

Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni
Pracownia Technologii Nawierzchni

Sprawozdanie z realizacji I etapu tematu TN-246

**Analiza wpływu warunków badania i stanu próbki na wyniki badań
właściwości objętościowych mieszanek mineralno-asfaltowych według
nowych norm PN-EN 12697-5, PN-EN 12697-6 i PN-EN 12697-8**

Opracowali:

mgr inż. Robert Mularzuk
mgr inż. Dominika Maliszewska
mgr inż. Maciej Maliszewski

Zatwierdził:
Kierownik Zakładu
Technologii Nawierzchni:

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, grudzień 2008

(strona pusta)

Spis treści

1	Podstawa formalna.....	3
2	Przedmiot i cel pracy	3
3	Program i metodyka badań	4
3.1	Program badań	4
3.2	Podstawy metodyki badań	5
3.3	Sporządzanie próbek.....	5
3.4	Laboratoryjne sposoby zagęszczania.....	6
3.5	Rodzaje próbek do badań gęstości objętościowej.....	6
4	Metody badań właściwości objętościowych.....	7
5	Wybrane aspekty wpływu składników mineralnych na przykładzie kruszywa z żużła stalowniczego	8
5.1	Charakterystyka	8
5.2	Właściwości objętościowe kruszywa z żużła LD	11
6	Grupa mma mieszana przemysłowo	15
6.1	AC20 do warstwy ścieralnej	15
6.2	AC25 do warstwy wiążącej	17
6.3	AC16 do warstwy wiążącej	18
6.4	SMA12 do warstwy ścieralnej	20
6.5	AC8 do warstwy ścieralnej	21
7	Grupa mma mieszana w laboratorium	23
7.1	Beton asfaltowy z kruszywem bazaltowym AC16B	23
7.2	Beton asfaltowy z kruszywem wapiennym AC16W	25
7.3	Beton asfaltowy z kruszywem granitowym AC16G	28
7.4	Kruszywo granitowe	28
7.5	Beton asfaltowy z otoczkami AC16O	32
7.6	Kruszywo łamane z otoczek	32
7.7	Beton asfaltowy z kruszywem z żużła stalowniczego AC16Z	38
8	Wyniki badań.....	40
8.1	Grupa mma mieszana przemysłowo	40
9	Uwagi końcowe	47

(strona pusta)

1 Podstawa formalna

Niniejsze opracowanie stanowi sprawozdanie częściowe z pracy wykonanej w 2008 r. w Pracowni Technologii Nawierzchni Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, na podstawie umowy nr 2189/2008 z dnia 11.08.2008 r., w ramach dwuletniej pracy zleconej przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie. Praca nosiła tytuł „Analiza wpływu warunków badania i stanu próbki na wyniki badań właściwości objętościowych mieszanek mineralno-asfaltowych według nowych norm PN-EN 12697-5, PN-EN 12697-6 i PN-EN 12697-8” i nadano jej symbol IBDiM „TN-246”.

2 Przedmiot i cel pracy

Jednymi z podstawowych parametrów oceny właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej (**mma**) są zawartość wolnych przestrzeni oraz stopień zagęszczenia, tak na etapie projektowania składu jak i oceny wbudowanych warstw. Oba te parametry obliczane są na podstawie gęstości i gęstości objętościowej, a te z kolei określane z oznaczania objętości próbek. Szereg właściwości, takich jak zawartość wolnych przestrzeni w mma i mieszance mineralnej (**mm**), czy wypełnienie wolnych przestrzeni lepiszczem, a więc związanych z zagęszczeniem i proporcjami podstawowych składników mma: szkieletu mineralnego, lepiszcza i wolnych przestrzeni nazwano na potrzeby niniejszej pracy **właściwościami objętościowymi**.

Dotychczas obowiązujące i powszechnie stosowane w Polsce metody badań nie precyzowały jednoznacznie rodzaju i stanu próbek badawczych służących do jednoznacznej oceny jakości wykonania warstwy asfaltowej. Decydująca, i często dyskwalifikująca, jest ocena zagęszczenia warstwy. Na uzyskaną wartość właściwości objętościowych wpływa m.in. stan próbki. Przykładowo badając próbki o różnych wymiarach kolejno wycinane z jednej dużej próbki, uzyskiwane są inne wartości oznaczeń gęstości objętościowej. Występują również różnice ze względu na rodzaj powierzchni: uzyskanej na skutek zagęszczenia w formie lub wycięcia z zagęszczonej próbki (przecięte ziarna, gładza powierzchnia). Skala tych różnic zależy od rodzaju mma, tzn. wielkości najgrubszego ziarna, zawartości lepiszcza i stopnia zagęszczenia. Dowodzi to m.in., że dotychczasowy sposób oceny wbudowania mma może być obarczony błędami. Poza tym istnieje kilka metod oznaczania „tej samej” właściwości objętościowej, co zostało ujęte w nowych normach PN-EN 12697. Ważne jest ustalenie ewentualnych zależności pomiędzy różnymi metodami oznaczania, z uwzględnieniem stanu/rodzaju próbki, wraz z ewentualnym określeniem ograniczeń w stosowaniu poszczególnych metod. W normach PN-EN 12697 zawarto wskazówki wyboru rodzaju metody oznaczania, lecz należy to ujednolicić w polskich warunkach oraz należy w wymaganiach technicznych uszczegółowić opisy dotyczące stanu i rodzaju próbek do badań, aby w jak największym stopniu zharmonizować wymagania i kryteria oceny wykonanych warstw asfaltowych, eliminując możliwość dowolności takiej oceny.

Efektem pracy będzie porównanie stosowanych metod badawczych w powiązaniu ze stanem próbki, w tym sposobem uzyskania i wpływem wymiarów oraz typem mieszanki mineralno-asfaltowej. Zakłada się, że główną korzyścią pracy będzie możliwość sformułowania/uzupełnienia jednoznacznych i nie budzących zastrzeżeń i sporów wymagań technicznych, zawierających opis metod badań i rodzaju/stanu próbek, z ewentualnymi zapisami porównywania różnych wyników z uwagi na metodę badania i stan próbki.

Rezultaty tej pracy będą służyły nie tylko potrzebom własnym Zamawiającego, ale również będą bardzo przydatne dla projektantów, nadzoru i wykonawców nawierzchni asfaltowych oraz zwiększą poprawność oceny wykonanych warstw asfaltowych.

3 Program i metodyka badań

3.1 Program badań

Program badań stanowiący załącznik 1 do umowy na wykonanie pracy badawczej uwzględniał dwa etapy: pierwszy w 2008 roku i drugi w 2009 roku. Całą pracę podzielono na 5 zadań. W ramach etapu I przewidziano wykonanie 2 zadań oraz częściowo zadania 3-ciego.

Zadanie 1 Wytypowanie metod badawczych i sposobów przygotowania próbek

Opracowanie, dostosowanie i/lub uszczegółowienie metod oznaczania właściwości objętościowych oraz uzyskiwania i przygotowywania próbek do badań, na podstawie analizy metod znormalizowanych z uwzględnieniem doświadczeń wykazanych w literaturze.

Zadanie 2 Przygotowanie materiałów do badań

Wytypowanie i zgromadzenie składników mma oraz zaprojektowanie składów mma z uwzględnieniem wpływu zawartości lepiszcza i stopnia zagęszczenia, maksymalnego rozmiaru ziarna oraz rodzaju składników mineralnych.

Przewiduje się użycie kruszyw (i odpowiadające im symbole):

- bazaltowych (**B**),
- melafirowych (**M**),
- porfirowych (**P**),
- amfibolitowych (**A**),
- granitowych (**G**),
- wapiennych (**W**),
- z przekruszonych otoczków (**O**),
- z żużla stalowniczego (**Z**).

Ocenione będą typy mieszanek mineralno-asfaltowych:

- beton asfaltowy (**AC**),
- mieszanka **SMA**,
- asfalt porowaty (**PA**).

Mma będą w wybranych wariantach ze względu na rodzaj kruszywa, rozmiar najgrubszego ziarna **D**, zawartość lepiszcza **B** i stopień zagęszczenia (wyrażony wskaźnikiem zagęszczenia **P** względem gęstości wzorcowej i/lub zawartością wolnych przestrzeni **V**).

Zadanie 3 Badania właściwości mma

Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej różnymi metodami oraz obliczenia pozostałych właściwości objętościowych próbek uzyskanych różnymi sposobami.

Będą przeprowadzane badania próbek mma mieszanych laboratoryjnie oraz zagęszczanych sposobami laboratoryjnymi, a w przypadku badań mma mieszanych przemysłowo będą przeprowadzane badania próbek z jednej partii produkcyjnej zagęszczanych sposobami laboratoryjnymi i wyciętych z warstwy nawierzchni. Będą stosowane sposoby zagęszczania:

- ubijakiem Marshalla, próbki walcowe o średnicy (nominalnej) 100 mm i wysokości (nominalnej) 63 oraz 100 mm,
- prasą żyratorową, próbki walcowe o średnicy 100 mm i wysokości (nominalnej) 63 mm oraz 100 mm, próbki z nich wycięte średnicy (nominalnej) 80 mm,
- prasą żyratorową, próbki walcowe o średnicy 150 mm i wysokości (nominalnej) 63 mm, 100 mm oraz 150 mm, próbki z nich wycięte średnicy (nominalnej) 100 mm oraz 80 mm,
- walcem laboratoryjnym, próbki prostopadłościenne (płyty) o grubości 50 mm oraz 100 mm, próbki z nich wycięte średnicy (nominalnej) 150 mm, 100 mm oraz 80 mm,

- walcami drogowymi ogumionymi i stalowymi (statyczno-wibracyjnymi), wycięte z warstwy asfaltowej próbki o średnicy (nominalnej) 200 mm, 150 mm, 100 mm oraz 80 mm.

3.2 Podstawy metodyki badań

Podstawami przyjętej metodyki badań było:

- 1) Porównanie właściwości objętościowych różnych rodzajów próbek mieszanych i zagęszczonych w laboratorium.
- 2) Porównanie właściwości objętościowych różnych rodzajów próbek z jednej partii produkcji przemysłowej (w celu wyeliminowania błędów w składzie lub jakości składników) zagęszczonych w laboratorium i w warstwie na drodze.
- 3) Przeznaczenie do badań typów mma:
 - beton asfaltowy,
 - mieszanka SMA,
 - asfalt porowaty.
- 4) Projektowanie składu mma, ich produkcja, zagęszczanie laboratoryjne, wbudowanie na drodze i odwiercanie próbek z drogi i próbek laboratoryjnych.
- 5) Porównywanie wyników badań właściwości objętościowych różnych rodzajów próbek.

3.3 Sporządzanie próbek

Właściwości objętościowe mma określono na dwóch głównych grupach mma: mieszanych laboratoryjnie oraz mieszanych przemysłowo w wytwórni. W przypadku mma mieszanych laboratoryjnie jednorazowo sporządzano zarób wielkości ok. od 6 kg do 14 kg. W przypadku luźnych mma pobieranych na drodze w trakcie wbudowywania gorących mieszanek, próbkę ogólną gorącej mma pobierano ze ślimaków rozkładarki i umieszczano w termosach, a następnie przewożono do laboratorium IBDiM. W laboratorium IBDiM, przed ostygnięciem próbki ogólnej, wydzielano z niej próbki laboratoryjne, a z nich próbki analityczne. W przypadku obu grup mma gorące mieszanki natychmiast zagęszczano (bez ponownego rozgrzewania) standardową metodą w ubijaku Marshalla. W przypadku obu grup mma wszystkie rodzaje próbek laboratoryjnych formowano z mieszanki powtórnie rozgrzewanej: standardową metodą w ubijaku Marshalla, prasą żyratorową w formach $\varnothing = 100$ mm i $\varnothing = 150$ mm oraz zagęszczarką płytową w formach prostopadłościennych 180 x 500 mm i wysokości 50 oraz 100 mm.

Zagęszczano dwa rodzaje próbek ubijakiem Marshalla, różniące się wysokością:

- o wysokości 63 ± 5 mm, stosując po 75 uderzeń na każdą powierzchnię czołową – próbki wzorcowe ze względu na gęstość objętościową,
- o wysokości 100 ± 5 mm, stosując po 120 uderzeń na każdą powierzchnię czołową.

Zagęszczanie próbek o wysokości 100 mm ubijakiem Marshalla wykonano stosując 2 x 120 uderzeń na stronę.

W przypadku zagęszczania próbek prasą żyratorową stosowano taką liczbę obrotów, aby uzyskać gęstość objętościową określoną geometrycznie równą gęstości objętościowej geometrycznej próbek wzorcowych, zagęszczonych ubijakiem Marshalla 2 x 75 uderzeń.

Posługując się walcem laboratoryjnym stosowano taką liczbę przywałowań, aby uzyskać gęstość objętościową równą gęstości objętościowej określonej geometrycznie próbek wzorcowych.

Z miejsca na drodze, skąd ze ślimaka rozkładarki pobrano mieszankę do zagęszczania sposobami laboratoryjnymi wycinano z zagęszczonej warstwy próbki walce o średnicy 200 mm.

3.4 Laboratoryjne sposoby zagęszczania

3.4.1 Zagęszczanie ubijakiem Marshalla

Próbki zagęszczano ubijakiem Marshalla zgodnie z zapisami normy PN-EN 12697-30. Zależnie od rodzaju badania, próbki miały różną wysokość. Uległa zmianie energia zagęszczania, zależnie od wysokości próbki stosowano liczbę uderzeń ubijaka Marshalla:

- wysokość 63 mm - 75 uderzeń na stronę,
- wysokość 100 mm - 120 uderzeń na stronę, przy czym pierwsze 20 uderzeń stosuje się po wypełnieniu formy w 2/3 całkowitej masy mieszanki mineralno-asfaltowej.

3.4.2 Zagęszczanie prasą żyratorową

Próbki zagęszczano prasą żyratorową zgodnie z zapisami normy PN-EN 12697-31. Zagęszczanie jest dokonywane przez równoczesne działanie statycznego nacisku oraz ścinania, wynikającego z obrotowego ruchu osi próbki. Ruch ten generuje stożkową powierzchnię obrotu, o kącie przy wierzchołku równym 2α . Powierzchnie czołowe próbki pozostają prostopadłe do osi stożka przez cały czas badania.

Wartość nacisku pionowego (ściskanie) jest stała podczas zagęszczania, co wywołuje stałe naprężenie pionowe.

Zagęszczanie mma doprowadzano do wartości wzorcowej gęstości objętościowej otrzymanej z zagęszczania w ubijaku Marshalla i oznaczonej z pomiarów geometrycznych. Zagęszczanie trwało do osiągnięcia założonej gęstości objętościowej oznaczonej geometrycznie.

3.4.3 Zagęszczanie walcem laboratoryjnym

Próbki zagęszczano walcem laboratoryjnym (urządzeniem wałującym) zgodnie z zapisami normy PN-EN 12697-33.

Zagęszczanie w walcu laboratoryjnym polegało na wałowaniu mieszanki w formie za pomocą stalowej stopy w kształcie wycinka koła o promieniu $R = 600$ mm. Ruch stalowej stopy ma charakter ugniatający z jednoczesnym obrotem wycinka koła względem jego środka (ruch środka koła jest posuwisto-zwrotny).

