

Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni
Pracownia Technologii Nawierzchni

Sprawozdanie końcowe z pracy:

**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**

Temat TN-246

Opracowali:

**Zespół Zakładu
Technologii Nawierzchni**

mgr inż. Dominika Maliszewska
mgr inż. Maciej Maliszewski

Zatwierdził:

**Kierownik Zakładu
Technologii Nawierzchni**

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, czerwiec 2010

SPIS TREŚCI

1) Podstawa pracy.....	5
2) Cel pracy.....	5
3) Program pracy.....	6
4) Metody badawcze cech objętościowych.....	8
4.1) Ogólnie	8
4.2) Gęstość objętościowa według PN-EN 12697-6+A1:2008.....	10
4.3) Gęstość objętościowa metodą CoreLok.....	17
4.4) Gęstość według PN-EN 12697-5+A1:2008	19
4.5) Zawartość wolnych przestrzeni.....	20
5) Badania laboratoryjne	21
5.1) Metodyka badań.....	22
5.2) Próbki do badań.....	22
5.3) Oznaczenie próbek do badań	23
5.4) Laboratoryjne sposoby zagęszczania próbek do badań.....	23
5.4.1) Zagęszczanie ubijakiem Marshalla	24
5.4.2) Zagęszczanie prasą żyratorową	24
5.4.3) Zagęszczanie walcem laboratoryjnym.....	24
5.4.4) Zagęszczanie w terenie walcami drogowymi.....	25
5.4.5) Stopień zagęszczenia próbek.....	25
6) Przegląd literatury światowej.....	25
7) Mieszanki mineralno-asfaltowe przeznaczone do badań	25
7.1) Ogólnie	26
7.2) ACWMS20W (TN246W.).....	26
7.3) AC20W (TN246Y.).....	27
7.4) SMA11 (TN246S.)	28
7.5) AC25P (TN246N.)	30
7.6) SMA 11 (Recepta nr 1).....	32
7.7) AC WMS 16 (Recepta nr 2).....	34
7.8) AC WMS 16 (Recepta nr 3).....	36
7.9) AC WMS 16 (Recepta nr 4).....	38
7.10) SMA 11 (Recepta nr 5).....	39
7.11) PA Asfalt porowaty (TN246P.)	41
8) Badania mieszanek mineralno-asfaltowych	42
9) Wyniki badań mieszanek mineralno-asfaltowych	43
9.1) Badania gęstości	43
9.2) Badania gęstości objętościowej.....	50

• mieszanka W	50
• mieszanka Y	56
• mieszanka S	62
• mieszanka S odwiercona z wykonanej warstwy	68
• mieszanka N	70
• mieszanka P	76
10) Analiza niepewności pomiarowej	77
10.1) Gęstość objętościowa.....	77
10.2) Gęstość	79
10.3) Zawartość wolnych przestrzeni.....	80
10.4) Analiza powtarzalności wyników w zależności od zagęszczania.....	80
11) Analiza wyników badań mieszanek mineralno-asfaltowych	81
11.1) Analiza wyników gęstości w wodzie i rozpuszczalniku	81
11.2) Analiza wpływu sposobu zagęszczania próbek.....	83
11.3) Analiza wpływu geometrii próbki	92
11.4) Analiza wpływu stanu powierzchni próbki	105
11.5) Analiza wpływu metody badania na wynik badania	115
12) Podsumowanie i zalecenia.....	118
13) Bibliografia	122

1) Podstawa pracy

Niniejsze sprawozdanie jest podsumowaniem prac przeprowadzonych w trzech etapach w okresie od sierpnia 2008 do czerwca 2010 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”. Została wykonana na podstawie umowy nr 2189/2008 z dnia 11.08.2008 r. zawartej pomiędzy Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) a Instytutem Badawczym Dróg i Mostów (IBDiM) oraz Aneksu nr 1 z dnia 29.10.2009 r. Pracy nadano symbol IBDiM „TN-246”.

2) 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 określone z oznaczania objętości próbek. Szereg właściwości, takich jak zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej (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 mieszanki mineralno-asfaltowej w nawierzchnię może być obarczony błędami. Poza tym istnieje kilka metod oznaczania „tej samej” właściwości objętościowej, co zostało ujęte w nowych normach serii 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 serii PN-EN 12697 zawarto wskazówki wyboru rodzaju metody oznaczania, lecz należy to ujednolicić w polskich warunkach oraz należy w wymaganiach technicznych uszczegółwić 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 oraz rodzaju i stanu próbek, z ewentualnymi zapisami porównywania różnych wyników z uwagi na metodę badania i stan próbki.

Rezultaty niniejszej 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 pracy

Program badań stanowiący załącznik 1 do umowy nr 2189/2008 na wykonanie pracy badawczej pt. „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” uwzględniał dwa etapy: pierwszy zrealizowany w 2008 roku i drugi zrealizowany w 2009 roku. Po zaanektowaniu umowy w październiku 2009 r., część badań przełożono jednak na rok 2010. Całą pracę podzielono dodatkowo na 5 zadań. Szczegółowy zakres prac w każdym zadaniu przedstawiono poniżej:

Zadanie 1 Wytypowanie metod badawczych i sposobów przygotowania próbek jako elementy wpływające na uzyskiwane wyniki oznaczenia właściwości objętościowych.

- Przegląd literatury światowej dotyczącej zagadnień metodyki badania wybranych właściwości objętościowych oraz sposobów uzyskania i przygotowania próbek do badań, w tym analiza metod znormalizowanych,
- Analiza metod znormalizowanych oznaczenia właściwości objętościowych oraz uzyskiwania i przygotowania próbek do badań,
- Opracowanie, dostosowanie i/lub uszczegółowienie metod oznaczania właściwości objętościowych oraz uzyskiwania i przygotowania próbek do badań.

Zadanie 2 Przygotowanie materiałów do badań

- Wytypowanie oraz zgromadzenie powszechnie stosowanych w Polsce składników mieszanek mineralno-asfaltowych (mma) z uwzględnieniem podziału składników na charakterystyczne grupy.
- Wytypowanie i zaprojektowanie składów mma z uwzględnieniem dalszej oceny wpływu maksymalnego rozmiaru ziarna, stopnia zagęszczenia, zawartości i rodzaju lepiszcza, przewiduje się badania:
 - betonu asfaltowego
 - mieszanki SMA
 - asfaltu porowatego

Zadanie 3 Badania właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych (mma)

- Przygotowanie próbek do badań; przewiduje się:
 - zagęszczenie ubijakiem próbek o średnicy 100 mm i wysokości 50 i 100 mm,
 - zagęszczenie żyratorem w formach o średnicy 100 i 150 mm, wysokości 50, 100 i 150 mm,
 - zagęszczenie przez wałowanie; wysokość 50 i 100 mm,
 - odwierty z nawierzchni próbek o średnicy 100 mm,
 - odwierty o średnicy (150, 100, 80 mm) mniejszej niż uzyskanych próbek.
- Oznaczenie gęstości i gęstości objętościowej różnymi metodami oraz obliczenia właściwości objętościowych.

Zadanie 4 c.d. Zadania 3

Zadanie 5 Porównanie i ocena wyników badań

- Porównanie i ocena wyników badań w wielu aspektach:
 - wpływ metody oznaczenia w funkcji zróżnicowanych właściwości składników (rodzaj składników, maksymalny rozmiar ziarna w mieszance mineralno-asfaltowej (mma), rodzaj mma, zawartość asfaltu, itd.)
 - wpływ sposobu zagęszczania próbek,
 - wpływ wymiarów próbek,
 - wpływ stanu powierzchni próbek („z formy”, cięta),ocena dokładności oznaczeń i obliczeń.
- Opracowanie sprawozdania końcowego oraz wytyczne doboru metod badań i stanu próbek mieszanek mineralno-asfaltowych.

Pierwszy etap prac, obejmujący swym zakresem Zadanie 1, 2 i częściowe Zadanie 3, został odebrany w grudniu 2008 r. Drugi etap, zawierający częściowo Zadanie 3, 4 i 5 przekazano w listopadzie 2009 r. Niniejsza praca jest uzupełnieniem poprzednich sprawozdań.

4) Metody badawcze cech objętościowych

4.1) Ogólnie

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 europejskich:

- 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.

Pozostałymi 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.

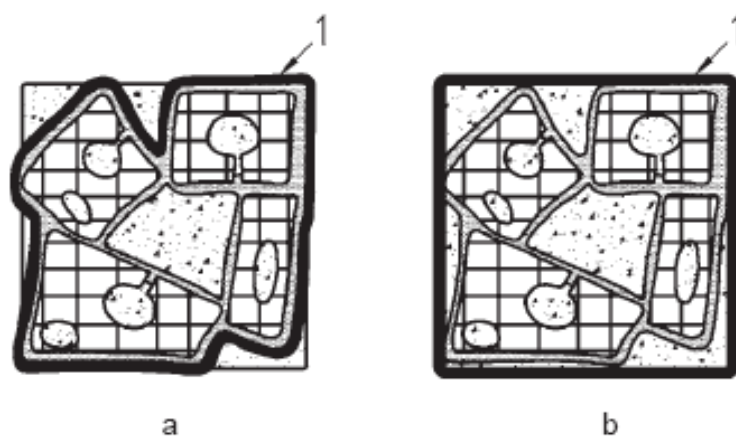
W Polsce badania cech objętościowych wykonywane są również według procedur zawartych w Zeszycie IBDiM.

- Seria „I” Informacje, Instrukcje: Zeszyt 64/2002 „Procedury badań do projektowania składu i kontroli mieszanek mineralno-asfaltowych” Janusz Zawadzki, Ewa Chałaczkiwicz, Marian Pałys, Paweł Skierczyński, wyd. IBDiM 2002.

4.2) Gęstość objętościowa według PN-EN 12697-6+A1:2008

Gęstość objętościową, wcześniej nazywaną gęstością strukturalną lub dawną gęstością pozorną, oznacza się zgodnie z normą PN-EN 12697-6+A1:2008 czterema metodami: A, B, C i D. W dwóch pierwszych metodach, gdy do oznaczania gęstości wykorzystuje się ważenie w wodzie, próbki o otwartej, porowatej strukturze są nasiąknięte i przeniknięte wodą. Wynik badania takiej próbki z wodą wewnątrz porów jest wątpliwy.

Norma PN-EN 12697-6+A1:2008 opisuje szczegółowo metody badania gęstości i cel ich stosowania. Precyzuje wybór metody w zależności od ilości wolnych przestrzeni na powierzchni próbek i to, czy przestrzenie te są brane pod uwagę jako część objętości próbki. Metoda prawidłowa powinna uwzględniać dokładnie te wolne przestrzenie, które są częścią objętości struktury materiału, ale powinna pomijać wolne przestrzenie, które pojawiają się z powodu nieodpowiedniego przygotowania próbki do badania.



Rysunek 1. Wolne przestrzenie w próbce zagęszczonej mma

Rysunek 1 zaczerpnięty z normy obrazują wpływ metody A i B: Na rysunku a przedstawiono wodę wypełniającą wolne przestrzenie powierzchniowe więc nie są one traktowane jako część objętości próbki. W tym przypadku obliczona zostanie względnie mała objętość przy względnie wysokiej gęstości objętościowej. Jest to sytuacja prawidłowa dla wolnych przestrzeni powierzchniowych występujących z

powodu sposobu przygotowania próbki do badań lub w przypadku uszkodzeń powstałych przy pobieraniu próbki. Nie jest to sytuacja prawidłowa w przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych gruboziarnistych zawierających dużą ilość próżni. Wolne przestrzenie, będące nieodłączną częścią mieszanki, nie są wówczas uwzględnione przy obliczaniu objętości, a więc uzyskana wartość nie jest prawidłowa. Jeśli pustki powietrzne są duże, wówczas wsiąknięta woda spłynie z próbki zaraz po wyjęciu jej z kąpieli wodnej i negatywny wpływ nie będzie miał aż tak dużego znaczenia dla wyniku gęstości objętościowej.

Rysunek b przedstawia wpływ metody D, gdy objętość próbki oblicza się z wymiarów próbki. Wszystkie powierzchniowe wolne przestrzenie zostają wówczas włączone do objętości próbki. Powoduje to uzyskanie względnie wysokiej objętości próbki lub względnie niskiej wartości gęstości objętościowej. Można zatem stwierdzić, że metoda D jest poprawna, jeżeli powierzchniowe wolne przestrzenie stanowią nieodłączną część materiału (mieszanki mineralno--asfaltowej). Pośrednie wyniki można uzyskać, gdy próbki są uszczelnione (metoda C), ponieważ część powierzchniowych wolnych przestrzeni jest mierzona jako należąca do objętości próbki, natomiast część jest wyłączona z objętości próbki. Metoda ta teoretycznie dostarcza najbardziej prawidłowych wyników; choć z powodu nieprecyzyjności w wykonaniu oznaczenia, zwiększonej złożoności metody (nie dla wszystkich materiałów) i wyższych kosztów metoda ta nie może być stosowana we wszystkich przypadkach.

Wykaz metod oznaczenia gęstości objętościowej według PN-EN 12697-6+A1:2008:

– **Metoda A:** w stanie suchym (próbki o zamkniętej, jednolitej powierzchni); metoda ta odpowiednia jest dla próbek gładkich oraz o małej zawartości wolnych przestrzeni, np. próbek asfaltu lanego.

Procedura oznaczenia gęstości objętościowej tą metodą polega na zważeniu suchej próbki (m_1), następnie zanurzeniu jej w łaźni wodnej, utrzymywaniu w znanej temperaturze badania i określeniu masy natychmiast gdy poziom wody ustabilizuje się (m_2). Jeżeli jednak bada się wilgotne próbki to czynność tę należy wykonać dopiero po określeniu gęstości wody w temperaturze badania.

Gęstość objętościową próbki na sucho (ρ_{bdry}) oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$\rho_{bdry} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_w$$

w którym:

ρ_{bdry}	gęstość objętościowa na sucho, (kg/m ³);
m_1	masą suchej próbki, w gramach (g);
m_2	masa próbki w wodzie, w gramach (g);
ρ_w	gęstość wody w temperaturze badania, (kg/m ³).

– **Metoda B:** w stanie nasyconym, powierzchniowo suchym (SSD) (próbki o zamkniętej powierzchni); metoda ta odpowiednia jest dla próbek betonu asfaltowego z zawartością wolnych przestrzeni do 5 % (v/v) oraz dla próbek mieszanki SMA z zawartością wolnych przestrzeni do 4 % (v/v).

Oznaczenie wykonuje się na nienaruszonych, zagęszczonych próbkach mieszanki mineralno-asfaltowej w następujący sposób. Należy określić masę suchej próbki (m_1), zanurzyć próbkę w łaźni wodnej utrzymującej znaną temperaturę badania, umożliwić nasączenie próbki tak długo, aby masa próbki nie ulegała zmianie (na ogół okres nasączenia wynosi co najmniej 30 min.), następnie określić masę nasączonej próbki po jej zanurzeniu (m_2), dbając, aby żadne pęcherzyki powietrza nie przylegały do powierzchni próbki lub odrywały się od próbki podczas ważenia. Potem wyjąć próbkę z wody, osuszyć powierzchnię z przylegających kropli przez wytarcie wilgotną irchą i natychmiast po osuszeniu określić masę nasączonej, wytartej próbki w powietrzu, (m_3). Gęstość ρ_{bssd} obliczyć z ilorazu masy próbki przez jej objętość według wzoru:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w$$

w którym:

ρ_{bssd}	gęstość objętościowa (SSD) próbki, (kg/m ³);
m_1	masa suchej próbki, w gramach (g);
m_2	masa próbki w wodzie, w gramach (g);
m_3	masa próbki nasyconej, powierzchniowo suchej, w gramach (g);
ρ_w	gęstość wody w temperaturze badania, (kg/m ³).

– **Metoda C:** w stanie uszczelnienia powierzchniowego (próbki z otwartą lub chropowatą powierzchnią); metoda ta jest odpowiednia dla próbek z mieszanki mineralno-asfaltowej o zawartości wolnych przestrzeni do 15 % (v/v).

Oznaczenie polega na określeniu masy suchej próbki (m_1), następnie uszczelnieniu jej w taki sposób, aby wewnętrzne wolne przestrzenie wpływające na gęstość objętościową materiału nie były penetrowane przez wodę, i aby żadne dodatkowe wolne przestrzenie pomiędzy uszczelnieniem a próbką nie zostały uwzględnione (po uszczelnieniu próbka nie powinna chłonać wody). Uszczelnienie może polegać np. na zafoliowaniu próbki lub zastosowaniu parafiny. Jeżeli stosuje się parafinę to należy doprowadzić ją do jej temperatury mięknięcia powiększonej o 10 °C, zanurzyć próbkę częściowo w parafinie na krócej niż 5 s, wstrząsając próbkę aby uwolnić pęcherzyki powietrza. Po wystygnięciu i stężeniu parafiny na tej części próbki, powtarzać tą czynność na pozostałych powierzchniach próbki. Następnie należy określić masę suchej uszczelnionej próbki (m_2), zanurzyć ją w łaźni wodnej i określić masę uszczelnionej próbki w wodzie (m_3).

Gęstość objętościową suchej uszczelnionej próbki (ρ_{bsea}) obliczyć zgodnie ze wzorem:

$$\rho_{bsea} = \frac{m_1}{\left(m_2 - \frac{m_3}{\rho_w}\right) - \left(m_2 - \frac{m_1}{\rho_{sm}}\right)}$$

w którym:

ρ_{bsea}	gęstość objętościowa uszczelnionej próbki, (kg/m ³);
m_1	masa próbki suchej, w gramach (g);
m_2	masa uszczelnionej, suchej próbki, w gramach (g);
m_3	masa uszczelnionej próbki w wodzie, w gramach (g);
ρ_w	gęstość wody w temperaturze badania, (kg/m ³);
ρ_{sm}	gęstość materiału uszczelniającego w temperaturze badania, (kg/m ³).

– **Metoda D:** gęstość objętościowa obliczana jest na podstawie wymiarów geometrycznych (dla próbek o regularnych kształtach i regularnej powierzchni to jest sześciennych, prostopadłościennych, walcowych, itd.); metoda ta odpowiednia jest dla próbek z mieszanki mineralno-asfaltowej o zawartości wolnych przestrzeni większej niż 15 % (v/v), metoda ta jest szczególnie przydatna do badania asfaltu porowatego. Polega na określeniu wymiarów próbki w milimetrach zgodnie z PN-EN 12697-29, a następnie określeniu masy suchej próbki (m_1). Obliczenia wykonuje się w zależności od kształtu próbki, i tak:

Próbka cylindryczna

Gęstość objętościową, na podstawie wymiarów próbki cylindrycznej (ρ_{bdim}), oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \times h \times d^2} \times 10^6$$

w którym:

ρ_{bdim}	gęstość objętościowa próbki, (kg/m ³);
m_1	masa suchej próbki, w gramach (g);
h	wysokość próbki, w milimetrach (mm);
d	średnica próbki, w milimetrach (mm)

Próbka prostopadłościenna

Gęstość objętościową na podstawie wymiarów prostopadłościenną próbki (ρ_{bdim}) oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{h \times l \times w} \times 10^6$$

w którym:

ρ_{bdim}	gęstość objętościowa próbki, (kg/m ³);
m_1	masa suchej próbki, w gramach (g);
h	wysokość próbki, w milimetrach (mm);
l	długość próbki, w milimetrach (mm);
w	szerokość próbki, w milimetrach (mm).

Wybór metody oznaczania gęstości objętościowej

– Metoda A: Gęstość objętościowa – w stanie suchym

Metoda A jest odpowiednia dla próbek mieszanek mineralno-asfaltowych bardzo zwartych, nie- lub bardzo słabo nasiąkliwych. Jest metodą szybką i łatwą, wygodną szczególnie dla próbek zwartych, przygotowanych w laboratorium. Stosowanie metody A odnosi się do tekstury powierzchniowej próbki i dostępnych wewnętrznych wolnych przestrzeni próbki. W celu osiągnięcia prawidłowego wyniku próbka powinna być gładka, a wewnętrzne wolne przestrzenie trudno dostępne. Metodę można stosować na przykład przy próbkach asfaltu lanego, gdy praktycznie brak jest dostępnych wolnych przestrzeni.

– Metoda B: Gęstość objętościowa – próbki w stanie nasyconym, powierzchniowo suchym – SSD

Metoda B jest odpowiednia dla próbek mieszanki mineralno-asfaltowej o strukturze zamkniętej, o niskim stopniu nasiąkliwości lub o swobodnym wypływie nasiąkniętej wody. Ważne jest uważne postępowanie przy osiągnięciu stanu nasyconej, suchej powierzchniowo próbki. Nadmierna warstwa wilgoci na powierzchni będzie bowiem prowadziła do niedoszacowania gęstości, a więc do przeszacowania ilości wolnych przestrzeni w próbce lub do niedoszacowania ilości wolnych przestrzeni wypełnionych lepiszczem. Nadmierny wypływ wody będzie prowadził do przeszacowania gęstości objętościowej, a więc do niedoszacowania wielkości próżni w próbce. Przy stosowaniu tej metody należy przeanalizować ilość wolnych przestrzeni i średnicą porów. Może być ona stosowana przy badaniu materiałów o ciągłym uziarnieniu, takich jak beton asfaltowy (z względnie małymi porami) i z zawartością wolnych przestrzeni w przybliżeniu do 5 % (v/v). Może być też stosowana przy badaniu materiałów, które mają większą średnicę porów w próbce (np. mieszanka mastyksowo-grysowa), z zawartością wolnych przestrzeni w przybliżeniu do 4 % (v/v).

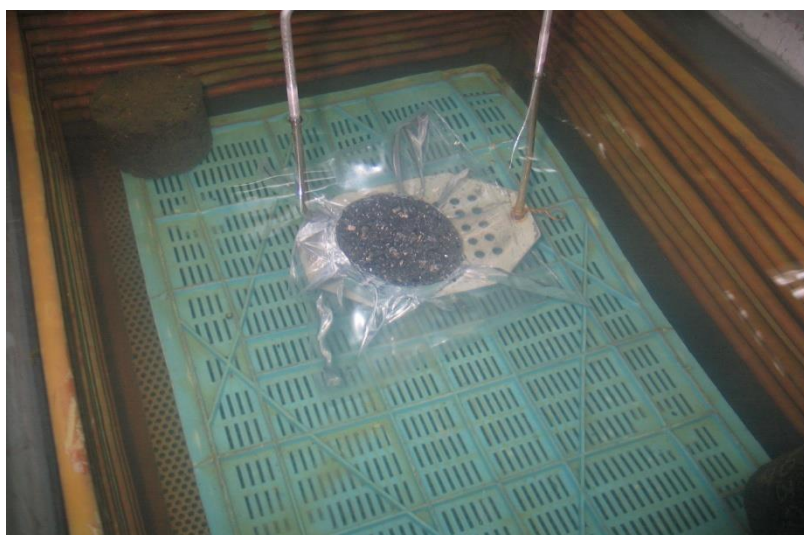
– **Metoda C: Gęstość objętościowa – próbki w stanie uszczelnionym**

Metoda C jest odpowiednia do pomiaru gęstości objętościowej próbek mma, w których zawartość wolnych przestrzeni nie przekracza 15 % (v/v). Metoda jest jednak dosyć skomplikowana, mało wygodna do przeprowadzenia. Jest więc rzadko stosowana. W przypadku badania próbek zagęszczonych laboratoryjnie z szorstką teksturą powierzchni, niektóre materiały uszczelniające, np. takie jak folia, sprowadzają wolne przestrzenie pochodzące z tekstury próbki jako wewnętrzne. Może to powodować niedoszacowanie gęstości próbki lub przeszacowanie ilości wolnych przestrzeni w próbce. Materiały uszczelniające takie jak parafina mogą penetrować wewnętrzne wolne przestrzenie próbki, powodując przeszacowanie gęstości objętościowej, a zatem niedoszacowanie wolnych przestrzeni w próbce. Metoda C nie jest odpowiednia do odzyskiwanych materiałów z mieszanek mineralno-asfaltowych, ponieważ nie można wykluczyć, że materiały te zawierają wodę.

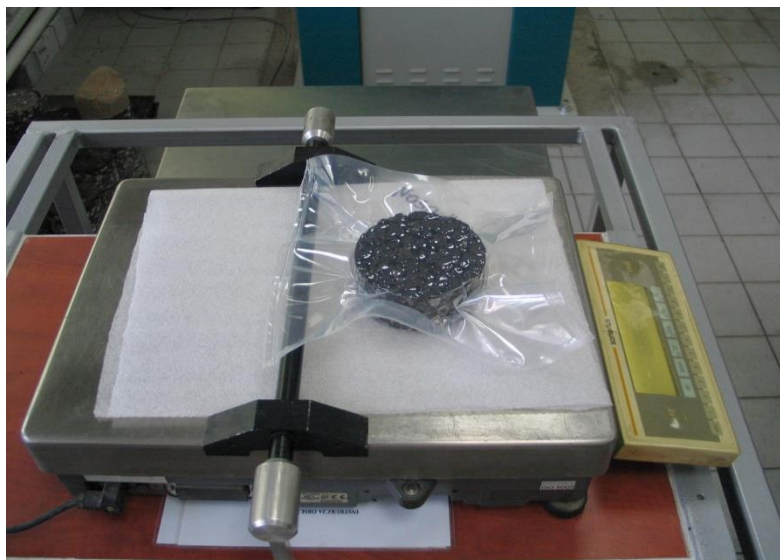
Na fotografiach od 1 do 3 przedstawiono próbki oraz sprzęt stosowany w IBDiM do badania gęstości objętościowej mieszanek mineralno-asfaltowych metodą C.



Fotografia 1. Pakowarka próżniowa w IBDiM do badania metodą C



Fotografia 2. Ważenie próbki w wodzie metodą C w IBDiM



Fotografia 3. Badanie gęstości objętościowej metodą C w IBDiM

– **Metoda D: Gęstość objętościowa na podstawie wymiarów geometrycznych**

Metoda D jest odpowiednia do pomiaru gęstości objętościowej próbek, które mogą mieć dowolną zawartość wolnych przestrzeni. Zaleca się jedynie, aby próbki miały regularną powierzchnię i geometryczny kształt, co umożliwi i ułatwi pomiar ich wymiarów. Metoda D jest odpowiednia dla próbek zagęszczonych mieszanek mineralno-asfaltowych o zawartości wolnych przestrzeni większych niż 15 % (v/v).

