5$ – z definicji.

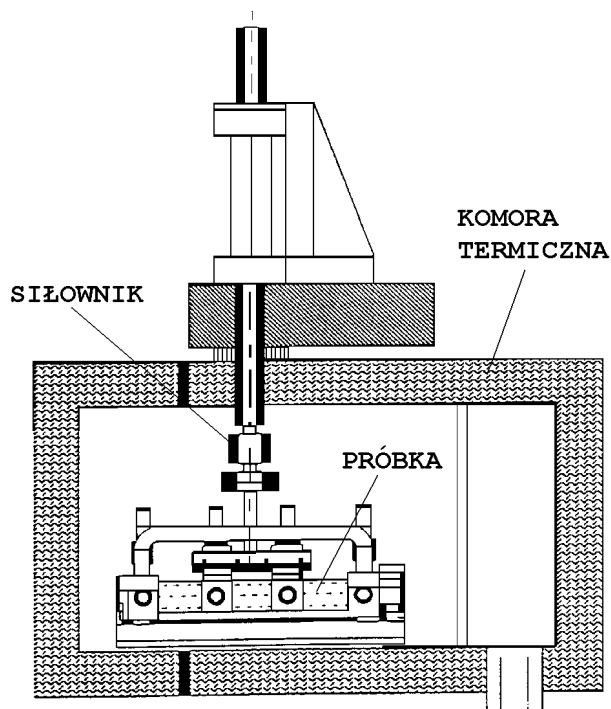
7.2.6.9 Niszcząca skumulowana energia rozproszona, J/m^3

$$\sum_{i=1}^{i=N_{f,50}} D_i \quad (9)$$

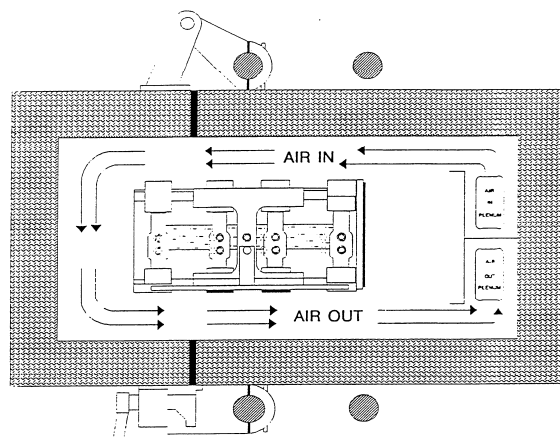
Uwaga: Nie jest konieczne określanie energii rozproszonej dla każdego cyklu obciążenia. Oprogramowanie komputerowe może automatycznie określać energię rozproszoną w określonych cyklach. Niszcząca skumulowana energia rozproszona jest podana sumarycznie jako element w wykazie wyników.



Rys.1 Schemat obciążenia próbki w badaniu zmęczenia metodą belki 4-punktowo zginanej



Rys.2 Schemat aparatury do badania zmęczenia na belce 4-punktowo zginanej – widok z boku



Rys.3 Schemat aparatury do badania zmęczenia na belce 4-punktowo zginanej – widok z góry

Wyniki badań

Ze względu na trudności w wykonaniu próbek do badań zmęczeniowych (tj. beleczek o wymiarach 38 x 38 x 380 mm), nie było możliwe wykonanie badań w założonym terminie. W trakcie realizacji pracy wystąpiły problemy, które w konsekwencji ze względu na specyfikę mieszanki mineralno-emulsyjnej wymuszają odpowiednie dostosowanie form do przygotowania próbek oraz korektę samych warunków przygotowania, wycinania próbek do badań. Dotychczas badania zmęczeniowe były prowadzone dla typowych mieszanek mineralno-asfaltowych w których taki problem nie występował. Po przeprowadzeniu niezbędnych przystosowań w laboratorium dalsze prace w tym temacie będą kontynuowane.

7.3 Koleinowanie LCPC w temperaturze 60 °C

7.3.1 Zakres metody

Metoda koleinowania polega na oznaczeniu głębokości koleinowania w wyniku pełzania poprzez symulowanie ruchomego obciążenia na próbce mieszanki żwirowo-emulsyjnej o znanym składzie i gęstości pozornej w aparacie LCPC.

7.3.2 Stosowanie metody

Określanie odporności mieszanek żwirowo-emulsyjnych na trwałe deformacje lepkoplastyczne przy pomocy aparatu LCPC, polega na poddaniu zagęszczonej próbki z mieszanki wielokrotnym przejazdowi znormalizowanego koła ogumionego, w znormalizowanych warunkach temperatury, nacisku i liczby cykli (1 cykl = przejazd koła po próbce tam i z powrotem). Po zakończeniu badania mierzona jest głębokość koleiny utworzonej na próbce przez koło.

7.3.3 Aparatura

Badanie odporności na koleinowanie wykonano francuskim koleinomierzem MLPC zgodnie z normą NF P 98-253.1.

Do wykonania oznaczenia potrzebne są następujące przyrządy i materiały:

- a) Urządzenie symulujące obciążenie ruchome - aparat LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussees), w skład którego wchodzi:
koło z gładką oponą 400 x 8 cm o szerokości śladu $8 \pm 0,5$ cm,
formy o wewnętrznych wymiarach 180 x 500 x 100 mm lub 180 x 500 x 50 mm (formy w warunkach badania są nieodkształcalne),
komora termostatowana o regulowanej temperaturze, regulacja za pomocą czujnika umieszczonego w próbce, należy utrzymać stałą temperaturę z dokładnością $\pm 0,2$ °C,
czujniki temperatury,
stalowa podstawa próbki której odkształcenie mierzone linijką po przekątnych nie powinno przekraczać 1 mm, a strzałka ugięcia w warunkach próby nie powinna przekroczyć 0,5 mm,
- b) suwmiarka lub czujnik zegarowy lub urządzenie automatyczne do pomiaru głębokości koleiny z dokładnością do 0,2 mm; stopka suwmiarki lub czujnika zegarowego powinna mieć powierzchnie $5 \div 10$ mm²,
- c) urządzenie zagęszczające dostosowane do zagęszczania próbek o wymiarach 500x180 mm,
- d) mieszarka o pojemności umożliwiającej wymieszanie całego lub $\frac{1}{2}$ zarobu,
- e) suszarki o pojemności min. 250 l,
- f) waga o nośności co najmniej 25 kg i dokładności ważenia 0,1 g, dostosowana również do ważenia próbki w wodzie,
- g) termometr kontrolny o zakresie pomiaru do +250°C,
- h) pojemniki na asfalt, mieszankę, brytfanny na kruszywa.

7.3.4 Warunki badania

Przy wykonaniu oznaczenia odporności na koleinowanie należy przyjąć następujące warunki badania:

- a) temperatura badania 60 ± 2 °C,
- b) skok opony 410 mm ± 5 mm,
- c) częstotliwość ruchu koła: 1 Hz $\pm 0,1$ Hz,
- d) ciśnienie w oponie: 6 bar $\pm 0,1$ bar na początku badania,
- e) obciążenie ruchome 5000 N ± 50 N pomierzone statycznie na środku próbki,
- f) odchylenie osi śladu od osi teoretycznej próbki < 5 mm,
- g) brak kąta załomu.

7.3.5 Materiały do prób

Mieszanka użyta do badania odporności na koleinowanie to mieszanka żwirowo-emulsyjna na kruszywie bazaltowym z Wilkowa (MB) z asfaltem w ilości 4,4 % (m/m). Emulsja użyta do mieszanki to emulsja A, o zawartości asfaltu 63,7 % (m/m).