Walec będący na wyposażeniu IBDiM wymusza stosowanie wałowania próbki w dwóch warstwach do płyty o grubości 50 mm lub w trzech warstwach do płyty o grubości 100 mm. Wynika to z rozwiązania, na podstawie którego zagęszczenie jest kontrolowane geometrycznie, tzn. przez dobranie odpowiedniej ilości mma w celu uzyskania żądanej gęstości objętościowej z pomiaru geometrycznego przy stałej wysokości formy.

3.4.4 Zagęszczanie w terenie walcami drogowymi

Zagęszczanie walcami drogowymi w terenie odbywało się zgodnie z zasadami krajowych dokumentów.

3.5 Rodzaje próbek do badań gęstości objętościowej

W celu uproszczenia opisów zastosowano oznakowanie próbek:

- **M06** - ubijak Marshalla, średnica formy 100 mm, wysokość 63,5 mm,
- **M10** - ubijak Marshalla, średnica formy 100 mm, wysokość 100 mm,
- **Z10h06** - prasa żyratorowa, średnica formy 100 mm, wysokość 63 mm,
- **Z10h10** - prasa żyratorowa, średnica formy 100 mm, wysokość 100 mm,
- **Z15h06** - prasa żyratorowa, średnica formy 150 mm, wysokość 63,5 mm,
- **Z15h10** - prasa żyratorowa, średnica formy 150 mm, wysokość 100 mm,
- **Z15h15** - prasa żyratorowa, średnica formy 150 mm, wysokość 150 mm,

- **Zc10h06** - prasa żyratorowa, próbki średnicy 100 mm wycięte z Z15h06,
- **Zc10h10** - prasa żyratorowa, próbki średnicy 100 mm wycięte z Z15h10,
- **Zc10h15** - prasa żyratorowa, próbki średnicy 100 mm wycięte z Z15h15,
- **Zc08h06** - prasa żyratorowa, próbki średnicy 80 mm wycięte z Zc10h06,
- **Zc08h10** - prasa żyratorowa, próbki średnicy 80 mm wycięte z Zc10h10,
- **Zc08h15** - prasa żyratorowa, próbki średnicy 80 mm wycięte z Zc10h15,
- **P05** - walec laboratoryjny, płyta o wymiarach 180x500x50 mm,
- **P10** - walec laboratoryjny, płyta o wymiarach 180x500x100 mm,
- **Pc15h05** - walec laboratoryjny, próbki średnicy 150 mm wycięte z płyt P05,
- **Pc15h10** - walec laboratoryjny, próbki średnicy 150 mm wycięte z płyt P10,
- **Pc10h05** - walec laboratoryjny, próbki średnicy 100 mm wycięte z Pc15h05,
- **Pc10h10** - walec laboratoryjny, próbki średnicy 100 mm wycięte z Pc15h10,
- **Pc08h05** - walec laboratoryjny, próbki średnicy 80 mm wycięte z Pc10h05,
- **Pc08h10** - walec laboratoryjny, próbki średnicy 80 mm wycięte z Pc10h10,
- **D20** - próbki średnicy 200 mm wycięte z drogi,
- **D15** - próbki średnicy 150 mm wycięte z D20,
- **D10** - próbki średnicy 100 mm wycięte z D15,
- **D08** - próbki średnicy 80 mm wycięte z D10.

4 Metody badań właściwości objętościowych

Zasadniczymi metodami badań właściwości objętościowych są metody znormalizowane, czyli procedury zwalidowane, których stosowanie powinno zapewnić oznaczenie wybranej właściwości próbki (materiału o określonej postaci).

Obecnie w Polsce najważniejsze są metody według norm:

- PN-EN 12697-5+A1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 5: Oznaczanie gęstości
- PN-EN 12697-6+A1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej
- PN-EN 12697-7:2006 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 7: Oznaczanie gęstości objętościowej próbek promieniami gamma
- PN-EN 12697-8:2005 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 8: Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni
- PN-EN 12697-29:2006 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metoda badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 29: Oznaczanie wymiarów próbki z mieszanki mineralno-asfaltowej

Istotniejszymi metodami badawczymi, związanymi z określaniem właściwości objętościowych, są jeszcze normy:

- ASTM D0070-08 Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method)
- ASTM D1188-07 Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples
- ASTM D2041-03A Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures
- ASTM D2726-08 Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures

- ASTM D2950-05 Test Method for Density of Bituminous Concrete in Place by Nuclear Methods
- ASTM D3203-05 Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures
- ASTM D3289-08 Test Method for Density of Semi-Solid and Solid Bituminous Materials (Nickel Crucible Method)
- ASTM D6752-03E01 Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Automatic Vacuum Sealing Method
- ASTM D6857-03 Test Method for Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures Using Automatic Vacuum Sealing Method
- ASTM D7063-05 Test Method for Effective Porosity and Effective Air Voids of Compacted Bituminous Paving Mixture Samples
- ASTM D7113-05 Test Method for Density of Bituminous Paving Mixtures in Place by the Electromagnetic Surface Contact Methods
- ASTM D7172-06 Test Method for Determining The Relative Density (Specific Gravity) And Absorption Of Fine Aggregates Using Infrared

5 Wybrane aspekty wpływu składników mineralnych na przykładzie kruszywa z żużła stalowniczego

5.1 Charakterystyka

Żużel stalowniczy konwertorowy, zwany także **żużlem LD**, powstaje podczas wytapiania stali w piecu konwertorowym. Ciekły żużel jest gromadzony w celu powolnego zestalania, podczas którego wykryształizowują głównie krzemiany dwu i trzy wapniowe, ferryt wapniowy oraz wustyt. W żużlu LD dochodzi także do zmian fazowych, a więc i rozpadów krzemianowych, przy czym największe znaczenie mają rozpady związane z występowaniem wolnego tlenku wapnia. Fragmenty wolnego wapna w zetknięciu z wilgocią ulegają lasowaniu, co wytwarza temperaturę i prowadzi do powstania uwodnionego tlenku wapnia ze zwiększeniem objętości. Skutkiem tego procesu jest rozpad żużla polegający na pęknięciach pojedynczych ziaren kruszywa.

Żużle LD przypominają z wyglądu bazalt, mają dużą gęstość właściwą i objętościową. Posiadają wysoką wytrzymałość na ściskanie, dużą szorstkość, niską ścieralność i polerowalność. Podstawowy czynnik wpływający na właściwości żużli, a przez to i na ich zastosowania, to skład chemiczny i budowa zależna od szybkości stygnięcia oraz technologii wytwarzania kruszywa.

Żużel konwertorowy pod względem rodzaju składników chemicznych zbliżony jest do lawy skalnej, z której powstały naturalne materiały kamienne z wyraźną przewagą niektórych tlenków (np. CaO) oraz żelaza (ferromagnetyku).

Przez duży wpływ składu chemicznego żużli na cechy produkowanych z nich kruszyw istotnym zagadnieniem staje się stałość proporcji składników. W tablicy 1 przedstawiono przykładowy skład żużla LD i jego zmienność oraz porównawczo skład bazaltu. Proporcje składników bazaltu i żużla różnią się między sobą. Wynikają z tego odmienne właściwości mimo pozornego, wizualnego podobieństwa obu kruszyw.

Żużle LD zawierają pewne ilości pierwiastków promieniotwórczych. Przepisy dopuszczające materiały budowlane do stosowania w budownictwie określają wartości dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych wydzielanych przez nie. Żużle spełniają te wymagania i mogą być stosowane nie tylko w budownictwie drogowym, ale również w budownictwie mieszkaniowym, co pokazują wyniki badań w tablicy 2. Ponadto poziom

promieniotwórczości naturalnej żużli jest niższy od promieniotwórczości naturalnych materiałów stosowanych w budownictwie (patrz tablica 3).

Na podstawie tych wiadomości można przewidzieć, że zawartość żelaza w ziarnach żużla oraz promieniotwórczość mogą powodować zaburzenia w badaniach właściwości objętościowych przy użyciu metod elektromagnetycznych i radiacyjnych.

Tablica 1 Skład chemiczny żużla LD oraz bazaltu

Skład, %	Żużel konwertorowy	Wahania składu	Bazalt
CaO	43,5	$\pm 2,0$	12,0
MgO	5,0	$\pm 2,0$	0,7
SiO ₂	15,3	$\pm 2,0$	54,0
Al ₂ O ₃	3,0	$\pm 1,5$	27,0
Mn	4,5	$\pm 1,0$	-
Fe (całk.)	23,0	$\pm 4,0$	2,2
Pozostałe tlenki	-	-	0,5
S (w przeliczeniu na SO ₃)	0,5	$\pm 0,1$	-
Wilgoć (H ₂ O)	3,0	$\pm 2,0$	-

Tablica 2 Właściwości promieniotwórcze żużla LD

Próbka	Aktywność właściwa [Bq/kg]			f ₁	f ₂
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	-	[Bq/kg]
Kruszywo z żużla LD	18 ± 10	17 ± 3	5 ± 3	0,07 ± 0,01	17 ± 3

Tablica 3 Promieniotwórczość naturalna niektórych surowców budowlanych

Rodzaj surowca	Średnia wartość współczynników	
	f ₁	f ₂
Kreda	0,07	11
Gips	0,08	16
Piasek	0,11	16
Glina	0,47	46
Popiół lotny	0,87	122
Cement portlandzki	0,28	48
Żużel wielkopiecowy	0,44	106
Żużel konwertorowy	0,07	17

Wymagania (wg Instrukcji ITB Nr 234/95):

$$f_{1\max} = f_1 + \Delta f_1 \leq 1$$

$$f_{2\max} = f_2 + \Delta f_2 \leq 185 \text{ Bq/kg}$$

gdzie Δ – dwa odchylenia standardowe

Cechy fizyko-mechaniczne żużli LD wynikają z ich składu chemicznego i budowy. Ze względu na wysoką zawartość związków żelaza żużle mają dużą gęstość, od 3,1 do 3,5 g/cm³ (bazalt około 3,0 g/cm³, granit około 2,6-2,7 g/cm³).

Żużel LD ze względu na większą porowatość charakteryzuje się też zwiększoną nasiąkliwością – chłonnością (żużel około 3 % w zależności od frakcji i wieku, granit od 0,0 do 2,3 %). Nie powoduje to jednak obniżenia mrozoodporności w porównaniu do kruszyw naturalnych. W przypadku stosowania żużli w mma zwiększona porowatość nie powoduje wad materiałowych. Występuje zwiększona chłonność asfaltu, co nie pogarsza odporności mma na deformacje trwałe, a polepsza jej trwałość (odporność na mróz i wodę, zmęczenie). Efekt taki może natomiast wpływać na oznaczanie właściwości objętościowych, w pierwszej kolejności gęstości w wodzie i rozpuszczalniku.

Generalnie kruszywo z żużla LD spełnia wymagania stawiane w nowych przepisach, przy czym wykazuje znaczną nasiąkliwość z równoczesną dobrą mrozoodpornością. Kruszywo te ma niską ścieralność. Przyczepność asfaltu do kruszywa w przypadku żużli LD jest bardzo dobra, lepsza niż np. w przypadku bazaltu. Przykładowe średnie wartości wybranych właściwości kruszywa żużlowego przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4 Przykładowe właściwości fizyko-mechaniczne grysów z żużla LD

Właściwości	Grysy żużlowe
Ścieralność w bębnie Los Angeles, całkowita po pełnej liczbie obrotów w %	16,0
Nasiąkliwość w %	3,2
Mrozoodporność w %	1,1
Mrozoodporność wg metody zmodyfikowanej w % (+ 2 % NaCl)	< 5,0
Zawartość ziaren mniejszych niż 0,063 mm w %	< 3,0
Zawartość zanieczyszczeń obcych w %	< 0,3
Zawartość ziaren nieforemnych w %	< 20
Rozpad wapniowy w %	0,3
Rozpad żelazawy w %	0,5
Przyczepność lepiszcza	bardzo dobra

Ze względu na zwiększoną porowatość żużle LD posiadają odmienne od kruszyw naturalnych właściwości termiczne. Przewodnictwo cieplne żużla LD w porównaniu z żużlem wielkopiecowym i granitem kształtuje się jak w tablicy 5.

Tablica 5 Porównanie przewodnictwa cieplnego żużli i granitu (LD1 - próbka sezonowana 1 rok, LD2 - próbka sezonowana 2 lata)

Właściwość	Żużel konwertorowy LD1	Żużel konwertorowy LD2	Żużel wielkopiecowy	Granit
Przewodnictwo cieplne, W/mK				
stan suchy, 22 °C	0,29	0,13	0,35	1,0
nasycony wodą, -10 °C	1,16	2,09	0,8-1,3	2,3

Jak widać, przewodnictwo cieplne żużla LD jest mniejsze od żużla wielkopiecowego i od granitu, zarówno w stanie suchym w dodatniej temperaturze jak i nasyconego wodą w temperaturze ujemnej. Może to powodować odmienne właściwości termiczne mieszanek mineralno-asfaltowych, przy czym nie bez znaczenia jest większa pojemność cieplna żużla LD z uwagi na jego znaczną gęstość właściwą. Należy to przewidzieć podczas oznaczania właściwości objętościowych i zapewnić odpowiedni czas termostowania przed pomiarami.

5.2 Właściwości objętościowe kruszywa z żużla LD

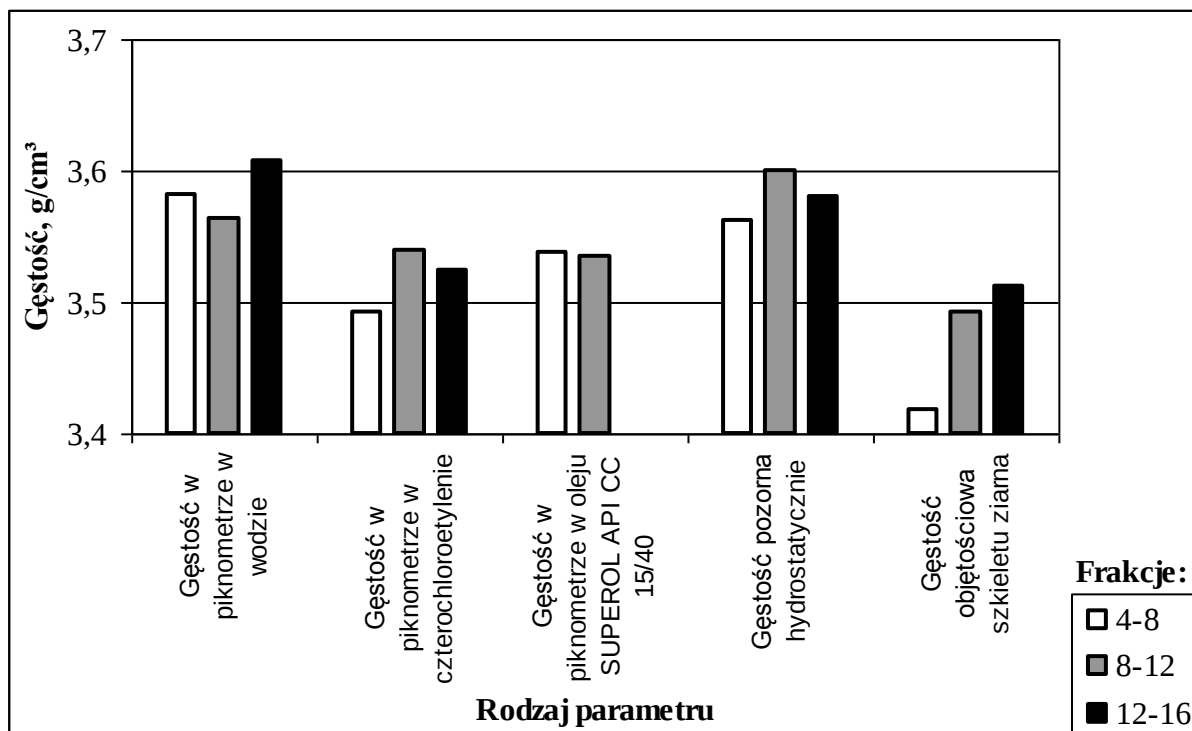
W tablicy 6 przedstawiono wyniki oznaczeń właściwości objętościowych kruszywa żużlowego, czyli gęstości oznaczonych różnymi metodami oraz obliczonej na tej podstawie porowatości kruszyw żużlowych oraz chłonności asfaltu.