W tej metodzie również wolne przestrzenie tekstury powierzchniowej są traktowane jako część wewnętrznych wolnych przestrzeni, co może powodować niedoszacowanie gęstości próbki lub przeszacowanie zawartości wolnych przestrzeni w próbce. Szczególnie ma to znaczenie, gdy próbki do badań są przygotowane i zagęszczane laboratoryjnie, a nie wycięte lub odwiercone z nawierzchni. Pod względem przydatności metody D do badania próbek o bardzo wysokiej próżni, zaleca się tą metodę do badania gęstości asfaltu porowatego.

4.3) Gęstość objętościowa metodą CoreLok

Urządzenie badawcze CoreLok [1] może być stosowane do oznaczenia w wodzie gęstości objętościowej próbek zagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej, gęstości objętościowej mieszanki mineralnej, itd.



Fotografia 4. Urządzenie CoreLok

Urządzenie CoreLok przedstawione na fotografii 4 posiada system próżniowy umożliwiający dokładne uszczelnienie próbki badawczej przed poddaniem jej badaniu gęstości. Próbka jest umieszczana wewnątrz specjalnie zaprojektowanej, odpornej na przebicie polimerowej torebki, a następnie wkładana do komory próżniowej. Pod wpływem próżni torebka kurczy się i zaczyna ściśle przylegać dostosowując się do kształtu próbki. Zapobiega to wnikananiu wody wewnątrz próbkę. Otrzymywane wyniki gęstości wyznaczone metodą Corelok są bardzo dokładne bez względu na rodzaj i skład próbki, np. zawartość procentową wolnych przestrzeni. Nie istotny jest również kształt badanej próbki. Specjalny, dodany do urządzenia program komputerowy oblicza, przechowuje i przetwarza otrzymane wartości. Uszczelnioną próbkę po wyjęciu z urządzenia przedstawiono na fotografii 5 [2].

Prawidłowe oznaczenie gęstości objętościowej próbek zagęszczanej mieszanki mineralno-asfaltowej jest utrudnione, zwłaszcza dla mieszanek porowatych, gdy duże jest wnikanie wody do wnętrza próbki. Metoda próżniowego pakowania jest więc przydatna ze względu na skuteczne chronienie próbki przed wnikananiem wody poprzez uszczelnienie jej. Objętość próbki jest bowiem wówczas zamknięta wewnątrz foliowej torebki. Procedura badawcza według Corelok jest podobna do procedury według PN-EN 12697-6, metoda C oraz procedury z normy AASHTO T-

275 przy użyciu parafiny jako uszczelniacza próbki. Jest jednak łatwiejsza i szybsza do przeprowadzenia.



Fotografia 5. Sposób uszczelnienia próbki w metodzie CoreLok

4.4) Gęstość według PN-EN 12697-5+A1:2008

Gęstość, wcześniej nazywana gęstością objętościową lub dawną gęstością właściwą, oznaczana jest zgodnie z normą PN-EN 12697-5+A1:2008 w rozpuszczalniku i w wodzie metodą objętościową A (bez wolnych przestrzeni). Metoda polega na obliczeniu ilorazu masy próbki i jej objętości, określonej w piknometrze. Gęstość oznacza się na wysuszonej i rozdrobnionej próbce. Objętość próbki jest mierzona objętością wody lub rozpuszczalnika, która wypiera próbkę umieszczoną w piknometrze. Wykonanie oznaczenia składa się z następujących elementów:

- zważenia pustego piknometrze razem z przykryciem (m_1) o znanej objętości (V_p),
- umieszczenie wysuszonej próbki w piknometrze i zważenie razem z nasadką (m_2),
- napełnienie piknometrze odpowiednią wodą lub rozpuszczalnikiem do wysokości nie większej niż 30 mm poniżej złącza z nasadką (w przypadku badania gęstości w wodzie, należy odciągnąć uwięzione powietrze, stosując próżnię o ciśnieniu do 4 kPa przez (15 ± 1) min – odciąganie powietrza z dostępnych przypowierzchniowych porów jest ważną czynnością; pomocne jest obracanie piknometrze; jeżeli została użyta woda, dodać do niej niewielką ilość

- (tylko dwie krople) rozpuszczalnego środka powierzchniowo-czynnego, który może ułatwić ujście powietrza; zamiast wody odpowietrzonej można zastosować wodę przegotowaną),
- w przypadku badania gęstości w rozpuszczalniku zaleca się obracanie i wibrowanie piknometru bez stosowania podciśnienia,
 - założyć nasadkę i ostrożnie napełnić piknometr odpowietrzoną wodą lub rozpuszczalnikiem (uważając, aby nie wprowadzić powietrza) prawie do poziomu kreski pomiarowej na nasadce lub do spodu korka szklanego, jeżeli został on założony na piknometr,
 - w przypadku badania gęstości w wodzie umieścić piknometr w łaźni wodnej o znanej, stałej temperaturze ($\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) co najmniej na 30 min i doprowadzić temperaturę próbki i temperaturę wody lub rozpuszczalnika w piknometrze do temperatury wody w łaźni,
 - w przypadku badania gęstości w rozpuszczalniku stała temperatura badania powinna być utrzymana z dokładnością $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$; następnie piknometr powinien być umieszczony w łaźni wodnej co najmniej na 60 min, lecz nie dłużej niż 180 min,
 - uzupełnić piknometr wodą lub rozpuszczalnikiem do kreski pomiarowej; woda lub rozpuszczalnik powinny być doprowadzone do temperatury wody w łaźni,
 - wyjąć piknometr z łaźni wodnej, osuszyć ręcznikiem powierzchniowo i natychmiast zważyć (m_3).
 - Obliczenie wykonać według wzoru:

$$\rho_{mw} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w}}$$

w którym:

- | | |
|----------|--|
| m_1 | masa piknometru z nasadką, w gramach (g); |
| m_2 | masa piknometru z nasadką i z badaną próbka, w gramach (g); |
| m_3 | masa piknometru z nasadką, próbka i wodą lub rozpuszczalnikiem, (g); |
| V_p | objętość piknometru napełnionego do kreski pomiarowej, (m^3); |
| ρ_w | gęstość wody lub rozpuszczalnika w temperaturze badania, (kg/m^3). |

4.5) Zawartość wolnych przestrzeni

Zawartość wolnej przestrzeni w próbce oblicza się na podstawie gęstości i gęstości objętościowej mieszanki mineralno-asfaltowej według normy PN-EN 12697-8+A1:2008, zgodnie z następującym równaniem:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100$$

w którym:

V_m zawartość wolnej przestrzeni w próbce mieszanki mineralno-asfaltowej, % (v/v),

ρ_m gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm³,

ρ_b gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm³.

Zawartość procentową wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej wypełnionej lepiszczem bitumicznym oblicza się według następującego równania:

$$VFB = \frac{B \times \frac{\rho_b}{\rho_B}}{VMA} \times 100$$

w którym:

VFB procentowa zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej wypełnionej lepiszczem bitumicznym, do 0,1 % (v/v);

B zawartość lepiszcza w próbce (w 100% mieszanki), do 0,1 % (v/v),

ρ_b gęstość objętościowa próbki, (kg/m³),

ρ_B gęstość lepiszcza, (kg/m³),

VMA zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej, do 0,1% (v/v), obliczona według wzoru:

$$VMA = V_m + B \times \frac{\rho_b}{\rho_B}$$

w którym:

VMA zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej, do 0,1 % (v/v),

V_m zawartość wolnej przestrzeni w próbce, do 0,1 % (v/v),

B zawartość lepiszcza w próbce (w 100% mieszanki), do 0,1 % (m/m),

ρ_b gęstość objętościowa próbki, (kg/m³),

ρ_B gęstość lepiszcza, (kg/m³).

5) Badania laboratoryjne

5.1) Metodyka badań

Podstawami przyjętej metodyki badań w niniejszej pracy było było:

- Porównanie właściwości objętościowych różnych rodzajów próbek mieszanek mineralno-asfaltowych mieszanych i zagęszczonych w laboratorium,
- Porównanie właściwości objętościowych różnych rodzajów próbek mieszanek mineralno-asfaltowych z jednej partii produkcji przemysłowej (w celu wyeliminowania błędów w składzie lub jakości składników) zagęszczonych w laboratorium i w warstwie na drodze,
- Przebadanie różnych typów mieszanek mineralno-asfaltowych:
 - beton asfaltowy,
 - mieszanka SMA,
 - asfalt porowaty,
- Zaprojektowanie składów mma, ich produkcja, zagęszczanie laboratoryjne, wbudowanie na drodze i odwiercanie próbek z drogi i próbek laboratoryjnych,
- Porównywanie wyników badań właściwości objętościowych różnych rodzajów próbek.

5.2) Próbki do badań

Właściwości objętościowe mma określono na dwóch głównych grupach mieszanek mineralno-asfaltowych: mieszanych laboratoryjnie oraz mieszanych przemysłowo w wytwórni. W przypadku mieszanek 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 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 50 ± 5 mm, stosując po 70 uderzeń na każdą powierzchnię czołową
 - próbki wzorcowe ze względu na gęstość objętościową,

- o wysokości $63,5 \pm 5$ mm, stosując po 75 uderzeń na każdą powierzchnię czołową
- o wysokości 100 ± 5 mm, stosując po 120 uderzeń na każdą powierzchnię czołową.

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 walcowe o średnicy 100 mm.

5.3) Oznaczenie próbek do badań

W ramach pracy wykonano próbki laboratoryjne o różnej geometrii, przy wykorzystaniu trzech sposobów zagęszczania, tj. w ubijaku Marshalla, w prasie żyratorowej oraz zagęszczarce płytowej. W dalszej części opracowania jeśli przywołano i analizowano geometrię badanej próbki, to w celu uproszczenia opisów i dla większej czytelności pracy zastosowano następujące oznakowanie próbek (skrót):

- **M5** - ubijak Marshalla, średnica formy 101,5 mm, wysokość 50 mm,
- **M6** - ubijak Marshalla, standardowa próbka Marshalla,
- **M10** - ubijak Marshalla, średnica formy 101,5 mm, wysokość 100 mm,
- **Z10.5** - prasa żyratorowa, średnica formy 100 mm, wysokość 50 mm,
- **Z10.10** - prasa żyratorowa, średnica formy 100 mm, wysokość 100 mm,
- **Z15.5** - prasa żyratorowa, średnica formy 150 mm, wysokość 50 mm,
- **Z15.10** - prasa żyratorowa, średnica formy 150 mm, wysokość 100 mm,
- **Z15.15** - prasa żyratorowa, średnica formy 150 mm, wysokość 150 mm,
- **P5** - walec laboratoryjny, płyta o wymiarach 180x500x50 mm,
- **P10** - walec laboratoryjny, płyta o wymiarach 180x500x100 mm,
- **D10** - próbki średnicy 100 mm wycięte z nawierzchni drogi.

5.4) Laboratoryjne sposoby zagęszczania próbek do badań

5.4.1) Zagęszczanie ubijakiem Marshalla

Próbki zagęszczano ubijakiem Marshalla zgodnie z zapisami normy PN-EN 12697-30+A1:2008 „Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 30: Przygotowanie próbek zagęszczonych przez ubijanie”. Zależnie od rodzaju badania, próbki miały różną wysokość. Uległa zmianie energia zagęszczania. W zależności od wysokości próbki stosowano odpowiednią liczbę uderzeń ubijaka Marshalla:

- wysokość 50 mm - 70 uderzeń na stronę,
- 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.

5.4.2) Zagęszczanie prasą żyratorową

Próbki zagęszczano prasą żyratorową zgodnie z zapisami normy PN-EN 12697-31:2007 „Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 31: Próbki przygotowane w prasie żyratorowej”. Zagęszczanie było dokonywane przez równoczesne działanie statycznego nacisku oraz ścinania, wynikającego z obrotowego ruchu osi próbki. Ruch ten generował stożkową powierzchnię obrotu, o kącie przy wierzchołku równym 2α . Powierzchnie czołowe próbki pozostawały prostopadłe do osi stożka przez cały czas badania.

Wartość nacisku pionowego (ściskanie) była stała podczas zagęszczania, co wywoływało 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.

5.4.3) Zagęszczanie walcem laboratoryjnym

Próbki zagęszczano walcem laboratoryjnym (urządzeniem wałującym) zgodnie z zapisami normy PN-EN 12697-33+A1:2008 „Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 31: Przygotowanie próbek zagęszczanych urządzeniem wałującym”.

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.

5.4.4) Zagęszczanie w terenie walcami drogowymi

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

5.4.5) Stopień zagęszczenia próbek

W zamierzeniu było uzyskanie próbek o zagęszczeniu w granicach 98-102%, ale uzyskane były również wyniki wykraczające poza tą granicę. Różny stopień zagęszczenia próbek uzyskano poprzez zmianę energii zagęszczania, bądź poprzez zmianę naważki mieszanki zagęszczanej w formie o stałej objętości. W przypadku próbek Marshalla o energii zagęszczania decydowała ilość uderzeń ubijaka Marshalla, a w przypadku prasy żyratorowej ilość żyracji, czyli pełnych obrotów prasy powodujących zagęszczanie. Zagęszczarka walcowa do płyt będąca na wyposażeniu laboratorium dysponuje stałą, znaną objętością, do której „upycha” się mieszankę mineralno-asfaltową, zatem o stopniu zagęszczenia decyduje jej ilość przewidziana do zagęszczania. Dla każdej mieszanki mineralno-asfaltowej uzyskano w ten sposób zbiór próbek o różnym zagęszczeniu oraz różnej gęstości objętościowej.

6) Przegląd literatury światowej

Przegląd literatury światowej został zawarty w sprawozdaniu z częściowej realizacji etapu II pracy, przekazanym w grudniu 2009 r.

7) Mieszanki mineralno-asfaltowe przeznaczone do badań

7.1) Ogólnie

Badania laboratoryjne oznaczania właściwości objętościowych zostały przeprowadzone na czterech rodzajach mieszanek mineralno-asfaltowych: trzech mieszanek typu beton asfaltowy (w tym beton asfaltowy o wysokim module sztywności) oraz na mieszance SMA.

7.2) ACWMS20W (TN246W.)

Pierwszą badaną mieszankę mineralno-asfaltową stanowił beton asfaltowy. Wymiar maksymalnego ziarna wynosił w tym przypadku 20 mm. Mieszanka mineralno-asfaltowa przeznaczona była do ruchu kategorii KR3-KR6 do warstwy wiążącej. Mieszanka mineralna składała się z kruszywa wapiennego i otoczków. Uziarnienie mieszanki mineralnej TN246W przedstawiono w tablicy 1. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej przedstawiono w tablicy 2. Właściwości fizyczne mieszanki TN246W przedstawiono w tablicy 3. W dalszej części sprawozdania oznakowanie próbek wykonanych z tej mieszanki rozpoczyna się od przedrostka „TN246W...”.

Tablica 1. Uziarnienie mieszanki mineralnej TN246W

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
25	—	100	100	100
20	2,1	97,9	87	100
16	8,4	89,5	77	100
12,8	12,3	77,2	66	90
9,6	10,6	66,6	56	81
8	4,9	61,6	50	75
6,3	7,5	54,2	45	67
4	16,7	37,5	36	55
2	6,3	31,1	25	41
0,85	11,1	20,0	16	30
0,42	8,6	11,5	9	22
0,30	2,6	8,8	7	19
0,18	2,0	6,8	5	15
0,15	0,3	6,1	5	14
0,075	1,0	5,5	4	7
< 0,075	5,5	—	—	—
Suma	100,0	—		

Tablica 2. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej TN246W

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wapienna	5,5	5,2
2	Piasek łamany, otoczaki	27,0	25,8
3	Grys 2/6,3 mm, wapień	22,0	21,0
4	Grys 6,3/12,8, wapień	22,0	21,0
5	Grys 12,8/25, wapień	23,5	22,4
6	Asfalt 30B		4,6
Razem		100,0	100,0

Tablica 3. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej TN246W

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, kg/m ³	2671	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2515	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2359	
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	6,2	4,0-8,0

7.3) AC20W (TN246Y.)

Kolejną mieszankę mineralno-asfaltową stanowił beton asfaltowy. Wymiar maksymalnego ziarna wynosił w tym przypadku 20 mm. Mieszanka mineralno-asfaltowa przeznaczona była do ruchu kategorii KR3-KR6 do warstwy wiążącej. Mieszanka mineralna w tym przypadku składała się z piasku kwarcytowego i kruszywa granodiorytowego. Uziarnienie mieszanki mineralnej TN246Y przedstawiono w tablicy 4. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej przedstawiono w tablicy 5. Właściwości fizyczne mieszanki TN246Y przedstawiono w tablicy 6. W dalszej części sprawozdania oznakowanie próbek wykonanych z tej mieszanki rozpoczyna się od przedrostka „TN246Y...”.

Tablica 4. Uziarnienie mieszanki mineralnej TN246Y

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
31,5	–	100	100	100
25	1,9	98,2	100	100
20	6,4	91,7	87	100
16	4,2	87,6	77	100

12,8	15,6	71,9	66	90
9,6	12,8	59,1	56	81
8	4,9	54,2	50	75
6,3	4,0	50,2	45	67
4	8,9	41,3	36	55
2	8,0	33,3	25	41
0,85	12,0	21,2	16	30
0,42	6,9	14,4	9	22
0,30	3,3	11,0	7	19
0,18	2,9	8,1	5	15
0,15	1,1	7,0	5	14
0,075	2,3	4,7	4	7
< 0,075	4,7	–	–	–
Suma	100	–		

Tablica 5. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej TN246Y

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wapienna	3,0	2,9
2	Piasek łamany, kwarcyt	20,0	19,2
3	Mieszanka drogowa 0/4 mm, granodioryt	18,0	17,3
4	Grys 4/8 mm, granodioryt	13,0	12,5
5	Grys 8/12,8 mm, granodioryt	10,0	9,6
6	Grys 11/16 mm, granodioryt	24,0	23,0
7	Grys 16/25 mm, granodioryt	12,0	11,5
8	Asfalt 30B		4,0
Razem		100,0	100,0

Tablica 6. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej TN246Y

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2516	–
2	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2396	–
3	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	4,8	4,0-6,0
4	Wypełnienie wolnych przestrzeni lepiszczem	66,0	<75,0

7.4) SMA11 (TN246S.)

Kolejną mieszankę mineralno-asfaltową stanowiła mieszanka SMA. Wymiar maksymalnego ziarna wynosił w tym przypadku 11 mm. Mieszanka mineralno-

asfaltowa przeznaczona była do ruchu kategorii KR3-KR6 do warstwy ścieralnej. Mieszanka mineralna w tym przypadku składała się w mieszanki grysów bazaltowych i amfibolitowych oraz piasku łamanego dolomitowego. Uziarnienie mieszanki mineralnej TN246S przedstawiono w tablicy 7. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej przedstawiono w tablicy 8. Właściwości fizyczne mieszanki TN246S przedstawiono w tablicy 9. W dalszej części sprawozdania oznakowanie próbek wykonanych z tej mieszanki rozpoczyna się od przedrostka „TN246S...”.

Tablica 7. Uziarnienie mieszanki mineralnej TN246S

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
20	—	100	100	100
16	—	100	100	100
11,2	9,8	90,2	90,0	100
8	30,8	59,4	45,0	60
5	22,4	37,0	30,0	40
2	15	22,0	20,0	25
0,85	5,7	16,3	12	21
0,42	2,3	14,0	10	20
0,30	0,9	13,1	10	19
0,18	1,1	12,0	9	18
0,15	0,4	11,6	9	17
0,075	2,1	9,5	8	13
< 0,075	9,5	—	—	—
Suma	100,0	—	—	—

Tablica 8. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej TN246S

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wapienna	9,0	8,4
2	Piasek łamany, dolomit	12,0	11,2
3	Grys 2/5, bazalt	4,0	3,7
4	Grys 5/8, bazalt	16,0	15,0
5	Grys 5/8, amfibolit	16,0	15,0
6	Grys 8/12,8, bazalt	21,0	19,8
7	Grys 8/11, amfibolit	22,0	20,8
8	Asfalt 80B		6,1
Razem		100,0	100,0

Tablica 9. Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej TN246S

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm ³	2,881	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,585	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,491	–
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	3,6	3,0 – 4,0
5	Odporność na koleinowanie, duży aparat (60±2 °C, 10 000 cykli), P, %	4,4	≤10,0
6	Odporność na działanie wody, ITSR, %	99,5	≥90,0

7.5) AC25P (TN246N.)

Badaniom poddano również mieszankę mineralno-asfaltową jaką był beton asfaltowy do warstwy podbudowy. Wymiar maksymalnego ziarna wynosił w tym przypadku 25 mm. Mieszanka mineralno-asfaltowa przeznaczona była do ruchu kategorii KR3-KR6 do warstwy podbudowy. Mieszanka mineralna w tym przypadku składała się w całości z kruszywa naturalnie rozdrobnionego. Uziarnienie mieszanki mineralnej TN246N przedstawiono w tablicy 10. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej przedstawiono w tablicy 11. Właściwości fizyczne mieszanki TN246N przedstawiono w tablicy 12. W dalszej części sprawozdania oznakowanie próbek wykonanych z tej mieszanki rozpoczyna się od przedrostka „TN246N...”.

Tablica 10. Uziarnienie mieszanki mineralnej TN246N

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
31,5	–	100,0	100	100
25	0,7	99,3	87	100
20	7,2	92,1	76	100
16	8,4	83,7	66	90
12,8	13,1	70,6	57	81
9,6	13,6	57,0	48	71
8	7,3	49,7	42	65
6,3	7,5	42,2	36	58
4	6,0	36,2	27	47
2	13,1	23,1	19	35
0,85	9,1	14,0	12	24
0,42	3,3	10,7	7	18
0,30	1,4	9,3	6	15
0,18	1,8	7,5	5	12
0,15	0,6	6,9	5	11
0,075	1,7	5,2	4	7
< 0,075	5,2	–	-	-
Suma	100,0	–		

Tablica 11. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej TN246N

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Grys 12,5/25, naturalny łamany	13,5	12,9
2	Grys 12,5/20, naturalny łamany	20,0	19,2
3	Grys 6,3/12,5, naturalny łamany	25,0	23,9
4	Grys 2/6,3, naturalny łamany	25,0	23,9
5	Piasek łamany 0/2, naturalny	11,0	10,5
	Mączka wapienna	5,5	5,3
6	Asfalt 35/50	–	4,3
Razem		100,0	100,0

Tablica 12. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej TN246N

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, kg/m ³	2696	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2517	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2382	–
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 75 uderzeń, % v/v	5,4	4,0 – 7,0
5	Moduł sztywności pełzania pod obciążeniem statycznym, MPa	38,8	≥16,0
6	Odporność na koleinowanie wg BS, 60 °C 45 minut		
	- maksymalna koleina, mm	0,9	≤7
	- maksymalna prędkość przyrostu koleiny, mm/h	0,3	≤5
7	Odporność na działanie wody i mrozu, %	81	≥80

7.6) SMA 11 (Recepta nr 1)

Badania gęstości według normy PN-EN 12697-5 „Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 5: Oznaczanie gęstości” przeprowadzono na mieszankach mineralno-asfaltowych wytworzonych według recept od 1 do 5. Recepta nr 1 przedstawiała skład mieszanki SMA o uziarnieniu do 11 mm. SMA przeznaczona była do ruchu kategorii KR3-KR6 do warstwy ścieralnej. Mieszanka mineralna składała się z kruszyw: diabazów, sjenitów i porfirów. Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tablicy 13. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej przedstawiono w tablicy 14, natomiast właściwości fizyczne w tablicy 15. W dalszej części sprawozdania próbki wykonane z tej mieszanki są oznaczone symbolem „SMA11 (Recepta 1)”.

Tablica 13. Uziarnienie mieszanki mineralnej SMA11 (Recepta 1)

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
22,4		100,0	100	100
16,0		100,0	100	100
11,2	9,9	90,1	90	100
8,0	32,7	57,4	50	65
5,6	17,7	39,7	35	45
2,0	15,7	24,0	20	30
0,125	10,5	13,5		
0,063	1,4	12,1	8	12
< 0,063	12,1	–	–	–
Suma	100,0	–		

Tablica 14. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej SMA11 (Recepta 1)

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wapienna	9,0	8,3
2	Diabaz 0/4	20,0	18,5
3	Diabaz 2/6	20,0	18,5
4	Diabaz 6/12	51,0	47,2
5	Asfalt	–	7,1
6	Viatop	–	0,4
Razem		100,0	100,0

Tablica 15. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej SMA11 (Recepta 1)

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, kg/m ³	2701	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2459	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2399	–
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 50 uderzeń, % v/v	2,4	3,0 – 4,0
5	Odporność na deformacje trwałe - Proporcjonalna głębokość koleiny PRDAIR, % - Przyrost koleiny WTS _{AIR} , mm/(10 ³ cykli)	2,4 0,1	≤ 5,0 ≤ 0,3
6	Odporność na działanie wody, %	91,3	≥ 90

7.7) AC WMS 16 (Recepta nr 2)

Recepta nr 2 przedstawia skład mieszanki mineralno-asfaltowej AC WMS o uziarnieniu do 16 mm. Mieszanka przeznaczona jest do ruchu kategorii KR3-KR6 do warstwy wiążącej i podbudowy. Mieszanka mineralna składa się z diabazów, sjenitów i porfirów. Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tablicy 16. Skład AC WMS 16 przedstawiono w tablicy 17, natomiast właściwości fizyczne w tablicy 18. W dalszej części sprawozdania próbki wykonane z tej mieszanki są oznaczone symbolem „AC WMS 16 (Recepta 2)”.