Próbki laboratoryjne z odpowiednio przygotowanej mieszanki żwirowo-emulsyjnej są zagęszczane walcem stalowym w formach do badań o wymiarach wewnętrznych 180

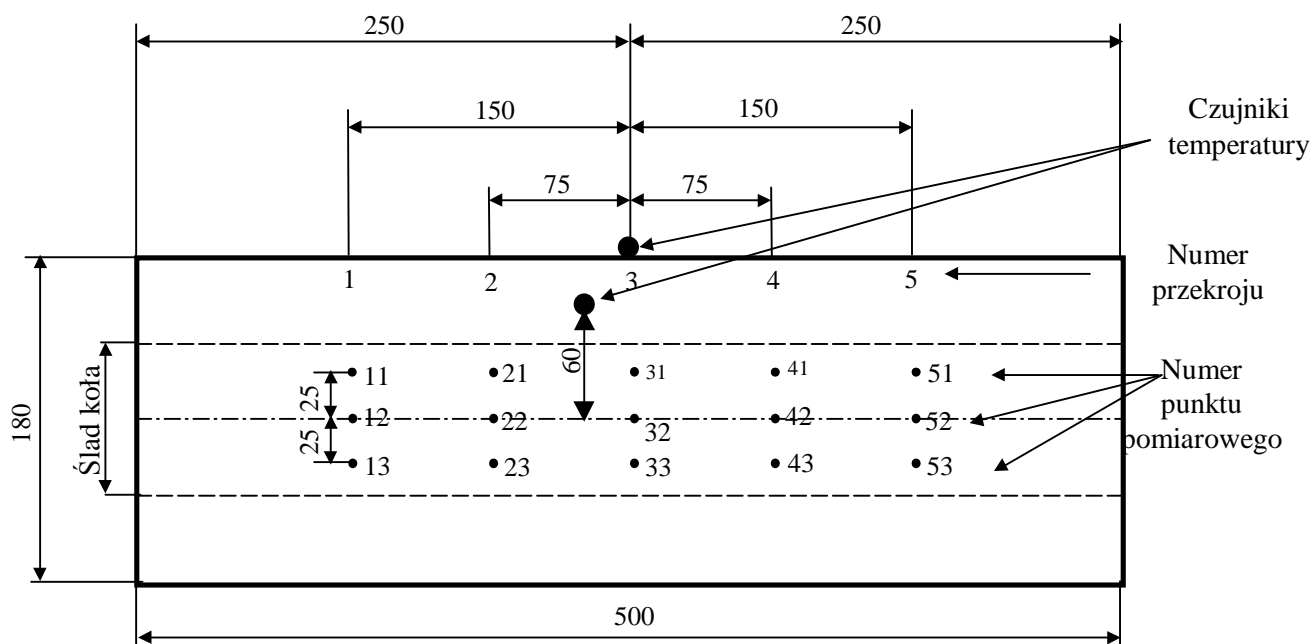
x 500 x 100 mm lub 180 x 500 x 50 mm. Liczba przejazdów walca jest ustalona w celu uzyskania odpowiedniego zagęszczenia.

Grubość próbki (płyty) do badania koleinowania wynosi 50 mm, jeżeli badana mieszanka byłaby układana na drodze warstwą o grubości do 50 mm lub 100 mm, jeżeli badana mieszanka byłaby układana na drodze warstwą o grubości powyżej 50 mm.

Przed badaniem dokonuje się sprawdzenia grubości próbek (dla próbek o grubości ponad 50 mm dopuszczalna różnica $\leq 5\%$) i sprawdzenie równości płaszczyzny – jeżeli strzałka przekracza 5 mm, próbkę należy odrzucić.

Po zagęszczeniu próbki przechowuje się w formach w warunkach pokojowych przez co najmniej 12 h w celu samoczynnego ostudzenia ich. Ostudzone próbki do temperatury pokojowej wyjmuje się z form i przechowuje co najmniej przez dwa dni przed ich zbadaniem w warunkach nie powodujących zmian ich właściwości.

Schemat pomiaru głębokości koleiny w kolein mierzu LCPC pokazano na rysunku 4.



Rys. 4 Schemat punktów pomiaru głębokości koleiny w kolein mierzu

7.3.6 Wyniki badań, obliczenia

7.3.6.1 Procentowa głębokość koleiny

Procentową głębokość koleiny P_i oblicza się wg wzoru:

$$P_i\% = 100x \frac{\sum_j(m_{ij} - m_{0j})}{15xE}$$

gdzie:

- j - punkty pomiaru od 1 do 15
- E - grubość badanej warstwy w mm,

mij - odczyty w milimetrach

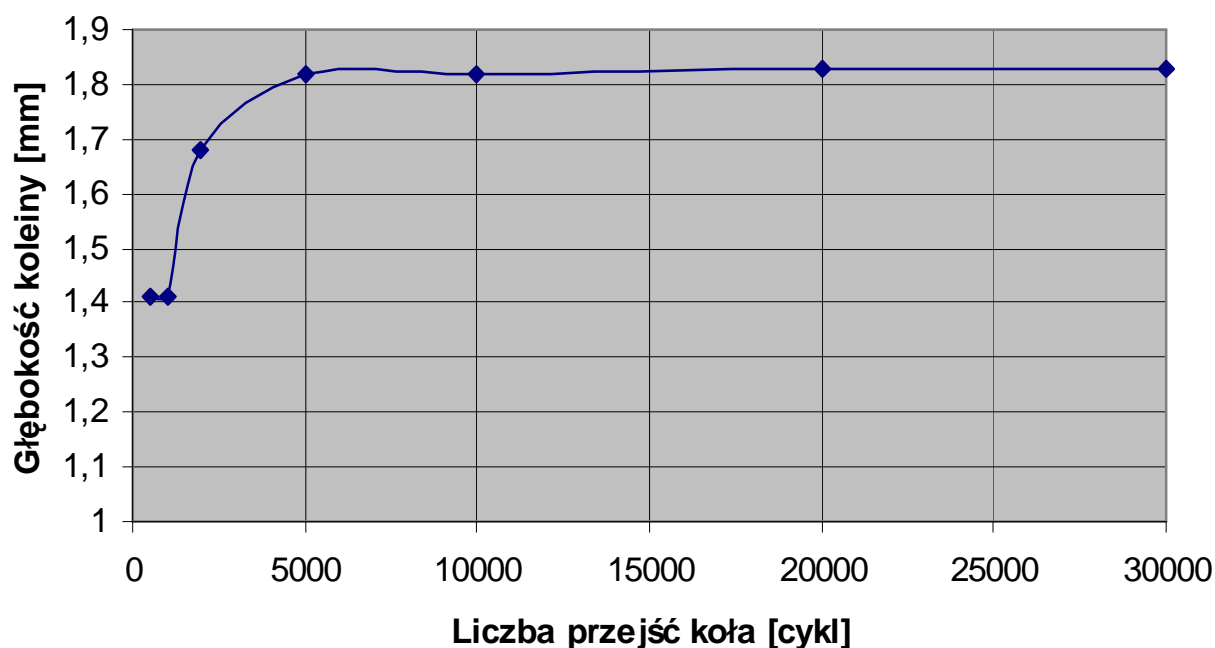
m0j - odczyty zerowe (po wstępnej fazie obciążenia).