Tablica 6 Porowatość, absorpcja asfaltu oraz gęstość kruszywa żużlowego oznaczona różnymi metodami

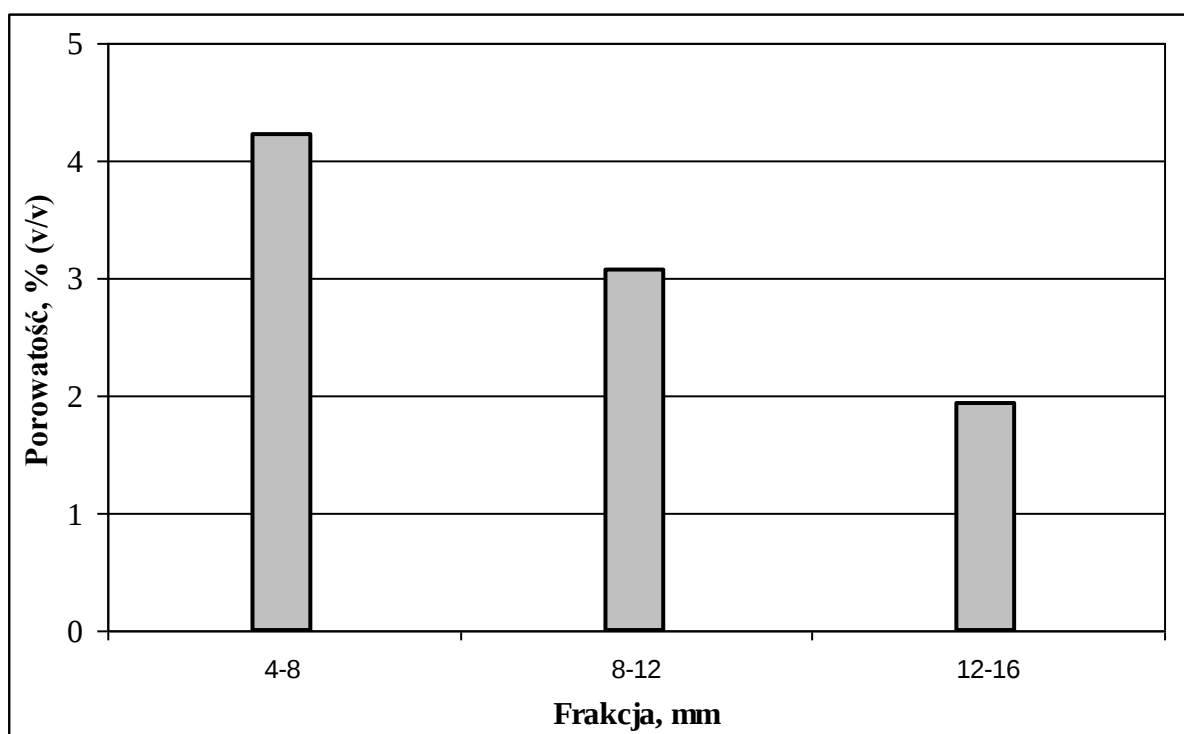
Właściwości	Jednostki	Fracja kruszywa żużlowego, mm			
		4-8	8-12	12-16	12-16
Gęstość w piknometrze w wodzie	g/cm ³	3,582	3,564	3,607	3,607
Gęstość w piknometrze w czterochloroetylenie	g/cm ³	3,493	3,540	3,525	3,526
Gęstość w piknometrze w oleju SUPEROL API CC 15/40	g/cm ³	3,538	3,535	-	-
Gęstość pozorna hydrostatycznie	g/cm ³	3,562	3,600	3,580	3,580
Ilość użytego asfaltu do otoczenia ziaren (w stosunku do masy kruszywa)	% m/m	1,6	1,6	1,6	0,8
Gęstość objętościowa szkieletu ziarna*	g/cm ³	3,418	3,493	3,512	3,561
Porowatość	% v/v	4,2	3,1	1,9	0,5
	% m/m	1,2	0,9	0,6	0,2
* - w oryginale ang.: particle dry density					

Uwagę należy poświęcić budowie kruszywa żużlowego z uwagi na jego pochodzenie. Żużel LD ma strukturę porowatą. Ziarna kruszywa żużlowego charakteryzują się rozwiniętą powierzchnią z licznymi wklęsłościami, zagłębieniami itp. Na powierzchni występują kanaliki niejednokrotnie łączące się porami występującymi przy powierzchni ziarna. To sprawia, że kruszywo żużłowe jest chłonne. Stwierdza się to np. w badaniu nasiąkliwości. Kruszywo żużłowe ma większą nasiąkliwość niż kruszywo pochodzenia naturalnego magmowego, choć nie wpływa to negatywnie na inne cechy kruszywa żużlowego. Z powodu porowatej budowy i większej nasiąkliwości wodą podejrzewa się większą chłonność asfaltu przez kruszywo żużłowe. Wykonano badania pozwalające ocenić taką właściwość. Posłużono się metodami oraz wskazówkami zawartymi w normie PN-EN 12697-5. Uzyskano wartość gęstości kruszywa oznaczonej pięcioma sposobami. Każda wartość jest inna. Przedstawiono to na rysunku 1. Największą gęstość uzyskano w badaniu w wodzie w piknometrze i hydrostatycznie. W obu przypadkach w czasie oznaczania stosowano nasączenie kruszywa w podciśnieniu. Warunki badania, czyli badanie w cieczy o małej lepkości oraz podciśnienie spowodowały wniknięcie cieczy w pory i kanaliki ziaren kruszywa, a więc wyznaczono ich możliwie małą objętość. Mniejsze wartości gęstości uzyskano w trzech pozostałych sposobach. Gęstość w piknometrze w czterochloroetylenie oznaczona była bez stosowania podciśnienia (z uwagi na temperaturę wrzenia tego rozpuszczalnika), a jedynie stosowano mieszanie w celu usunięcia pęcherzyków powietrza. Można więc uznać, że ciecz nie wniknęła do węższych porów lub kanalików ziaren kruszywa i wyznaczono większą ich objętość. W przypadku oznaczania gęstości w piknometrze w oleju (symulujący ciecz, jaką jest gorący asfalt podczas produkcji mma) stosowano podciśnienie takie samo, jak w przypadku wody. Mniejsza gęstość uzyskana tym sposobem w stosunku do gęstości w piknometrze w wodzie świadczy, że większa lepkość oleju uniemożliwiła jego wniknięcie w wąskie pory i kanaliki kruszywa. Ostatni sposób, dający najmniejszą wartość gęstości, polegał na otoczeniu ziaren kruszywa gorącym asfaltem, o możliwie niskiej temperaturze umożliwiającej otoczenie. Wykonano to w celu zamknięcia porów i kanalików tak, aby w jak najmniejszym stopniu je

wypełnić. Następnie oznaczono gęstość kruszywa metodą hydrostatyczną stosując podciśnienie.



Rysunek 1 Gęstości kruszywa żuźlowego



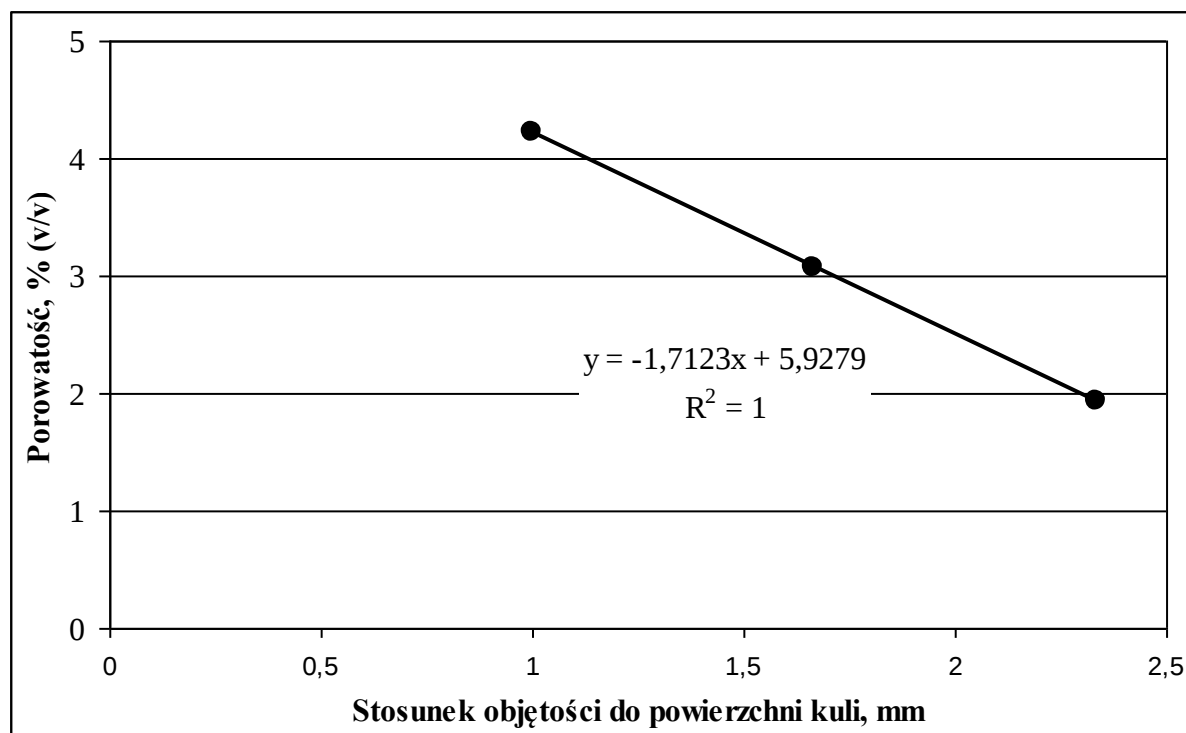
Rysunek 2 Porowatość kruszywa żuźlowego

Porównując w metodzie hydrostatycznej gęstość kruszywa bez otaczania asfaltem i z otaczaniem wyznaczono porowatość, której wartości zobrazowano na rysunku 2. W przypadku badanych frakcji kruszywa żuźlowego wyróżnia się reguła, że najbardziej

porowata jest frakcja najdrobniejsza. Na podstawie tego jednego doświadczenia nie wiadomo na pewno, czy jest to reguła. Można to jednak uzasadnić teoretycznie upraszczając ziarna kruszywa do modelu kuli. Proporcja między objętością a powierzchnią kuli zmienia się zależnie od jej średnicy. Im mniejsza jest średnica, tym ta proporcja jest mniejsza. Mówiąc inaczej, im mniejsza objętość kuli (a więc i masa) tym proporcjonalnie większa powierzchnia. Zmianę proporcji objętość/powierzchnia kuli oraz zmianę porowatości poszczególnych frakcji kruszywa żużlowego opisano w tablicy 7 i zobrazowano na rysunku 3. W przypadku tego porównania uzyskano stuprocentową korelację liniową. Pełna korelacja raczej jest przypadkowa i należy to zweryfikować kolejnymi badaniami. Nie wiadomo również, czy linia prosta jest adekwatną funkcją opisującą tą zależność.

Tablica 7 Charakterystyka porowatości kruszywa żużlowego

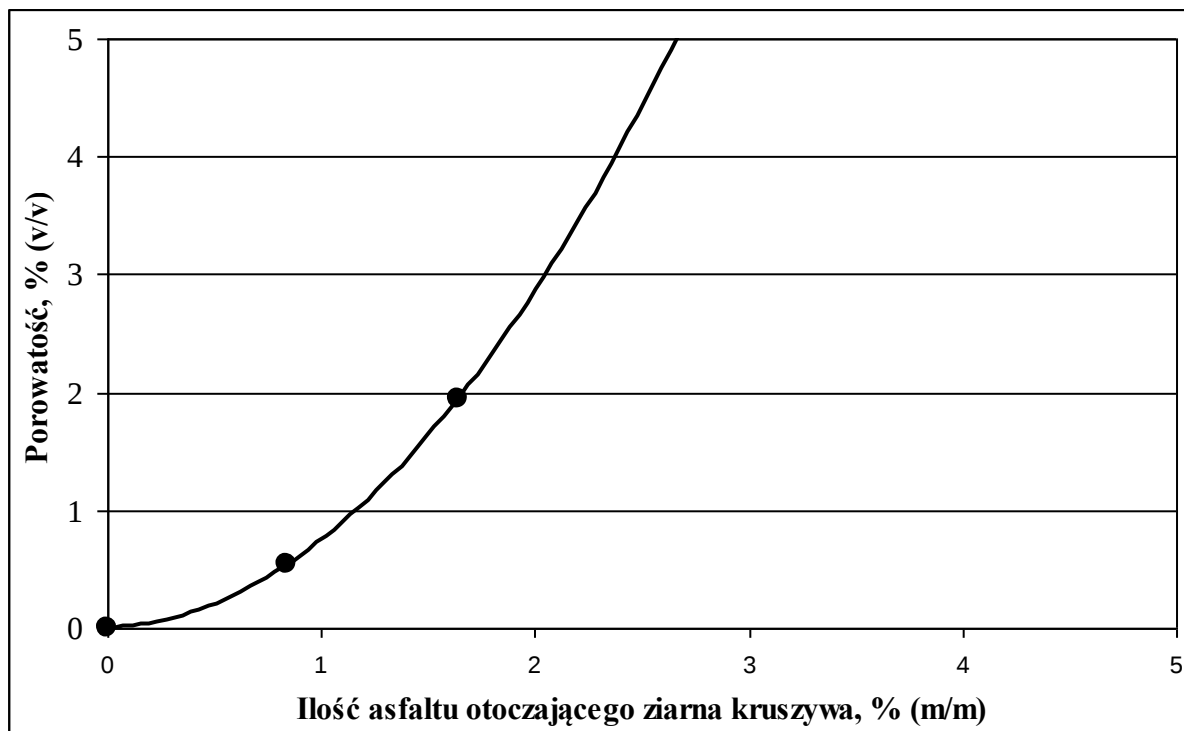
Właściwości		Frakcja		
		4-8	8-12	12-16
Średnia średnica przedziału frakcji,	mm	6	10	14
Objętość kuli opisująca średnią średnicę przedziału frakcji,	mm ³	113,1	523,6	1436,8
Powierzchnia kuli opisująca średnią średnicę przedziału frakcji,	mm ²	113,1	314,2	615,8
Stosunek objętości do powierzchni kuli,	mm	1,00	1,67	2,33
Porowatość,	% v/v	4,2	3,1	1,9