Tablica 16. Uziarnienie mieszanki AC WMS 16 (Recepta 2)

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
22,4		100,0	100	100
16,0	4,3	95,7	90	100
11,2	12,9	82,8	70	85
8,0	12,8	70,0		
5,6	10,7	59,3		
2,0	22,5	36,8	35	45
0,125	26,8	10,0	7	17
0,063	3,0	7,0	5	9
< 0,063	7,0	–	–	–
Suma	100,0	–		

Tablica 17. Skład mieszanki AC WMS 16 (Recepta 2)

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wap.	4,8	4,5
2	Porfir 0/4	13,0	12,3
3	Diabaz 0/4	26,0	24,6
4	Sjenit 0/2	0,0	0,0
5	Diabaz 2/6	20,0	18,9
6	Diabaz 6/12	23,0	21,8
7	Diabaz 12/20	13,2	12,5
8	Asfalt	–	5,4
Razem		100,0	100,0

Tablica 18. Skład mieszanki AC WMS 16 (Recepta 2)

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, kg/m ³	2699	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2516	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2435	–
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 50 uderzeń, % v/v	3,2	2,0 – 4,0
5	Odporność na deformacje trwałe - Proporcjonalna głębokość koleiny PRDAIR, % - Przyrost koleiny WTS _{AIR} , mm/(10 ³ cykli)	2,6 0,07	≤ 3,0 ≤ 0,1
6	Odporność na działanie wody, %	81,9	≥ 80
7	Szkoda zmęczeniowa po 10 ⁶ cyklach, przy odkształceniu 100 μm/mm, %	spełnia	≥ 130
8	Sztywność 4PB-PR, MPa	14 488	≥ 14 000

7.8) AC WMS 16 (Recepta nr 3)

Badania gęstości przeprowadzono również na mieszance AC WMS 16 do ruchu kategorii KR3-KR6 do warstwy wiążącej i podbudowy według recepty nr 3. Uziarnienie mieszanki mineralnej przedstawiono w tablicy 19, skład w tablicy 20, natomiast właściwości fizyczne w tablicy 21. W dalszej części sprawozdania próbki wykonane z tej mieszanki są oznaczone symbolem „AC WMS 16 (Recepta 3)”.

Tablica 19. Uziarnienie mieszanki AC WMS 16 (Recepta 3)

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
22,4		100,0	100	100
16,0	3,6	96,4	90	100
11,2	10,9	85,5	70	85
8,0	11,1	74,4		
5,6	11,1	63,3		
2,0	22,6	40,8	35	45
0,125	30,6	10,2	7	17
0,063	4,1	6,1	5	9
< 0,063	6,1	–	–	–
Suma	100,0	–		

Tablica 20. Skład mieszanki AC WMS 16 (Recepta 3)

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wap.	4,0	3,8
2	Porfir 0/4	40,0	37,6
3	Diabaz 0/4	0,0	0,0
4	Sjenit 0/2	0,0	0,0
5	Diabaz 2/6	25,0	23,6
6	Diabaz 6/12	20,0	18,9
7	Diabaz 12/20	11,0	10,4
8	Asfalt	–	5,7
Razem		100,0	100,0

Tablica 21. Skład mieszanki AC WMS 16 (Recepta 3)

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, kg/m ³	2680	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2504	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2421	–
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 50 uderzeń, % v/v	3,3	2,0 – 4,0
5	Odporność na deformacje trwałe - Proporcjonalna głębokość koleiny PRDAIR, % - Przyrost koleiny WTS _{AIR} , mm/(10 ³ cykli)	2,8 0,06	≤ 3,0 ≤ 0,1
6	Odporność na działanie wody, %	80,9	≥ 80

7.9) AC WMS 16 (Recepta nr 4)

W receptce nr 4 przedstawiono skład i właściwości mieszanki o wysokim module sztywności AC WMS 16. Posłużyła ona do badań gęstości i w sprawozdaniu oznaczona została symbolem „AC WMS 16 (Recepta 4)”. Skład i właściwości mieszanki przedstawiono w tablicach od 22 do 24.

Tablica 22. Uziarnienie mieszanki AC WMS 16 (Recepta 4)

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
22,4		100,0	100	100
16,0	5,9	94,1	90	100
11,2	10,5	83,6	70	85
8,0	11,0	72,6		
5,6	9,9	62,7		
2,0	20,5	42,2	35	45
0,125	30,0	12,2	7	17
0,063	4,2	8,0	5	9
< 0,063	8,0	–	–	–
Suma	100,0	–		

Tablica 23. Skład mieszanki AC WMS 16 (Recepta 4)

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wap.	5,0	4,4
2	Porfir 0/4	36,0	34,9
3	Diabaz 0/4	0,0	0,0
4	Sjenit 0/2	10,0	9,0
5	Diabaz 2/6	21,0	19,7
6	Diabaz 6/12	20,0	18,9
7	Diabaz 12/20	8,0	7,2
8	Asfalt	–	5,9
Razem		100,0	100,0

Tablica 24. Skład mieszanki AC WMS 16 (Recepta 4)

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, kg/m ³	2671	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2499	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2411	–
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 50 uderzeń, % v/v	3,5	2,0 – 4,0
5	Odporność na deformacje trwałe		
	- Proporcjonalna głębokość koleiny PRD _{AIR} , % - Przyrost koleiny WTS _{AIR} , mm/(10 ³ cykli)	2,7 0,07	≤ 3,0 ≤ 0,1
6	Odporność na działanie wody, %	81,9	≥ 80

7.10) SMA 11 (Recepta nr 5)

Badania gęstości według normy PN-EN 12697-5 „Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 5: Oznaczanie gęstości” przeprowadzono również na mieszance SMA11 zaprojektowanej według recepty 5. Skład mieszanki mineralnej z mieszanki SMA o uziarnieniu do 11 mm przedstawiono w tablicy 25. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej przedstawiono w tablicy 26. Właściwości fizyczne zostały zebrane w tablicy 27. W niniejszym sprawozdania próbki wykonane z mieszanki SMA 11 będą oznaczone symbolem „SMA11 (Recepta 5)”.

Tablica 25. Uziarnienie mieszanki mineralnej SMA11 (Recepta 5)

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
22,4		100,0	100	100
16,0		100,0	100	100
11,2	10,0	90,0	90	100
8,0	27,3	62,7	50	65
5,6	19,1	43,7	35	45
2,0	22,0	21,6	20	30
0,125	10,3	11,3		
0,063	1,8	9,5	8	12
< 0,063	9,5	–	–	–
Suma	100,0	–		

Tablica 26. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej SMA11 (Recepta 5)

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wapienna	9,0	8,4
2	Diabaz 0/4	15,0	13,9
3	Diabaz 2/6	25,0	23,2
4	Diabaz 6/12	51,0	47,3
5	Asfalt	–	6,8
6	Viatop	–	0,4
Razem		100,0	100,0

Tablica 27. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej SMA11 (Recepta 5)

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, kg/m ³	2709	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2480	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,377	–
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 50 uderzeń, % v/v	4,0	3,0 – 4,0
5	Odporność na deformacje trwałe - Proporcjonalna głębokość koleiny PRDAIR, % - Przyrost koleiny WTS _{AIR} , mm/(10 ³ cykli)	4,9 0,2	≤ 5,0 ≤ 0,3
6	Odporność na działanie wody, %	90,8	≥ 90

7.11) PA Asfalt porowaty (TN246P.)

Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone również na asfalcie porowatym. Mieszanke o uziarnieniu do 11 mm zaprojektowano według WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008. Skład i właściwości PA11 przedstawiono w tablicach od 28 do 30 (uziarnienie w tablicy 28, skład mieszanki mineralno-asfaltowej w tablicy 29, właściwości fizyczne w tablicy 30. W dalszej części sprawozdania próbki wykonane z tej mieszanki są oznaczone symbolem „TN246P.”

Tablica 28. Uziarnienie mieszanki mineralnej PA11

Rozmiar oczka sita #, mm	Pozostaje na sicie, % m/m	Przechodzi przez sito, % m/m	Krzywe graniczne, % m/m	
			Dolna	Górna
16,0		100,0	100	100
11,2	6,2	93,8	90	100
8,0	80,8	13,0	5	15
5,6	5,9	7,1		
2,0	0,3	6,8	5	10
0,125	2,5	4,3		
0,063	0,3	4,0	3,0	5,0
< 0,063	4,0	–	–	–
Suma	100,0	–		

Tablica 29. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej PA11

Lp.	Składniki	Udział w MM, % m/m	Udział w MMA, % m/m
1	Mączka wapienna	4,0	3,7
2	Grys łamany granit 0/2	3,0	2,8
3	Grys bazaltowy 8/11	93,0	86,5
4	Asfalt	–	6,5
5	Viatop	–	0,5
Razem		100,0	100,0

Tablica 30. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej PA11

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania
1	Gęstość mieszanki mineralnej, kg/m ³	2650	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, kg/m ³	2609	–
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2081	–
4	Wolna przestrzeń w próbkach Marshalla, 2 × 50 uderzeń, % v/v	20,1	18,0 – 24,0
5	Odporność na działanie wody, %	90,5	≥ 90

8) Badania mieszanek mineralno-asfaltowych

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych przeprowadzane były na próbkach mieszanych laboratoryjnie oraz zagęszczanych sposobami laboratoryjnymi. W przypadku badań mma mieszanych przemysłowo badania przeprowadzane zostały na jednej partii produkcyjnej zagęszczanej sposobami laboratoryjnymi i wyciętych z warstwy nawierzchni. Stosowane były następujące sposoby zagęszczania:

- ubijakiem Marshalla, próbki walcowe o średnicy (nominalnej) 100 mm i wysokości (nominalnej) 50, 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 prostopadłościennne (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) 100 mm oraz 80 mm.

W pierwszej kolejności badaniom poddano tzw. „próbki pierwotne”, czyli próbki bezpośrednio po rozformowaniu, bez obróbki powierzchni bocznych. Obróbkę powierzchni bocznych można realizować poprzez wycięcie (odwiercenie, obcięcie) z próbki pierwotnej próbki o mniejszych wymiarach. Uzyskujemy wtedy próbkę o bardziej jednolitej powierzchni, bez tzw. tekstury próbki. Tekstura próbki ma istotny wpływ na wyniki badań gęstości objętościowej, co zostało wyjaśnione w rozdziale opisującym metody badań gęstości.

9) Wyniki badań mieszanek mineralno-asfaltowych

9.1) Badania gęstości

W tablicy 31 i 32 zestawiono wyniki badań gęstości według PN-EN 12697-5:2008. Oznaczenia wykonano w wodzie i rozpuszczalniku. Tablica 31 przedstawia wyniki oznaczeń wykonanych metodą w rozpuszczalniku, tablica 32 metodą w wodzie, natomiast w tablicy 33 i 34 zestawiono średnie gęstości dla poszczególnych mieszanek i recept i wyznaczono różnice w wartościach w zależności od zastosowanej metody oznaczania. Otrzymane wartości gęstości posegregowano również ze względu na zawartości asfaltu w badanych mieszanekach. W tablicy 35 zestawiono wartości otrzymanych gęstości w wodzie i rozpuszczalniku w zależności od ilości zastosowanego lepiszcza.

Tablica 31. Gęstości mieszanek w rozpuszczalniku

Symbol próbki	Mieszanka (recepta)	Gęstość rozpuszczalnik kg/m ³	Gęstość średnia kg/m ³	Średnie gęstości kg/m ³
090415MMR1.4A	SMA11 Recepta 1	2500	2473	2497
090415MMR1.4B		2493		
090415MMR1.5A		2478		2478
090415MMR1.5B		2478		
090415MMR1.6A		2475		2475

090415MMR1.6B		2475		
090415MMR1.13A		2484		
090415MMR1.13B		2488		
090415MMR1.14A		2481		
090415MMR1.14B		2475		
090415MMR1.15A		2459		
090415MMR1.15B		2463		
090415MMR1.15C		–		
090415MMR1.15D		–		
090415MMR1.15E		2462		
090415MMR1.15F		2457		
090415MMR1.19A		2447		
090415MMR1.19B		2454		
090415MMR2.5A	ACWMS16 Recepta 2	2548	2522	2556
090415MMR2.5B		2565		
090415MMR2.6A		2517		2529
090415MMR2.6B		2541		
090415MMR2.7A		2535		2532
090415MMR2.7B		2529		
090415MMR2.8A		2520		2522
090415MMR2.8B		2524		
090415MMR2.8C		2516		2517
090415MMR2.8D		2518		
090415MMR2.13A		2506		2508
090415MMR2.13B		2510		
090415MMR2.14A		2492		2491,5
090415MMR2.14B		2491		
090415MMR3.5A	ACWMS16 Recepta 3	2566	2534	2561
090415MMR3.5B		2556		
090415MMR3.6A		2557		2556
090415MMR3.6B		2554		
090415MMR3.7A		2527		2536
090415MMR3.7B		2544		
090415MMR3.8A		2523		2517
090415MMR3.8B		2512		

090415MMR3.8C		2535		2535
090415MMR3.8D		2535		
090415MMR3.13A		2520		2521
090415MMR3.13B		2522		
090415MMR3.14A		2510		2511,5
090415MMR3.14B		2513		
090415MMR4.1A	ACWMS16	2529	2529	2529
090415MMR4.1B	Recepta 4	2529		
090415MMR5.1A	SMA11 Recepta 5	2504	2492	2510
090415MMR5.1B		2516		
090415MMR5.2A		2484		2491
090415MMR5.2B		2498		
090415MMR5.3A		2477		2476
090415MMR5.3B		2474		

Tablica 32. Gęstości mieszanek oznaczane w wodzie

Symbol próbki	Mieszanka (recepta)	Gęstość w wodzie kg/m ³	Gęstość średnia kg/m ³	Średnie gęstości kg/m ³
090415MMR1.4A	SMA11 Recepta 1	2489	2468	2492
090415MMR1.4B		2495		
090415MMR1.5A		2482		2480
090415MMR1.5B		2478		
090415MMR1.6A		2468		2470
090415MMR1.6B		2472		
090415MMR1.13A		2474		2477
090415MMR1.13B		2480		
090415MMR1.14A		2477		2475
090415MMR1.14B		2473		
090415MMR1.15A		2442		2456
090415MMR1.15B		2470		
090415MMR1.15C		2458		2457
090415MMR1.15D		2456		
090415MMR1.15E		2456		2462

090415MMR1.15F		2467		2446
090415MMR1.19A		2438		
090415MMR1.19B		2454		
090415MMR2.5A	ACWMS16 Recepta 2	2528	2515	2540
090415MMR2.5B		2551		
090415MMR2.6A		2534		2535
090415MMR2.6B		2536		
090415MMR2.7A		2503		2517
090415MMR2.7B		2531		
090415MMR2.8A		2502		2508
090415MMR2.8B		2513		
090415MMR2.8C		2514		2516
090415MMR2.8D		2517		
090415MMR2.13A		2500		2502
090415MMR2.13B		2504		
090415MMR2.14A		2486		2489
090415MMR2.14B		2492		
090415MMR3.5A	ACWMS16 Recepta 3	2568	2539	2571
090415MMR3.5B		2574		
090415MMR3.6A		2533		2540
090415MMR3.6B		2547		
090415MMR3.7A		2556		2554
090415MMR3.7B		2552		
090415MMR3.8A		2543		2542
090415MMR3.8B		2540		
090415MMR3.8C		2537		2536
090415MMR3.8D		2534		
090415MMR3.13A		2521		2523
090415MMR3.13B		2524		
090415MMR3.14A		2509		2510
090415MMR3.14B		2511		
090415MMR4.1A	ACWMS16 Recepta 4	2512	2521	2521
090415MMR4.1B		2530		
090415MMR5.1A	SMA11	2519	2507	2510
090415MMR5.1B	Recepta 5	2502		

090415MMR5.2A		2500		2500
090415MMR5.2B		–		
090415MMR5.3A		–		–
090415MMR5.3B		–		

Tablica 33. Różnice w gęstościach metodą w wodzie i w rozpuszczalniku

Symbol próbki	Mieszanka (recepta)	Średnie gęstości rozpuszczalnik, kg/m ³	Średnie gęstości w wodzie, kg/m ³	Różnica w wynikach
090415MMR1.4A	SMA11 Recepta 1	2497	2492	5
090415MMR1.4B				
090415MMR1.5A		2478	2480	2
090415MMR1.5B				
090415MMR1.6A		2475	2470	5
090415MMR1.6B				
090415MMR1.13A		2486	2477	9
090415MMR1.13B				
090415MMR1.14A		2478	2475	3
090415MMR1.14B				
090415MMR1.15A		2461	2456	5
090415MMR1.15B				
090415MMR1.15C		–	2457	–
090415MMR1.15D				
090415MMR1.15E		2460	2462	2
090415MMR1.15F				
090415MMR1.19A		2450	2446	4
090415MMR1.19B				
090415MMR2.5A	ACWMS16 Recepta 2	2556	2540	16
090415MMR2.5B				
090415MMR2.6A		2529	2535	6
090415MMR2.6B				
090415MMR2.7A		2532	2517	15
090415MMR2.7B				
090415MMR2.8A		2522	2508	14

090415MMR2.8B				
090415MMR2.8C		2517	2516	1
090415MMR2.8D				
090415MMR2.13A		2508	2502	6
090415MMR2.13B				
090415MMR2.14A		2491	2489	2
090415MMR2.14B				
090415MMR3.5A	ACWMS16 Recepta 3	2561	2571	10
090415MMR3.5B				
090415MMR3.6A		2556	2540	16
090415MMR3.6B				
090415MMR3.7A		2536	2554	18
090415MMR3.7B				
090415MMR3.8A		2517	2542	25
090415MMR3.8B				
090415MMR3.8C		2535	2536	1
090415MMR3.8D				
090415MMR3.13A		2521	2523	2
090415MMR3.13B				
090415MMR3.14A		2511	2510	1
090415MMR3.14B				
090415MMR4.1A	ACWMS16 Recepta 4	2529	2521	8
090415MMR4.1B				
090415MMR5.1A	SMA11 Recepta 5	2510	2510	0
090415MMR5.1B				
090415MMR5.2A		2491	2500	9
090415MMR5.2B				
090415MMR5.3A		2476	–	–
090415MMR5.3B				

Tablica 34. Średnie różnice w gęstościach dwoma metodami

Mieszanka (recepta)	Średnia gęstość rozpuszczalnik, kg/m ³		Odchylenie standard.	Średnia gęstość woda, kg/m ³		Odchylenie standard.	Różnice w gęstościach	
SMA11 Recepta 1	2473	2483	14,9	2468	2488	15,2	5	5
SMA11 Recepta 5	2492		16,5	2507		10,4	15	
ACWMS16 Recepta 2	2522	2528	20,5	2515	2525	18,7	7	3
ACWMS16 Recepta 3	2534		18,7	2539		19,4	5	
ACWMS16 Recepta 4	2529		12,7	2,521		0,0	8	

Tablica 35. Różnice w gęstościach w zależności od zawartości asfaltu

Mieszanka (recepta)	Zawartość asfaltu % (m/m)	Gęstość średnia rozpuszczalnik, kg/m ³	Gęstość średnia w woda, kg/m ³	Różnica gęstości
ACWMS16 Recepta 2	4,5	2559	2555	4
ACWMS16 Recepta 2	4,8	2542	2538	4
ACWMS16 Recepta 2	5,1	2533	2517	16
ACWMS16 Recepta 3	5,1	2536	2554	18
AC WMS 16 Recepta 4	5,1	2536	2554	18
ACWMS16 Recepta 2	5,4	2520	2512	8
ACWMS16 Recepta 3	5,4	2526	2539	13
ACWMS16	5,7	2508	2502	6

Recepta 2				
ACWMS16 Recepta 3	5,7	2521	2523	2
SMA11 Recepta 1	5,9	2,497	2492	5
SMA11 Recepta 5	6,0	2510	2510	0
AC WMS 16 Recepta 2	6,0	2492	2489	3
AC WMS 16 Recepta 3	6,0	2512	2510	2
SMA11 Recepta 1	6,2	2478	2480	2
SMA11 Recepta 1	6,5	2481	2474	7
SMA11 Recepta 5	6,5	2493	2500	7
SMA11 Recepta 1	6,8	2478	2475	3
SMA11 Recepta 5	7,0	2476	–	–
SMA11 Recepta 1	7,1	2460	2458	2
SMA11 Recepta 1	7,4	2451	2446	5

9.2) Badania gęstości objętościowej

- mieszanka W

W tablicy 36 zestawiono wyniki badań gęstości objętościowej metodami A, B, C i D próbek formowanych, wykonanych z mieszanki W. W tablicy 37 przedstawiono wyniki badań tych samych próbek, ale po obróbce krawędzi polegającej na wywierceniu próbek o mniejszej średnicy z próbek formowanych o kształcie walca, a także próbek odwiercanych z płyt wykonanych w laboratorium. W tablicy 38 zawarto wyniki badania gęstości objętościowej próbek z obrobionymi krawędziami bocznymi

oraz odciętymi podstawami, co spowodowało uzyskanie próbek ciętych z każdej strony.

Tablica 36. Mieszanka W – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki formowane

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246W.M10A	2409	2410	2366	2379
TN246W.M10B	2420	2419	2369	2384
TN246W.M10C	2424	2422	2367	2378
TN246W.M10D	2419	2419	2370	2377
TN246W.M5A	2393	2396	2327	2345
TN246W.M5B	2373	2373	2281	2275
TN246W.M5C	2388	2393	2309	2303
TN246W.M5D	2386	2395	2317	2331
TN246W.M5E	2417	2422	2352	2359
TN246W.M5F	2406	2402	2326	2338
TN246W.M5G	2413	2411	2325	2339
TN246W.M5H	2413	2409	2333	2347
TN246W.P100.10A	2414	2390	—*	2307
TN246W.P100.10B	2416	2400	—*	2328
TN246W.P102.10A	2432	2421	—*	2385
TN246W.P102.10B	2488	2430	—*	2390
TN246W.P98.10A	2418	2394	—*	2299
TN246W.P98.10B	2409	2382	—*	2290
TN246W.Z10.10A	2439	2442	2383	2392
TN246W.Z10.10B	2445	2447	2375	2389
TN246W.Z10.10C	2433	2437	2377	2391
TN246W.Z10.10D	2434	2438	2373	2388
TN246W.Z10.10E	2418	2411	2361	2371
TN246W.Z10.10F	2418	2412	2359	2364
TN246W.Z10.10G	2417	2410	2345	2347

TN246W.Z10.10H	2418	2413	2354	2358
TN246W.Z10.5A	2466	2472	2382	2430
TN246W.Z10.5B	2449	2463	2367	2412
TN246W.Z10.5C	2450	2455	2368	2413
TN246W.Z10.5D	2445	2453	2371	2416
TN246W.Z10.5E	2425	2423	2334	2347
TN246W.Z10.5F	2409	2402	2328	2338
TN246W.Z10.5G	2429	2422	2335	2357
TN246W.Z10.5H	2427	2424	2346	2370
TN246W.Z15.10A	2416	2413	2362	2372
TN246W.Z15.10B	2416	2411	2367	2373
TN246W.Z15.10C	2421	2416	2370	2372
TN246W.Z15.10D	2416	2409	2379	2371
TN246W.Z15.15A	2420	2413	2376	2377
TN246W.Z15.15B	2414	2409	2379	2377
TN246W.Z15.15C	2421	2413	2375	2376
TN246W.Z15.15D	2422	2416	2379	2374
TN246W.Z15.5A	2416	2416	2368	2375
TN246W.Z15.5B	2419	2422	2373	2375
TN246W.Z15.5C	2415	2413	2372	2360
TN246W.Z15.5D	2418	2413	2374	2373

* - z powodów technicznych nie wykonano oznaczenia na płytach metodą C

Tablica 37. Mieszanka W – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki odwiercone z próbek formowanych

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246W.M10A	2416	2419	2379	2384
TN246W.M10B	2424	2424	2352	2388
TN246W.M10C	2426	2425	2365	2398
TN246W.M10D	2427	2427	2361	2399
TN246W.M5A	2398	2397	2264	2334

TN246W.M5B	2392	2388	2314	2296
TN246W.M5C	2389	2388	2263	2321
TN246W.M5D	2395	2397	2294	2331
TN246W.M5E	2424	2427	2254	2367
TN246W.M5F	2404	2406	2272	2351
TN246W.M5G	2421	2421	2243	2352
TN246W.M5H	2417	2418	2284	2373
TN246W.P100.10A	2408	2414	2379	2376
TN246W.P100.10A	2405	2407	2377	2375
TN246W.P100.10B	2426	2430	2392	2386
TN246W.P100.10B	2421	2423	2385	2387
TN246W.P102.10A	2444	2445	2399	2412
TN246W.P102.10A	2437	2437	2411	2411
TN246W.P102.10B	2445	2446	2411	2422
TN246W.P102.10B	2444	2447	2410	2422
TN246W.P98.10A	2417	2416	2387	2391
TN246W.P98.10A	2412	2414	2376	2377
TN246W.P98.10B	2415	2417	2385	2383
TN246W.P98.10B	2406	2409	2372	2368
TN246W.Z10.10A	2448	2447	2364	2397
TN246W.Z10.10B	2460	2458	2350	2414
TN246W.Z10.10C	2453	2454	2373	2403
TN246W.Z10.10D	2452	2452	2393	2411
TN246W.Z10.10E	2425	2422	2357	2389
TN246W.Z10.10F	2427	2424	2391	2381
TN246W.Z10.10G	2426	2427	2376	2383
TN246W.Z10.10H	2433	2429	2344	2370
TN246W.Z10.5A	2474	2475	2172	2421
TN246W.Z10.5B	2474	2473	2253	2421
TN246W.Z10.5C	2468	2469	2250	2401
TN246W.Z10.5D	2459	2464	2175	2408
TN246W.Z10.5E	2425	2426	2157	2357

TN246W.Z10.5F	2409	2411	2141	2357
TN246W.Z10.5G	2432	2433	2284	2362
TN246W.Z10.5H	2445	2444	2260	2396
TN246W.Z15.10A	2421	2420	2395	2398
TN246W.Z15.10B	2423	2421	2398	2401
TN246W.Z15.10C	2420	2419	2398	2396
TN246W.Z15.10D	2424	2423	2407	2399
TN246W.Z15.15A	2431	2429	2410	2411
TN246W.Z15.15B	2429	2427	2405	2413
TN246W.Z15.15C	2437	2435	2278	2422
TN246W.Z15.15D	2429	2428	2411	2415
TN246W.Z15.5A	2398	2397	2353	2370
TN246W.Z15.5B	2406	2403	2348	2376
TN246W.Z15.5C	2404	2403	2345	2372
TN246W.Z15.5D	2402	2402	2318	2374

Tablica 38. Mieszanka W – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki odwiercone z próbek formowanych z odciętymi podstawami

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246W.M10A	2424	2464	2405	2415
TN246W.M10B	2430	2432	2409	2422
TN246W.M10C	2429	2431	2406	2425
TN246W.M10D	2432	2433	2412	2424
TN246W.M5A	2409	2409	2368	2399
TN246W.M5B	2403	2404	2354	2397
TN246W.M5C	2404	2405	2345	2426
TN246W.M5D	2409	2410	2344	2414
TN246W.M5E	2433	2434	2384	2423
TN246W.M5F	2419	2422	2376	2428
TN246W.M5G	2431	2434	2386	2419
TN246W.M5H	2431	2434	2354	2434

TN246W.P100.10A	2408	2409	2380	2366
TN246W.P100.10A	2412	2410	2382	2369
TN246W.P100.10B	2434	2435	2405	2397
TN246W.P100.10B	2424	2426	2397	2386
TN246W.P102.10A	2438	2441	2414	2414
TN246W.P102.10A	2444	2446	2415	2412
TN246W.P102.10B	2447	2448	2420	2414
TN246W.P102.10B	2446	2448	2420	2425
TN246W.P98.10A	2423	2420	2391	2375
TN246W.P98.10A	2421	2421	2391	2377
TN246W.P98.10B	2423	2422	2391	2378
TN246W.P98.10B	2414	2409	2381	2360
TN246W.Z10.10A	2458	2461	2413	2458
TN246W.Z10.10B	2470	2469	2428	2460
TN246W.Z10.10C	2463	2465	2428	2459
TN246W.Z10.10D	2462	2465	2427	2461
TN246W.Z10.10E	2437	2437	2416	2427
TN246W.Z10.10F	2434	2434	2409	2417
TN246W.Z10.10G	2436	2437	2416	2423
TN246W.Z10.10H	2439	2439	2411	2412
TN246W.Z10.5A	2486	2487	2385	2493
TN246W.Z10.5B	2490	2492	2367	2495
TN246W.Z10.5C	2477	2481	2398	2468
TN246W.Z10.5D	2470	2472	2383	2467
TN246W.Z10.5E	2441	2441	2384	2435
TN246W.Z10.5F	2421	2422	2371	2432
TN246W.Z10.5G	2442	2442	2394	2469
TN246W.Z10.5H	2429	2458	2391	2415
TN246W.Z15.10A	2441	2441	2397	2429
TN246W.Z15.10B	2437	2437	2404	2428
TN246W.Z15.10C	2435	2434	2392	2416
TN246W.Z15.10D	2437	2435	2403	2424

TN246W.Z15.15A	2445	2445	2431	2440
TN246W.Z15.15B	2442	2441	2427	2437
TN246W.Z15.15C	2452	2451	2436	2446
TN246W.Z15.15D	2443	2442	2431	2441
TN246W.Z15.5A	2410	2408	2246	2386
TN246W.Z15.5B	2423	2421	2126	2338
TN246W.Z15.5C	2416	2414	2023	2346
TN246W.Z15.5D	2415	2417	2276	2397

- **mieszanka Y**

W tablicy 39 zestawiono wyniki badań gęstości objętościowej metodami A, B, C i D próbek formowanych, wykonanych z mieszanki Y. W tablicy 40 przedstawiono wyniki badań tych samych próbek, ale po obróbce krawędzi polegającej na wywierceniu próbek o mniejszej średnicy z próbek formowanych o kształcie walca, a także próbek odwiercanych z płyt wykonanych w laboratorium. W tablicy 41 zawarto wyniki badania gęstości objętościowej próbek z obrobionymi krawędziami bocznymi oraz odciętymi podstawami, co spowodowało uzyskanie próbek ciętych z każdej strony.