Wyniki badania próbki mieszanki żwirowo-emulsyjnej na odporność na koleinowanie podano w tabelicy 7.31. Graficzne przedstawienie wyniku koleinowania pokazano na rysunku 5 i 6.

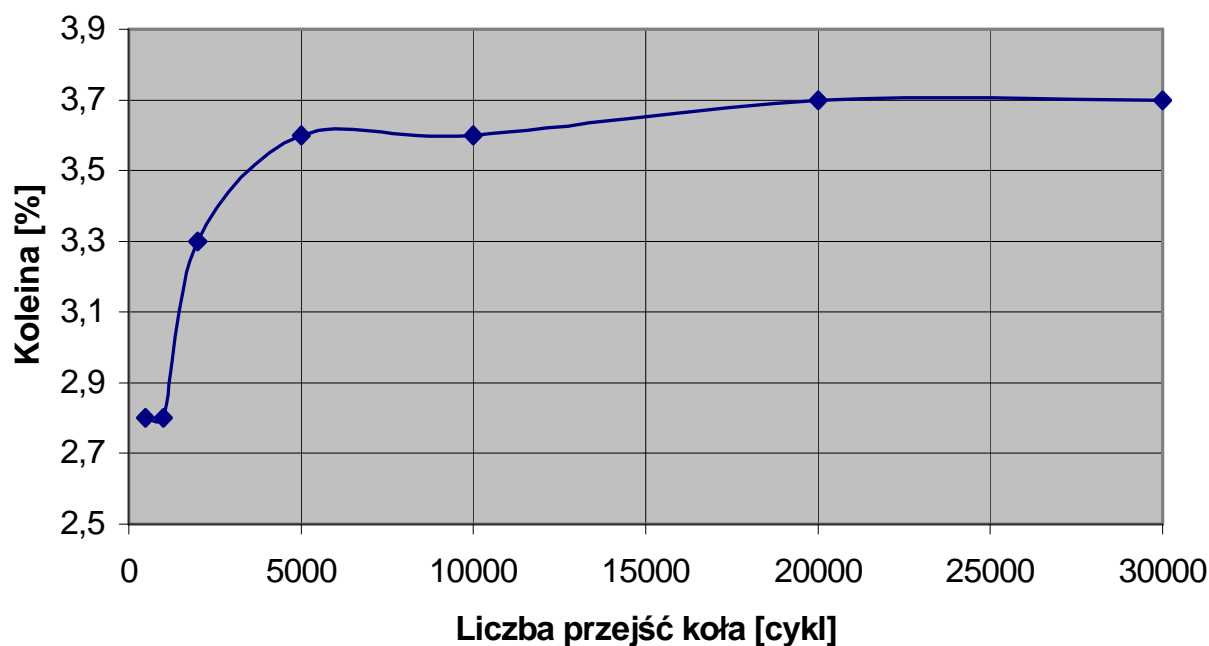
Tabela 7.31 Wyniki badań koleinowania próbki mieszanki GE z 4,4 % (m/m) asfaltu

Lp.	Liczba cykli* przejazdów koła	Wyniki badań próbki	
		Głębokość koleiny, mm	Koleina, %
1	500	1,41	2,8
2	1000	1,41	2,8
3	2000	1,68	3,3
4	5000	1,82	3,6
5	10000	1,82	3,6
6	20000	1,83	3,7
7	30000	1,83	3,7

* jednemu cyklowi odpowiadają dwa przejeżdżenia koła,



Rys. 5 Zależność głębokości koleiny od liczby przejazdów koła koleinomierza



Rys. 6 Zależność skoleinowania od liczby przejazdów koła koleinomierza

Wyniki badań mieszanki porównawczej

Do badań porównawczych przygotowano mieszankę porównawczą - beton asfaltowy do warstwy ścieralnej BA 0/20 mm, Badanie koleinowania wykonane zostało zgodnie z wyżej opisaną procedurą badawczą .

Do badań użyto następujące materiały

- Mączka wapienna
- Granit 0/2 mm
- Bazalt 2/5, 5/8, 6/12, 11/16, 16/20 mm
- Asfalt D50 PKN „ORLEN”

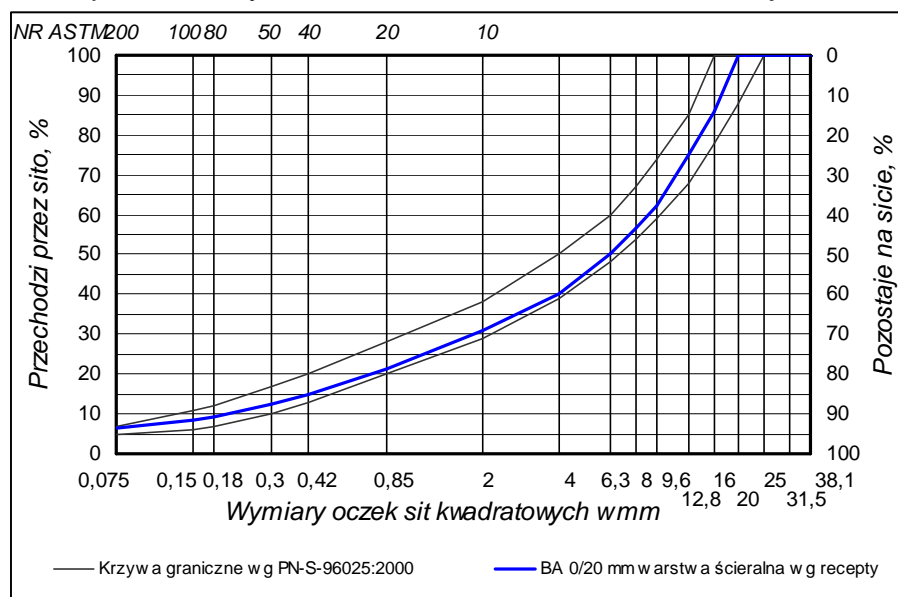
Skład mieszanki mineralnej MM – BA 0/20 mm podano w tablicy 7.32

Tablica 7.32 Skład mieszanki mineralnej MM – BA 0/20 mm

Materiały	Zawartość %m/m
Bazalt 16/20 mm	14,0
Bazalt 11/16 mm	22,0
Bazalt 6/12 mm	10,0
Bazalt 5/8 mm	14,0
Bazalt 2/5 mm	6,0
Granit 0/2 mm	28,0
Mączka wapienna	6,0
	100

Zawartość lepiszcza: $A_m = 4,4\%$ /asfalt D50/

Na rysunku 7 podano krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej



Rys. 7. Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej BA 0/20 mm do warstwy ścieralnej w odniesieniu do krzywych granicznych wg PN-S-96025:2000

W tabelicy 7.33 podano właściwości mieszanki porównawczej BA 0/20 mm.