Rysunek 3 Porowatość w zależności do wielkości ziarna kruszywa żużlowego

Na przypadkowość wyniku porowatości może wpłynąć przede wszystkim jakość otoczenia ziaren kruszywa przy wyznaczaniu gęstości objętościowej szkieletu ziarna. Jak pokazano w tablicy 8, zależnie od użytej ilości asfaltu do otoczenia ziaren tej samej frakcji 12-16, uzyskano zupełnie inną wartość porowatości. Wiąże się to z faktem niepełnego otoczenia ziaren kruszywa przez asfalt. Stosując asfalt w ilości 0,8 % m/m uzyskano gęstość objętościową szkieletu ziarna większą niż stosując 1,6 % m/m asfaltu. Nawet stosując większą ilość asfaltu nie uzyskano pełnego otoczenia ziaren. Niektóre ziarna posiadały

wgłębień, których nie dało się pokryć asfaltem. Efekt ten nasilał się wraz ze wzrostem rozmiaru frakcji. Im drobniejsza frakcja, tym ziarna kruszywa miały bardziej kubiczny kształt i lepiej otaczały się asfaltem. Różnicę porowatości z uwagi na niedokładność otoczenia asfaltem zobrazowano na rysunku 4. Uzyskano z badań wartość porowatości przy dwóch zawartościach asfaltu otaczającego ziarna kruszywa. Jako dodatkowy punkt można przyjąć zerową ilość asfaltu do otaczania, przy której porowatość wynosi 0. Na tej podstawie można by oszacować porowatość ziaren przy pełnym ich otoczeniu asfaltem, co wymagałoby opracowania odpowiedniej funkcji to opisującej. Na wykresie użyto wielomianu drugiego stopnia, co jest błędne, gdyż porowatość opisana tą funkcją mogłaby mieć wartość nawet powyżej 100 % m/m. Ten sposób byłby pomocny przy wyznaczaniu porowatości ziaren nie dających się w pełni otoczyć asfaltem.



Rysunek 4 Porowatość w zależności do ilości asfaltu otaczającego ziarna kruszywa

W normie PN-EN 12697-5 podano klasyfikację kruszywa z uwagi na wartość porowatości:

- < 0,5 % v/v kruszywa nieporowate i nie wchłaniające asfaltu
- od 0,5 do 1,5 % v/v kruszywa porowate wchłaniające asfalt w znikomym stopniu
- > 1,5 % v/v kruszywa porowate chłonnae asfalt

Zgodnie z tym kruszywo żuźłowe należy do grupy chłonnych. Nie należy oznaczać gęstości mieszanki mineralno-asfaltowej stosując rozpuszczalnik asfaltu. Na podstawie tego wniosku gęstość mieszanek mineralno-asfaltowych zawierających np. kruszywo żuźłowe należy obliczać korzystając z jego gęstości oznaczonej w oleju.

Kolejnym aspektem wynikającym z klasyfikacji kruszywa żuźłowego jako chłonnego jest ustalenie jakościowej tej właściwości, czyli oszacowanie koniecznego dodatku asfaltu z uwagi na stosowanie kruszywa żuźłowego. Parametr porowatości został określony na podstawie różnic w gęstości oznaczonej przy możliwie dużym wypełnieniu porów ziaren przez ciecz i możliwie małym ich wypełnieniu. Jak zauważono w badaniu gęstości w oleju, a więc cieczy zbliżonej do gorącego asfaltu, pory ziaren nie są w pełni wypełniane asfaltem podczas produkcji mma. Oznacza to, że do określenia ilości asfaltu wchłoniętego nie można bezpośrednio posłużyć się porowatością. W normie PN-EN 12697-5 podano informację, że

do kruszywa o porowatości od 0,5 do 1,5 % v/v objętość asfaltu wchłoniętego stanowi ok. 1/3 objętości porów i kanalików na powierzchni ziarna. Przykładowo do kruszywa o porowatości 1,5 % v/v ilość wchłoniętego asfaltu wynosi ok. 0,5 % v/v lub 0,2 % m/m. W przypadku kruszyw żuźlowych zasada 1/3 porowatości może nie być właściwa, a ilość wchłoniętego asfaltu mogłaby stanowić np. 0,5 porowatości. Można by przyjąć, że dobrym przybliżeniem wartości chłonności asfaltu jest porównanie gęstości objętościowej szkieletu ziarna (pomiar hydrostatyczny ziaren otoczonych asfaltem) i gęstości oznaczonej w oleju. Wartości te pokazano w tablicy 8.

Tablica 8 Chłonięcie asfaltu przez kruszywo żuźłowe

Właściwości	Jednostki	Fracja kruszywa żuźłowego, mm			
		4-8	8-12	12-16	12-16
Ilość użytego asfaltu do otoczenia ziaren (w stosunku do masy kruszywa)	% m/m	1,6	1,6	1,6	0,8
Porowatość	% v/v	4,2	3,1	1,9	0,5
	% m/m	1,2	0,9	0,6	0,2
Chłonięcie asfaltu jako 1/2 porowatości	% v/v	2,1	1,5	1,0	0,3
	% m/m	0,6	0,4	0,3	0,1
Chłonięcie asfaltu jako 1/3 porowatości	% v/v	1,4	1,0	0,6	0,2
	% m/m	0,4	0,3	0,2	0,1
Chłonięcie asfaltu jako funkcja gęstości oznaczonej w oleju	% v/v	3,5	1,2	-	-
	% m/m	1,0	0,4	-	-

6 Grupa mma mieszana przemysłowo

6.1 AC20 do warstwy ścieralnej

Mieszanka betonu asfaltowego o uziarnieniu 0/20 mm przeznaczona była do warstwy ścieralnej. Skład projektowy przedstawiono w tablicy 9. Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tablicy 10 i rysunku 5.

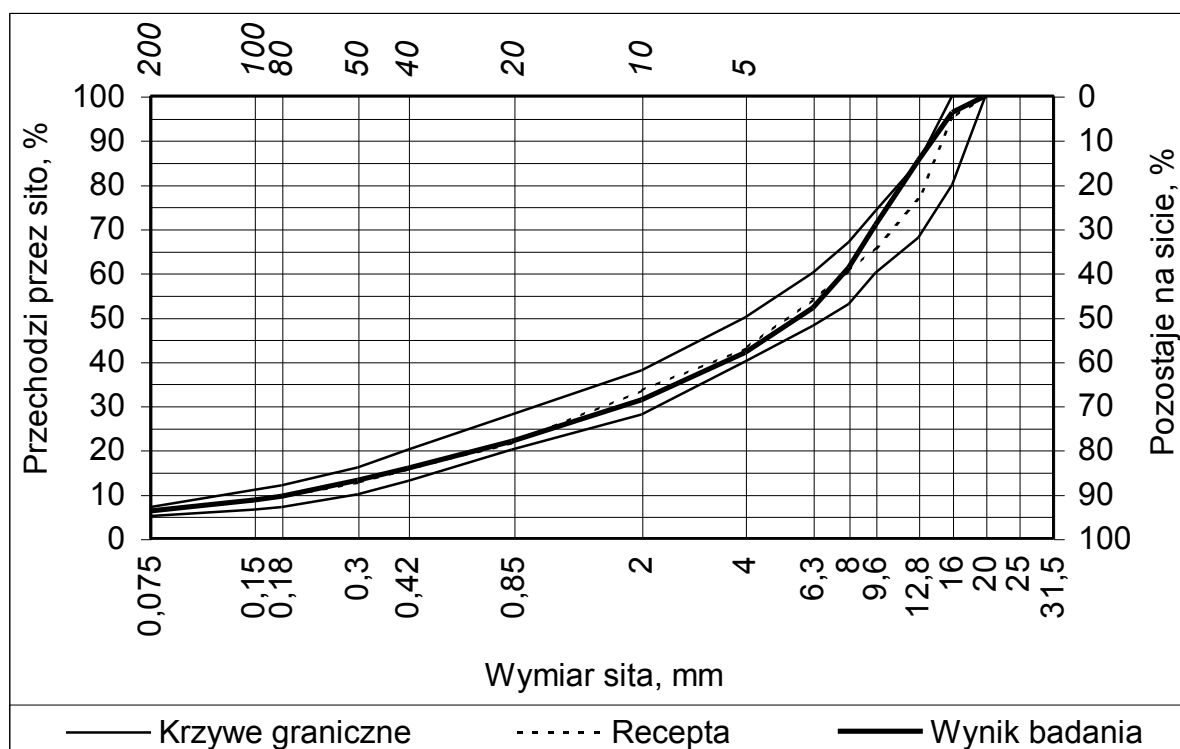
Tablica 9 Skład AC20

Lp.	Nazwa składnika mieszanki	Udział składników w mieszance, % m/m	
		mineralnej	mineralno-asfaltowej
1	Mączka wap. Kujawy	6,5	6,2
2	Piasek łam. 0,075/2	27,0	25,6
3	Grys melafir. 2/5	10,0	9,5
4	Grys melafir. 5/8	17,2	16,3
5	Grys melafir. 8/11	3,1	2,9
6	Grys granit. 11/16	36,2	34,3
7	Polimeroasfalt PMB 25/55-65	-	5,2
Suma pośrednia		100,0	100,0
8	Teramin 10 C	-	0,2*

* udział w stosunku do zawartości asfaltu

Tablica 10 Skład i gęstość AC20

Lp.	Rodzaj badania		Wynik badania	Recepta	Krzywe graniczne	
					Górna	Dolna
1	Gęstość, g/cm ³		2,459	2,495	-	-
2	Zawartość asfaltu, % m/m		4,95	4,4	-	-
3	Analiza sitowa, % m/m					
	wymiar oczka sita kwadratowego w mm	31,5				
		25				
		20	100,0	100,0	100,0	100,0
		16	96,2	94,9	100,0	80,0
		12,8	85,5	76,4	85,0	68,0
		10	70,8	65,6	74,0	60,0
		8	61,2	60,5	67,0	53,0
		6,3	52,2	54,0	60,0	48,0
		4	42,1	42,8	50,0	40,0
		2	31,3	33,4	38,0	28,0
		0,85	21,9	21,5	28,0	20,0
		0,42	15,9	15,6	20,0	13,0
		0,3	13,1	12,5	16,0	10,0
		0,18	9,5	9,4	12,0	7,0
		0,15	8,6	8,5	11,0	6,5
		0,075	6,2	6,1	7,0	5,0



Rysunek 5 Wykres uziarnienia mieszanki mineralnej AC20

6.2 AC25 do warstwy wiążącej

Mieszanka betonu asfaltowego o uziarnieniu 0/25 mm przeznaczona była do warstwy wiążącej. Skład projektowy przedstawiono w tablicy 11. Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tablicy 12 i rysunku 6.

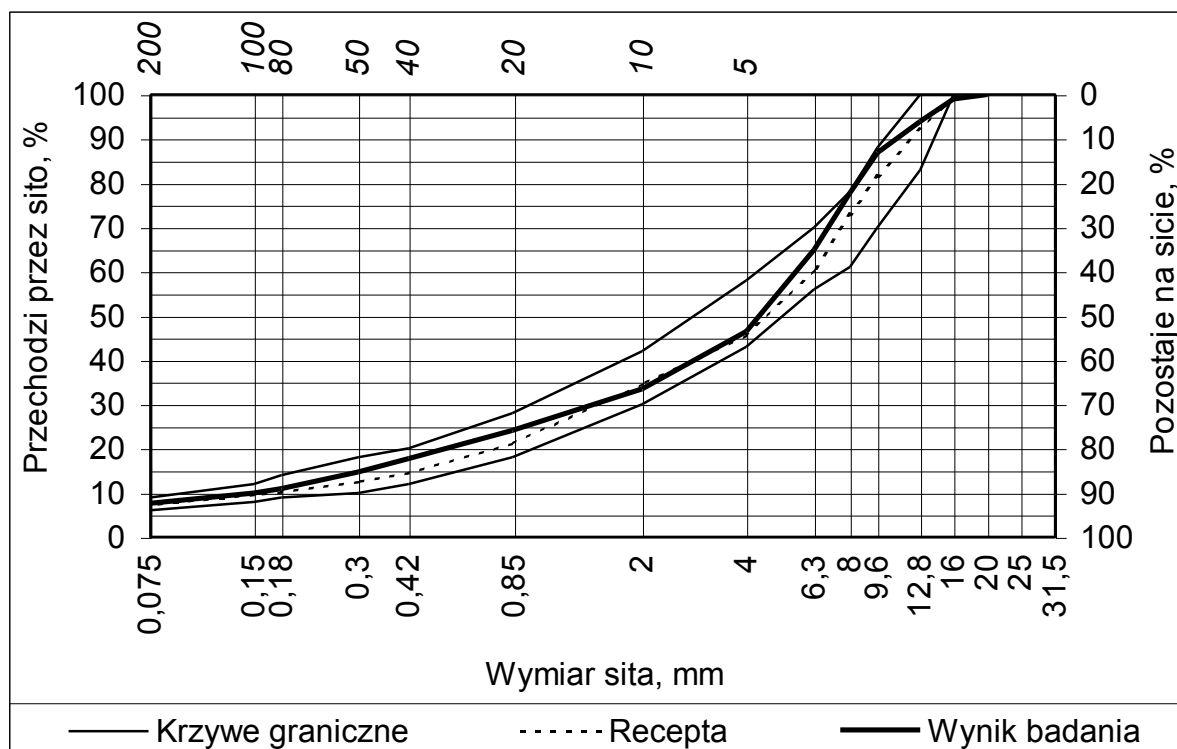
Tablica 11 Skład AC25

Lp.	Nazwa składnika mieszanki	Udział składników w mieszance, % m/m	
		mineralnej	mineralno-asfaltowej
1	Mączka wap. Kujawy	5,0	4,8
2	Piasek łam. 0,075/2	30,0	28,7
3	Grys melafir. 2/5	9,8	9,4
4	Grys melafir. 5/8	11,2	10,7
5	Grys melafir. 8/11	9,0	8,6
6	Grys granit. 11/16	11,0	10,5
7	Grys granit. 16/22	24,0	22,9
8	Asfalt drogowy 50/70	-	4,4
Suma pośrednia		100,0	100,0
9	Kraton D 1101 CM	-	4,0*
10	Teramin 10 C	-	0,2*

* udział w stosunku do zawartości asfaltu

Tablica 12 Skład i gęstość AC25

Lp.	Rodzaj badania		Wynik badania	Recepta	Krzywe graniczne	
					Górna	Dolna
1	Gęstość, g/cm ³		2,484	2,495	-	-
2	Zawartość asfaltu, % m/m		4,5	4,4	-	-
3	Analiza sitowa, % m/m					
	wymiar oczka sita kwadratowego w mm	31,5				
		25	100,0	100,0	100,0	100,0
		20	98,2	92,3	100,0	80,0
		16	89,1	76,5	90,0	70,0
		12,8	78,7	69,3	83,0	62,0
		10	68,1	64,0	74,0	55,0
		8	63,0	56,7	69,0	50,0
		6,3	57,2	51,8	63,0	45,0
		4	46,4	43,6	52,0	35,0
		2	32,0	33,3	41,0	25,0
		0,85	20,9	20,0	30,0	16,0
		0,42	15,2	14,4	22,0	10,0
		0,3	12,6	11,7	18,5	8,0
		0,18	9,1	8,7	14,0	6,0
		0,15	8,2	7,8	12,0	5,5
		0,075	5,3	5,0	6,0	4,0



Rysunek 6 Wykres uziarnienia mieszanki mineralnej AC25

6.3 AC16 do warstwy wiążącej

Mieszanka betonu asfaltowego o uziarnieniu 0/16 mm przeznaczona była do warstwy wiążącej. Skład projektowy przedstawiono w tablicy 13. Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tablicy 14 i na rysunku 7.