Tablica 39. Mieszanka Y – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki formowane

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246Y.M10A	2368	2363	2292	2287
TN246Y.M10B	2359	2353	2287	2284
TN246Y.M10C	2372	2354	2271	2259
TN246Y.M10D	2380	2358	2283	2264
TN246Y.M5A	2340	2324	2231	2208
TN246Y.M5B	2351	2330	2237	2227
TN246Y.M5C	2361	2347	2245	2225
TN246Y.M5D	2351	2335	2240	2235
TN246Y.M5E	2353	2334	2224	2205

TN246Y.M5F	2359	2344	2220	2192
TN246Y.M5G	2358	2347	2249	2228
TN246Y.M5H	2353	2345	2238	2220
TN246Y.P100.10A	2414	2374	0	2267
TN246Y.P100.10B	2408	2376	0	2260
TN246Y.P102.10A	2435	2428	0	2344
TN246Y.P102.10B	2447	2417	0	2348
TN246Y.P98.10A	2399	2361	0	2219
TN246Y.P98.10B	2411	2372	0	2224
TN246Y.Z10.10A	2410	2404	2325	2309
TN246Y.Z10.10B	2424	2419	2332	2317
TN246Y.Z10.10C	2426	2417	2331	2316
TN246Y.Z10.10D	2396	2392	2322	2317
TN246Y.Z10.10E	2410	2397	2322	2317
TN246Y.Z10.10F	2402	2386	2313	2308
TN246Y.Z10.10G	2401	2381	2304	2305
TN246Y.Z10.10H	2408	2364	2277	2263
TN246Y.Z10.10I	2413	2360	2281	2275
TN246Y.Z10.10J	2404	2349	2254	2246
TN246Y.Z10.10K	2406	2356	2285	2287
TN246Y.Z10.10L	2398	2357	2287	2287
TN246Y.Z10.5A	2423	2417	2344	2339
TN246Y.Z10.5B	2417	2417	2327	2324
TN246Y.Z10.5C	2416	2421	2318	2325
TN246Y.Z10.5D	2400	2413	2319	2324
TN246Y.Z10.5E	2385	2372	2245	2243
TN246Y.Z10.5F	2414	2360	2253	2252
TN246Y.Z10.5G	2419	2372	2244	2235
TN246Y.Z10.5H	2422	2358	2230	2212
TN246Y.Z10.5I	2455	2367	2186	2152
TN246Y.Z10.5J	2392	2375	2237	2221
TN246Y.Z15.10A	2411	2374	2303	2297

TN246Y.Z15.10B	2413	2383	2309	2297
TN246Y.Z15.10C	2405	2361	2276	2267
TN246Y.Z15.10D	2415	2369	2292	2279
TN246Y.Z15.10E	2411	2350	2283	2276
TN246Y.Z15.15A	2420	2371	2312	2302
TN246Y.Z15.15B	2412	2368	2309	2302
TN246Y.Z15.15C	2400	2362	2313	2299
TN246Y.Z15.15D	2382	2351	2307	2298
TN246Y.Z15.5A	2402	2360	2289	2278
TN246Y.Z15.5B	2385	2355	2291	2282
TN246Y.Z15.5C	2402	2394	2311	2294
TN246Y.Z15.5D	2402	2394	2312	2300
TN246Y.Z15.5E	2406	2370	2304	2296
TN246Y.Z15.5F	2378	2362	2313	2305
TN246Y.Z15.5G	2390	2374	2300	2290

* - z powodów technicznych nie wykonano oznaczenia na płytach metodą C

Tablica 40. Mieszanka Y – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki odwiercone z próbek formowanych

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246Y.M10A	2362	2359	2317	2316
TN246Y.M10B	2360	2355	2314	2316
TN246Y.M10C	2370	2350	2302	2297
TN246Y.M10D	2376	2368	2318	2303
TN246Y.M5A	2331	2322	2266	2289
TN246Y.M5B	2343	2326	2259	2251
TN246Y.M5C	2360	2348	2233	2238
TN246Y.M5D	2339	2335	2202	2291
TN246Y.M5E	2334	2322	2194	2236
TN246Y.M5F	2353	2348	2261	2254
TN246Y.M5G	2333	2276	2261	2237

TN246Y.M5H	2350	2338	2253	2195
TN246Y.P100.10A	2405	2403	2380	2358
TN246Y.P100.10A	2413	2417	2392	2365
TN246Y.P100.10B	2401	2405	2375	2355
TN246Y.P100.10B	2410	2414	2391	2370
TN246Y.P102.10A	2452	2455	2428	2411
TN246Y.P102.10A	2440	2445	2417	2397
TN246Y.P102.10B	2440	2443	2417	2410
TN246Y.P102.10B	2445	2450	2422	2408
TN246Y.P98.10A	2368	2380	2446	2315
TN246Y.P98.10A	2369	2376	2336	2314
TN246Y.P98.10B	2391	2402	2364	2339
TN246Y.P98.10B	2399	2396	2363	2333
TN246Y.Z10.10A	2416	2411	2352	2367
TN246Y.Z10.10B	2439	2435	2359	2374
TN246Y.Z10.10C	2438	2431	2358	2330
TN246Y.Z10.10D	2405	2401	2355	2346
TN246Y.Z10.10E	2415	2415	2338	2360
TN246Y.Z10.10F	2404	2399	2327	2334
TN246Y.Z10.10G	2389	2384	2319	2329
TN246Y.Z10.10H	2383	2377	2320	2285
TN246Y.Z10.10I	2382	2367	2318	2284
TN246Y.Z10.10J	2363	2348	2293	2261
TN246Y.Z10.10K	2384	2369	2322	2311
TN246Y.Z10.10L	2376	2371	2306	2306
TN246Y.Z10.5A	2434	2434	2168	2378
TN246Y.Z10.5B	2441	2442	2259	2378
TN246Y.Z10.5C	2432	2425	2238	2320
TN246Y.Z10.5D	2422	2422	2283	2361
TN246Y.Z10.5E	2396	2371	2222	2271
TN246Y.Z10.5F	2392	2381	2157	2266
TN246Y.Z10.5G	2397	2379	2261	2259

TN246Y.Z10.5H	2374	2352	2246	2235
TN246Y.Z10.5I	2411	2351	1946	2112
TN246Y.Z10.5J	2399	2388	2227	2250
TN246Y.Z15.10A	2387	2383	2355	2279
TN246Y.Z15.10B	2404	2397	2368	2369
TN246Y.Z15.10C	2371	2364	2322	2316
TN246Y.Z15.10D	2390	2374	2343	2328
TN246Y.Z15.10E	2375	2367	2335	2330
TN246Y.Z15.15A	2395	2390	2367	2361
TN246Y.Z15.15B	2391	2389	2367	2367
TN246Y.Z15.15C	2387	2380	2357	2357
TN246Y.Z15.15D	2378	2376	2354	2353
TN246Y.Z15.5A	2365	2355	2312	2306
TN246Y.Z15.5B	2341	2338	2291	2296
TN246Y.Z15.5C	2393	2390	2327	2341
TN246Y.Z15.5D	2390	2389	2334	2358
TN246Y.Z15.5E	2366	2360	2316	2319
TN246Y.Z15.5F	2364	2359	2291	2333
TN246Y.Z15.5G	2375	2367	2321	2321

Tablica 41. Mieszanka Y – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki odwiercone z próbek formowanych z odciętymi podstawami

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246Y.M10A	2367	2364	2340	2337
TN246Y.M10B	2362	2361	2337	2341
TN246Y.M10C	2369	2354	2323	2321
TN246Y.M10D	2383	2369	2336	2334
TN246Y.M5A	2334	2333	2287	2305
TN246Y.M5B	2343	2337	2287	2259
TN246Y.M5C	2367	2366	2297	2340
TN246Y.M5D	2351	2343	2294	2300

TN246Y.M5E	2352	2335	2280	2290
TN246Y.M5F	2366	2357	2306	2302
TN246Y.M5G	2339	2335	2296	2313
TN246Y.M5H	2353	2349	2303	2302
TN246Y.P100.10A	2415	2412	2380	2350
TN246Y.P100.10A	2426	2422	2392	2373
TN246Y.P100.10B	2410	2407	2375	2347
TN246Y.P100.10B	2421	2419	2391	2372
TN246Y.P102.10A	2457	2456	2428	2425
TN246Y.P102.10A	2446	2446	2417	2403
TN246Y.P102.10B	2447	2448	2417	2404
TN246Y.P102.10B	2452	2451	2422	2414
TN246Y.P98.10A	2384	2372	2446	2321
TN246Y.P98.10A	2384	2373	2336	2320
TN246Y.P98.10B	2408	2401	2364	2331
TN246Y.P98.10B	2404	2397	2363	2342
TN246Y.Z10.10A	2423	2418	2388	2409
TN246Y.Z10.10B	2448	2450	2419	2414
TN246Y.Z10.10C	2446	2443	2406	2387
TN246Y.Z10.10D	2410	2410	2379	2373
TN246Y.Z10.10E	2420	2422	2394	2386
TN246Y.Z10.10F	2411	2401	2370	2366
TN246Y.Z10.10G	2394	2393	2360	2353
TN246Y.Z10.10H	2387	2376	2343	2325
TN246Y.Z10.10I	2389	2377	2344	2330
TN246Y.Z10.10J	2372	2364	2332	2321
TN246Y.Z10.10K	2390	2380	2354	2344
TN246Y.Z10.10L	2382	2378	2347	2339
TN246Y.Z10.5A	2450	2449	2401	2416
TN246Y.Z10.5B	2453	2456	2376	2423
TN246Y.Z10.5C	2449	2444	2376	2396
TN246Y.Z10.5D	2442	2442	2362	2425

TN246Y.Z10.5E	2393	2386	2317	2317
TN246Y.Z10.5F	2398	2393	2333	2318
TN246Y.Z10.5G	2402	2393	2344	2323
TN246Y.Z10.5H	2377	2359	2306	2287
TN246Y.Z10.5I	2414	2362	2265	2137
TN246Y.Z10.5J	2406	2389	2319	2293
TN246Y.Z15.10A	2404	2403	2379	2381
TN246Y.Z15.10B	2419	2417	2392	2393
TN246Y.Z15.10C	2382	2379	2359	2293
TN246Y.Z15.10D	2400	2399	2380	2376
TN246Y.Z15.10E	2393	2390	2369	1986
TN246Y.Z15.15A	2411	2408	2393	2385
TN246Y.Z15.15B	2406	2404	2391	2388
TN246Y.Z15.15C	2398	2398	2383	2381
TN246Y.Z15.15D	2390	2389	2378	2380
TN246Y.Z15.5A	2378	2374	2324	2328
TN246Y.Z15.5B	2353	2357	2301	2319
TN246Y.Z15.5C	2403	2404	2347	2363
TN246Y.Z15.5D	2409	2405	2321	2359
TN246Y.Z15.5E	2396	2383	2321	2343
TN246Y.Z15.5F	2383	2383	2218	2339
TN246Y.Z15.5G	2396	2395	2350	2351

- **mieszanka S**

W tablicy 42 zestawiono wyniki badań gęstości objętościowej metodami A, B, C i D próbek formowanych, wykonanych z mieszanki S. W tablicy 43 przedstawiono wyniki badań tych samych próbek, ale po obróbce krawędzi polegającej na wywierceniu próbek o mniejszej średnicy z próbek formowanych o kształcie walca, a także próbek odwiercanych z płyt wykonanych w laboratorium. W tablicy 44 zawarto wyniki badania gęstości objętościowej próbek z obrobionymi krawędziami bocznymi oraz odciętymi podstawami, co spowodowało uzyskanie próbek ciętych z każdej strony.

Tablica 42. Mieszanka S – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki formowane

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246S.M10A	2501	2520	2439	2422
TN246S.M10B	2508	2512	2440	2413
TN246S.M10C	2526	2527	2460	2451
TN246S.M10D	2525	2528	2470	2451
TN246S.M10E	2498	2504	2422	2395
TN246S.M10F	2513	2514	2440	2413
TN246S.M5A	2522	2502	2402	2385
TN246S.M5B	2512	2510	2398	2385
TN246S.M5C	2539	2540	2405	2454
TN246S.M5D	2534	2537	2426	2431
TN246S.M5E	2524	2531	2402	2424
TN246S.M5F	2511	2517	2394	2383
TN246S.M6A	2505	2512	2411	2416
TN246S.M6B	2507	2507	2405	2388
TN246S.M6C	2502	2508	2403	2380
TN246S.M6D	2505	2510	2403	2396
TN246S.P102.5A	2539	2532	—*	2458
TN246S.P102.5B	2535	2532	—*	2451
TN246S.P102.5C	2544	2542	—*	2499
TN246S.P98.5A	2514	2511	—*	2363
TN246S.P98.5B	2524	2525	—*	2394
TN246S.P98.5C	2501	2497	—*	2338
TN246S.P98.5D	2503	2500	—*	2321
TN246S.P98.5E	2464	2437	—*	2210
TN246S.P98.5F	2465	2448	—*	2224
TN246S.Z10.10A	2536	2535	2465	2442
TN246S.Z10.10B	2533	2528	2465	2443
TN246S.Z10.10C	2522	2520	2447	2419

TN246S.Z10.10D	2525	2525	2466	2444
TN246S.Z10.10E	2509	2512	2437	2412
TN246S.Z10.10F	2516	2515	2442	2414
TN246S.Z10.10G	2538	2536	2475	2466
TN246S.Z10.10H	2535	2536	2464	2452
TN246S.Z10.5A	2542	2541	2397	2458
TN246S.Z10.5B	2549	2544	2387	2463
TN246S.Z10.5C	2521	2513	2404	2382
TN246S.Z10.5D	2527	2520	2396	2385
TN246S.Z10.5E	2521	2513	2392	2391
TN246S.Z10.5F	2516	2513	2392	2387
TN246S.Z10.5G	2557	2557	2419	2497
TN246S.Z10.5H	2558	2554	2432	2509
TN246S.Z15.10A	2503	2501	2438	2415
TN246S.Z15.10B	2502	2499	2434	2415
TN246S.Z15.10C	2521	2523	2451	2443
TN246S.Z15.10D	2518	2520	2454	2436
TN246S.Z15.5A	2495	2491	2426	2407
TN246S.Z15.5B	2506	2507	2444	2427
TN246S.Z15.5C	2512	2513	2448	2417
TN246S.Z15.5D	2515	2510	2453	2419

* - z powodów technicznych nie wykonano oznaczenia na płytach metodą C

Tablica 43. Mieszanka S – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki odwiercone z próbek formowanych

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246S.M10A	2505	2504	2461	2467
TN246S.M10B	2515	2514	2474	2473
TN246S.M10C	2534	2534	2486	2508
TN246S.M10D	2534	2535	2479	2504
TN246S.M10E	2508	2506	2470	2468

TN246S.M10F	2522	2522	2456	2488
TN246S.M5A	2530	2533	2364	2454
TN246S.M5B	2524	2518	2366	2448
TN246S.M5C	2549	2545	2392	2506
TN246S.M5D	2547	2546	2289	2503
TN246S.M5E	2542	2541	2371	2483
TN246S.M5F	2530	2529	2400	2452
TN246S.M6A	2521	2520	2419	2462
TN246S.M6B	2511	2508	2411	2440
TN246S.M6C	2508	2512	2411	2433
TN246S.M6D	2518	2517	2444	2430
TN246S.P102.5A	2557	2294	2466	2535
TN246S.P102.5A	2552	2556	2427	2520
TN246S.P102.5B	2554	2556	2462	2538
TN246S.P102.5B	2549	2551	2448	2523
TN246S.P102.5C	2565	2564	2457	2556
TN246S.P102.5C	2556	2556	2433	2539
TN246S.P98.5A	2536	2537	2414	2475
TN246S.P98.5A	2520	2525	2438	2444
TN246S.P98.5B	2545	2548	2454	2500
TN246S.P98.5B	2526	2531	2390	2461
TN246S.P98.5C	2514	2520	2445	2439
TN246S.P98.5C	2519	2523	2433	2453
TN246S.P98.5D	2499	2503	2414	2426
TN246S.P98.5D	2524	2528	2278	2450
TN246S.P98.5E	2435	2423	2364	2291
TN246S.P98.5E	2448	2454	2315	2324
TN246S.P98.5F	2431	2434	2339	2303
TN246S.P98.5F	2439	2458	2382	2335
TN246S.Z10.10A	2546	2543	2465	2486
TN246S.Z10.10B	2537	2536	2471	2494
TN246S.Z10.10C	2524	2521	2476	2483

TN246S.Z10.10D	2537	2533	2386	2491
TN246S.Z10.10E	2525	2521	2473	2473
TN246S.Z10.10F	2524	2523	2462	2466
TN246S.Z10.10G	2544	2544	2372	2504
TN246S.Z10.10H	2547	2546	2496	2500
TN246S.Z10.5A	2551	2553	2356	2490
TN246S.Z10.5B	2556	2557	2278	2513
TN246S.Z10.5C	2521	2516	2393	2432
TN246S.Z10.5D	2533	2527	2351	2449
TN246S.Z10.5E	2533	2528	2371	2454
TN246S.Z10.5F	2527	2526	2333	2465
TN246S.Z10.5G	2570	2567	2363	2529
TN246S.Z10.5H	2570	2570	2422	2532
TN246S.Z15.10A	2534	2530	2463	2494
TN246S.Z15.10B	2514	2510	2473	2464
TN246S.Z15.10C	2530	2526	2490	2489
TN246S.Z15.10D	2513	2509	2473	2461
TN246S.Z15.5A	2494	2488	2391	2405
TN246S.Z15.5B	2508	2504	2418	2419
TN246S.Z15.5C	2505	2501	2402	2431
TN246S.Z15.5D	2508	2505	2409	2455

Tablica 44. Mieszanka S – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki odwiercone z próbek formowanych z odciętymi podstawami

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246S.M10A	2505	2508	2489	2494
TN246S.M10B	2520	2520	2502	2501
TN246S.M10C	2539	2539	2515	2532
TN246S.M10D	2540	2540	2520	2525
TN246S.M10E	2512	2513	2493	2497
TN246S.M10F	2529	2530	2514	2523

TN246S.M5A	2539	2542	2450	2511
TN246S.M5B	2532	2531	2446	2509
TN246S.M5C	2560	2559	2442	2535
TN246S.M5D	2562	2559	2462	2524
TN246S.M5E	2553	2553	2458	2515
TN246S.M5F	2545	2543	2506	2496
TN246S.M6A	2527	2526	2488	2501
TN246S.M6B	2525	2522	2468	2499
TN246S.M6C	2518	2523	2477	2497
TN246S.M6D	2531	2530	2486	2500
TN246S.P102.5A	2560	2563	2466	2526
TN246S.P102.5A	2557	2555	2427	2510
TN246S.P102.5B	2555	2556	2462	2519
TN246S.P102.5B	2551	2556	2448	2511
TN246S.P102.5C	2568	2570	2457	2551
TN246S.P102.5C	2561	2561	2433	2537
TN246S.P98.5A	2535	2535	2414	2467
TN246S.P98.5A	2525	2519	2438	2432
TN246S.P98.5B	2546	2548	2454	2476
TN246S.P98.5B	2525	2525	2390	2455
TN246S.P98.5C	2524	2524	2445	2447
TN246S.P98.5C	2527	2528	2433	2445
TN246S.P98.5D	2501	2500	2414	2409
TN246S.P98.5D	2525	2524	2278	2441
TN246S.P98.5E	2448	2427	2364	2327
TN246S.P98.5E	2432	2399	2315	2288
TN246S.P98.5F	2446	2428	2339	2314
TN246S.P98.5F	2465	2454	2382	2348
TN246S.Z10.10A	2552	2553	2536	2541
TN246S.Z10.10B	2546	2548	2520	2536
TN246S.Z10.10C	2536	2539	2518	2520
TN246S.Z10.10D	2550	2548	2531	2528

TN246S.Z10.10E	2533	2534	2515	2517
TN246S.Z10.10F	2537	2537	2519	2516
TN246S.Z10.10G	2557	2558	2530	2536
TN246S.Z10.10H	2560	2563	2541	2543
TN246S.Z10.5A	2568	2608	2385	2582
TN246S.Z10.5B	2582	2580	2488	2523
TN246S.Z10.5C	2531	2530	2453	2482
TN246S.Z10.5D	2549	2546	2462	2507
TN246S.Z10.5E	2548	2544	2458	2523
TN246S.Z10.5F	2542	2541	2482	2512
TN246S.Z10.5G	2588	2588	2484	2567
TN246S.Z10.5H	2593	2593	2488	2529
TN246S.Z15.10A	2541	2548	2503	2538
TN246S.Z15.10B	2524	2524	2503	2550
TN246S.Z15.10C	2544	2542	2506	2529
TN246S.Z15.10D	2524	2522	2500	2504
TN246S.Z15.5A	2504	2500	2837	2476
TN246S.Z15.5B	2516	2513	2479	2483
TN246S.Z15.5C	2515	2510	2392	2468
TN246S.Z15.5D	2518	2514	2417	2490

- **mieszanka S odwiercona z wykonanej warstwy**

W tablicy 45 zestawiono wyniki badań gęstości objętościowej metodami A, B, C i D próbek z mieszanki S odwierconych z wykonanej warstwy.

Tablica 45. Mieszanka S odwiercona z wykonanej warstwy – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D

Rodzaj próbki	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246S.D01	2479	2412	2377
TN246S.D02	2374	2271	2218
TN246S.D03	2447	2406	2367

TN246S.D04	2385	2294	2241
TN246S.D05	2457	2378	2349
TN246S.D06	2441	2356	2318
TN246S.D07	2509	2429	2434
TN246S.D08	2436	2376	2344
TN246S.D09	2445	2383	2362
TN246S.D10	2449	2403	2375
TN246S.D11	2433	2307	2255
TN246S.D12	2435	2353	2315
TN246S.D13	2434	2346	2314
TN246S.D14	2454	2380	2369
TN246S.D15	2412	2320	2290
TN246S.D16	2444	2310	2363
TN246S.D17	2431	2296	2326
TN246S.D18	2473	2335	2368
TN246S.D19	2473	2325	2365
TN246S.D20	2457	2284	2332
TN246S.D21	2473	2374	2365
TN246S.D22	2436	2360	2330
TN246S.D23	2499	2439	2412
TN246S.D24	2498	2431	2418
TN246S.D25	2433	2342	2292
TN246S.D26	2467	2386	2347
TN246S.D27	2472	2399	2379
TN246S.D28	2496	2436	2428
TN246S.D29	2495	2428	2395
TN246S.D30	2462	2395	2350
TN246S.D31	2498	2407	2385
TN246S.D32	2463	2389	2345
TN246S.D33	2412	2331	2309
TN246S.D34	2401	2316	2291
TN246S.D35	2397	2304	2297

TN246S.D36	2479	2419	2381
TN246S.D37	2491	2438	2422
TN246S.D38	2513	2434	2408
TN246S.D39	2493	2416	2396
TN246S.D40	2493	2419	2395
TN246S.D41	2488	2414	2392
TN246S.D42	2408	2337	2283
TN246S.D43	2448	2341	2335
TN246S.D44	2393	2284	2244
TN246S.D45	2410	2311	2280
TN246S.D46	2422	2283	2291
TN246S.D47	2356	2170	2117
TN246S.D48	2388	2357	2349
TN246S.D49	2414	2277	2246

- **mieszanka N**

W tablicy 46 zestawiono wyniki badań gęstości objętościowej metodami A, B, C i D próbek formowanych, wykonanych z mieszanki N. W tablicy 47 przedstawiono wyniki badań tych samych próbek, ale po obróbce krawędzi polegającej na wywierceniu próbek o mniejszej średnicy z próbek formowanych o kształcie walca, a także próbek odwiercanych z płyt wykonanych w laboratorium. W tablicy 48 zawarto wyniki badania gęstości objętościowej próbek z obrobionymi krawędziami bocznymi oraz odciętymi podstawami, co spowodowało uzyskanie próbek ciętych z każdej strony.