Tabela 7.33 Zestawienie właściwości mieszanki porównawczej BA 0/20 mm

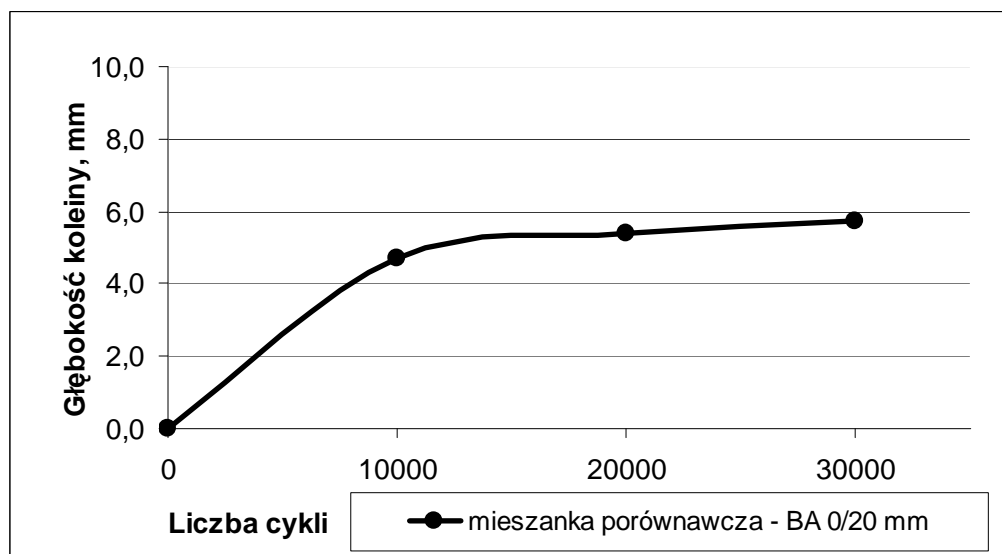
Lp.	Właściwości	Wynik
1	Gęstość strukturalna, g/cm^3	2,599
2	Gęstość objętościowa MMA, g/cm^3	2,696
3	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, % (V/V)	3,6
4	Odkształcenie, mm	3,1
5	Stabilność wg Marshalla, kN	13,3

Zgodnie z potrzebą do badania koleinowania wykonano po dwie próbki o wymiarach: 500x180x100mm, które poddano badaniu koleinowania w aparacie LCPC (produkcji francuskiej) w temperaturze 60°C. Wyniki badania próbki betonu asfaltowego na odporność na koleinowanie podano w tabelicy 7.34. Graficzne przedstawienie wyniku koleinowania pokazano na rysunku 8 i 9.

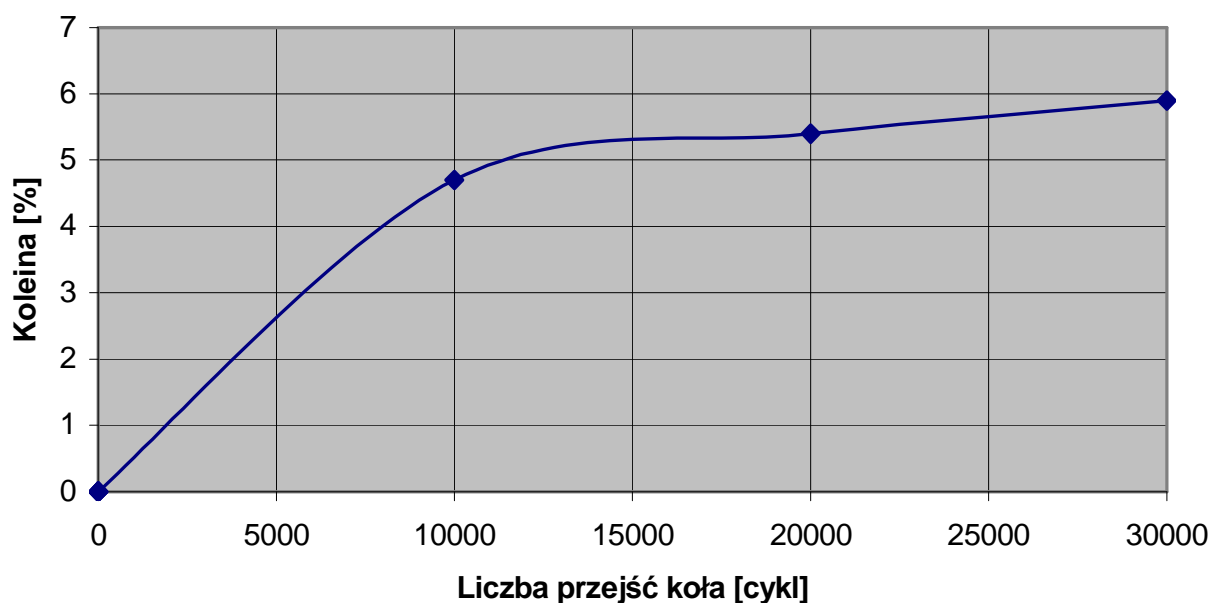
Tabela 7.34 Wyniki badań koleinowania próbki mieszanki BA

Lp.	Liczba cykli* przejeżdż koła	Wyniki badań próbek	
		Głębokość koleiny, mm	Koleina, %
1.	10000	4,72	4,7
2.	20000	5,44	5,4
3.	30000	5,85	5,9

* jednemu cyklowi odpowiadają dwa przejeżdż koła,



Rys. 8. Wykres przedstawiający wartości średnie głębokości koleiny w próbkach mieszanki porównawczej BA 0/20 mm



Rys. 9 Zależność skoleinowania od liczby przejazdów koła koleinomierza w próbkach mieszanki porównawczej BA 0/20 mm

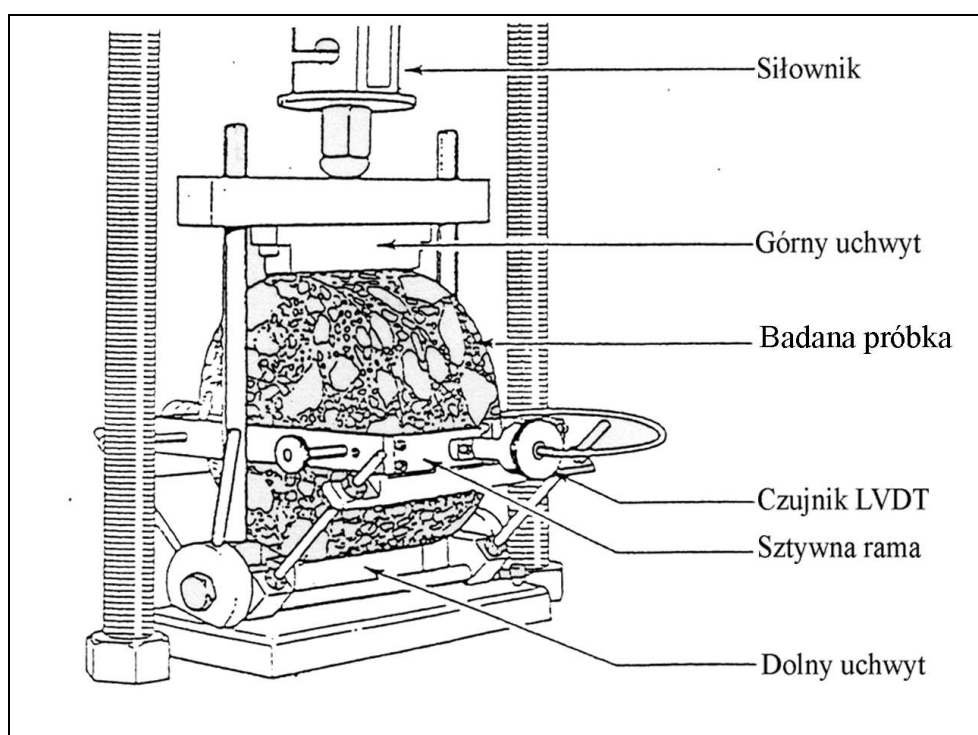
7.4 Moduł sztywności w aparacie NAT w temperaturze 0°C, 10°C, 20°C

7.4.1 Zakres metody

Metoda dotyczy laboratoryjnego badania modułu sztywności sprężystej (Resilient Modulus) w badaniu rozciągania pośredniego pod obciążeniem powtarzalnym. Zamiast określenia modułu sztywności sprężystej mieszanki żwirowo-emulsyjnej, używa się uproszczonego terminu modułu sztywności.