Warstwę z AC16 zagęszczano walcami stalowymi: średnim i ciężkim, bez wibracji. Część odcinka zagęszczano walcem ogumionym i stalowym.

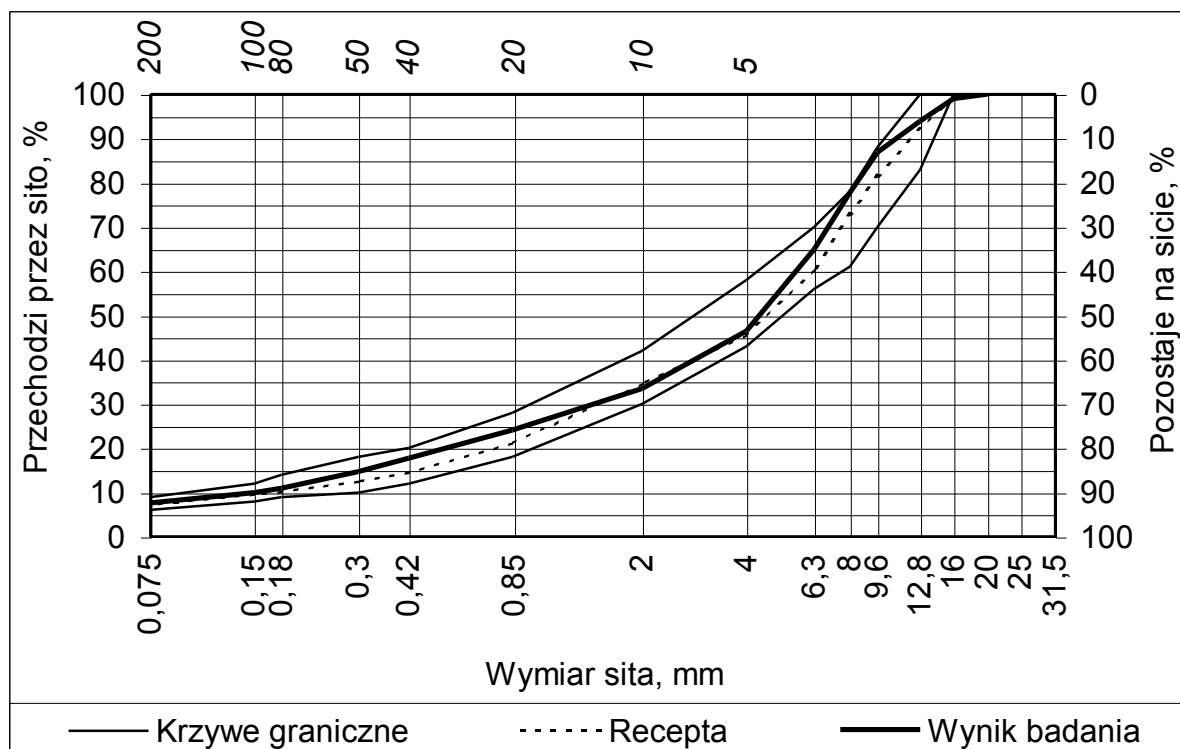
Tablica 13 Skład AC16

Lp.	Nazwa składnika mieszanki	Udział składników w mieszance, % m/m	
		mineralnej	mineralno-asfaltowej
1	Mączka wapienna	6,0	28,7
2	Piasek łam. granit. 0/2	26,0	19,1
3	Grys melafir. 2/6,3	18,0	17,2
4	Grys melafir. 5/8	20,0	24,8
5	Grys melafir. 8/16	30,0	5,7
6	Asfalt drogowy 50/70	-	4,5
Suma pośrednia		100,0	100,0
7	Kraton D 1101 CM	-	4,0*
8	Teramin 10 C	-	0,25*

* udział wagowy w stosunku do zawartości asfaltu

Tablica 14 Skład i gęstość AC16

Lp.	Rodzaj badania	Wynik badania	Recepta	Krzywe graniczne	
				Górna	Dolna
1	Gęstość, g/cm ³	2,507	2,51	-	-
2	Zawartość asfaltu, % m/m	4,6	4,5	-	-
3	Analiza sitowa, % m/m				
	wymiar oczka sita kwadratowego w mm				
	31,5				
	25				
	20	100,0	100,0		
	16	99,0	99,4	100,0	100,0
	12,8	93,9	92,0	100,0	83,0
	10	86,8	81,5	88,0	70,0
	8	77,8	72,8	78,0	61,0
	6,3	64,9	60,3	70,0	56,0
	4	46,5	45,5	58,0	43,0
	2	33,5	34,5	42,0	30,0
	0,85	24,1	21,0	28,0	18,0
	0,42	17,8	14,5	20,0	12,0
	0,3	14,7	12,4	18,0	10,0
	0,18	11,0	10,1	14,0	9,0
	0,15	10,0	9,5	12,0	8,0
	0,075	7,7	7,2	9,0	6,0



Rysunek 7 Wykres uziarnienia mieszanki mineralnej AC16

6.4 SMA12 do warstwy ścieralnej

Mieszanka SMA o uziarnieniu 0/12,8 mm przeznaczona była do warstwy ścieralnej. Skład projektowy przedstawiono w tablicy 15. Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tablicy 16 i rysunku 8.

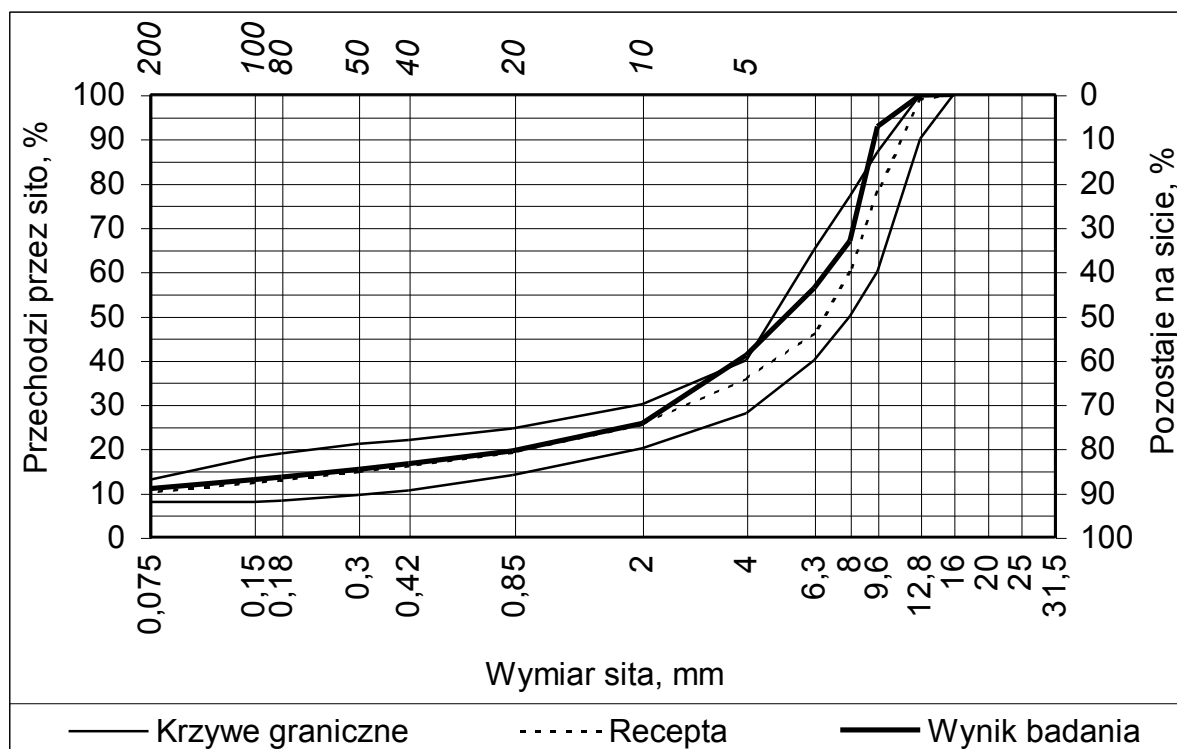
Tablica 15 Skład SMA12

Lp.	Nazwa składnika mieszanki	Udział składników w mieszance, % m/m	
		mineralnej	mineralno-asfaltowej
1	Mączka wapienna	11,5	10,8
2	Piasek łam. granit. 0/2	14,5	13,7
3	Grys bazaltowy 2/5	14,0	13,2
4	Grys bazaltowy 5/8	18,0	17,0
5	Grys bazaltowy. 8/11	42,0	39,6
6	Asfalt drogowy 50/70	-	5,8
Suma pośrednia		100,0	100,0
7	Arbocel	-	0,3*
8	Teramin 14	-	0,20**

* udział wagowy w stosunku do mieszanki mineralno-asfaltowej
 ** udział wagowy w stosunku do zawartości asfaltu

Tablica 16 Skład i gęstość SMA12

Lp.	Rodzaj badania		Wynik badania	Recepta	Krzywe graniczne	
					Górna	Dolna
1	Gęstość, g/cm ³		2,587	2,638	-	-
2	Zawartość asfaltu, % m/m		5,8	5,8	-	-
3	Analiza sitowa, % m/m					
	wymiar oczka sita kwadratowego w mm	31,5				
		25				
		20				
		16	100,0	100,0	100,0	100,0
		12,8	99,9	98,9	100,0	90,0
		10	92,8	78,0	87,0	60,0
		8	67,0	59,5	77,0	50,0
		6,3	56,3	46,0	65,0	40,0
		4	41,2	35,9	40,0	28,0
		2	25,7	25,4	30,0	20,0
		0,85	19,5	19,1	24,5	14,0
		0,42	16,7	16,0	22,0	10,5
		0,3	15,3	14,8	21,1	9,5
		0,18	13,5	12,9	18,9	8,2
		0,15	13,0	12,2	18,0	8,0
		0,075	10,9	10,2	13,0	8,0



Rysunek 8 Wykres uziarnienia mieszanki mineralnej SMA12

6.5 AC8 do warstwy ścieralnej

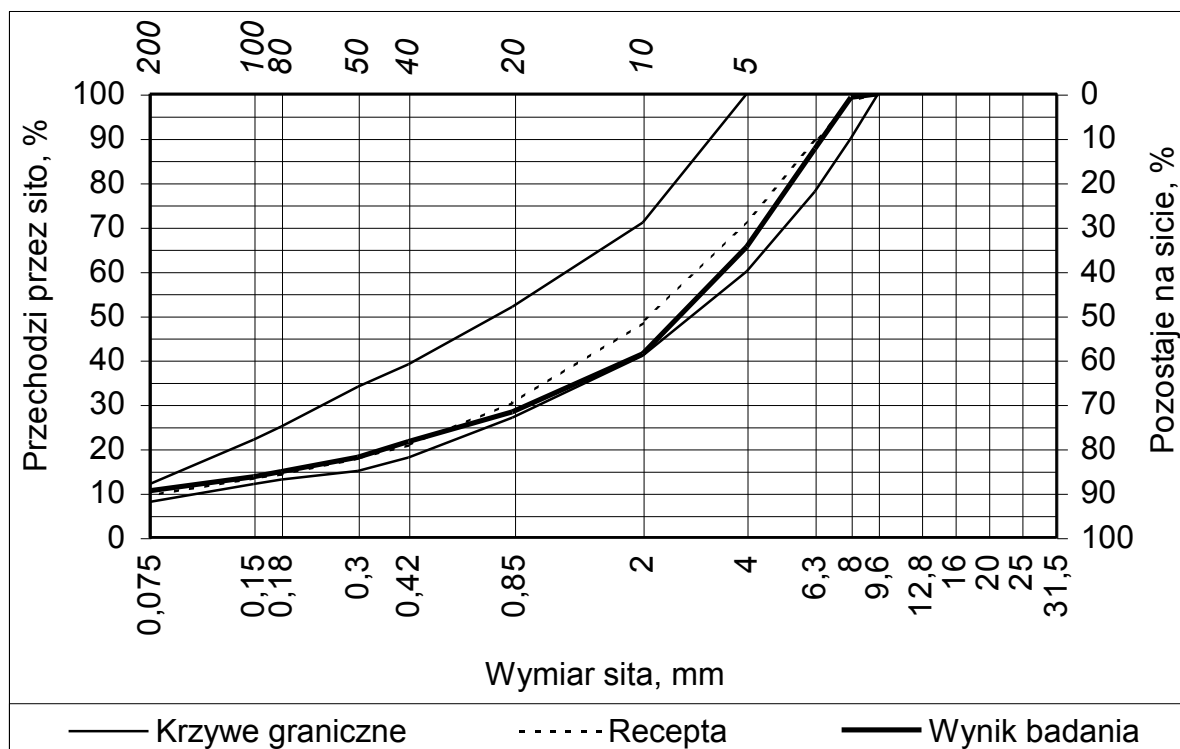
Mieszanka betonu asfaltowego o uziarnieniu 0/8 mm przeznaczona była do warstwy ścieralnej. Skład projektowy przedstawiono w tabelicy 17. Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tabelicy 18 i rysunku 9.