Tablica 46. Mieszanka N – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki formowane

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246N.M10A	2391	2378	2318	2303
TN246N.M10B	2365	2351	2298	2275
TN246N.M10C	2390	2371	2300	2260

TN246N.M10D	2383	2357	2283	2243
TN246N.M5A	2411	2393	2281	2272
TN246N.M5B	2419	2396	2293	2278
TN246N.M5C	2433	2407	2279	2251
TN246N.M5D	2416	2403	2298	2296
TN246N.M6A	2412	2360	2221	2162
TN246N.M6B	2386	2367	2276	2252
TN246N.M6C	2383	2358	2267	2243
TN246N.M6D	2414	2384	2262	2215
TN246N.Z10.10A	2373	2356	2294	2265
TN246N.Z10.10B	2361	2340	2264	2230
TN246N.Z10.10C	2354	2333	2264	2238
TN246N.Z10.10D	2359	2341	2268	2227
TN246N.Z10.10E	2359	2341	2272	2236
TN246N.Z10.10F	2464	2462	2403	2400
TN246N.Z10.10G	2470	2464	2412	2408
TN246N.Z10.10H	2408	2396	2342	2323
TN246N.Z10.10I	2403	2391	2336	2305
TN246N.Z10.10J	2418	2408	2347	2330
TN246N.Z10.10K	2411	2401	2348	2330
TN246N.Z10.10L	2416	2408	2339	2308
TN246N.Z10.10Ł	2409	2395	2336	2311
TN246N.Z10.10M	2404	2389	2318	2287
TN246N.Z10.10N	2396	2371	2293	2249
TN246N.Z10.5A	2365	2335	2243	2210
TN246N.Z10.5B	2356	2342	2249	2231
TN246N.Z15.10A	2358	2320	2238	2195
TN246N.Z15.10B	2360	2338	2264	2215
TN246N.Z15.10C	2473	2470	2419	2414
TN246N.Z15.10D	2468	2465	2412	2413
TN246N.Z15.10E	2344	2320	2251	2217
TN246N.Z15.10F	2342	2316	2255	2225

TN246N.Z15.10G	2391	2373	2310	2279
TN246N.Z15.10H	2417	2404	2347	2317
TN246N.Z15.10I	2423	2413	2357	2343
TN246N.Z15.10J	2415	2398	2340	2315
TN246N.Z15.10K	2395	2382	2326	2310
TN246N.Z15.10L	2400	2389	2329	2309
TN246N.Z15.10Ł	2347	2318	2242	2202
TN246N.Z15.15A	2366	2327	2202	2213
TN246N.Z15.15B	2458	2447	2409	2386
TN246N.Z15.15C	2451	2442	2384	2383
TN246N.Z15.15D	2341	2290	2179	2164
TN246N.Z15.15E	2352	2298	2119	2176
TN246N.Z15.15F	2406	2393	2353	2327
TN246N.Z15.15G	2406	2391	2332	2321
TN246N.Z15.15H	2410	2399	2352	2322
TN246N.Z15.15I	2404	2397	2350	2322
TN246N.Z15.15J	2465	2461	2431	2416
TN246N.Z15.15K	2450	2445	2371	2383
TN246N.Z15.15L	2359	2334	2265	2229
TN246N.Z15.15Ł	2377	2361	2210	2276
TN246N.Z15.15M	2393	2369	2226	2277

* - z powodów technicznych nie wykonano oznaczenia na płytach metodą C

Tablica 47. Mieszanka N – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki odwiercone z próbek formowanych

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246N.M10A	2397	2395	2359	2334
TN246N.M10B	2366	2364	2336	2295
TN246N.M10C	2394	2388	2343	2305
TN246N.M10D	2387	2380	2332	2295
TN246N.M5A	2424	2417	2211	2320

TN246N.M5B	2415	2410	2334	2307
TN246N.M5C	2439	2436	2341	2306
TN246N.M5D	2428	2425	2305	2326
TN246N.M6A	2413	2386	2284	2239
TN246N.M6B	2390	2387	2327	2289
TN246N.M6C	2385	2379	2311	2280
TN246N.M6D	2429	2419	2335	2306
TN246N.Z10.10A	2390	2385	2342	2308
TN246N.Z10.10B	2365	2357	2309	2253
TN246N.Z10.10C	2363	2350	2306	2259
TN246N.Z10.10D	2379	2375	2318	2287
TN246N.Z10.10E	2373	2365	2268	2277
TN246N.Z10.10F	2479	2480	2416	2416
TN246N.Z10.10G	2484	2484	2391	2436
TN246N.Z10.10H	2426	2422	2358	2349
TN246N.Z10.10I	2422	2419	2383	2355
TN246N.Z10.10J	2431	2429	2381	2357
TN246N.Z10.10K	2424	2423	2366	2365
TN246N.Z10.10L	2429	2424	2385	2334
TN246N.Z10.10Ł	2422	2417	2381	2332
TN246N.Z10.10M	2410	2413	2331	2316
TN246N.Z10.10N	2410	2395	2341	2291
TN246N.Z10.5A	2376	2367	2296	2239
TN246N.Z10.5B	2365	2359	2276	2250
TN246N.Z15.10A	2414	2295	2283	2221
TN246N.Z15.10B	2357	2341	2295	2248
TN246N.Z15.10C	2483	2482	2427	2444
TN246N.Z15.10D	2483	2482	2431	2453
TN246N.Z15.10E	2356	2348	2313	2295
TN246N.Z15.10F	2352	2339	2311	2286
TN246N.Z15.10G	2405	2397	2369	2351
TN246N.Z15.10H	2434	2430	2398	2382

TN246N.Z15.10I	2449	2442	2406	2392
TN246N.Z15.10J	2430	2426	2399	2383
TN246N.Z15.10K	2416	2406	2374	2354
TN246N.Z15.10L	2420	2410	2374	2349
TN246N.Z15.10Ł	2350	2337	2298	2279
TN246N.Z15.15A	2478	2340	2299	2283
TN246N.Z15.15B	2466	2477	2457	2459
TN246N.Z15.15C	2343	2463	2439	2437
TN246N.Z15.15D	2348	2313	2269	2255
TN246N.Z15.15E	2425	2316	2279	2261
TN246N.Z15.15F	2427	2420	2400	2392
TN246N.Z15.15G	2424	2424	2400	2391
TN246N.Z15.15H	2419	2419	2395	2383
TN246N.Z15.15I	2475	2414	2392	2384
TN246N.Z15.15J	2464	2474	2433	2452
TN246N.Z15.15K	2364	2463	2441	2435
TN246N.Z15.15L	2386	2351	2321	2313
TN246N.Z15.15Ł	2403	2376	2349	2339
TN246N.Z15.15M	2373	2391	2360	2350

Tablica 48. Mieszanka N – wyniki gęstości objętościowej met. A, B, C i D, próbki odwiercone z próbek formowanych z odciętymi podstawami

Rodzaj próbki	Metoda A, kg/m ³	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TN246N.M10A	2404	2404	2384	2377
TN246N.M10B	2373	2374	2352	2336
TN246N.M10C	2398	2396	2371	2355
TN246N.M10D	2386	2380	2352	2325
TN246N.M5A	2434	2439	2329	2397
TN246N.M5B	2430	2431	2363	2371
TN246N.M5C	2456	2451	2361	2375
TN246N.M5D	2433	2433	2357	2373

TN246N.M6A	2420	2379	2307	2285
TN246N.M6B	2396	2395	2356	2353
TN246N.M6C	2395	2393	2354	2354
TN246N.M6D	2429	2431	2375	2362
TN246N.Z10.10A	2395	2396	2374	2364
TN246N.Z10.10B	2371	2367	2345	2317
TN246N.Z10.10C	2363	2361	2336	2310
TN246N.Z10.10D	2387	2383	2362	2350
TN246N.Z10.10E	2379	2375	2355	2341
TN246N.Z10.10F	2491	2493	2456	2468
TN246N.Z10.10G	2494	2497	2471	2474
TN246N.Z10.10H	2434	2437	2415	2401
TN246N.Z10.10I	2433	2431	2412	2405
TN246N.Z10.10J	2443	2444	2395	2410
TN246N.Z10.10K	2434	2436	2417	2416
TN246N.Z10.10L	2438	2439	2417	2403
TN246N.Z10.10Ł	2419	2429	2408	2385
TN246N.Z10.10M	2428	2429	2403	2376
TN246N.Z10.10N	2411	2408	2380	2361
TN246N.Z10.5A	2391	2389	2314	2331
TN246N.Z10.5B	2373	2371	2319	2316
TN246N.Z15.10A	2364	2348	2314	2306
TN246N.Z15.10B	2360	2356	2331	2330
TN246N.Z15.10C	2494	2494	2418	2485
TN246N.Z15.10D	2497	2496	2453	2488
TN246N.Z15.10E	2365	2362	2339	2340
TN246N.Z15.10F	2360	2353	2330	2331
TN246N.Z15.10G	2416	2410	2384	2391
TN246N.Z15.10H	2450	2449	2423	2433
TN246N.Z15.10I	2463	2463	2429	2438
TN246N.Z15.10J	2442	2442	2418	2426
TN246N.Z15.10K	2433	2429	2408	2404

TN246N.Z15.10L	2429	2428	2400	2402
TN246N.Z15.10Ł	2357	2354	2329	2327
TN246N.Z15.15A	2375	2352	2324	2320
TN246N.Z15.15B	2491	2491	2455	2483
TN246N.Z15.15C	2479	2478	2448	2466
TN246N.Z15.15D	2348	2326	2297	2287
TN246N.Z15.15E	2356	2331	2307	2298
TN246N.Z15.15F	2438	2437	2421	2419
TN246N.Z15.15G	2443	2442	2389	2433
TN246N.Z15.15H	2437	2435	2420	2421
TN246N.Z15.15I	2428	2424	2411	2413
TN246N.Z15.15J	2487	2487	2460	2477
TN246N.Z15.15K	2331	2480	2441	2468
TN246N.Z15.15L	2369	2364	2341	2341
TN246N.Z15.15Ł	2395	2391	2373	2374
TN246N.Z15.15M	2411	2404	2384	2383

- **mieszanka P**

W tablicy 49 zestawiono wyniki badań gęstości objętościowej metodami B, C i D próbek formowanych, wykonanych z mieszanki P.

Tablica 49. Mieszanka P – wyniki gęstości objętościowej met. B, C i D, próbki formowane

Rodzaj próbki	Metoda B, kg/m ³	Metoda C, kg/m ³	Metoda D, kg/m ³
TP246P.M6A	2522	2067	1963
TP246P.M6B	2515	2046	1940
TP246P.M6C	2508	2060	1978
TP246P.M6D	2494	2063	1932
TP246P.M6E	2462	2060	1951
TP246P.M6F	2484	2033	1909
TP246P.M6G	2478	2069	1979
TP246P.M6H	2477	2047	1921

TP246P.M6I	2470	2091	1981
TP246P.M6J	2466	2057	1924
TN246P.Z15.5A	2472	2083	1978
TN246P.Z15.5B	2454	2099	2006

10) Analiza niepewności pomiarowej

10.1) Gęstość objętościowa

Szacowanie niepewności pomiaru gęstości objętościowej według normy PN-EN 12-697-6+A1:2008 „Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej” wykonano na podstawie doświadczalnej. W tym celu skorzystano z wyników badań międzylaboratoryjnych i badań wewnątrzlaboratoryjnych. W Polsce nie były prowadzone badania międzylaboratoryjne. Również IBDiM nie brał udziału w badaniach europejskich (brak informacji na temat takich badań). We własnym zakresie przeprowadzono badania międzyzespołowe polegające na wykorzystaniu tego samego wyposażenia pomiarowego i badawczego (WPiB) ale obsługiwane przez dwóch różnych operatorów.

W celu wyznaczenia niepewności pomiaru dla oznaczenia gęstości objętościowej przeanalizowano również zapisy normy PN-EN 12-697-6+A1:2008.

Szacowanie wykonano na podstawie przeprowadzonych badań międzyzespołowych, stosując metodę wykorzystania tego samego WPiB ale obsługującego przez dwóch różnych operatorów. Średnia z 4 wyników wyniosła 2360,6 kg/m³ przy odchyleniu standardowym 6,6 kg/m³ (próbki laboratoryjne). Norma PN-EN 12-697-6+A1:2008 podaje do gęstości objętościowej powtarzalność wynoszącą 8,5 kg/m³ oraz odtwarzalność wynoszącą 37 kg/m³. Podane w normie wartości niepewności świadczą o tym, że w badaniach wewnątrzlaboratoryjnych uzyskano niepewności o mniejszych wartościach. Ocena wskaźnika z wskazała na zadowalające wyniki. Należy uznać wyniki badań zatem za poprawne.

Na podstawie badań wybrano wartość niepewności pomiaru gęstości objętościowej równą największemu odchyleniu standardowemu z badań międzyzespołowych. Niepewność pomiaru gęstości objętościowej wynosi $\pm 13,2$ kg/m³, przy współczynniku rozszerzenia $k = 2$, co daje poziom ufności 95 %.

Analiza niepewności została sporządzona przy uwzględnieniu dokumentu - „Wytyczne EA dotyczące wyrażania niepewności w badaniach ilościowych” EA – 04/16, Grudzień 2003 r.

Niepewność pomiaru gęstości objętościowej według metody B oszacowano na podstawie modelowania matematycznego. W celu wyznaczenia niepewności pomiaru przeanalizowano zapisy normy PN-EN 12-697-6+A1:2008. Norma podaje wzór, według którego oblicza się gęstość objętościową mieszanki mineralno-asfaltowej (mma):

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \rho_w$$

W celu określenia gęstości objętościowej należy oznaczyć poszczególne masy i gęstość wody (zmiennie we wzorze) wraz z określeniem niepewności: um_1 , um_2 , $u\rho_w$. Należy określić pochodne wzoru ρ_{bdry} po każdej zmiennej. Następnie należy obliczyć odchylenie standardowe pomiarów pośrednich według równania:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum f_{x_n}^2 (\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n}) \sigma_{x_n}^2}$$

Do każdej pochodnej wzoru ρ_{bdry} należy przyporządkować odpowiednią niedokładność. W efekcie tych działań uzyskuje się wzór na odchylenie standardowe pomiarów pośrednich, co stanowi niepewność pomiaru związaną z wyposażeniem pomiarowym i badawczym (WPiB):

$$\sigma_p = (m_3 - m_2) \sqrt{\rho_w^2 * um_1^2 + m_1^2 * u\rho_w^2 + \rho_{bssd}^2 * um_3^2 + \rho_{bssd}^2 * um_2^2}$$

Wyznaczono niepewności pomiaru:

- Do pomiarów masy w przedziale: 0,01÷(8200;5500) g, niedokładność: $u=0,1$ g,
- Do pomiarów masy w przedziale: 0,1÷8000 g, niedokładność: $u=0,7$ g,
- Do pomiarów masy w przedziale: 8000÷34000 g, niedokładność: $u=0,1,6$ g,
- Do pomiarów masy w przedziale: 0,5÷30000 g, niedokładność: $u=3,6$ g,

–Do pomiarów masy w przedziale: 30000÷60000 g, niedokładność: $u=5,1$ g.

10.2) Gęstość

Niepewność pomiaru gęstości według normy PN-EN 12-697-5+A1:2008 „Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 5: Oznaczanie gęstości” oszacowano na podstawie doświadczalnej. W tym celu skorzystano z wyników badań międzylaboratoryjnych i wewnątrzlaboratoryjnych. IBDiM przeprowadził badania międzylaboratoryjne między dwoma laboratoriami oraz międzypespółowe (to samo wyposażenie pomiarowe i badawcze ale dwóch różnych operatorów).

W celu wyznaczenia niepewności pomiaru przeanalizowano również zapisy normy PN-EN 12-697-6+A1:2008. W badaniach międzylaboratoryjnych gęstości w czterochloroetylenie w IBDiM średnia z 8 wyników wyniosła 2719 kg/m^3 , przy odchyleniu standardowym 27 kg/m^3 (próbki z różnych miejsc nawierzchni). W drugim laboratorium akredytowanym średnia z 8 pomiarów wyniosła 2711 kg/m^3 (próbki z różnych miejsc nawierzchni), a odchylenie standardowe 30 kg/m^3 . W badaniach międzypespółowych gęstości w czterochloroetylenie z 4 oznaczeń każdego operatora S wyniosła 2696 i 2695 kg/m^3 , przy odchyleniu standardowym odpowiednio 1,0 i $1,2 \text{ kg/m}^3$. Przy 4 próbkach współczynnik $S-F$ wynosił 1,3, co dało błąd odpowiednio 1,2 i $1,5 \text{ kg/m}^3$. Błąd każdej ze średniej arytmetycznej wyniósł odpowiednio 0,6 i $0,2 \text{ kg/m}^3$. Norma PN-EN 12-697-5+A1:2008 podaje do gęstości w czterochloroetylenie powtarzalność wynoszącą 19 kg/m^3 oraz odtwarzalność wynoszącą 42 kg/m^3 . Podane w normie wartości niepewności świadczą o tym, że w badaniach międzylaboratoryjnych i wewnątrzlaboratoryjnych uzyskano niepewności o mniejszych wartościach. Ocena wskaźnika z wskazała na zadowalające wyniki. Należy uznać wyniki badań za poprawne.

Na podstawie badań wybrano wartość niepewności pomiaru gęstości równą największemu odchyleniu standardowemu z badań międzypespółowych. Z uwagi na brak szczegółowych danych o niepewności pomiaru gęstości objętościowo w wodzie, ustala się ten sam poziom niepewności, jak w przypadku stosowania czterochloroetyleny.

Niepewność pomiaru gęstości objętościowo wynosi $\pm 4 \text{ kg/m}^3$, przy współczynniku rozszerzenia $k = 2$, co daje poziom ufności 95 %. Instrukcja została sporządzona

przy uwzględnieniu dokumentu - „Wytyczne EA dotyczące wyrażania niepewności w badaniach ilościowych” EA – 04/16, Grudzień 2003 r.

10.3) Zawartość wolnych przestrzeni

Do szacowania niepewności pomiaru dla oznaczania zawartości wolnej przestrzeni według normy PN-EN 12697-8:2005 „Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 8: Oznaczenie zawartości wolnej przestrzeni” wykorzystano zapisy normy PN-EN 12697-8:2005. Norma ta podaje bowiem wzór, według którego oblicza się dokładność obliczania zawartości wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej (mma):

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{\bar{y}^2 \sigma_x^2 + \bar{x}^2 \sigma_y^2}{\bar{y}^4}}$$

w którym:

σ_x oznacza odchylenie standardowe według dokładności gęstości,

σ_y oznacza odchylenie standardowe według dokładności gęstości objętościowej,

$\bar{x}$ średnia wartość gęstości objętościowej,

$\bar{y}$ średnia wartość gęstości.

10.4) Analiza powtarzalności wyników w zależności od zagęszczania

W tablicy 50 przedstawiono wyniki gęstości objętościowej próbek oznaczone 4 metodami, zagęszczonych w ubijaku Marshalla przy różnych energiach zagęszczania.

Tablica 50. Gęstość objętościowa przy zagęszczaniu ubijakiem Marshalla

Energia zagęszczania	Gęstość objętościowa, kg/m ³ , metoda				Gęstość objętościowa średnia (odch. standardowe), metoda			
	A	B	C	D	A	B	C	D
2 x 120 uderzeń	2409	2410	2366	2379	2418 (6,4)	2418 (5,2)	2368 (1,8)	2379 (3,1)
	2420	2419	2369	2384				
	2424	2422	2367	2378				
	2419	2419	2370	2377				
2 x 60	2393	2396	2327	2345	2385	2389	2309	2314

uderzeń	2373	2373	2281	2275	(8,5)	(10,9)	(19,8)	(31)
	2388	2393	2309	2303				
	2386	2395	2317	2331				
2 x 70 uderzeń	2409	2422	2352	2359				
	2399	2402	2326	2338				
	2405	2411	2325	2339	2405	2411	2334	2346
	2405	2409	2333	2347	(4,1)	(8,3)	(12,5)	(9,7)

Na podstawie tablicy 50 można stwierdzić, że największa powtarzalność wyników w próbkach najbardziej zagęszczonych (2 x 120 uderzeń) odnotowano w metodzie C, najmniejszą zaś w metodzie A. W przypadku mniejszego zagęszczenia próbek (2 x 60 i 2 x 70 uderzeń) najbardziej powtarzalne wyniki daje metoda A, najsłabiej wychodzi metoda C i D.

11) Analiza wyników badań mieszanek mineralno-asfaltowych

11.1) Analiza wyników gęstości w wodzie i rozpuszczalniku

Badania gęstości zostały wykonane na dwóch rodzajach mieszanek mineralno-asfaltowych, tj. SMA11 i AC WMS 16. Mieszanaka SMA11 wykonana była w dwóch wersjach uziarnienia i 5 różnych zawartościach asfaltu. AC WMS 16 zaprojektowano w trzech wersjach uziarnienia i sześciu różnych zawartościach asfaltu. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że istnieją pewne rozbieżności pomiędzy badaniem gęstości w wodzie i w rozpuszczalniku, nie pozwalające na zamienne stosowanie metod. Dają one bowiem inne, niekiedy skrajnie różne, niekiedy niemal identyczne wyniki. Istnieją nawet pewne zależności pomiędzy rodzajem mieszanki lub zawartością lepiszcza a wynikiem gęstości dwiema metodami.

Analizując tablice 31-34 można zauważyć, że różnica w średnich gęstościach otrzymana w mieszance SMA jest większa niż w mieszance AC WMS. Wydaje się zatem bardziej możliwym stosowanie zamiennie metody w wodzie i w rozpuszczalniku w mieszankach typu WMS. Różnice między wynikami nie są znaczne. Maksymalna różnica wyniosła w przypadku WMS jedynie 8 kg/m^3 , podczas gdy niepewność pomiaru oszacowana w punkcie 10 niniejszej pracy wynosiła $\pm 4 \text{ kg/m}^3$, a norma PN-EN 12-697-5+A1:2008 podaje do gęstości w

czterochloroetylenie powtarzalność wynoszącą 19 kg/m^3 oraz odtwarzalność wynoszącą 42 kg/m^3 .

W tablicy 33 przedstawiono różnice w gęstościach metodą w wodzie i w rozpuszczalniku w zależności od recepty i składu. Wyznaczono średnie z dwóch identycznych próbek. Najmniejsze wartości różnic pomiędzy wynikami odnotowano w przypadku mieszanki AC WMS 16 Recepta 2 i Recepta 3 oraz SMA11 Recepta 5. Jednocześnie największą różnicę wynoszącą aż 25 kg/m^3 odnotowana dla próbek wykonanych z mieszanki AC WMS 16 Recepta 16. Trudno więc znaleźć zależność pomiędzy wynikami nie analizując szczegółowo zawartości asfaltów w próbkach.

Analizę taką przeprowadzono więc wykorzystując w tym celu tablicę 35. Na podstawie danych z tablicy można zauważyć, że najmniejsze różnice pomiędzy gęstościami dwoma metodami odnotowano w przypadku dużych zawartości asfaltu. Wartości zbliżone otrzymano dla mieszanki SMA11 przy zawartości asfaltu 7,4 % (m/m), 6,8, 6,2 i 6,0 % (m/m). Dla tej ostatniej zawartości asfaltu uzyskano dokładnie tą samą wartość gęstości średnich. Różnice w przypadku SMA11 nie były znaczące. Maksymalny rozrzut wyników uzyskano dla zawartości asfaltu 6,5 % (m/m). Wyniósł on 7 kg/m^3 . W przypadku mieszanki AC WMS 16 niewielkie różnice w otrzymanych wartościach gęstości również uzyskano dla wysokich zawartości asfaltu, tj. 6,0 i 5,7 % (m/m). Duże różnice w wynikach otrzymano natomiast w przypadku mieszanki AC WMS 16 dla zawartości asfaltu 5,1 % (m/m) dla wszystkich trzech krzywych uziarnienia. Różnice sięgały 18 kg/m^3 .

Na podstawie przeprowadzonych badań nie odnotowano natomiast żadnej zależności pokazującej, że zastosowanie jednej metody daje zawsze wyższą wartość gęstości. Nie można więc stwierdzić, że np. gęstość w wodzie jest zawsze większa niż gęstość przy zastosowaniu rozpuszczalnika.

Podsumowując otrzymane wyniki gęstości i przeprowadzoną analizę nie można jednoznacznie stwierdzić, która metoda badania gęstości jest lepsza, czy też która daje bardziej wiarygodne wyniki i według której otrzymuje się wartości wyższe lub niższe. Obie metody można stosować zamiennie, ale zawsze należy podawać informację jaką metodą gęstość została otrzymana, ponieważ w niektórych przypadkach rozbieżności w wynikach mogą być znaczne, np. w mieszankach AC WMS 16 o małych zawartościach asfaltu (bliskich minimalnym wymaganiom co do asfaltu z WT-2, tj. od 4,8 % (m/m)). A zatem metoda badania ma w niektórych przypadkach duże znaczenie dla wyniku gęstości, a co za tym idzie na obliczenie np.

zawartości wolnych przestrzeni w warstwie. Parametr ten jest jednym z ważniejszym kryterium oceny i kwalifikacji nawierzchni. Należy więc szczególnie zadbać o prawidłowy i jednoznaczny wynik poprzez właściwe oznaczenie gęstości i ustalenie metody badania.

11.2) Analiza wpływu sposobu zagęszczania próbek

Wyniki badań próbek zestawiono w sposób umożliwiający przeanalizowanie, czy sposób zagęszczania próbki z tego samego materiału, o tej samej geometrii i przy użyciu tej samej energii zagęszczania, ale w różnych urządzeniach zagęszczających ma wpływ na wyniki. W tym celu zestawiono próbki wykonane w różnych urządzeniach, ale dla których uzyskano podobne gęstości objętościowe według metody referencyjnej, czyli metody B, na próbkach formowanych. Następnie zestawiono te wyniki z wynikami uzyskanymi na tych samych próbkach, ale po obróbce powierzchni bocznych. Porównanie wyników badań próbek Marshalla i z prasy żyratorowej (H=10 cm i D=10 cm) zawarto w tablicach 51 – 58.