7.4.2 Aparatura

Schemat aparatu NAT pokazano na rysunku 10



Rys. 10 Urządzenie badawcze wraz z zamontowaną próbką

7.4.3 Warunki badania

Przed badaniem próbka powinna być kondycjonowana w suchym powietrzu przez przynajmniej 24 h, lecz nie dłużej niż 4 doby. Próbki przed badaniem należy przechowywać w pomieszczeniach temperaturze suchym powietrzem o wilgotności względnej mniejszej niż 65 %, w temperaturze $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Próbki należy przechowywać na gładkim, równym podłożu, powinny być położone na swojej płaskiej powierzchni, tak aby nie stykały się z sobą.

Termostatowanie próbki przed badaniem w temperaturze badania powinno trwać nie krócej niż 4 h a maksymalnie 16 h. Badanie odbywa się w wybranej temperaturze.

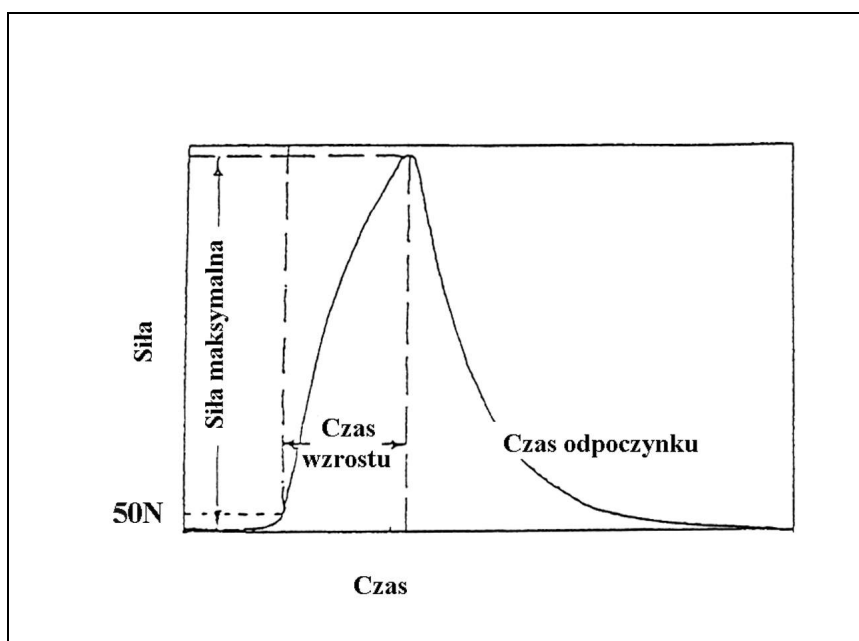
Dokładność utrzymania temperatury badania powinna wynosić $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. W metodzie rozciągania pośredniego zaleca się zakres temperatury badania od -10°C do 25°C . Nie należy wykonywać badania w temperaturze większej niż $+25^{\circ}\text{C}$ ze względu na trwałą deformację lepkoplastyczną próbki, która zniekształca wyniki badania.

Próbka obciążana jest cyklicznie, powtarzalnie. Obciążenie powinno być przyłożone do próbki pionowo, wzdłuż średnicy. Do przekazania siły na próbkę muszą służyć dwa stalowe uchwyty. Szerokość uchwytów musi być minimalnie równa grubości próbki (maksymalnie 80 mm). Jednocześnie powierzchnia przylegająca do próbki musi być wklęsła i dopasowana do cylindrycznej próbki. Szczegółowe dane dotyczące wymiarów uchwytów zamieszczono w tabelicy 7.35.

Tabela 7.35 Wymiary uchwytów do próbek

Średnica próbki [mm]	Szerokość uchwytu [mm]	Głębokość wcięcia [mm]
100	$12,5 \pm 1$	$0,4 \pm 0,05$
150	19 ± 1	$0,6 \pm 0,05$
200	25 ± 1	$0,8 \pm 0,05$

Siłownik musi być zdolny do wygenerowania impulsu siły o kształcie pokazanym na rys 11. Siła musi być przyłożona pionowo do próbki, przekazywana poprzez uchwyty. Czas wzrostu siły mierzy się od momentu, gdy siła zaczyna wzrastać. Czas, w którym siła wzrośnie od 0 do maksymalnej siły (czas wzrostu) powinien wynosić 124 ± 4 ms. Siła maksymalna powinna być ustalona na takim poziomie, aby przemieszczenie poziome próbki wyniosło przynajmniej $5 \mu\text{m}$. Pomiaru siły należy dokonać z dokładnością do $\pm 2\%$. Pomiedzy kolejnymi impulsami siły występują trzysekundowe opóźnienia.



Rys. 11 Kształt impulsu siły przykładanej do próbki

Uwaga:

Na podstawie doświadczeń w Wielkiej Brytanii przyjęto czas wzrostu na poziomie $124 \text{ ms} \pm 4 \text{ ms}$ a maksymalne przemieszczenia poziome (mierzone wzdłuż poziomej średnicy) odpowiednio: $7 \text{ } \mu\text{m} \pm 2 \text{ } \mu\text{m}$ dla próbek o średnicy 150 mm, oraz $5 \text{ } \mu\text{m} \pm 2 \text{ } \mu\text{m}$ dla próbek o średnicy 100 mm. W przypadku niektórych materiałów może okazać się konieczne zastosowanie innego czasu wzrostu i przyjęcie innej wartości maksymalnego przemieszczenia poziomego. W wypadku badania mieszanek o dużym module sztywności, krótkim czasie obciążenia lub w niskiej temperaturze, urządzenie badawcze może popełnić błędy pomiarowe. Wówczas może okazać się konieczne zmniejszenie grubości lub średnicy badanej próbki.

Obciążenie powtarzalne i wywołane nim przemieszczenie musi być w sposób ciągły zapisywane podczas całego testu. Zapis sygnału z czujnika siły oraz czujników przemieszczeń (LVDT) może być prowadzony za pomocą cyfrowego łącza oraz komputera.

7.4.4 Wymiary próbek

Do badań można używać próbek o trzech średnicach: $100 \pm 5 \text{ mm}$, $150 \pm 5 \text{ mm}$ lub $200 \pm 5 \text{ mm}$. Jeżeli maksymalna średnica wykorzystanego w mieszance kruszywa jest większa lub równa 20 mm, próbki powinny mieć średnicę większą od 145 mm. Zaleca się stosowanie próbek laboratoryjnych wyciętych z płyt sporządzonych w laboratorium. Dopuszcza się stosowanie próbek zagęszczonych w formie walcowej. Mogą być też badane próbki wycięte z nawierzchni. Badaniu poddawane są cylindryczne próbki o grubości od 30 do 80 mm. Pomiaru grubości należy wykonać na obwodzie próbki w trzech miejscach co 60° , z dokładnością do 1 mm. Jeżeli różnica pomiędzy najmniejszą a największą zmierzoną wartością jest większa niż 2% długości średnicy nominalnej, próbkę należy odrzucić.

W wyjątkowych wypadkach można wykonać badanie na próbkach zawierających kilka połączonych warstw. Należy wówczas podać tę informację w sprawozdaniu z badania.