Tabela 17 Skład AC8

Lp.	Nazwa składnika mieszanki	Udział składników w mieszance, % m/m	
		mineralnej	mineralno-asfaltowej
1	Mączka wapienna	10,0	9,5
2	Piasek łam. granit. 0/2	35,0	33,2
3	Grys melafirowy 2/5	20,0	19,0
4	Grys melafirowy 5/8	35,0	33,3
6	Asfalt drogowy 50/70	-	5,0
Suma pośrednia		100,0	100,0
* udział wagowy w stosunku do mieszanki mineralno-asfaltowej			
** udział wagowy w stosunku do zawartości asfaltu			

Tablica 18 Skład i gęstość AC8

Lp.	Rodzaj badania	Wynik badania	Recepta	Krzywe graniczne	
				Górna	Dolna
1	Gęstość, g/cm ³	2,535	2,578	-	-
2	Zawartość asfaltu, % m/m	4,7	4,5	-	-
3	Analiza sitowa, % m/m				
	wymiar oczka sita kwadratowego w mm				
	31,5				
	25				
	20				
	16				
	12,8				
	10	100,0	100,0	100	100
	8	99,2	98,4	100	90
	6,3	87,6	89,2	100	78
	4	65,5	71,2	100	60
	2	41,4	48,3	71	41
	0,85	28,3	30,3	52	27
	0,42	21,6	20,7	39	18
	0,3	18,1	17,8	34	15
	0,18	14,8	14,2	25	13
	0,15	13,7	13,3	22	12
	0,075	10,5	9,4	12	8



Rysunek 9 Wykres uziarnienia mieszanki mineralnej AC8

7 Grupa mma mieszana w laboratorium

7.1 Beton asfaltowy z kruszywem bazaltowym AC16B

7.1.1 Uziarnienie AC16B

W tablicy 19 zestawiono uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw wchodzących w skład mieszanki mineralnej.

Tablica 19 Uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw

Rozmiar oczka sita #, mm	Mączka wapienna	0/4 Granit	2/5 Bazalt	5/8 Bazalt	8/11 Bazalt	11/16 Bazalt
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,3
12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0
9,6	0,0	0,0	0,0	0,2	46,4	33,8
8	0,0	0,0	0,0	6,8	41,5	1,6
6,3	0,0	0,0	0,1	29,5	8,4	0,2
4	0,0	0,9	21,7	57,6	2,4	0,0
2	0,0	14,7	70,1	4,6	0,4	0,0
0,85	0,0	32,2	7,1	0,6	0,1	0,0
0,42	0,0	23,6	0,5	0,1	0,2	0,1
0,3	0,1	9,3	0,1	0,0	0,1	0,1
0,18	1,2	11,6	0,1	0,1	0,1	0,2
0,15	0,9	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0
0,075	12,5	4,1	0,1	0,1	0,1	0,2
< 0,075	85,5	2,3	0,3	0,4	0,2	0,3
Suma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

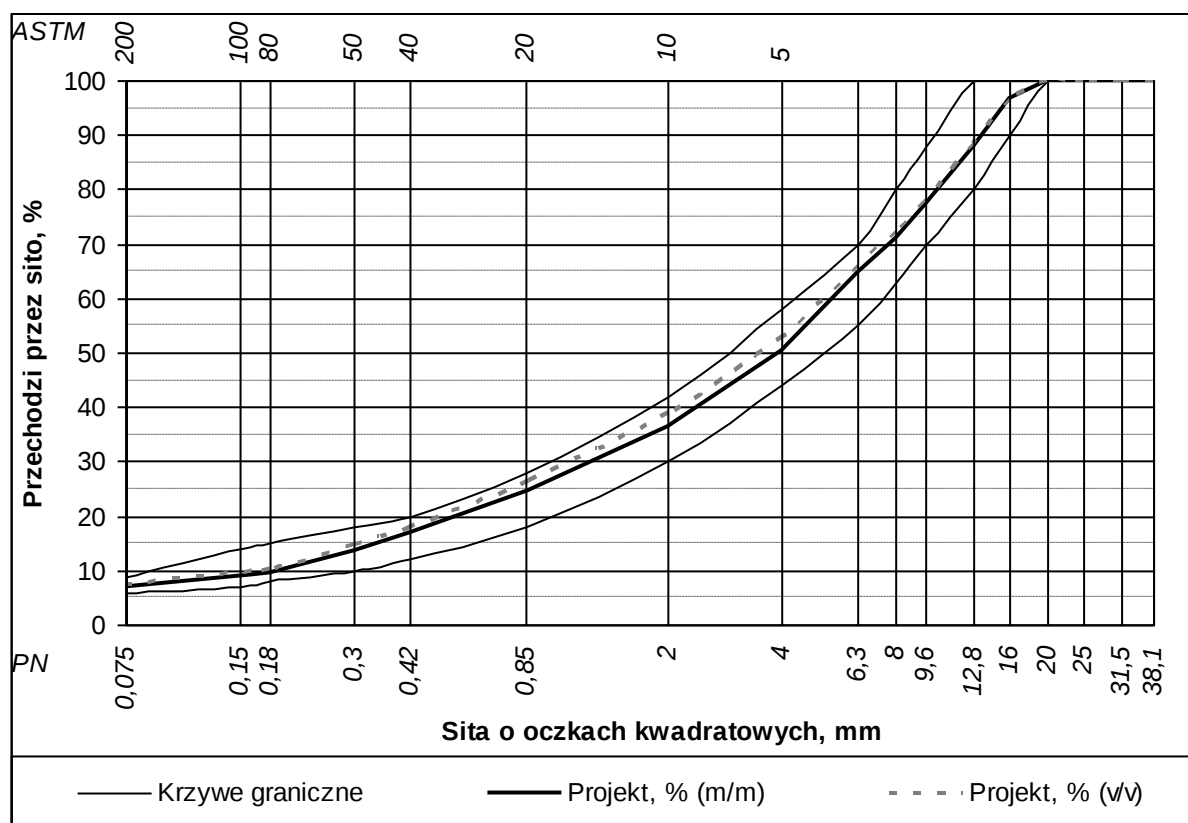
7.1.2 Skład AC16B

Tablica 20 Skład AC16B

Lp.	Składniki	Udział w MM	Udział w MMA
1	11/16 Bazalt	19,0	18,0
2	8/11 Bazalt	10,0	9,5
3	5/8 Bazalt	19,0	18,0
4	2/5 Bazalt	12,0	11,4
5	0/2 Granit	33,0	31,4
6	Mączka wapienna	7,0	6,6
7	Asfalt 50/70	-	5,1
Razem		100,0	100,0

Tablica 21 Uziarnienie mieszanki mineralnej AC16B

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, %m/m	Krzywe graniczne, %m/m	
			Dolna	Górna
20	0,0	100,0	100	100
16	3,3	96,7	90	100
12,8	8,7	87,9	80	100
9,6	11,1	76,8	70	88
8	5,8	71,1	63	80
6,3	6,5	64,6	55	70
4	14,1	50,5	44	58
2	14,2	36,3	30	42
0,85	11,6	24,7	18	28
0,42	7,9	16,8	12	20
0,30	3,1	13,7	10	18
0,18	4,0	9,7	8	15
0,15	0,5	9,2	7	14
0,075	2,3	6,9	6	9
< 0,075	6,9	-	-	-
Suma	100,0	-	-	-



Rysunek 10 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej AC16B

7.1.3 Właściwości AC16B

Tablica 22 Właściwości AC16B o zawartości asfaltu B = 4,6 % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm ³	2,850	-
2	Gęstość, g/cm ³	2,636	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,550	-
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	3,3	od 3,0 do 5,0

Tablica 23 Właściwości AC16B o zawartości asfaltu B = 5,1 % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm ³	2,850	-
2	Gęstość, g/cm ³	2,617	-
3	Gęstość objętościowa, g/cm ³	2,568	-
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	1,9	od 3,0 do 5,0

7.2 Beton asfaltowy z kruszywem wapiennym AC16W

7.2.1 Kruszywo wapienne

W tablicy 24 zebrano wybrane właściwości przykładowego kruszywa wapiennego.

W tablicy 25 zestawiono uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw wchodzących w skład mieszanki mineralnej.

Tablica 24 Wybrane właściwości kruszywa wapiennego

Lp.	Właściwości	Jednostka	Badanie według	Wynik
1	Nasiąkliwość	%	PN-77/B-06714/18	1,6
2	Wskaźnik jednorodności ścierania	-	PN-79/B-06714/42	0,25
	Ścieralność po 1/5 obrotów	%		8,2
	Ścieralność całkowita	%		32,5

Tablica 25 Uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw

Rozmiar oczka sita #, mm	Mączka wapienna	0/4 Wapień	4/16 Wapień
20	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0
12,8	0,0	0,0	31,5
9,5	0,0	0,0	21,5
8	0,0	0,0	15,1
6,3	0,0	0,0	13,1
4	0,0	16,2	14,9
2	0,0	21,0	1,3
0,85	0,0	26,3	1,1
0,42	0,0	12,7	0,0
0,3	0,1	5,2	0,0
0,18	1,2	6,9	0,0
0,15	0,9	1,9	0,0
0,075	12,5	4,4	0,0
< 0,075	85,5	5,4	1,5
Suma	100,0	100,0	100,0

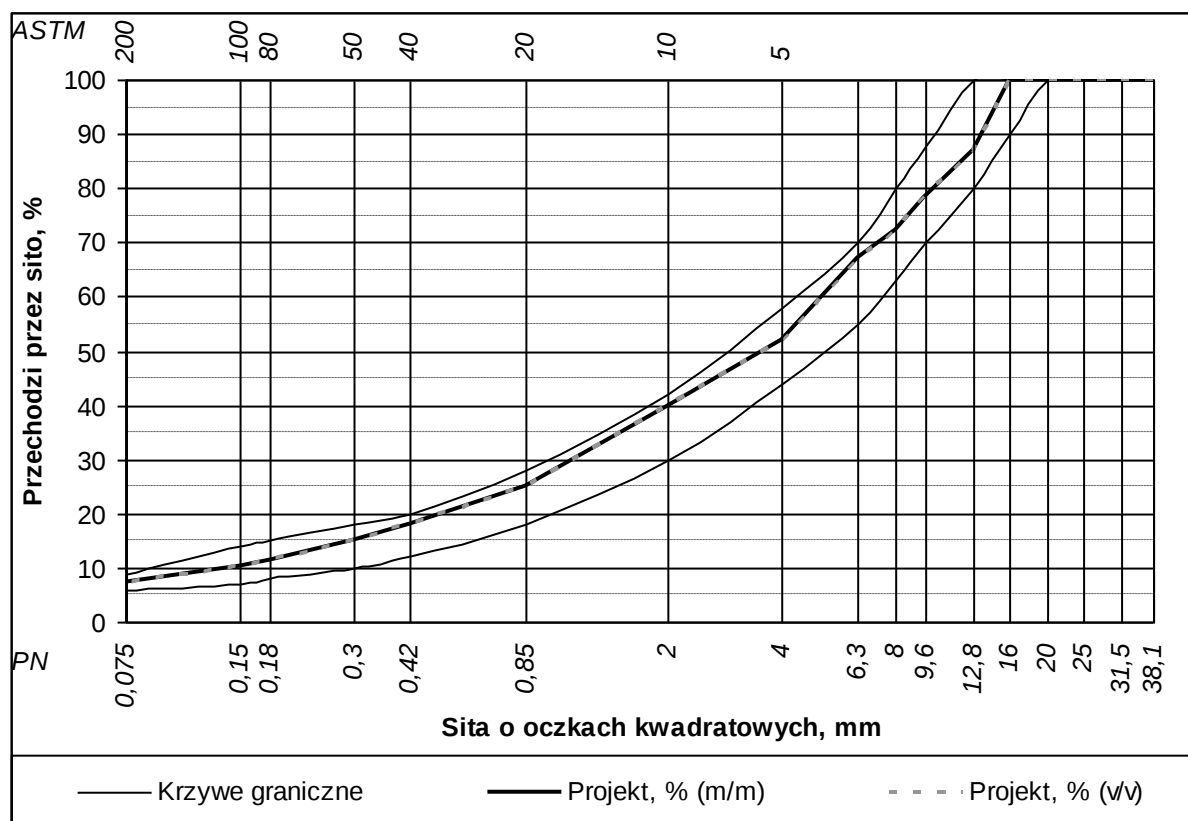
7.2.2 Skład AC16W

Tablica 26 Skład AC16W

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	4/16 Wapień	40,7	38,4
2	0/4 Wapień	55,0	52,0
3	Mączka wapienna	4,3	4,1
4	Asfalt 50/70	-	5,5
Razem		100,0	100,0

Tablica 27 Uziarnienie mieszanki mineralnej AC16W

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
20	0,0	100,0	100	100
16	0,0	100,0	90	100
12,8	12,8	87,2	80	100
9,6	8,8	78,4	70	88
8	6,1	72,3	63	80
6,3	5,3	67,0	55	70
4	15,0	52,0	44	58
2	12,1	39,9	30	42
0,85	14,8	25,0	18	28
0,42	7,1	18,0	12	20
0,30	2,9	15,1	10	18
0,18	3,8	11,3	8	15
0,15	1,1	10,2	7	14
0,075	2,9	7,3	6	9
< 0,075	7,3	-	-	-
Suma	100,0	-	-	-



Rysunek 11 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej AC16W

7.2.3 Właściwości AC16W

Tablica 28 Właściwości AC16W o zawartości asfaltu B = 5,5 % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm ³	2,698	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,479	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,403	-
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	3,1	od 3,0 do 5,0

7.3 Beton asfaltowy z kruszywem granitowym AC16G

7.4 Kruszywo granitowe

W tablicach 29, 30 i 31 zebrano właściwości przykładowych kruszyw łamanych granitowych.

Tablica 29 Właściwości kruszywa łamanego granitowego 0/2 mm

Właściwości		Sposób badania	Wynik badania	Ocena - kategorie wg ¹⁾	
				PN-EN 12620	PN-EN 13043
Uziarnienie, % m/m; skład ziarnowy; wymiar oczka # sita kontrolnego w mm	4	PN-EN 933-10:2002	100		
	2		85,82		
	1		58,20		
	0,5		34,13		
	0,25		14,62		
	0,125		3,95		
Wymiar ziarn d/D		PN-EN 933-10:2002	0/2		
Uziarnienie		PN-EN 933-10:2002	100	G _F 85	G _F 85
2D			100		
1,4 D			85,82		
D					
Gęstość ziarn, Mg/m ³		PN-EN 1097-6:2002	2,65		
ρ_a			2,33		
ρ_{rd}			2,45		
ρ_{ssd}					
Nasiąkliwość, W ₂₄ %		PN-EN 1097-6:2002	3,4		

Tablica 30 Właściwości kruszywa łamanego granitowego 2/8 mm

Właściwości		Sposób badania	Wynik badania	Ocena - kategorie wg ¹⁾	
				PN-EN 12620	PN-EN 13043
Uziarnienie, % m/m; skład ziarnowy; wymiar oczka # sita kontrolnego w mm	16	PN-EN 933-1:2000	100		
	8		95,23		
	4		31,33		
	2		1,91		
	1		0,09		

Wymiar ziarn d/D	PN-EN 933-1:2000	2/8		
Uziarnienie				
2D		100		
1,4 D	PN-EN 933-1:2000	100	$G_F85/20$	$G_F90/10$
D		95,23		
d		1,91		
d/2		0,09		
Gęstość ziarn, Mg/m^3				
ρ_a	PN-EN 1097-6:2002	2,67		
ρ_{rd}		2,58		
ρ_{ssd}		2,61		
Nasiąkliwość, W_{24} %	PN-EN 1097-6:2002	0,3		W_{241}
Mrozoodporność, F %	PN-EN 1367-1:2001	0,15	F_1	F_1

Tablica 31 Właściwości kruszywa łamanego granitowego 8/16 mm

Właściwości		Sposób badania	Wynik badania	Ocena - kategorie wg ¹⁾	
				PN-EN 12620	PN-EN 13043
Uziarnienie, % m/m;	31,5	PN-EN 933-1:2000	100		
skład ziarnowy;	16		92,85		
wymiar oczka # sita	8		7,59		
kontrolnego w mm	4		1,17		
Wymiar ziarn d/D		PN-EN 933-1:2000	8/16		
Uziarnienie					
2D			100		
1,4 D		PN-EN 933-1:2000	100	$G_C85/20$	$G_C90/10$
D			92,85		
d			7,59		
d/2			1,17		
Gęstość ziarn, Mg/m^3					
ρ_a		PN-EN 1097-6:2002	2,65		
ρ_{rd}			2,62		
ρ_{ssd}			2,63		
Nasiąkliwość, W_{24} %		PN-EN 1097-6:2002	0,3		W_{241}

7.4.1 Uziarnienie materiałów mineralnych do AC16G

W tablicy 32 zestawiono uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw wchodzących w skład mieszanki mineralnej.