Tablica 51. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki M10			Próbki Z10.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2410	2419	2464	2411	2422	2437
	2419	2424	2432	2412	2424	2434
	2422	2425	2431	2410	2427	2437
	2419	2427	2433	2413	2429	2439
Śr.	2418	2424	2440	2412	2426	2437
Różn.	0 (0%)	6 (0,2%)	22 (0,9%)	0 (0%)	14 (0,6%)	25 (1%)
Y	2363	2359	2364	2364	2377	2376
	2353	2355	2361	2360	2367	2377
	2354	2350	2354	2356	2369	2380
	2358	2368	2369	2357	2371	2378
Śr.	2357	2358	2362	2359	2371	2378
Różn.	0 (0%)	1 (0%)	5 (0,2%)	0 (0%)	12 (0,5%)	19 (0,8%)

Tablica 52. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki M10			Próbki Z10.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2520	2504	2508	2520	2521	2539
	2512	2514	2520	2525	2533	2548
	2527	2534	2539	2512	2521	2534
	2514	2506	2513	2515	2523	2537
Śr.	2518	2515	2520	2518	2524	2540
Różn.	0 (0%)	-3 (-0,1%)	2 (0,1%)	0 (0%)	6 (0,2%)	22 (0,9%)
N	2393	2417	2439	2396	2422	2437
	2396	2410	2431	2391	2419	2431
	2407	2436	2451	2395	2417	2429
	2403	2425	2433	2389	2413	2429
Śr.	2400	2422	2439	2393	2418	2432
Różn.	0 (0%)	22 (0,9%)	39 (1,6%)	0 (0%)	25 (1%)	39 (1,6%)

Tablica 53. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki M10			Próbki Z10.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2409	2416	2424	2418	2425	2437
	2420	2424	2430	2418	2427	2434
	2424	2426	2429	2417	2426	2436
	2419	2427	2432	2418	2433	2439
Śr.	2418	2423	2429	2418	2428	2437
Różn.	0 (0%)	5 (0,2%)	11 (0,5%)	0 (0%)	10 (0,4%)	19 (0,8%)
Y	2368	2362	2367	2408	2383	2387
	2359	2360	2362	2413	2382	2389
	2372	2370	2369	2406	2384	2390
	2380	2376	2383	2398	2376	2382
Śr.	2370	2367	2370	2406	2381	2387
Różn.	0 (0%)	-3 (-0,1%)	0 (0%)	0 (0%)	-25 (-1%)	-19 (-0,8%)

Tablica 54. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki M10			Próbki Z10.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2501	2505	2505	2522	2524	2536
	2508	2515	2520	2525	2537	2550
	2526	2534	2539	2509	2525	2533
	2513	2522	2529	2516	2524	2537
Śr.	2512	2519	2523	2518	2528	2539
Różn.	0 (0%)	7 (0,3%)	11 (0,4%)	0 (0%)	10 (0,4%)	21 (0,8%)
N	2411	2424	2434	2408	2426	2434
	2419	2415	2430	2403	2422	2433
	2433	2439	2456	2409	2422	2419
	2416	2428	2433	2404	2410	2428
Śr.	2420	2427	2438	2406	2420	2429
Różn.	0 (0%)	7 (0,3%)	18 (0,7%)	0 (0%)	14 (0,6%)	23 (0,9%)

Tablica 55. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki M10			Próbki Z10.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2366	2379	2405	2361	2357	2416
	2369	2352	2409	2359	2391	2409
	2367	2365	2406	2345	2376	2416
	2370	2361	2412	2354	2344	2411
Śr.	2368	2364	2408	2355	2367	2413
Różn.	0 (0%)	-4 (-0,2%)	40 (1,7%)	0 (0%)	12 (0,5%)	58 (2,4%)
Y	2292	2317	2340	2277	2320	2343
	2287	2314	2337	2281	2318	2344
	2271	2302	2323	2285	2322	2354
	2283	2318	2336	2287	2306	2347
Śr.	2283	2313	2334	2283	2317	2347
Różn.	0 (0%)	30 (1,3%)	51 (2,2%)	0 (0%)	34 (1,5%)	64 (2,7%)

Tablica 56. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki M10			Próbki Z10.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2439	2461	2489	2447	2476	2518
	2440	2474	2502	2466	2386	2531
	2460	2486	2515	2437	2473	2515
	2440	2456	2514	2442	2462	2519
Śr.	2445	2469	2505	2448	2449	2521
Różn.	0 (0%)	24 (1%)	60 (2,5%)	0 (0%)	1 (0%)	73 (2,9%)
N	2281	2211	2329	2342	2358	2415
	2293	2334	2363	2336	2383	2412
	2279	2341	2361	2336	2381	2408
	2298	2305	2357	2318	2331	2403
Śr.	2288	2298	2353	2333	2363	2410
Różn.	0 (0%)	10 (0,4%)	65 (2,8%)	0 (0%)	30 (1,3%)	77 (3,2%)

Tablica 57. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki M10			Próbki Z10.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2379	2384	2415	2371	2389	2427
	2384	2388	2422	2364	2381	2417
	2378	2398	2425	2347	2383	2423
	2377	2399	2424	2358	2370	2412
Śr.	2380	2392	2422	2360	2381	2420
Różn.	0 (0%)	12 (0,5%)	42 (1,8%)	0 (0%)	21 (0,9%)	60 (2,5%)
Y	2287	2316	2337	2263	2285	2325
	2284	2316	2341	2275	2284	2330
	2259	2297	2321	2287	2311	2344
	2264	2303	2334	2287	2306	2339
Śr.	2274	2308	2333	2278	2297	2335
Różn.	0 (0%)	34 (1,5%)	59 (2,6%)	0 (0%)	19 (0,8%)	57 (2,4%)

Tablica 58. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki M10			Próbki Z10.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2422	2467	2494	2419	2483	2520
	2413	2473	2501	2444	2491	2528
	2451	2508	2532	2412	2473	2517
	2413	2488	2523	2414	2466	2516
Śr.	2425	2484	2513	2422	2478	2520
Różn.	0 (0%)	59 (2,4%)	88 (3,6%)	0 (0%)	56 (2,3%)	98 (3,9%)
N	2272	2320	2397	2323	2349	2401
	2278	2307	2371	2305	2355	2405
	2251	2306	2375	2311	2332	2385
	2296	2326	2373	2287	2316	2376
Śr.	2274	2315	2379	2307	2338	2392
Różn.	0 (0%)	41 (1,8%)	105 (4,6%)	0 (0%)	31 (1,3%)	85 (3,6%)

Z przedstawionego porównania wyników badań próbek o zbliżonej geometrii ale zagęszczanych różnymi metodami (odpowiednio ubijak Marshalla i prasa żyratorowa, H=10 cm i D=10 cm) można wyciągnąć wnioski. Po pierwsze wraz z wykonywaniem obróbki powierzchniowej próbek następowało zwiększanie ich gęstości objętościowej, bez względu na metodę badania. Wniosek ten nie był prawdziwy tylko dla mieszanki Y, badanej metodą A, co raczej należy zaliczyć do błędu przypadkowego. Po drugie, porównując próbki, które były badane po wykonaniu i wykazywały podobne gęstości objętościowe, w kolejnych badaniach po obróbce powierzchni bocznej poprzez odwiercenie a następnie odcięcie podstaw wykazywały wzrost gęstości objętościowej. Wzrost gęstości objętościowej był przeważnie większy w przypadku próbek wykonanych w prasie żyratorowej. Fakt ten można tłumaczyć odmienną powierzchnią boczną próbek wykonanych tymi dwiema metodami. W przypadku próbek Marshalla przy mniejszej zawartości wolnych przestrzeni powierzchnia boczna jest zazwyczaj szczelna, a dodatkowe jej „zaklekanie” następuje podczas wyciskania próbki z formy po zagęszczeniu. Przy mieszankach o większym maksymalnym wymiarze ziarna oraz o większej zawartości wolnych przestrzeni, w

próbkach Marshalla występuje większa niejednorodność powierzchni próbki. W przypadku próbek formowanych w prasie żyratorowej bez względu na zawartość próżni i uziarnienie mieszanki powierzchnia boczna próbki jest bardziej jednorodna.

Należy również zwrócić uwagę na próbki Marshalla i jak się zmienia ich gęstość objętościowa metodą B po obróbce powierzchniowej. Zmiany ilościowe w przypadku mieszanki W i N były znaczne, odpowiednio +22 oraz +29 kg/m³, po całkowitej obróbce powierzchni. Zmiany te przekładają się na znaczny spadek zawartości wolnych przestrzeni w badanej próbce, różnica może sięgać nawet 1 % (v/v). Poza tym ten typ próbki jest próbką referencyjną do określania wskaźnika zagęszczenia oraz rozliczania wykonawcy z prawidłowości zagęszczenia warstwy asfaltowej. Próbki pobierane na drodze są z reguły odwiercane.

Podsumowując, z zestawienia badań próbek Marshalla i przygotowanych w prasie żyratorowej wynika, że próbki, które pierwotnie miały podobne gęstości objętościowe, po doprowadzeniu do tego samego stanu (odwiercenie i odcięcie podstaw) wykazują nieco odmienne cechy fizyczne. Wniosek można wyciągnąć taki, że próbki wykonane w prasie żyratorowej, czyli o bardziej rozbudowanej teksturze, w stanie pierwotnym mogły mieć nieco wyższą gęstość objętościową w stosunku do wartości uzyskanej z badania.

Porównanie wyników badań próbek wykonanych w zagęszczarce płytowej oraz w prasie żyratorowej wraz z próbkami odwierconymi z tychże próbek (H=5 lub 10 cm i D=10 cm) zawarto w tablicach 59 – 67. Porównano wyniki badań próbek pierwotnych, formowanych z wynikami badań próbek odwierconych o tej samej średnicy (10 cm), ale bez odcinania podstaw. Ten stan powierzchni bocznej próbek z różnych urządzeń zagęszczających był porównywalny.

Tablica 59. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN24 6	Próbki P10		Próbki Z15.10	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
W	2400	2435	2413	2420
	2400	2426	2411	2421
	2421	2441	2416	2419
	2421	2446	2409	2423
Śr.	2411	2437	2412	2421
Różn.	0 (0%)	26 (1,1%)	0 (0%)	9 (0,4%)

Tablica 60. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN24 6	Próbki P10		Próbki Z15.10	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
Y	2361	2372	2374	2383
	2361	2373	2383	2397
	2372	2401	2361	2364
	2372	2397	2369	2374
Śr.	2367	2386	2372	2380
Różn.	0 (0%)	19 (0,8%)	0 (0%)	8 (0,3%)

Tablica 61. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN24 6	Próbki P5		Próbki Z15.5	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
S	2525	2548	2491	2488
	2525	2525	2507	2504
	2497	2524	2513	2501
	2497	2528	2510	2505
Śr.	2511	2531	2505	2500
Różn.	0 (0%)	20 (0,8%)	0 (0%)	-5 (-0,2%)

Tablica 62. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN24 6	Próbki P10		Próbki Z15.10	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
W	2416	2434	2416	2421
	2416	2424	2416	2423
	2432	2438	2421	2420
	2432	2444	2416	2424
Śr.	2424	2435	2417	2422
Różn.	0 (0%)	11 (0,5%)	0 (0%)	5 (0,2%)

Tablica 63. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN24 6	Próbki P10		Próbki Z15.10	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
Y	2399	2384	2411	2387
	2399	2384	2413	2404
	2411	2408	2405	2371
	2411	2404	2415	2390
Śr.	2405	2395	2411	2388
Różn.	0 (0%)	-10 (-0,4%)	0 (0%)	-23 (-1%)

Tablica 64. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN24 6	Próbki P5		Próbki Z15.5	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
S	2524	2546	2495	2494
	2524	2525	2506	2508
	2501	2524	2512	2505
	2501	2527	2515	2508
Śr.	2513	2531	2507	2504
Różn.	0 (0%)	18 (0,7%)	0 (0%)	-3 (-0,1%)

Tablica 65. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN24 6	Próbki P10		Próbki Z15.10	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
W	2307	2366	2372	2398
	2307	2369	2373	2401
	2328	2397	2372	2396
	2328	2386	2371	2399
Śr.	2385	2380	2372	2399
Różn.	0 (0%)	-5 (-0,2%)	0 (0%)	27 (1,1%)

Tablica 66. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN24 6	Próbki P10		Próbki Z15.10	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
Y	2219	2321	2297	2279
	2219	2320	2297	2369
	2224	2331	2267	2316
	2224	2342	2279	2328
Śr.	2222	2329	2285	2323
Różn.	0 (0%)	107 (4,8%)	0 (0%)	38 (1,7%)

Tablica 67. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN24 6	Próbki P5		Próbki Z15.5	
	formowana	odwiercona	formowana	odwiercona
S	2394	2476	2407	2405
	2394	2455	2427	2419
	2338	2447	2417	2431
	2338	2445	2419	2455
Śr.	2366	2456	2418	2428
Różn.	0 (0%)	90 (3,8%)	0 (0%)	10 (0,4%)

Z przedstawionego porównania wyników badań próbek o różnym sposobie zagęszczania (odpowiednio zagęszczarka płytowa i prasa żyratorowa, H=5 i 10 cm i

D=10 cm) można wyciągnąć wnioski. Powtórzyła się występująca w większości przypadków zależność, że wraz z wykonywaniem obróbki powierzchniowej próbek następowało zwiększanie ich gęstości objętościowej, bez względu na metodę badania. Wzrost gęstości objętościowej zbadanej był większy w przypadku próbek w postaci płyt niż w przypadku próbek z prasy żyratorowej. Podobieństwo wyników uzyskiwanych metodami A i B sprawiło, że na poziomie dokładności oznaczenia uzyskano w niektórych przypadkach spadek gęstości objętościowej po obróbce powierzchniowej. Próbki odwiercane z płyt, według powszechnie stosowanej metody B zawsze odznaczały się wyższą gęstością. Ilościowo różnice te nawet przekraczały 20 kg/m^3 , co w danym przypadku spowodowało zmianę zawartości wolnych przestrzeni o -0,8 % (v/v).

Podsumowując, z zestawienia badań próbek płytowych i przygotowanych w prasie żyratorowej wynika, że próbki, które pierwotnie miały podobne gęstości objętościowe, po doprowadzeniu do tego samego stanu (odwiercenie i odcięcie podstaw) wykazują nieco odmienne cechy fizyczne. Tym razem próbki wykonane w zagęszczarce płytowej odznaczały się bardziej rozbudowaną teksturą, w stanie pierwotnym mogły mieć nieco wyższą gęstość objętościową w stosunku do wartości uzyskanej z badania.

Porównanie wyników badań próbek wykonanych w zagęszczarce płytowej oraz w prasie żyratorowej wraz z próbkami odwierconymi z tychże próbek (H=5 lub 10 cm i D=10 cm) zawarto w powyższych tablicach.

11.3) Analiza wpływu geometrii próbki

Wyniki badań próbek zestawiono w sposób umożliwiający przeanalizowanie, czy geometria próbki pierwotnej (a konkretnie wysokość), formowanej z tego samego materiału i przy użyciu tej samej energii zagęszczania, w tym samym urządzeniu zagęszczającym ma wpływ na wyniki. W tym celu zestawiono próbki o tej samej średnicy, ale różnych wysokościach, wykonane w prasie żyratorowej, dla których uzyskano podobne gęstości objętościowe według metody referencyjnej, czyli metody B. Wyniki te zestawiono z wynikami uzyskanymi na tych samych próbkach, ale po obróbce powierzchni bocznych. Zestawienie wyników badań próbek o średnicy 15 cm zawarto w tablicach 68-103.

Tablica 68. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2413	2429	2445	2413	2420	2441
	2409	2427	2441	2411	2421	2437
	2413	2435	2451	2416	2419	2434
	2416	2428	2442	2409	2423	2435
Śr.	2413	2430	2445	2412	2421	2437
Różnica	0 (0%)	17 (0,7%)	32 (1,3%)	0 (0%)	9 (0,4%)	25 (1%)

Tablica 69. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2413	2420	2441	2416	2397	2408
	2411	2421	2437	2422	2403	2421
	2416	2419	2434	2413	2403	2414
	2409	2423	2435	2413	2402	2417
Śr.	2412	2421	2437	2416	2401	2415
Różnica	0 (0%)	9 (0,4%)	25 (1%)	0 (0%)	-15 (-0,6%)	-1 (0%)

Tablica 70. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2371	2390	2408	2374	2383	2403
	2368	2389	2404	2361	2364	2379
	2362	2380	2398	2369	2374	2399
	2351	2376	2389	2350	2367	2390
Śr.	2363	2384	2400	2364	2372	2393
Różnica	0 (0%)	21 (0,9%)	37 (1,6%)	0 (0%)	8 (0,3%)	29 (1,2%)

Tablica 71. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z1510			Próbki Z155		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2374	2383	2403	2360	2355	2374
	2361	2364	2379	2370	2360	2383
	2369	2374	2399	2362	2359	2383
	2350	2367	2390	2374	2367	2395
Śr.	2364	2372	2393	2367	2360	2384
Różnica	0 (0%)	8 (0,3%)	29 (1,2%)	0 (0%)	-7 (-0,3%)	17 (0,7%)

Tablica 72. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2501	2530	2548	2491	2488	2500
	2499	2510	2524	2507	2504	2513
	2523	2526	2542	2513	2501	2510
	2520	2509	2522	2510	2505	2514
Śr.	2511	2519	2534	2505	2500	2509
Różnica	0 (0%)	8 (0,3%)	23 (0,9%)	0 (0%)	-5 (-0,2%)	4 (0,2%)

Tablica 73. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z1510		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
N	2393	2420	2437	2373	2397	2410
	2391	2424	2442	2398	2426	2442
	2361	2376	2391	2382	2406	2429
	2369	2391	2404	2389	2410	2428
Śr.	2379	2403	2419	2386	2410	2427
Różnica	0 (0%)	24 (1%)	40 (1,7%)	0 (0%)	24 (1%)	41 (1,7%)

Tablica 74. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2420	2431	2445	2416	2421	2441
	2414	2429	2442	2416	2423	2437
	2421	2437	2452	2421	2420	2435
	2422	2429	2443	2416	2424	2437
Śr.	2419	2432	2446	2417	2422	2438
Różnica	0 (0%)	13 (0,5%)	27 (1,1%)	0 (0%)	5 (0,2%)	21 (0,9%)

Tablica 75. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2416	2421	2441	2416	2398	2410
	2416	2423	2437	2419	2406	2423
	2421	2420	2435	2415	2404	2416
	2416	2424	2437	2418	2402	2415
Śr.	2417	2422	2438	2417	2403	2416
Różnica	0 (0%)	5 (0,2%)	21 (0,9%)	0 (0%)	-14 (-0,6%)	-1 (0%)

Tablica 76. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2420	2395	2411	2411	2387	2404
	2412	2391	2406	2405	2371	2382
	2400	2387	2398	2415	2390	2400
	2382	2378	2390	2411	2375	2393
Śr.	2404	2388	2401	2411	2381	2395
Różnica	0 (0%)	-16 (-0,7%)	-3 (-0,1%)	0 (0%)	-30 (-1,2%)	-16 (-0,7%)

Tablica 77. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2411	2387	2404	2402	2365	2378
	2405	2371	2382	2406	2366	2396
	2415	2390	2400	2378	2364	2383
	2411	2375	2393	2390	2375	2396
Śr.	2411	2381	2395	2394	2368	2388
Różnica	0 (0%)	-30 (-1,2%)	-16 (-0,7%)	0 (0%)	-26 (-1,1%)	-6 (-0,3%)

Tablica 78. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2503	2534	2541	2495	2494	2504
	2502	2514	2524	2506	2508	2516
	2521	2530	2544	2512	2505	2515
	2518	2513	2524	2515	2508	2518
Śr.	2511	2523	2533	2507	2504	2513
Różnica	0 (0%)	12 (0,5%)	22 (0,9%)	0 (0%)	-3 (-0,1%)	6 (0,2%)

Tablica 79. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
N	2406	2427	2438	2391	2405	2416
	2406	2424	2443	2415	2430	2442
	2377	2403	2395	2395	2416	2433
	2393	2373	2411	2400	2420	2429
Śr.	2396	2407	2422	2400	2418	2430
Różnica	0 (0%)	11 (0,5%)	26 (1,1%)	0 (0%)	18 (0,8%)	30 (1,2%)

Tablica 80. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2376	2410	2431	2362	2395	2397
	2379	2405	2427	2367	2398	2404
	2375	2278	2436	2370	2398	2392
	2379	2411	2431	2379	2407	2403
Śr.	2377	2376	2431	2370	2400	2399
Różnica	0 (0%)	-1 (0%)	54 (2,3%)	0 (0%)	30 (1,3%)	29 (1,2%)

Tablica 81. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2362	2395	2397	2368	2353	2246
	2367	2398	2404	2373	2348	2126
	2370	2398	2392	2372	2345	2023*
	2379	2407	2403	2374	2318	2276
Śr.	2370	2400	2399	2372	2341	2168
Różnica	0 (0%)	30 (1,3%)	29 (1,2%)	0 (0%)	-31 (-1,3%)	-204 (-8,6%)

* wynik wątpliwy

Tablica 82. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2312	2367	2393	2303	2355	2379
	2309	2367	2391	2276	2322	2359
	2313	2357	2383	2292	2343	2380
	2307	2354	2378	2283	2335	2369
Śr.	2310	2361	2386	2289	2339	2372
Różnica	0 (0%)	51 (2,2%)	76 (3,3%)	0 (0%)	50 (2,2%)	83 (3,5%)

Tablica 83. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2303	2355	2379	2291	2291	2301
	2276	2322	2359	2304	2316	2321
	2292	2343	2380	2313	2291	2218
	2283	2335	2369	2300	2321	2350
Śr.	2289	2339	2372	2302	2305	2298
Różnica	0 (0%)	50 (2,2%)	83 (3,5%)	0 (0%)	3 (0,1%)	-4 (-0,2%)

Tablica 84. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2438	2463	2503	2426	2391	2837
	2434	2473	2503	2444	2418	2479
	2451	2490	2506	2448	2402	2392
	2454	2473	2500	2453	2409	2417
Śr.	2444	2475	2503	2443	2405	2531
Różnica	0 (0%)	31 (1,3%)	59 (2,4%)	0 (0%)	-38 (-1,6%)	88 (3,6%)

Tablica 85. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
N	2353	2400	2421	2310	2369	2384
	2332	2400	2389	2340	2399	2418
	2210	2349	2373	2326	2374	2408
	2226	2360	2384	2329	2374	2400
Śr.	2280	2377	2392	2326	2379	2403
Różnica	0 (0%)	97 (4,3%)	112 (4,9%)	0 (0%)	53 (2,3%)	77 (3,2%)

Analiza wyników badań próbek o różnej wysokości, o tej samej średnic 15 cm i tym samym stanie powierzchni bocznej nie przyniosła jednoznacznych wniosków. Można zaobserwować, że z reguły próbki o najmniejszej wysokości charakteryzowały się mniejszymi różnicami gęstości objętościowej po obróbce powierzchni bocznych. Próbki o wysokości 5 cm zmieniały gęstość objętościową metodą B w zakresie do 30 kg/m³. Próbki o wysokości 10 i 15 cm przekraczały różnicę gęstości objętościowej metodą B po obróbce powierzchni o więcej niż 30 kg/m³. Przy metodach pomiaru C i D różnice te dochodziły nawet do 80 kg/m³.