7.4.5 Wyniki badań, obliczenia**7.4.5.1 Sprężyste odkształcenie poziome**

Sprężyste odkształcenie poziome – różnica pomiędzy maksymalnym poziomym przemieszczeniem wywołanym maksymalnym obciążeniem a przemieszczeniem zmierzonym pod koniec czasu trwania impulsu siły (czasu odpoczynku), rysunek 8.

Do wyznaczenia modułu sztywności wykorzystuje się pięć powtarzalnych odkształceń próbki pod kolejnymi pięcioma impulsami siły. Na tej podstawie oblicza się **moduł sztywności sprężystej** pod każdym impulsem siły ze wzoru:

$$S_m = \frac{L^*(v + 0,27)}{D * t}$$

w którym:

S_m - modułu sztywności sprężystej badanej próbki [MPa]

L – maksymalna wartość siły przykładanej pionowo do próbki [N]

D – maksymalne przemieszczenie poziome próbki wywołane siłą L [mm]

t – średnia grubość próbki [mm]

ν - współczynnik Poissona (przyjmowana wartość zależy od temperatury, podana jest w tabelicy 7.36)

Tablica 7.36 Współczynnik Poissona mieszanki żwirowo-emulsyjnej

Temperatura badania [°C]	Współczynnik Poissona
-10	0,25
0	0,25
10	0,25
20	0,35
30	0,45

Jako wynik badania modułu sztywności sprężystej mieszanki żwirowo-emulsyjnej przyjmuje się średnią arytmetyczną impulsów pięciu pomiarów.

Wykonanie badania w różnej temperaturze umożliwia uzyskanie zależności modułu sztywności danej mieszanki od temperatury i wykorzystanie tej zależności w projektowaniu konstrukcji nawierzchni. W celu uzyskania pełnej charakterystyki mieszanki należałoby jednak wykonać badanie zespolonego modułu sztywności (complex stiffness modulus) w zależności od temperatury i częstotliwości (czasu) obciążenia wraz z dokładnym wyznaczeniem współczynnika Poissona. Badanie takie wymaga jednak bardziej złożonego sprzętu i warunków obciążenia próbki.

Wyniki badań

Przewidziane do badań mieszanki mineralno-asfaltowe zastosowały oznakowanie:

MMA B mieszanka mineralno-emulsyjna 0/12,8 mm z kruszywem bazaltowym, zawartość asfaltu $Z_L=4,4\%$

MMA P mieszanka mineralno-emulsyjna 0/12,8 mm z kruszywem pomiedziowym, zawartość asfaltu $Z_L=4,0\%$

Do celów porównawczych wykorzystano mieszanki mineralno-asfaltowe wykonane w tradycyjnej technologii, które oznakowano:

BA 0/12,8 mieszanka porównawcza, beton asfaltowy 0/12,8 mm z asfaltem D70, zawartość asfaltu $Z_L=5,4\%$

SMA 0/12,8 mieszanka porównawcza, mastyks grysowy SMA 0/12,8 mm, z asfaltem D70, zawartość asfaltu $Z_L=6,3\%$

Wykonane badania zależności modułu sztywności mieszanki żwirowo-emulsyjnej od temperatury pozwalają pośrednio ocenić usztywnianie mieszanki powodowane spadkiem temperatury i na tej podstawie wnioskować o ich właściwościach niskotemperaturowych. Wyniki badań modułu sztywności zostały zamieszczone w tablicach 8.38 i 8.39.

Do oceny wrażliwości termicznej wykorzystano zbadane w aparacie NAT moduły sztywności S_m w temperaturze 0°C , 10°C i 20°C oraz obliczone na ich podstawie wskaźnik usztywnienia mieszanki W_{usm} i wskaźnik sztywności WS . Im większa wartość wskaźnika usztywnienia, tym większa wrażliwość termiczna materiału. Mieszanka mineralno-asfaltowa powinna wykazywać jak najmniejszą wrażliwość termiczną, czyli jak najmniejszą zmianę sztywności przy zmianie temperatury.

$$W_{US} = \frac{E_1 - E_2}{T_2 - T_1} \text{ [MPa/}^\circ\text{C]}$$

W ocenie właściwości zastosowano wskaźnik sztywności WS wg wzoru:

$$WS = \frac{E \text{ w temperaturze } 0^\circ\text{C}}{E \text{ w temperaturze } 20^\circ\text{C}}$$

Ogólnie wskazane jest, aby mieszanka miała dużą sztywność w wysokiej temperaturze (świadczy o dobrej odporności na koleinowanie), małą wrażliwość termiczną i małą sztywność w niskich temperaturach (świadczy o większej odporności na pękanie niskotemperaturowe).

Uzyskane z badań wartości modułów sztywności zilustrowane zostały na rys. 9, dodatkowo na rys. 10 zestawiono obliczone wartości wskaźnika usztywnienia W_{usm} . Do celów porównawczych wykorzystano wyniki badań modułów sztywności typowego betonu asfaltowego o uziarnieniu 0/12,8 mm przeznaczonego do warstwy ścieralnej nawierzchni drogowej.

Zastosowane oznakowanie:

- MMA B mieszanka żwirowo-emulsyjna 0/11 mm z kruszywem bazaltowym
- MMA P mieszanka żwirowo-emulsyjna 0/12,8 mm z kruszywem pomiedziowym
- BA 0/12,8 mieszanka porównawcza, beton asfaltowy 0/12,8 mm
- SMA 0/12,8 mieszanka porównawcza, mastyks grysowy SMA 0/12,8 mm

Wyniki badań modułu sztywności dla zbadanych mieszanek żwirowo-emulsyjnych zestawione zostały w tablicach 7.37 i 7.38. Dla porównania przedstawiono także przykładowe wyniki badań modułu sztywności dla betonu asfaltowego 0/12,8 mm oraz mastyksu grysowego SMA 0/12,8 mm /tablica 7.39/.

Tablica 7.37 Wyniki badań modułów sztywności mieszanki MMA B

Próbka	Wysokość próbki [mm]	Moduł sztywności, MPa		
		0°C	10°C	20°C
bz1	60,0	4950	-	-
bz2	60,0	4950	-	-
bz3	59,0	4250	-	-
bz4	55,0	-	2050	-
bz5	59,0	-	2150	-
bz6	60,0	-	2250	-
bz7	62,0	-	-	650
Bz8	62,0	-	-	500
Bz9	59,0	-	-	700
Wartość średnia		4717	2150	617