Tablica 32 Uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw

Rozmiar oczka sita #, mm	Mączka wapienna	0/2 Granit	2/8 Granit	8/16 Granit
20	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	5,9
12,8	0,0	0,0	0,0	31,7
9,6	0,0	0,0	0,0	34,0
8	0,0	0,0	1,9	16,1
6,3	0,0	0,0	14,7	10,0
4	0,0	0,0	38,6	1,7
2	0,0	0,4	37,4	0,2
0,85	0,0	43,6	6,4	0,0
0,42	0,0	20,8	0,4	0,0
0,30	0,1	8,4	0,1	0,0
0,18	1,2	11,1	0,1	0,0
0,15	0,9	3,0	0,0	0,2
0,075	12,5	6,3	0,2	0,1
< 0,075	85,5	6,4	0,2	0,1
Suma	100,0	100,0	100,0	100,0

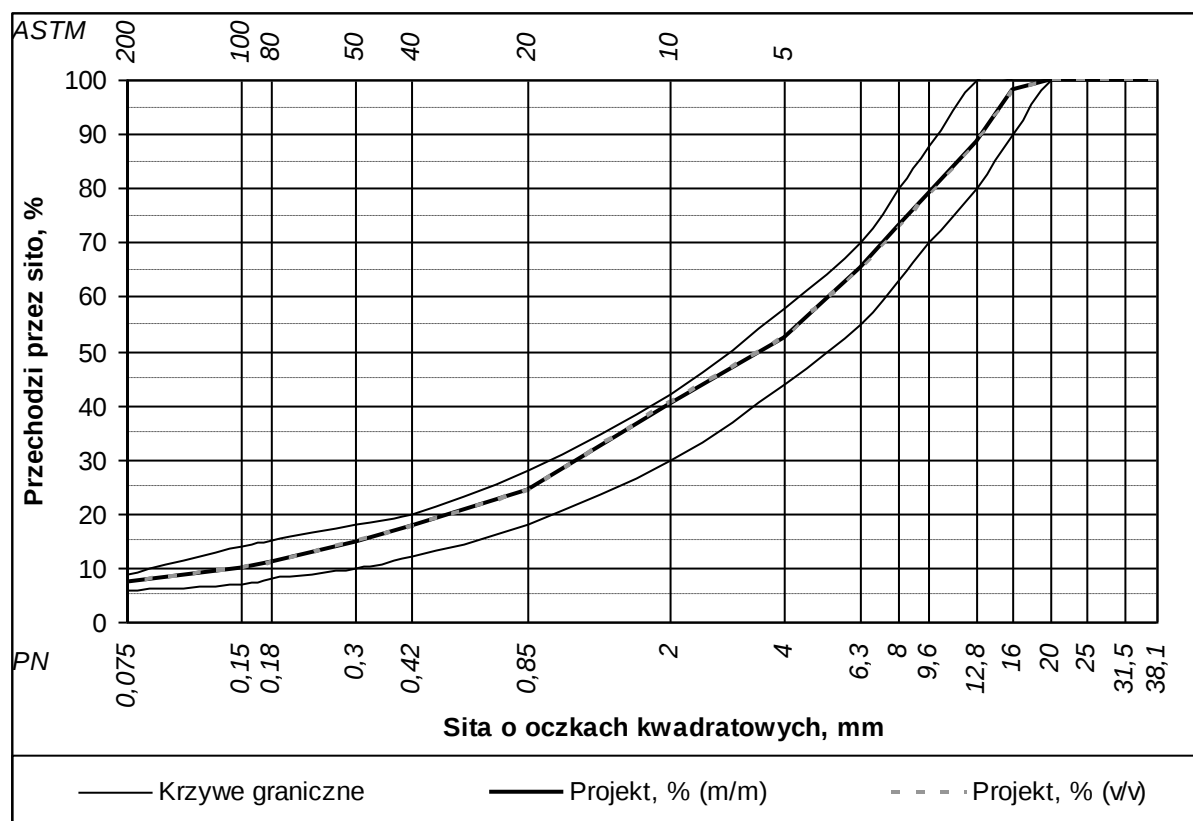
7.4.2 Skład AC16G

Tablica 33 Skład AC16G

Lp.	Składniki	Udział w MM	Udział w MMA
1	8/16 Granit	30,0	28,4
2	2/8 Granit	32,0	30,2
3	0/2 Granit	32,0	30,2
4	Mączka wapienna	6,0	5,7
5	Asfalt 50/70	-	5,5
Razem		100,0	100,0

Tablica 34 Uziarnienie mieszanki mineralnej AC16G

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
20	0,0	100,0	100	100
16	1,8	98,2	90	100
12,8	9,5	88,7	80	100
9,6	10,2	78,5	70	88
8	5,4	73,1	63	80
6,3	7,7	65,4	55	70
4	12,9	52,5	44	58
2	12,2	40,4	30	42
0,85	16,0	24,4	18	28
0,42	6,8	17,6	12	20
0,30	2,7	14,9	10	18
0,18	3,7	11,2	8	15
0,15	1,1	10,1	7	14
0,075	2,9	7,3	6	9
< 0,075	7,3	-	-	-
Suma	100,0	-	-	-



Rysunek 12 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej AC16G

7.4.3 Właściwości AC16G

Tablica 35 Właściwości AC16G o zawartości asfaltu B = 5,5 % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm ³	2,662	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,448	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,375	-
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	3,0	od 3,0 do 5,0

7.5 Beton asfaltowy z otoczków AC16O

7.6 Kruszywo łamane z otoczków

W tablicach 36, 37, 38 i 39 zebrano właściwości przykładowych kruszyw łamanych z otoczków.

Tablica 36 Właściwości kruszywa łamanego z otoczków 0/2 mm

Właściwości		Sposób badania	Wynik badania	Ocena - kategorie wg ¹⁾		
				PN-EN 12620	PN-EN 13242	PN-EN 13043
Uziarnienie, % m/m; skład ziarnowy; wymiar oczka # sita kontrolnego w mm	4	PN-EN 933-1:2000	100			
	2		96,16			
	1		70,25			
	0,5		49,12			
	0,25		34,44			
	0,125		22,86			
Wymiar ziarn d/D		PN-EN 933-1:2000	2/6			
Uziarnienie		PN-EN 933-1:2000				
2D			100	G _F 85	G _F 85	G _F 85
1,4 D			100			
D			96,16			
Gęstość ziarn, Mg/m ³		PN-EN 1097-6:2002				
ρ_a			2,68			
ρ_{rd}			2,52			
ρ_{ssd}			2,58			
Nasiakliwość, WA ₂₄ %		PN-EN 1097-6:2002	2,37			

¹⁾ Jeżeli norma nie określa, dla poszczególnych kategorii, wartości liczbowej, to podaje się wynik badania

Tablica 37 Właściwości kruszywa łamanego z otoczków 2/6,3 mm

Badana cecha		Sposób badania	Wynik badania	Ocena - kategorie wg ¹⁾		
				PN-EN 12620	PN-EN 13242	PN-EN 13043
Uziarnienie, % m/m; skład ziarnowy; wymiar oczka # sita kontrolnego w mm	8 6,3 4 2 1	PN-EN 933-1:2000	100 98,35 64,14 11,37 3,51			
Wymiar ziarn d/D		PN-EN 933-1:2000	2/6			
Uziarnienie 2D 1,4 D D d d/2		PN-EN 933-1:2000	100 100 98,36 11,37 3,51	G_C 85/20	G_C 85-15	G_C 90/15
Gęstość ziarn, Mg/m ³ ρ_a ρ_{rd} ρ_{ssd}		PN-EN 1097-6:2002	2,69 2,56 2,61			
Nasiąkliwość, WA_{24} %		PN-EN 1097-6:2002	1,88		WA_{242}	WA_{242}

¹⁾ Jeżeli norma nie określa, dla poszczególnych kategorii, wartości liczbowej, to podaje się wynik badania

Tablica 38 Wyniki badań kruszywa łamanego z otoczków 6,3/12,5 mm

Badana cecha		Sposób badania	Wynik badania	Ocena - kategorie wg ¹⁾		
				PN-EN 12620	PN-EN 13242	PN-EN 13043
Uziarnienie, % m/m; skład ziarnowy; wymiar oczka # sita kontrolnego w mm	16 12,5 8 6,3 4	PN-EN 933-1:2000	100 99,00 52,27 11,30 1,66			
Wymiar ziarn d/D		PN-EN 933-1:2000	6/12			
Uziarnienie 2D 1,4 D D d d/2		PN-EN 933-1:2000	100 100 99,00 11,30 1,66	G _C 85/20	G _C 85-15	G _C 90/15
Gęstość ziarn, Mg/m ³ ρ _a ρ _{rd} ρ _{ssd}		PN-EN 1097-6:2002	2,68 2,58 2,62			
Nasiakliwość, WA ₂₄ %		PN-EN 1097-6:2002	1,37		WA ₂₄₂	WA ₂₄₂

¹⁾ Jeżeli norma nie określa, dla poszczególnych kategorii, wartości liczbowej, to podaje się wynik badania

Tablica 39 Wyniki badań kruszywa łamanego z otoczków 12,5/20 mm

Badana cecha		Sposób badania	Wynik badania	Ocena - kategorie wg ¹⁾		
				PN-EN 12620	PN-EN 13242	PN-EN 13043
Uziarnienie, % m/m; skład ziarnowy; wymiar oczka # sita kontrolnego w mm	31,5	PN-EN 933-1:2000	100			
	20		97,25			
	16		30,22			
	12,5		13,07			
	8		2,03			
	6,3		0,04			
Wymiar ziarn d/D		PN-EN 933-1:2000	12/20			
Uziarnienie		PN-EN 933-1:2000				
2D			100	G_C 90/15	G_C 85-15	G_C 90/15
1,4 D			100			
D			97,25			
d			13,08			
d/2			0,04			
Gęstość ziarn, Mg/m ³		PN-EN 1097-6:2002				
ρ_a			2,67			
ρ_{rd}			2,61			
ρ_{ssd}			2,63			
Nasiąkliwość, WA_{24} %		PN-EN 1097-6:2002	1,04		WA_{241}	WA_{241}

¹⁾ Jeżeli norma nie określa, dla poszczególnych kategorii, wartości liczbowej, to podaje się wynik badania

7.6.1 Uziarnienie materiałów mineralnych AC16O

W tablicy 40 zestawiono uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw wchodzących w skład mieszanki mineralnej.

Tablica 40 Uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw

Rozmiar oczka sita #, mm	Mączka wapienna	0/2 piasek łamany	2/6,3 grys z otoczek	6,3/12,8 grys z otoczek	8/16 Dolomit
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1
12,8	0,0	0,0	0,0	7,6	42,6
9,5	0,0	0,0	0,0	54,7	28,5
8	0,0	0,0	0,3	23,1	14,0
6,3	0,0	0,0	7,4	12,5	5,0
4	0,0	1,0	51,3	1,0	0,8
2	0,0	10,5	33,3	0,2	0,2
0,85	0,0	40,5	6,0	0,1	0,3
0,42	0,0	19,4	0,4	0,1	0,4
0,3	0,0	8,0	0,1	0,1	0,3
0,18	0,0	9,9	0,1	0,1	0,3
0,15	0,8	2,2	0,1	0,1	0,2
0,075	6,2	4,4	0,2	0,1	0,4
< 0,075	93,0	4,1	0,8	0,3	0,9
Suma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

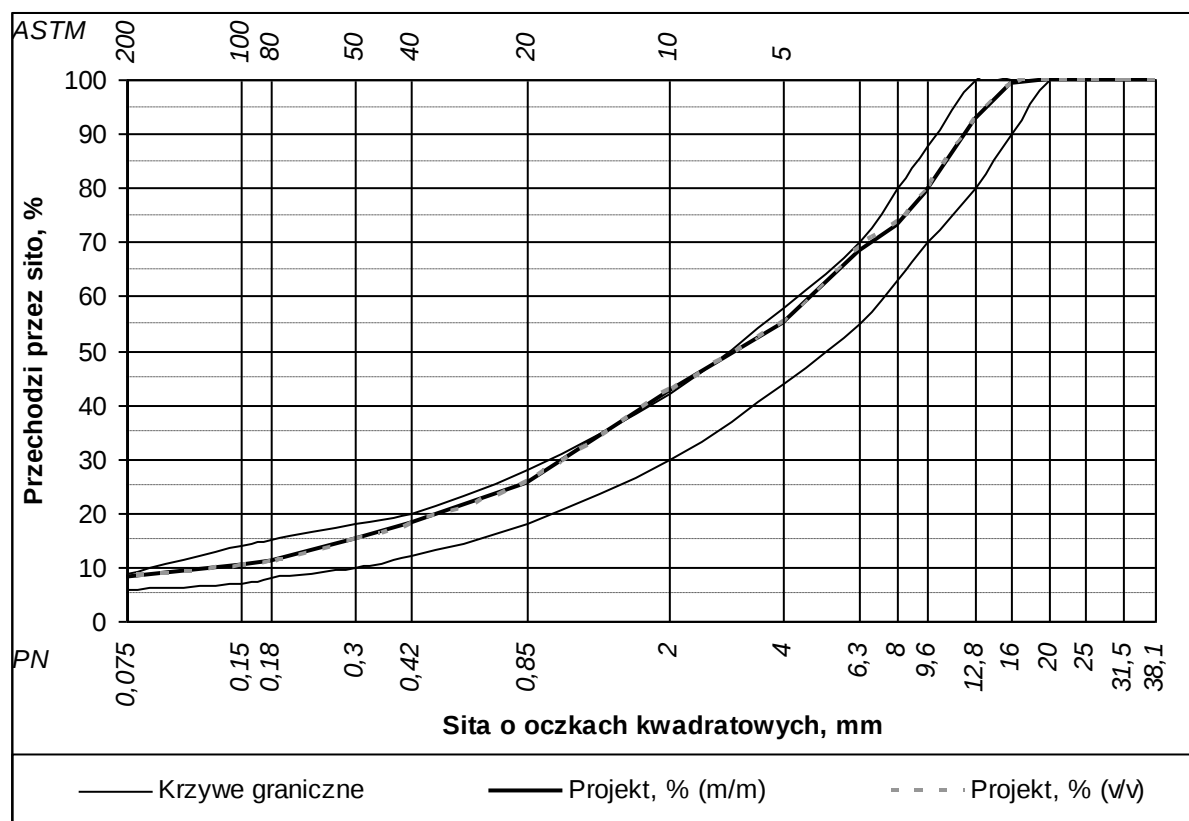
7.6.2 Skład AC16O

Tablica 41 Skład AC16O

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	8/16 Dolomit	12,5	11,9
2	6,3/12,8 grys z otoczek	18,0	17,1
3	2/6,3 grys z otoczek	25,0	23,8
4	0/2 piasek łamany	38,0	36,1
5	Mączka wapienna	6,5	6,2
6	Asfalt 50/70	-	4,9
Razem		100,0	100,0

Tablica 42 Uziarnienie mieszanki mineralnej AC16O

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
20	-	100,0	100	100
16	0,8	99,2	90	100
12,8	9,5	89,7	80	100
9,5	17,2	72,5	70	88
8	7,8	64,7	63	80
6,3	5,2	59,5	55	70
4	12,9	46,6	44	58
2	11,1	35,5	30	42
0,85	13,6	21,9	18	28
0,42	6,0	15,9	12	20
0,3	2,5	13,4	10	18
0,18	3,1	10,3	8	15
0,15	0,8	9,5	7	14
0,075	1,9	7,7	6	9
< 0,075	7,7	-	-	-
Suma	100,0	-	-	-



Rysunek 13 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej AC16O

7.6.3 Właściwości AC16O

Tablica 43 Właściwości AC16O o zawartości asfaltu B = 4,9 % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm ³	2,691	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,493	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,419	-
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	3,0	od 3,0 do 5,0

7.7 Beton asfaltowy z kruszywem z żużla stalowniczego AC16Z

7.7.1 Uziarnienie materiałów mineralnych do AC16Z

W tablicy 44 zestawiono uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw wchodzących w skład mieszanki mineralnej.