Tablica 86. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2376	2410	2431	2362	2395	2397
	2379	2405	2427	2367	2398	2404
	2375	2278	2436	2370	2398	2392
	2379	2411	2431	2379	2407	2403
Śr.	2377	2376	2431	2370	2400	2399
Różnica	0 (0%)	-1 (0%)	54 (2,3%)	0 (0%)	30 (1,3%)	29 (1,2%)

Tablica 87. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2362	2395	2397	2368	2353	2246
	2367	2398	2404	2373	2348	2126
	2370	2398	2392	2372	2345	2023
	2379	2407	2403	2374	2318	2276
Śr.	2370	2400	2399	2372	2341	2168
Różnica	0 (0%)	30 (1,3%)	29 (1,2%)	0 (0%)	-31 (-1,3%)	-204 (-8,6%)

Tablica 88. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2312	2367	2393	2303	2355	2379
	2309	2367	2391	2276	2322	2359
	2313	2357	2383	2292	2343	2380
	2307	2354	2378	2283	2335	2369
Śr.	2310	2361	2386	2289	2339	2372
Różnica	0 (0%)	51 (2,2%)	76 (3,3%)	0 (0%)	50 (2,2%)	83 (3,5%)

Tablica 89. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2303	2355	2379	2291	2291	2301
	2276	2322	2359	2304	2316	2321
	2292	2343	2380	2313	2291	2218
	2283	2335	2369	2300	2321	2350
Śr.	2289	2339	2372	2302	2305	2298
Różnica	0 (0%)	50 (2,2%)	83 (3,5%)	0 (0%)	3 (0,1%)	-4 (-0,2%)

Tablica 90. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z15.10			Próbki Z15.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2438	2463	2503	2426	2391	2837
	2434	2473	2503	2444	2418	2479
	2451	2490	2506	2448	2402	2392
	2454	2473	2500	2453	2409	2417
Śr.	2444	2475	2503	2443	2405	2531
Różnica	0 (0%)	31 (1,3%)	59 (2,4%)	0 (0%)	-38 (-1,6%)	88 (3,6%)

Tablica 91. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z15.15			Próbki Z15.10		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
N	2353	2400	2421	2310	2369	2384
	2332	2400	2389	2340	2399	2418
	2210	2349	2373	2326	2374	2408
	2226	2360	2384	2329	2374	2400
Śr.	2280	2377	2392	2326	2379	2403
Różnica	0 (0%)	97 (4,3%)	112 (4,9%)	0 (0%)	53 (2,3%)	77 (3,2%)

Tablica 92. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2411	2422	2437	2423	2426	2441
	2412	2424	2434	2402	2411	2422
	2410	2427	2437	2422	2433	2442
	2413	2429	2439	2424	2444	2458
Śr.	2412	2426	2437	2418	2429	2441
Różnica	0 (0%)	14 (0,6%)	25 (1%)	0 (0%)	11 (0,5%)	23 (0,9%)

Tablica 93. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2364	2377	2376	2360	2381	2393
	2360	2367	2377	2372	2379	2393
	2356	2369	2380	2358	2352	2359
	2357	2371	2378	2367	2351	2362
Śr.	2359	2371	2378	2364	2366	2377
Różnica	0 (0%)	12 (0,5%)	19 (0,8%)	0 (0%)	2 (0,1%)	13 (0,5%)

Tablica 94. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą B

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2520	2521	2539	2513	2516	2530
	2525	2533	2548	2520	2527	2546
	2512	2521	2534	2513	2528	2544
	2515	2523	2537	2513	2526	2541
Śr.	2518	2524	2540	2515	2524	2540
Różnica	0 (0%)	6 (0,2%)	22 (0,9%)	0 (0%)	9 (0,4%)	25 (1%)

Tablica 95. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2418	2425	2437	2425	2425	2441
	2418	2427	2434	2409	2409	2421
	2417	2426	2436	2429	2432	2442
	2418	2433	2439	2427	2445	2429
Śr.	2418	2428	2437	2423	2428	2433
Różnica	0 (0%)	10 (0,4%)	19 (0,8%)	0 (0%)	5 (0,2%)	10 (0,4%)

Tablica 96. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą A

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2408	2383	2387	2414	2392	2398
	2413	2382	2389	2419	2397	2402
	2406	2384	2390	2422	2374	2377
	2398	2376	2382	2455	2411	2414
Śr.	2406	2381	2387	2428	2394	2398
Różnica	0 (0%)	-25 (-1%)	-19 (-0,8%)	0 (0%)	-34 (-1,4%)	-30 (-1,3%)

Tablica 97. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2522	2524	2536	2521	2521	2531
	2525	2537	2550	2527	2533	2549
	2509	2525	2533	2521	2533	2548
	2516	2524	2537	2516	2527	2542
Śr.	2518	2528	2539	2521	2529	2543
Różnica	0 (0%)	10 (0,4%)	21 (0,8%)	0 (0%)	8 (0,3%)	22 (0,9%)

Tablica 98. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2361	2357	2416	2334	2157	2384
	2359	2391	2409	2328	2141	2371
	2345	2376	2416	2335	2284	2394
	2354	2344	2411	2346	2260	2391
Śr.	2355	2367	2413	2336	2211	2385
Różnica	0 (0%)	12 (0,5%)	58 (2,5%)	0 (0%)	-125 (-5,4%)	49 (2,1%)

Tablica 99. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2277	2320	2343	2253	2157	2333
	2281	2318	2344	2244	2261	2344
	2285	2322	2354	2230	2246	2306
	2287	2306	2347	2186	1946	2265
Śr.	2283	2317	2347	2228	2153	2312
Różnica	0 (0%)	34 (1,5%)	64 (2,8%)	0 (0%)	-75 (-3,4%)	84 (3,6%)

Tablica 100. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą C

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2447	2476	2518	2404	2393	2453
	2466	2386	2531	2396	2351	2462
	2437	2473	2515	2392	2371	2458
	2442	2462	2519	2392	2333	2482
Śr.	2448	2449	2521	2396	2362	2464
Różnica	0 (0%)	1 (0%)	73 (3%)	0 (0%)	-34 (-1,4%)	68 (2,8%)

Tablica 101. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
W	2371	2389	2427	2347	2357	2435
	2364	2381	2417	2338	2357	2432
	2347	2383	2423	2357	2362	2469
	2358	2370	2412	2370	2396	2415
Śr.	2360	2381	2420	2353	2368	2438
Różnica	0 (0%)	21 (0,9%)	60 (2,5%)	0 (0%)	15 (0,6%)	85 (3,5%)

Tablica 102. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
Y	2263	2285	2325	2252	2266	2318
	2275	2284	2330	2235	2259	2323
	2287	2311	2344	2212	2235	2287
	2287	2306	2339	2152	2112	2137
Śr.	2278	2297	2335	2213	2218	2266
Różnica	0 (0%)	19 (0,8%)	57 (2,5%)	0 (0%)	5 (0,2%)	53 (2,3%)

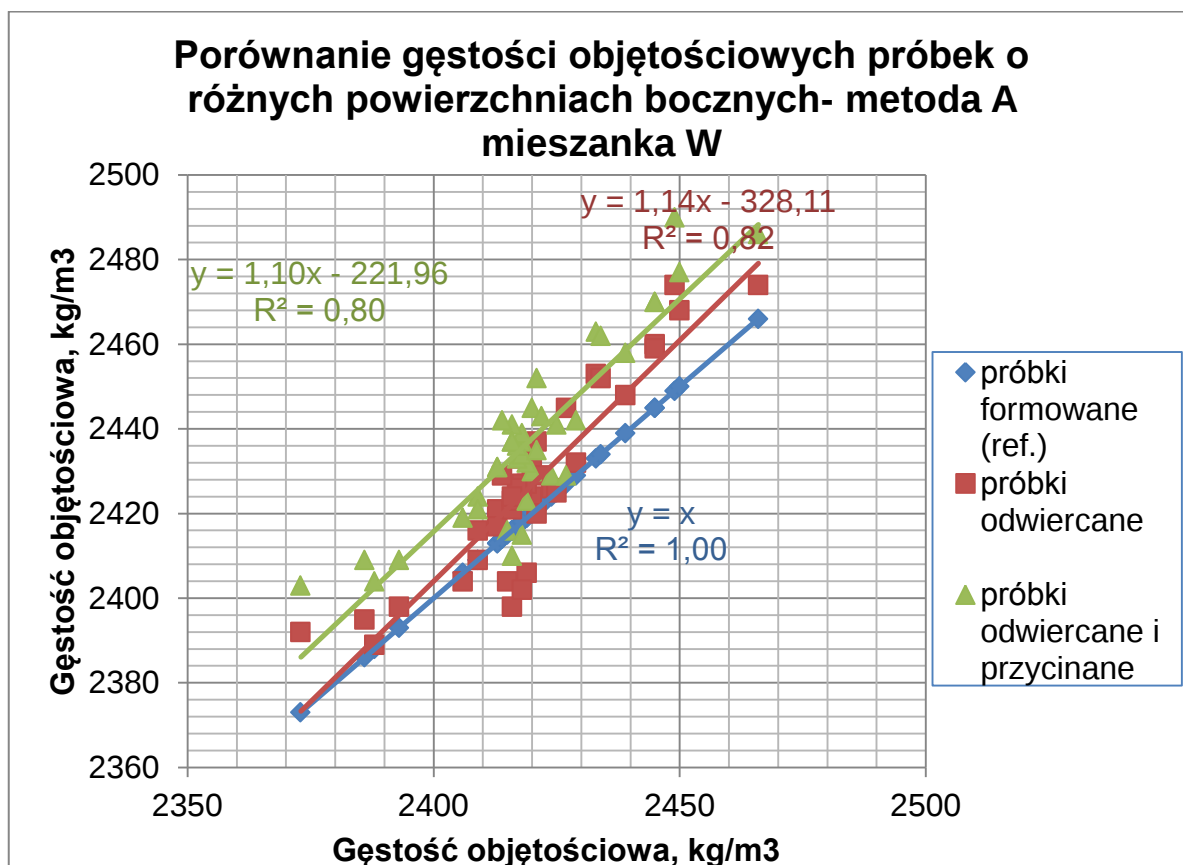
Tablica 103. Porównanie metod zagęszczania, gęstość objętościowa metodą D

TN246	Próbki Z10.10			Próbki Z10.5		
	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta	formowana	odwiercona	odwiercona przycięta
S	2419	2483	2520	2382	2432	2482
	2444	2491	2528	2385	2449	2507
	2412	2473	2517	2391	2454	2523
	2414	2466	2516	2387	2465	2512
Śr.	2422	2478	2520	2386	2450	2506
Różnica	0 (0%)	56 (2,3%)	98 (4%)	0 (0%)	64 (2,7%)	120 (4,8%)

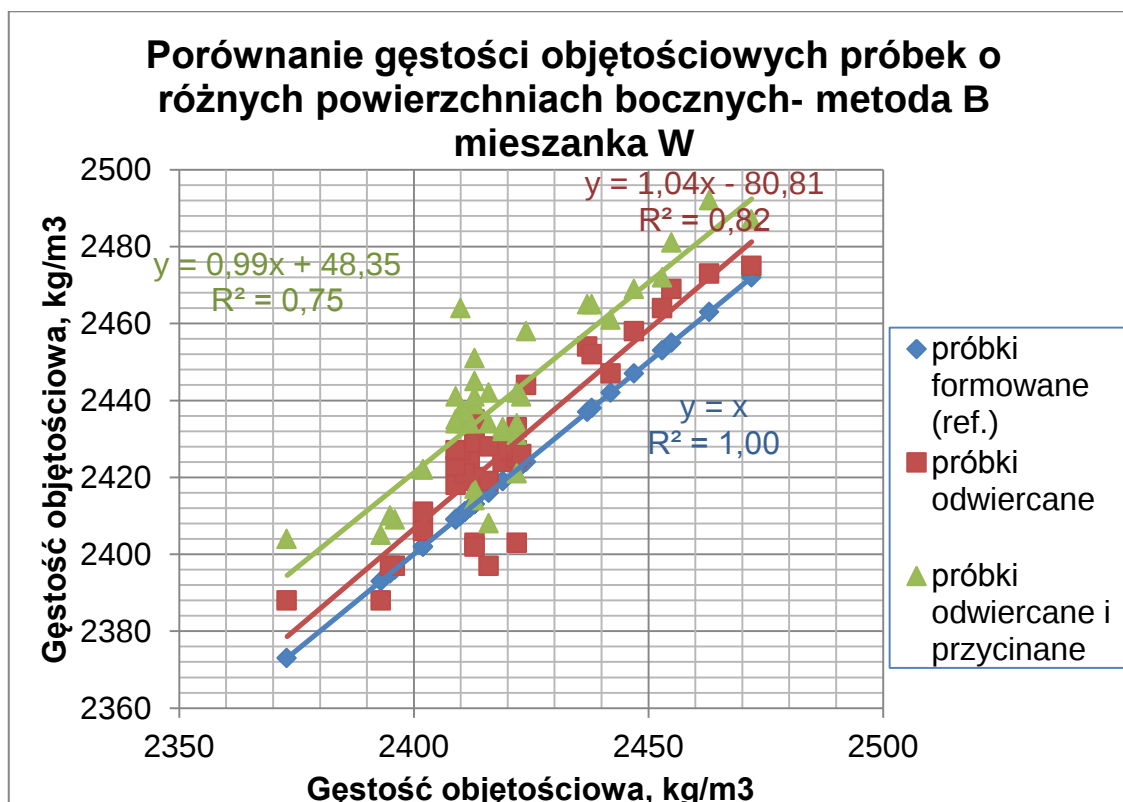
Analiza wyników badań próbek o różnej wysokości, o tej samej średnicy 10 cm i tym samym stanie powierzchni bocznej nie przyniosła jednoznacznych wniosków. Próbki o wysokości 5 cm zmieniały gęstość objętościową metodą B w zakresie do 30 kg/m³. Próbki o wysokości 10 i 15 cm przekraczały różnicę gęstości objętościowej metodą B po obróbce powierzchni o więcej niż 30 kg/m³. Przy metodach pomiaru C i D różnice te dochodziły nawet do 120 kg/m³. Wyniki według metody C charakteryzowały się największą zmiennością.

11.4) Analiza wpływu stanu powierzchni próbki

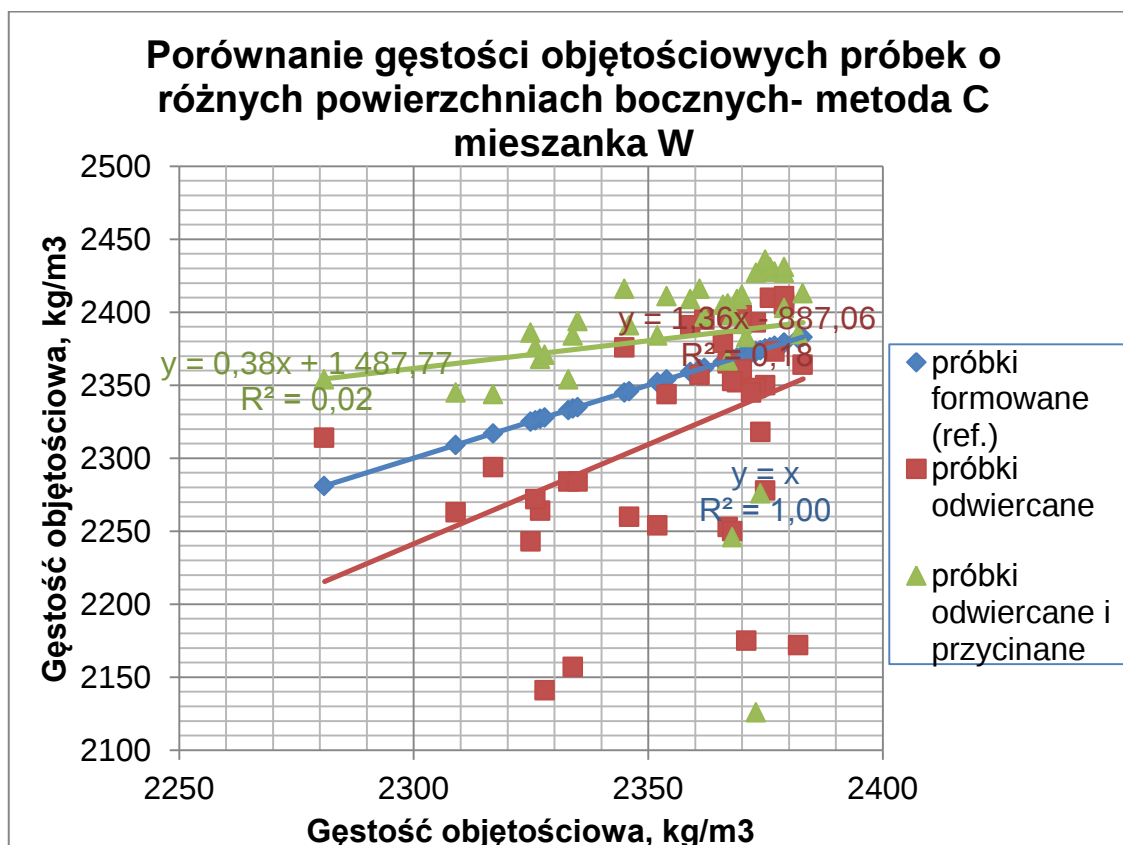
Wyniki badań próbek zestawiono w sposób umożliwiający przeanalizowanie, czy stan powierzchni próbki pierwotnej, miał wpływ na wyniki badań. Zestawiono wyniki badań próbek pierwotnych, próbek odwierconych z próbek pierwotnych oraz próbek odwierconych oraz z odciętymi podstawami. Na rysunkach 2-17 przedstawiono zestawienie wszystkich próbek zbadanych w ramach tematu, spełniających wymienione kryteria.



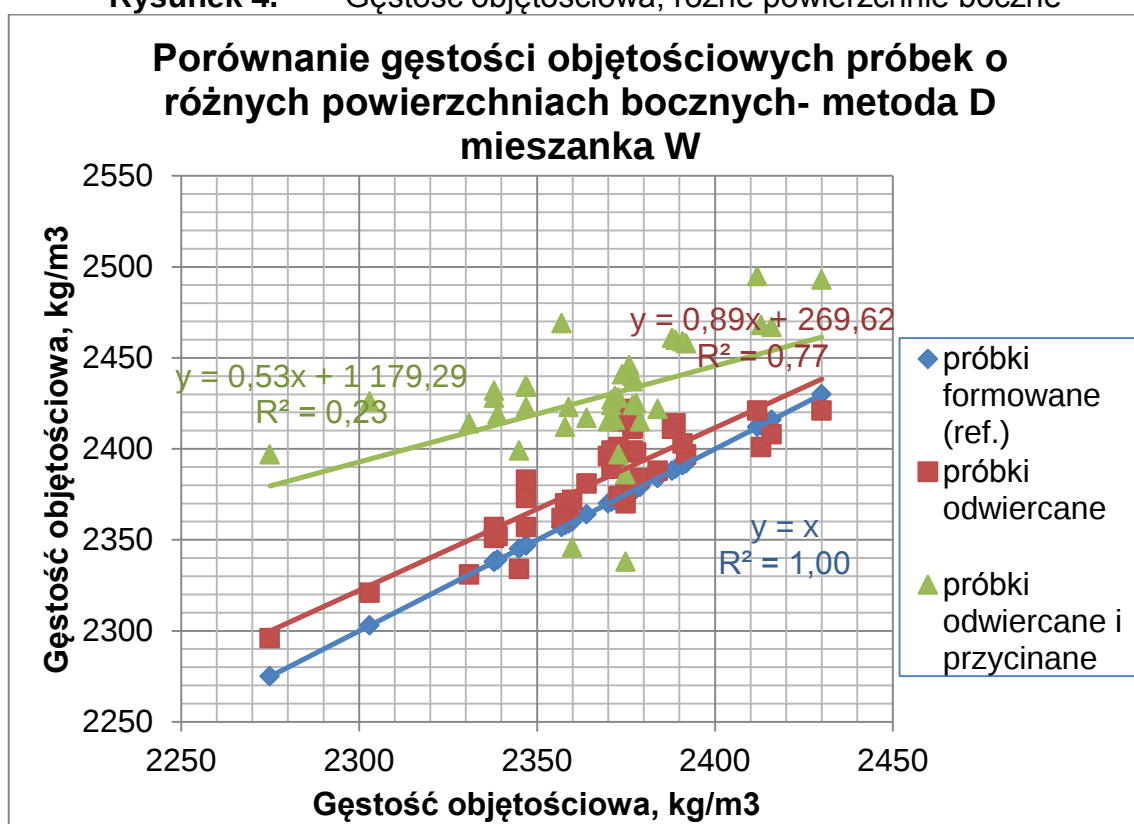
Rysunek 2. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne



Rysunek 3. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

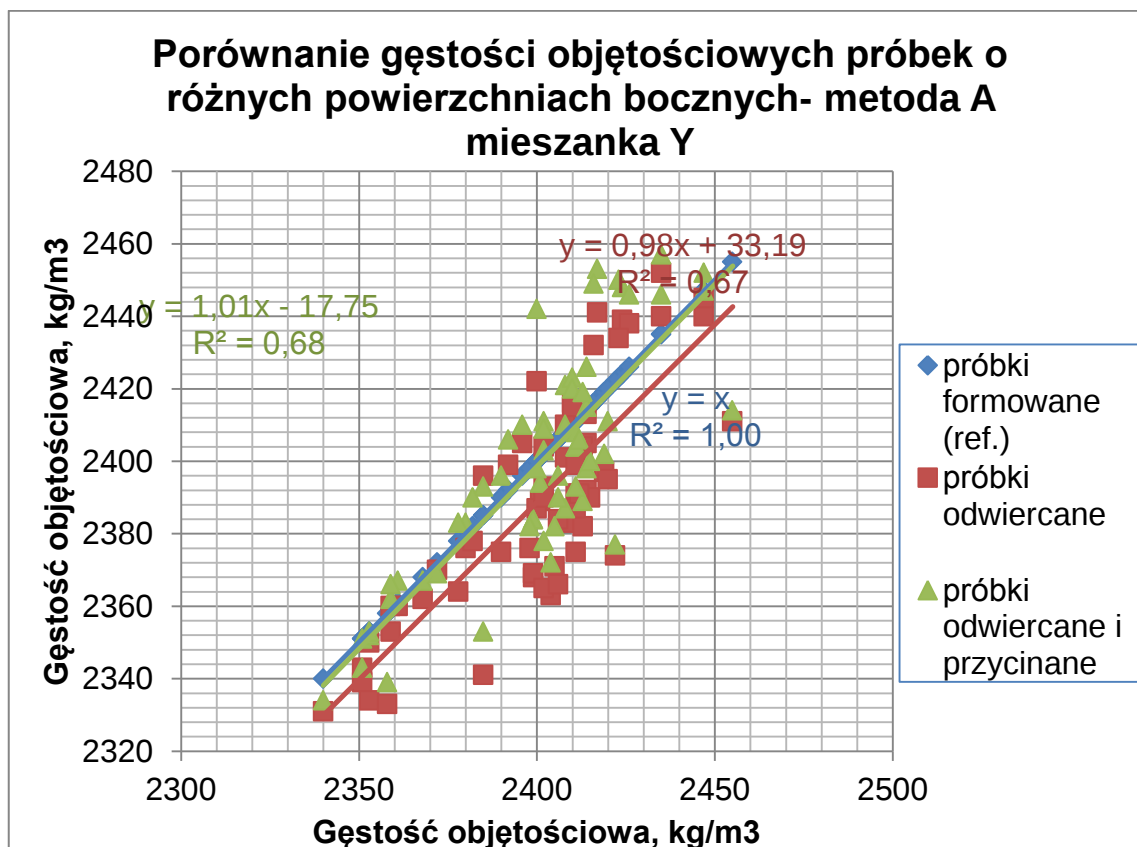


Rysunek 4. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

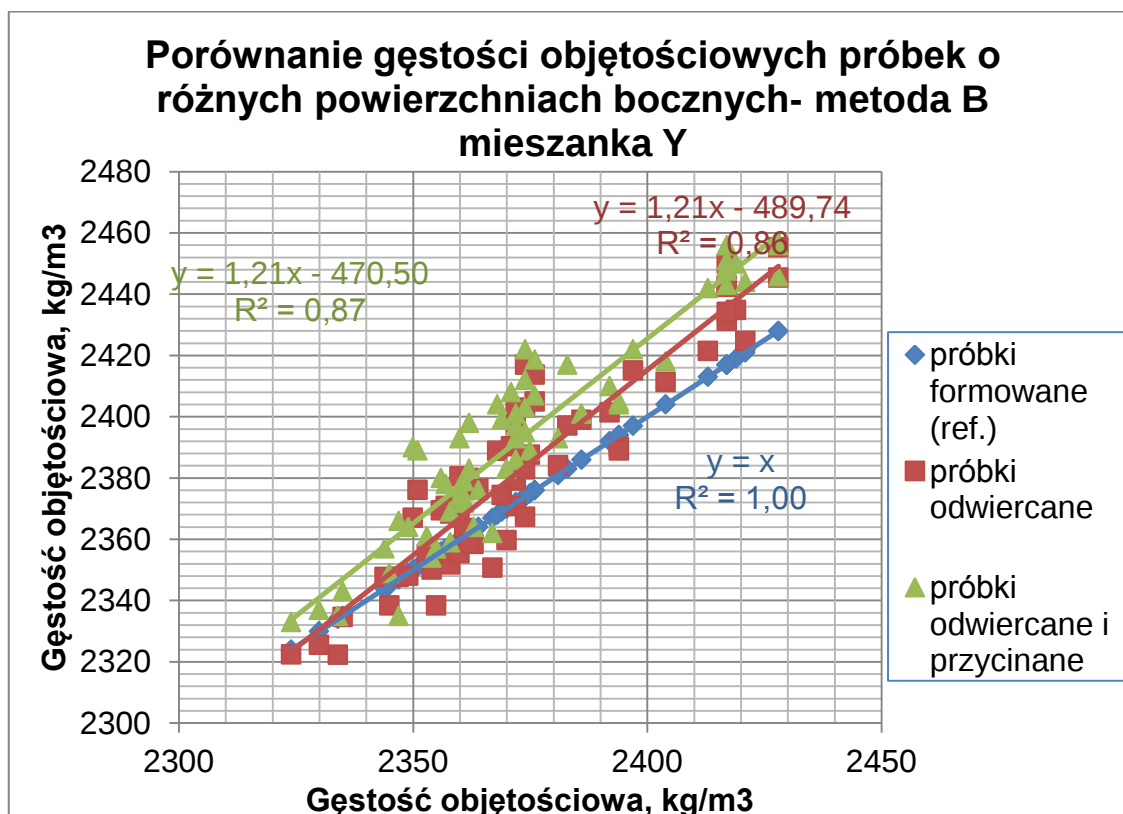


Rysunek 5. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

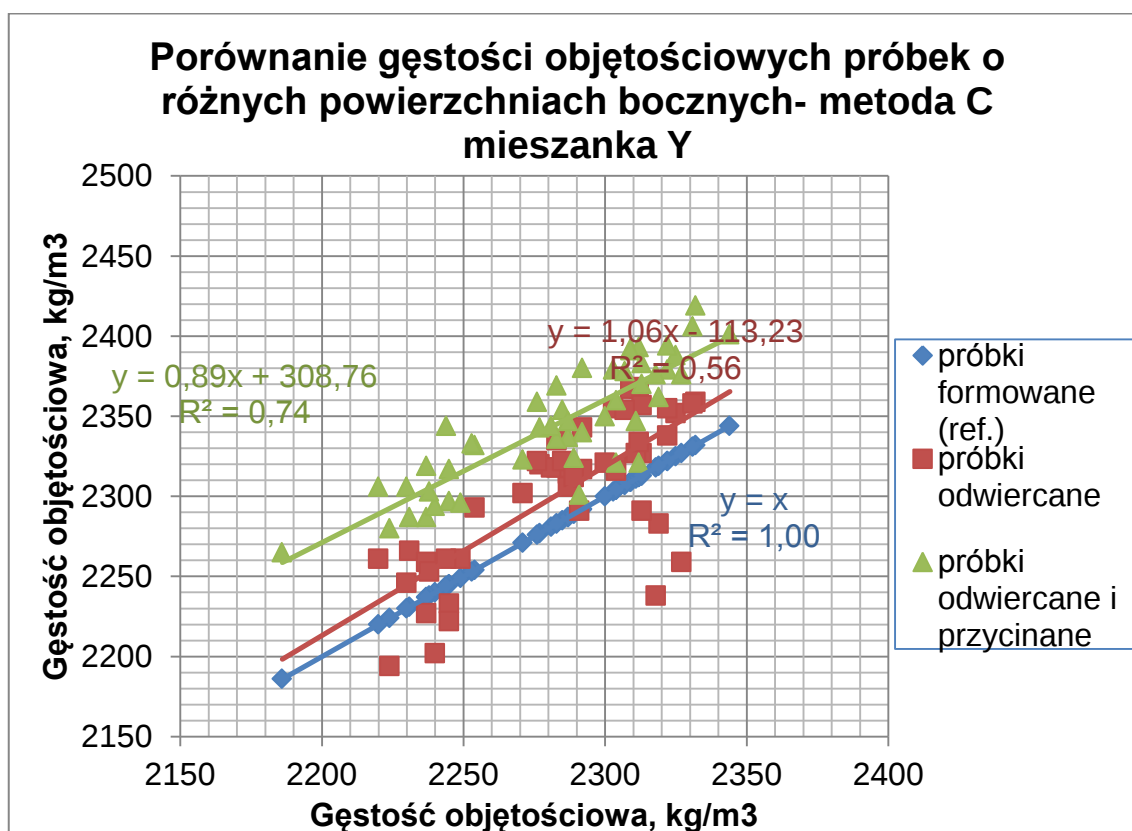
Mieszanka W wykazywała stałą tendencję przyrostu gęstości objętościowej metodą A i B wraz z obróbką powierzchni bocznej próbek. Różnica ta wynosiła średnio ok. 15 kg/m³ przy gęstościach objętościowych rzędu 2370 kg/m³, oraz ok. 20 kg/m³ przy gęstościach objętościowych rzędu 2460 kg/m³. Metoda C wykazała bardzo duże odchyłki i rozrzut wyników uniemożliwiający analizę. W przypadku próbek badanych metodą D różnice w gęstościach objętościowych były znaczne. Różnica między próbkami formowanymi a odwiercanymi i ciętymi wyniosła 90 kg/m³ przy gęstości objętościowej ok. 2275 kg/m³ i malała do 30 kg/m³ w przy gęstości objętościowej ok. 2430 kg/m³. We wszystkich metoda oprócz metody C zależność gęstości objętościowej od stanu powierzchni próbki była następująca: najniższą gęstość osiągały próbki pierwotne, gęstsze były próbki odwiercane (ale o gęstości objętościowej zbliżonej do gęstości obj. próbek formowanych) a najgęstsze były próbki odwiercane i odcinane.