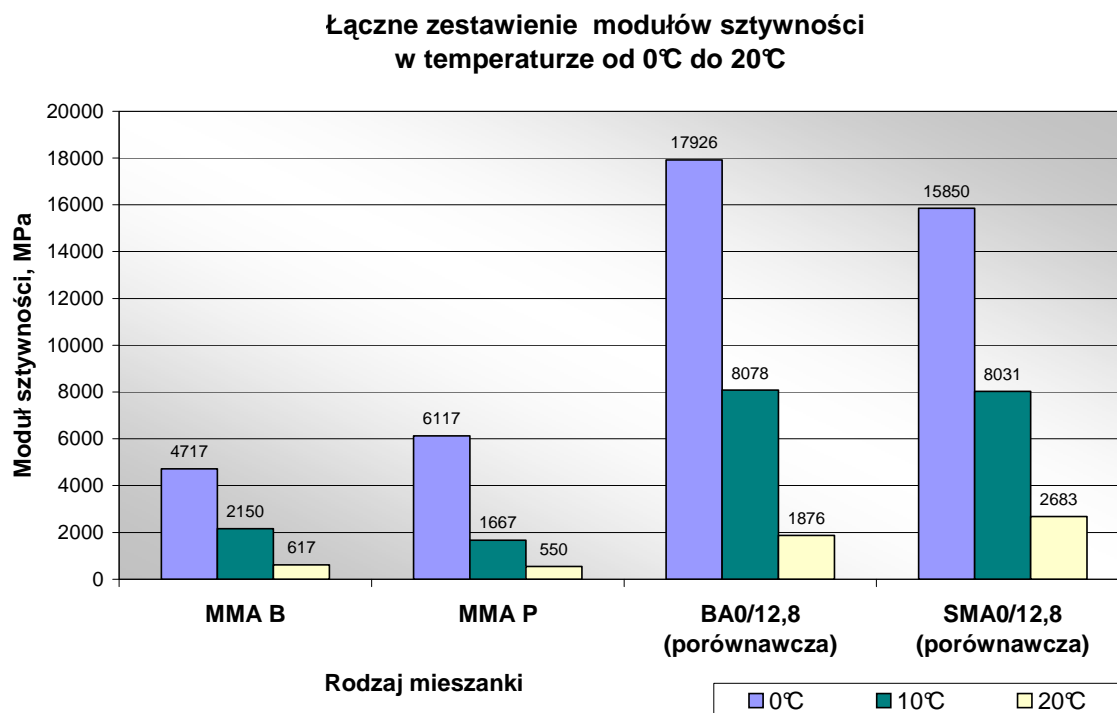
Tablica 7.38 Wyniki badań modułów sztywności mieszanki MMA P

Próbka	Wysokość próbki [mm]	Moduł sztywności, MPa		
		0°C	10°C	20°C
pm1	59,0	6150	-	-
pm2	59,0	5400	-	-
pm3	58,0	6800	-	-
pm4	58,0	-	1700	-
pm5	58,0	-	1450	-
pm6	58,0	-	1850	-
pm7	60,0	-	-	700
pm8	60,0	-	-	450
pm9	60,0	-	-	500
Wartość średnia		6117	1667	550

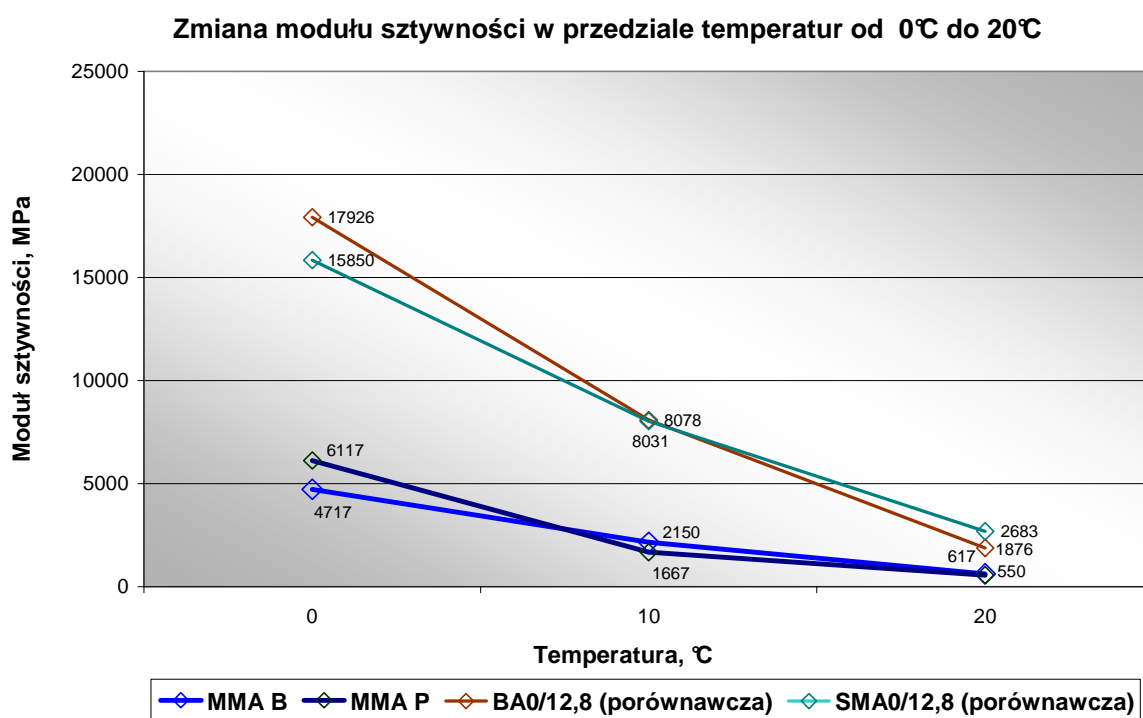
Tablica 7.39 Zbiorcze zestawienie wyników badań modułów sztywności mieszanek MMA B, MMA P oraz mieszanek porównawczych BA 0/12,8, SMA0/12,8

Mieszanka	Moduł sztywności, MPa			WS	Wus MPa/°C
	0°C	10°C	20°C		
MMA B	4717	2150	617	7,65	205,0
MMA P	6117	1667	550	11,12	278,3
BA 0/12,8 (porównawcza)	17926	8078	1876	9,56	802,5
SMA 0/12,8 (porównawcza)	15850	8031	2683	5,91	658,4

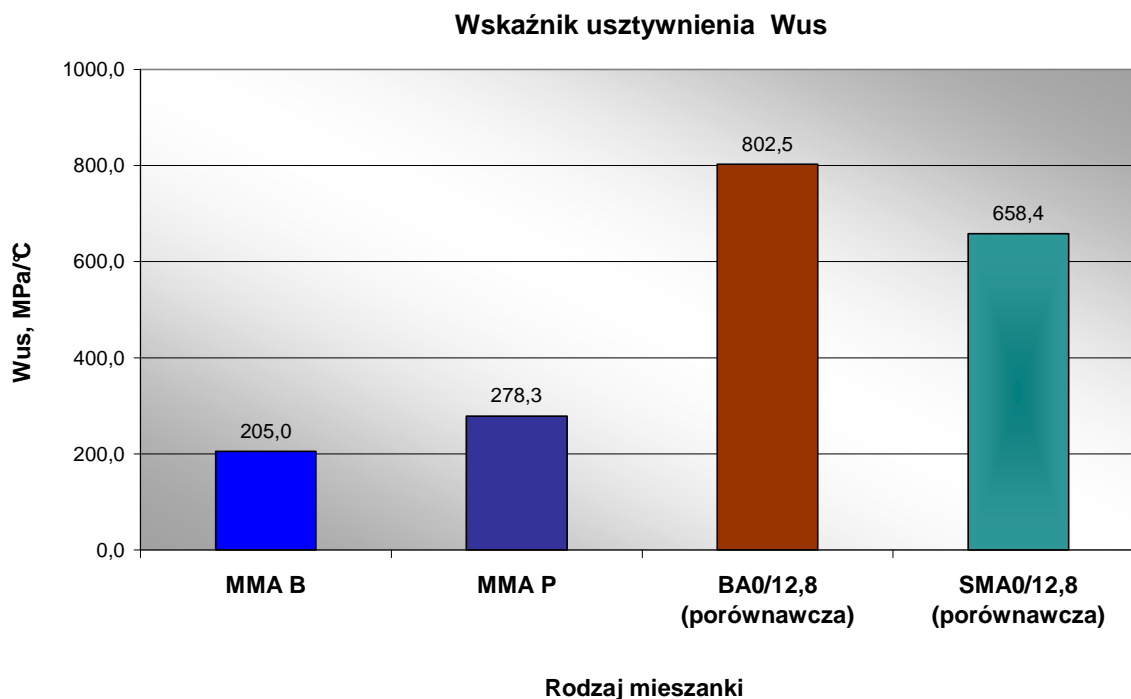
Oznaczone w badaniach wartości modułów sztywności przedstawione zostały na rysunku 12. Zmiana modułu sztywności w zależności od temperatury oraz porównanie wskaźników usztywnienia Wus zostały przedstawiona na rysunkach 13 i 14.