Tablica 44 Uziarnienie poszczególnych frakcji kruszyw

Rozmiar oczka sita #, mm	Mączka wapienna	0/4 Żużel	4/8 Żużel	8/12 Żużel	12/20 Żużel
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5
12,8	0,0	0,0	0,0	0,8	46,4
9,5	0,0	0,0	0,0	59,7	13,1
8	0,0	0,0	2,4	26,7	0,1
6,3	0,0	0,1	36,4	10,8	0,0
4	0,0	6,6	59,3	0,6	0,0
2	0,0	24,1	0,4	0,0	0,0
0,85	0,0	27,4	0,0	0,0	0,1
0,42	0,0	15,6	0,1	0,1	0,0
0,3	0,1	5,3	0,0	0,1	0,0
0,18	1,2	7,3	0,1	0,2	0,1
0,15	0,9	0,9	0,0	0,1	0,0
0,075	12,5	5,7	0,2	0,3	0,1
< 0,075	85,5	7,0	1,1	0,6	0,5
Suma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

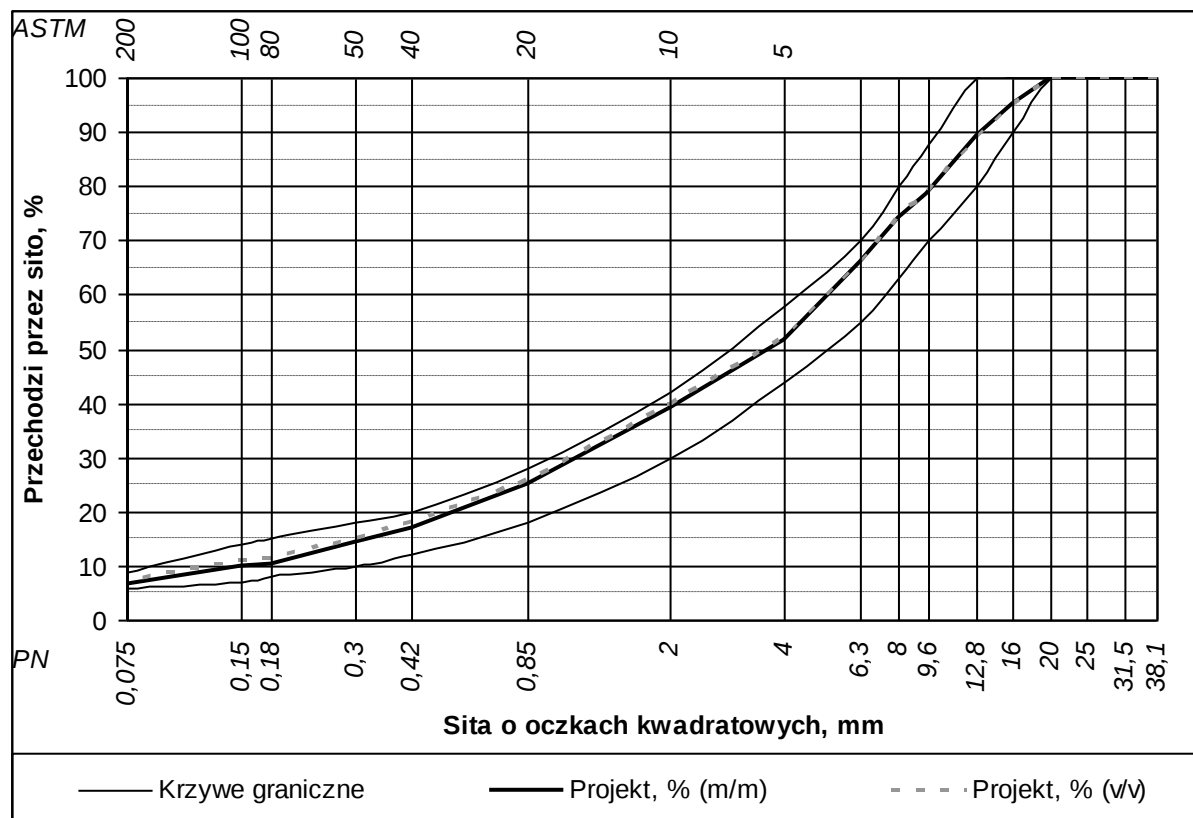
7.7.2 Skład AC16Z

Tablica 45 Skład AC16Z

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	12/20 Żużel	12,5	11,8
2	8/12 Żużel	15,0	14,2
3	4/8 Żużel	18,0	17,1
4	0/4 Żużel	51,5	48,8
5	MW	3,0	2,8
6	Asfalt 50/70	-	5,3
Razem		100,0	100,0

Tablica 46 Uziarnienie mieszanki mineralnej AC16Z

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
20	0,0	100,0	100	100
16	4,9	95,1	90	100
12,8	5,9	89,1	80	100
9,6	10,6	78,5	70	88
8	4,5	74,1	63	80
6,3	8,2	65,9	55	70
4	14,2	51,7	44	58
2	12,5	39,2	30	42
0,85	14,1	25,1	18	28
0,42	8,1	17,0	12	20
0,30	2,7	14,3	10	18
0,18	3,9	10,4	8	15
0,15	0,5	9,9	7	14
0,075	3,4	6,5	6	9
< 0,075	6,5	-	-	-
Suma	100,0	-	-	-



Rysunek 14 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej AC16Z

7.7.3 Właściwości AC16Z

Tablica 47 Właściwości AC16Z o zawartości asfaltu B = 5,3 % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm ³	3,645	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	3,212	-
3	Gęstość strukturalna mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	3,115	-
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	3,0	od 3,0 do 5,0

8 Wyniki badań

8.1 Grupa mma mieszana przemysłowo

W tablicach od 48 do 54 zebrano wyniki oznaczania właściwości objętościowych. Do oznaczania gęstości zastosowano metodę objętościową (z piknometrem) w 20 °C w czterochloroetylenie. Do oznaczania gęstości objętościowej zastosowano metodę SSD w 20 °C.

Tablica 48 Właściwości objętościowe AC i SMA na podstawie badań mma pobranej ze ślimaka rozkładarki

Lp.	Rodzaj mieszanki	Zawartość asfaltu		Wolna przestrzeń			
		Wagowo, % m/m	Objętościowo, % v/v	w mma, % v/v		wypełniona asfaltem, % v/v	
				Ubijak Marshalla	Prasa żyratorowa	Ubijak Marshalla	Prasa żyratorowa
1	AC20 mm do warstwy ścieralnej	4,95	11,6	1,6	1,1	87,7	91,3
2	AC25 mm do warstwy wiążącej	4,46	10,3	3,7	3,5	74,0	74,8
3	AC16 mm do warstwy wiążącej	4,55	10,6	4,3	3,9	71,0	73,1
4	SMA12 mm do warstwy ścieralnej	5,54	13,7	1,7	0,7	89,2	95,2
5	AC8 mm do warstwy ścieralnej	4,68	10,9	5,7	4,9	65,5	69,3

Tablica 49 Właściwości objętościowe próbek wyciętych z warstwy nawierzchni

Lp.	Rodzaj mieszanki	Seria 1		Seria 2		Seria 3	
		Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v
1	AC20 mm do warstwy ścieralnej	4,7 ^{1/}	70,8	4,5	71,6	4,3	72,8
		2,7 ^{2/}	81,2	2,7	80,8	-	-
2	AC25 mm do warstwy wiążącej	3,3	75,9	3,4	75,5	3,0	77,8
3	AC16 mm do warstwy wiążącej	5,6 ^{3/}	65,4	5,4	65,9	5,4	65,8
		6,0 ^{4/}	63,8	5,6	65,3	5,5	65,8
4	SMA12 mm do warstwy ścieralnej	2,0	87,0	2,0	87,1	2,0	87,0
5	AC8 mm do warstwy ścieralnej	6,7	61,7	6,6	61,9	6,9	60,9

Objaśnienia:

- 1/ - próbka wycięta nazajutrz po wykonaniu warstwy
- 2/ - próbka wycięta po kilkumiesięcznej eksploatacji nawierzchni
- 3/ - warstwa zagęszczona walcem ogumionym i stalowym
- 4/ - warstwa zagęszczona walcami stalowymi

Tablica 50 Właściwości objętościowe próbek zagęszczonych w formach Ø 100 mm ubijakiem Marshalla

Lp.	Rodzaj mieszanki	M10		M10		M06	
		Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v
1	AC20 mm do warstwy ścieralnej	1,7	87,6	1,7	87,2	1,6	87,9
2	AC25 mm do warstwy wiążącej	4,1	71,6	4,4	70,0	3,7	73,5
3	AC16 mm do warstwy wiążącej	4,6	69,8	4,6	69,5	4,3	71,1
4	SMA12 mm do warstwy ścieralnej	1,7	89,0	1,7	88,7	1,7	89,0
5	AC8 mm do warstwy ścieralnej	6,2	63,8	6,1	63,9	5,6	66,2

Tablica 51 Właściwości objętościowe próbek zagęszczonych w formach Ø 100 mm prasą żyratorową

Lp.	Rodzaj mieszanki	Z10h10		Z10h10		Z10h06		Z10h06	
		Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v
1	AC20 mm do warstwy ścieralnej	2,1	84,6	2,1	84,4	1,1	91,5	1,1	91,3
2	AC25 mm do warstwy wiążącej	3,9	72,6	3,9	72,4	3,5	75,0	3,5	74,8
3	AC16 mm do warstwy wiążącej	4,4	70,9	4,4	70,8	3,9	73,3	3,9	73,1
4	SMA12 mm do warstwy ścieralnej	0,9	93,8	0,9	94,0	0,6	95,7	0,7	95,2
5	AC8 mm do warstwy ścieralnej	5,1	68,1	5,1	68,2	4,9	69,3	4,9	69,4

Tablica 52 Właściwości objętościowe próbek zagęszczonych walcem laboratoryjnym i prasą żyratorową (kształtki Ø 150 mm)

Lp.	Rodzaj mieszanki	P10				Zc10h10			
		Seria 1		Seria 2		Seria 1		Seria 2	
		Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, % v/v
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	AC20 mm do warstwy ścieralnej	1,5	88,6	1,5	89,0	1,4	89,9	1,5	88,7
2	AC25 mm do warstwy wiążącej	3,6	74,3	3,5	74,7	3,9	72,5	4,0	72,5
3	AC16 mm do warstwy wiążącej	4,0	72,9	4,3	71,5	4,0	72,6	4,0	72,5
4	SMA12 mm do warstwy ścieralnej	1,1	92,6	1,1	92,6	1,0	93,6	1,0	93,1
5	AC8 mm do warstwy ścieralnej	4,1	72,9	3,4	76,7	4,9	69,1	4,9	69,1

(strona pusta)

Tablica 53 Właściwości objętościowe próbek zagęszczonych walcem laboratoryjnym i prasą żyratorową (kształtki Ø 150 mm)

Lp.	Rodzaj mieszanki	P06		Zc10h06	
		Wolna przestrzeń, % v/v	Wolna przestrzeń wypełniona asfaltem, % v/v	Wolna przestrzeń, % v/v	Wolna przestrzeń wypełniona asfaltem, % v/v
1	2	3	4	5	6
1	AC20 mm do warstwy ścieralnej	1,7	87,2	1,9	85,9
2	AC25 mm do warstwy wiążącej	3,7	73,6	4,6	69,2
3	AC16 mm do warstwy wiążącej	2,3	84,9	3,8	74,0
4	SMA12 mm do warstwy ścieralnej	1,0	93,1	1,4	91,0
5	AC8 mm do warstwy ścieralnej	4,4	71,4	5,1	68,1

Tablica 54 Wyniki wskaźnika zagęszczenia warstw asfaltowych

Lp.	Rodzaj mieszanki	Gęstość objętościowa próbek Marshalla, g/cm ³	Gęstość objętościowa zagęszczonej warstwy, g/cm ³	Wskaźnik zagęszczenia warstwy, %
1	2	4	3	5
1	AC20 mm do warstwy ścieralnej	2,419	2,349 ^{1/} 2,293 ^{2/}	97,1 98,9
2	AC25 mm do warstwy wiążącej	2,382	2,404	100,9
3	AC16 mm do warstwy wiążącej	2,396	2,370 ^{3/} 2,365 ^{4/}	98,9 98,7
4	SMA12 mm do warstwy ścieralnej	2,544	2,535	99,6
5	AC8 mm do warstwy ścieralnej	2,390	2,364	98,9

Objaśnienia:

- 1/ - próbka wycięta nazajutrz po wykonaniu warstwy
 2/ - próbka wycięta po rocznej eksploatacji nawierzchni
 3/ - warstwa zagęszczona walcem ogumionym i stalowym
 4/ - warstwa zagęszczona walcami stalowymi

9 Uwagi końcowe

Etap I niniejszej pracy zawiera część prac związanych z oceną metod badawczych w powiązaniu z rodzajem badanego materiału i rodzaju próbki. Kontynuując prace w 2009 r., w ramach etapu II, będą wykonane pozostałe zaplanowane badania i w efekcie zapisane wnioski.