Rys. 12 Zbiorcze zestawienie oznaczonych modułów sztywności – mieszanki MMA B, MMA P oraz mieszanki porównawcze BA 0/12,8, SMA 0/12,8



Rys. 13 Zmiana modułu sztywności w przedziale temperatur od 0°C do 20°C



Rys. 14 Wskaźnik usztywnienia W_{us} mieszanek żwirowo-emulsyjnych

W ocenie zmian właściwości mieszanek w zależności od temperatury wykorzystano wyniki badania modułu sztywności powtarzalnego rozciągania pośredniego E w 0°C , 10°C i 20°C oraz obliczony na tej podstawie wskaźnik usztywnienia mieszanki W_{us} . Im większa wartość wskaźnika usztywnienia, tym większa wrażliwość termiczna materiału. Mieszanka żwirowo-emulsyjna powinna wykazywać jak najmniejszą wrażliwość termiczną, czyli jak najmniejszą zmianę sztywności przy zmianie temperatury.

$$W_{us} = \frac{E_1 - E_2}{T_2 - T_1} \text{ [MPa}^{\circ}\text{C]}$$

W ocenie właściwości zastosowano wskaźnik sztywności WS wg wzoru:

$$WS = \frac{E \text{ w temperaturze } 0^{\circ}\text{C}}{E \text{ w temperaturze } 20^{\circ}\text{C}}$$

Ogólnie wskazane jest, aby mieszanka miała dużą sztywność w wysokiej temperaturze (świadczy o dobrej odporności na koleinowanie), małą wrażliwość termiczną i małą sztywność w niskich temperaturach (świadczy o większej odporności na pękanie niskotemperaturowe).

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić że:

- a) moduły sztywności zarówno w niskiej temperaturze (0°C) jak i w wysokiej (20°C) w przypadku badanych mieszanek MMA B i MMA P są zdecydowanie niższe niż moduły mieszanek porównawczych BA 0/12,8 i SMA 0/12,8
- b) obliczony wskaźnik usztywnienia W_{us} wskazuje na mniejszą wrażliwość termiczną mieszanek MMA B i MMA P, co oznacza, że mieszanki te wykazują mniejszą zmianę sztywności przy zmianie temperatury.

Mieszanki na gorąco (porównawcze) zostały sporządzone z asfaltu D70 i zawierają 3 % wolnej przestrzeni. Mieszanki GE sporządzono z asfaltu D100 i wolna przestrzeń oznaczona na próbkach Duriez wyniosła 12 % (V/V).

Wyniki wytrzymałości oceniane w aparacie NAT pomiędzy mieszankami na zimno i na gorąco nie są porównywalne. Zamieszczono wyniki badania próbek na gorąco, aby pokazać o jakiej wytrzymałości mówimy. Badanie takie zostało wykonane po raz pierwszy (nie znaleziono opisu w literaturze), dlatego też próby będą kontynuowane w II części pracy.

8 Podsumowanie

Prace nad właściwościami mieszanek mineralno-emulsyjnych wzbogacono o nowe metody badawcze z zastosowaniem najnowszej aparatury. Za podstawę przyjęto metodę Duriez opisaną w normie francuskiej i stosowaną powszechnie w praktyce projektowej. Alternatywnie zastosowano aparat NAT do wyznaczenia modułów sztywności w trzech temperaturach. Wyniki te, jak można było oczekiwać wykazały niskie wartości modułów dla mieszanki GE.. Mieszanka ta nie wypada zbyt dobrze w badaniach zmęczeniowych z uwagi na dużą zawartość wolnej przestrzeni, małą zawartość asfaltu i duży kąt tarcia wewnętrznego pomiędzy ziarnami mieszanki mineralnej.

Inaczej wypada odporność na koleinowanie. Tu potwierdza się duża odporność mieszanki GE na odkształcenia trwałe.

Podczas projektowania mieszanki GE najczęściej dobiera się emulsje do lokalnego kruszywa, gdyż podstawowym kanonem metody jest niski koszt materiałów wyjściowych. Dobór emulsji polega na uzyskaniu możliwie dużego otoczenia mieszanki mineralnej w stosunkowo długim czasie. W celu uzyskania optymalnego rezultatu stosowane są różne emulgatory w różnych ilościach oraz dodatkowo środki pomocnicze poprawiające adhezję i opóźniające rozpad. W niniejszej pracy stwierdzono optymalne współdziałanie emulgatora Polyram L-80 i środka pomocniczego Stabiram AD.

Praca będzie kontynuowana w roku następnym jeszcze w skali laboratoryjnej, ale przede wszystkim w skali doświadczalnej w wytwórni i na drodze w celu dopracowania się kompleksowego rozwiązania dla zastosowania mieszanki mineralno-emulsyjnej GE do wzmocniania konstrukcji dróg.

9 Literatura

1. NF P 98-121 Assises de chaussées, graves-émulsion (Podbudowy nawierzchni, Mieszanka GE) Listopad 1993
2. Directive pour la réalisation des assises de chaussée en graves-émulsion (Instrukcja dla budowy warstw podbudowy nawierzchni z mieszanki mineralno-emulsyjnej GE) wydana przez francuskie Centralne Laboratorium Mostów i Dróg (LCPC) w 1974 r.
3. Centro de Investigacion Espidio Sanchez Marcos, Grava Emulsión
4. SFERB Les Émulsions de bitume Paris 1988
5. NF P 98-251-4 Essais relatifs aux chaussées, Essais statiques sur mélanges hydrocarbonés Partie 4: Essais DURIEZ sur mélanges hydrocarbonés à froid à l'émulsion de bitume
6. J. Vercollier: Un nouveau liant: "le Bitumactif" Ses applications dans les domaines des enrobés et des graves-émulsions. RGRA 196.
7. M. Remé; Graves améliorées à l'émulsion cationique dans le département du Cher
8. M. Vivier; Graves traitées à l'émulsion de bitume, constatations sur un chantier BLLPC 42 déc. 1969
9. SFERB; Les graves-émulsion dans la construction et le renforcement des chaussées BLLPC 63 01.02 1973
- 10 F. Chaignon; Colgrave la grave-émulsion de Colas. Un atout majeur pour l'entretien. RGRA 673, avril 1990
11. J. Lassalle; Les graves-émulsion en renforcement
12. J.J. Potti, Study of breaking mechanism and cohesion built-up on bituminous emulsions. Optel Project, Eurasphalt & Eurobitume Congres, Barcelona, 2000 r., Book II, p. 480
- 13 B. Eckmann, J.J. Potti, M. Bourrel, Technologies à froid: les enseignements du project OPTEL, Revue Generale des Routes et Aerodromes No. 792, fevier 2001
14. Warunki Techniczne "Drogowe kationowe emulsje asfaltowe EmA-99", Seria I, Zeszyt 60, IBDiM, Warszawa 1999 r.