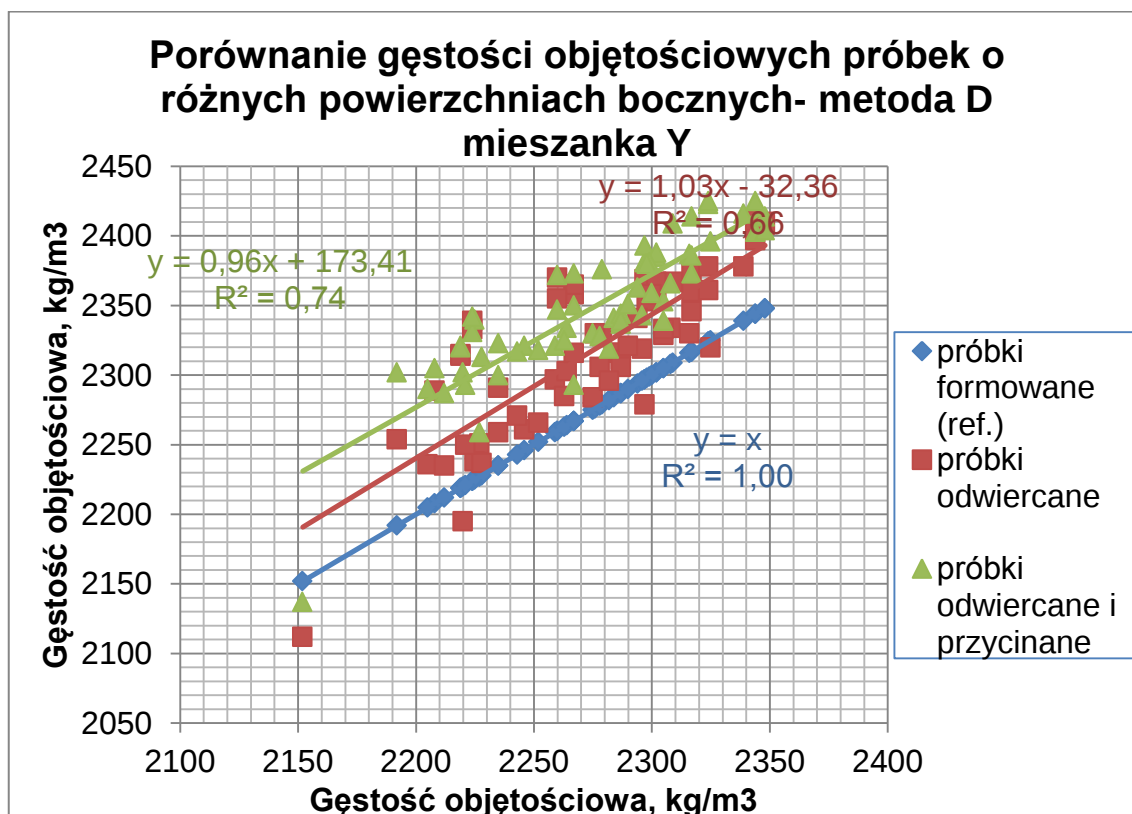
Rysunek 6. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne



Rysunek 7. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

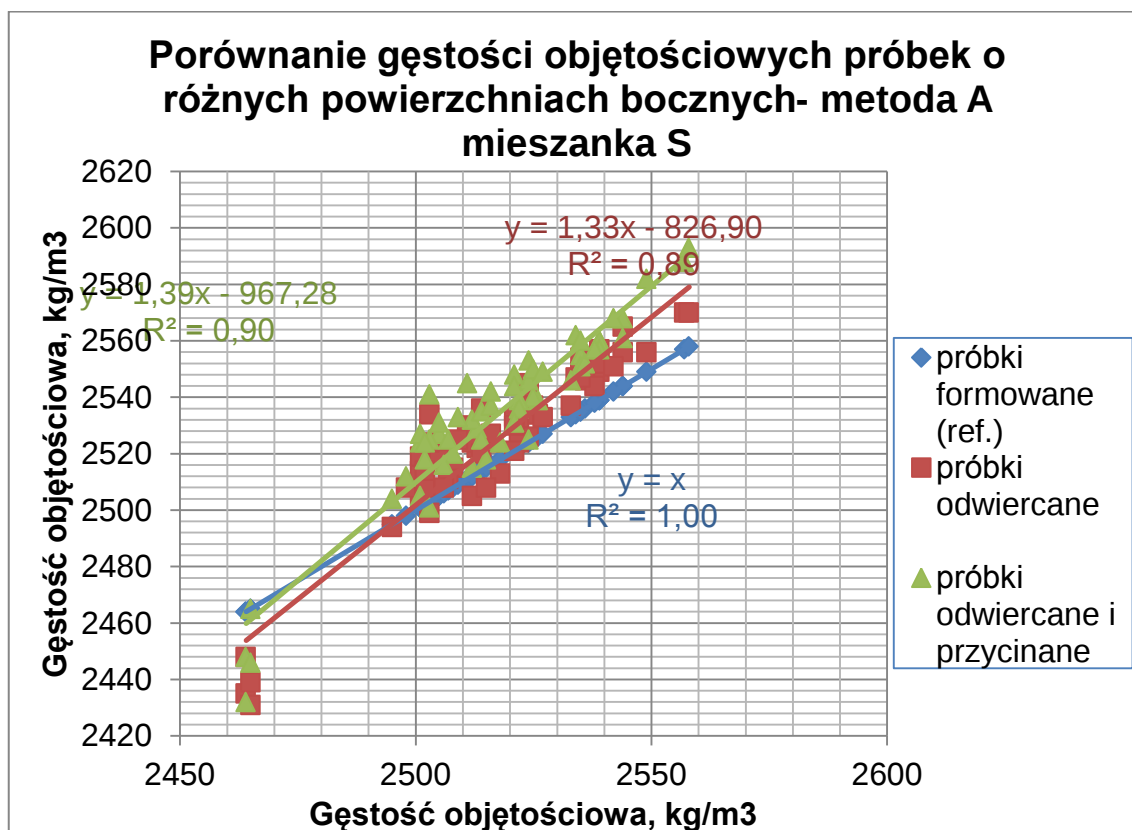


Rysunek 8. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

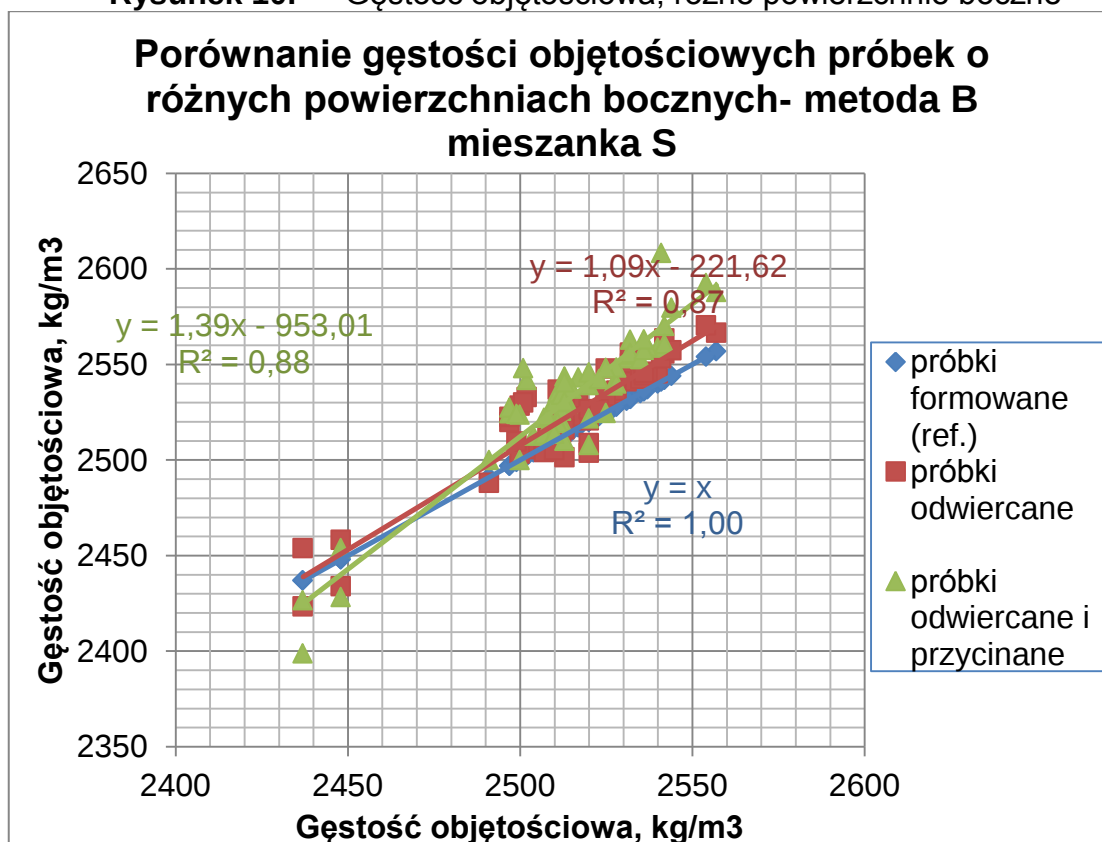


Rysunek 9. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

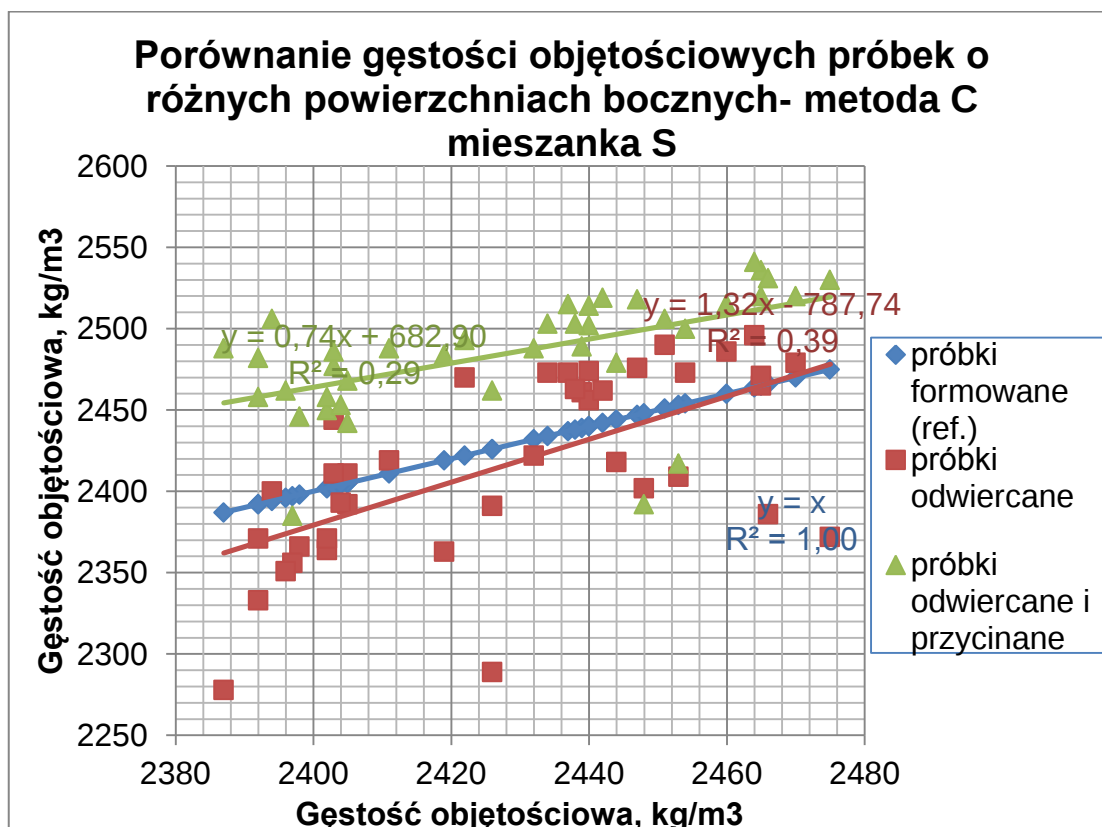
Mieszanka Y wykazywała stałą tendencję przyrostu gęstości objętościowej metodą C i D wraz z obróbką powierzchni bocznej próbek. Różnica ta wynosiła średnio ok. 70 kg/m^3 bez względu na gęstość objętościową. Metoda A wykazała bardzo duże odchyłki i rozrzut wyników uniemożliwiający analizę. W przypadku próbek badanych metodą B różnice wynosiły zależnie od gęstości objętościowej od ok. 20 kg/m^3 do ok. 40 kg/m^3 . We wszystkich metoda oprócz metody A zależność gęstości objętościowej od stanu powierzchni próbki była następująca: najniższą gęstość osiągały próbki pierwotne, gęstsze były próbki odwiercane (ale o gęstości objętościowej zbliżonej do gęstości obj. próbek formowanych) a najgęstsze były próbki odwiercane i odcinane.



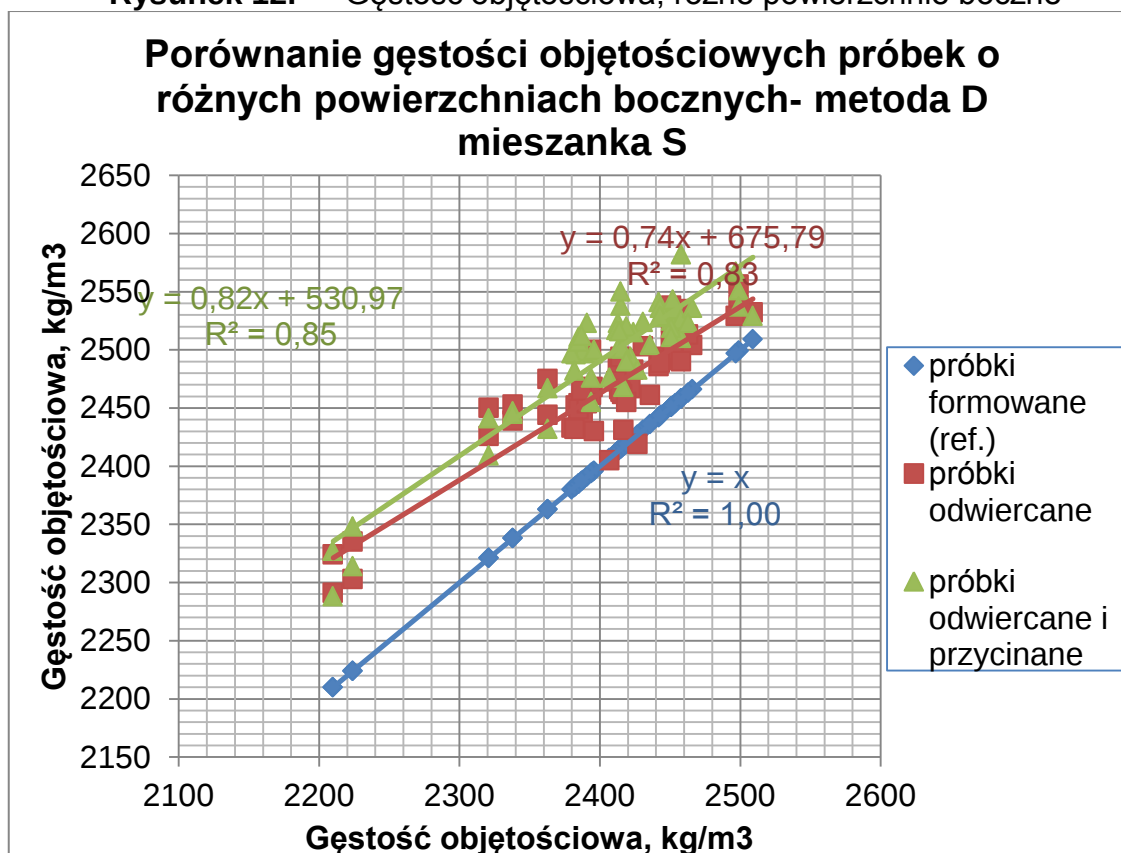
Rysunek 10. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne



Rysunek 11. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

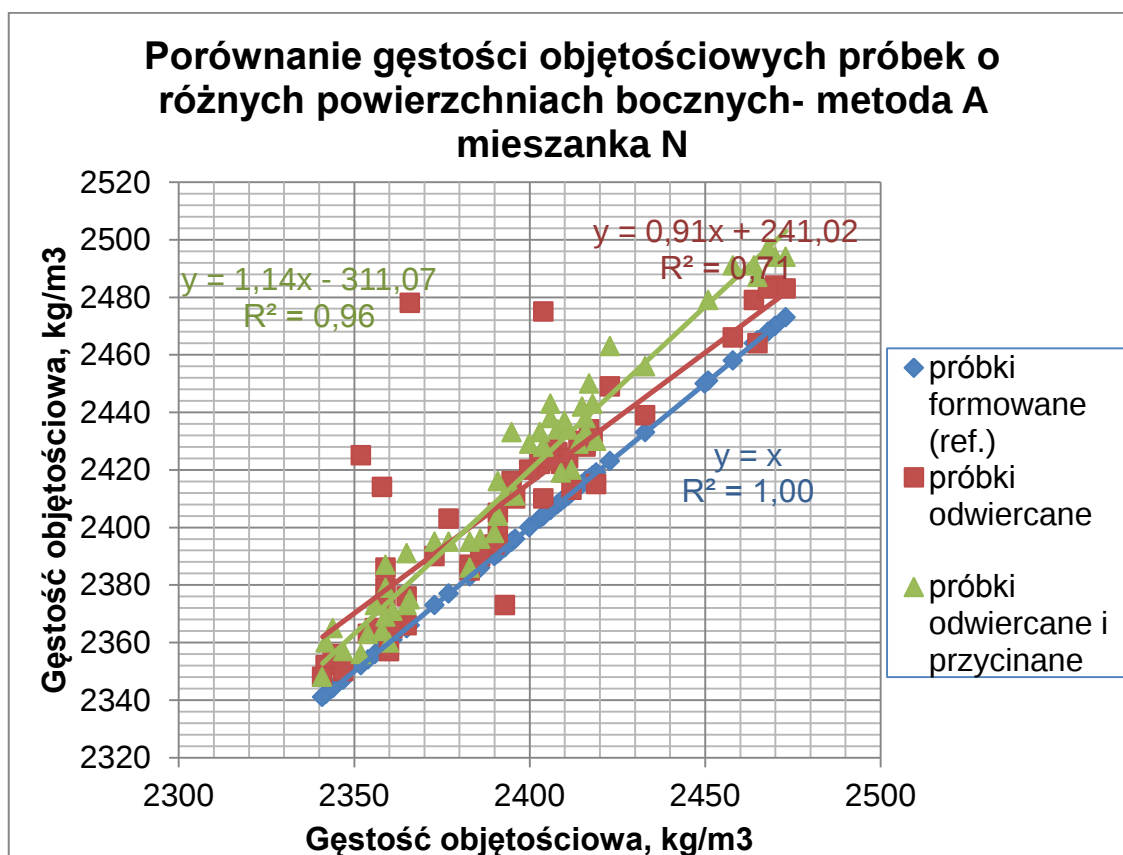


Rysunek 12. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

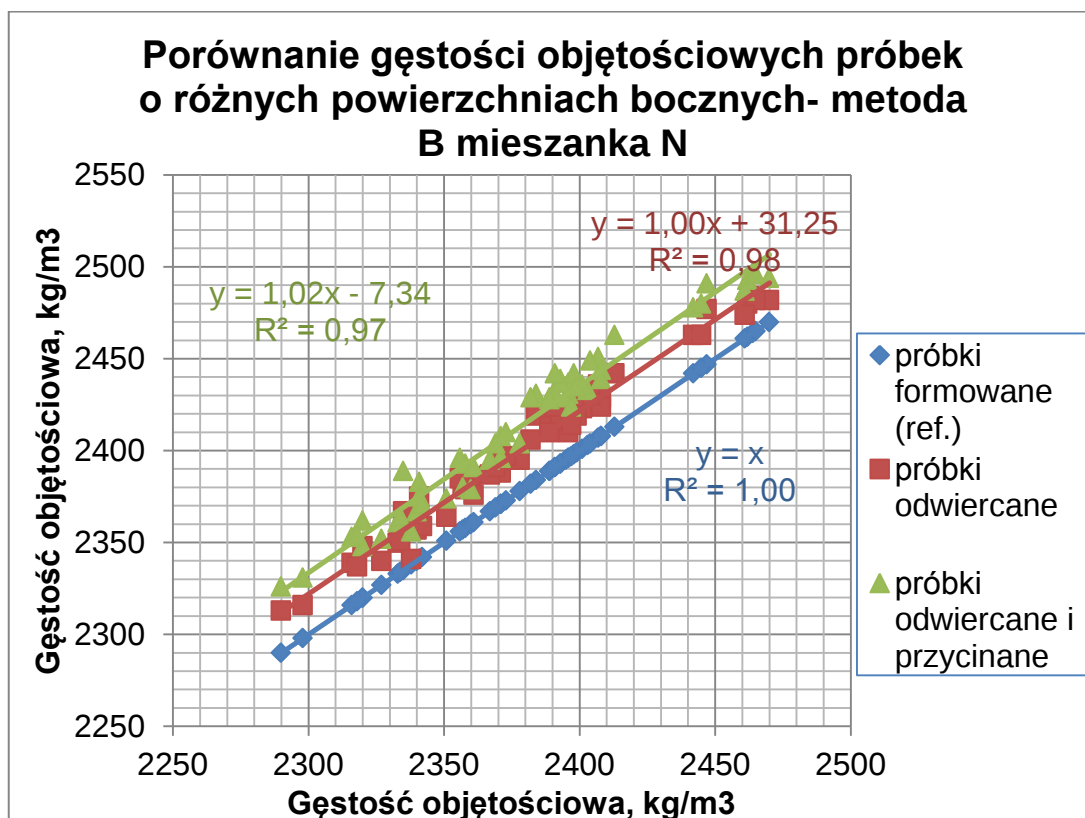


Rysunek 13. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne

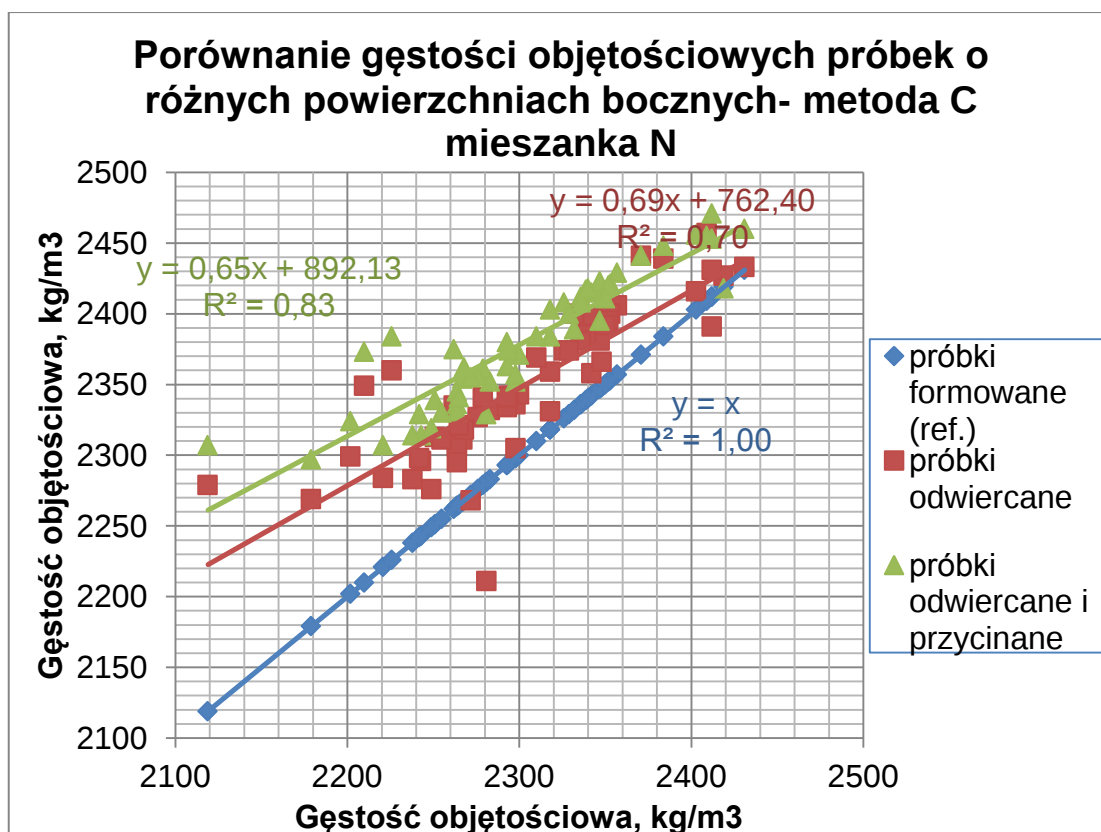
Mieszanka S wykazywała stałą tendencję przyrostu gęstości objętościowej metodą A, B i D i zaobserwowano charakter różnic z poprzednich mieszanek. Znaczne rozrzuty wyników uzyskano metodą C, co uniemożliwiało analizę.



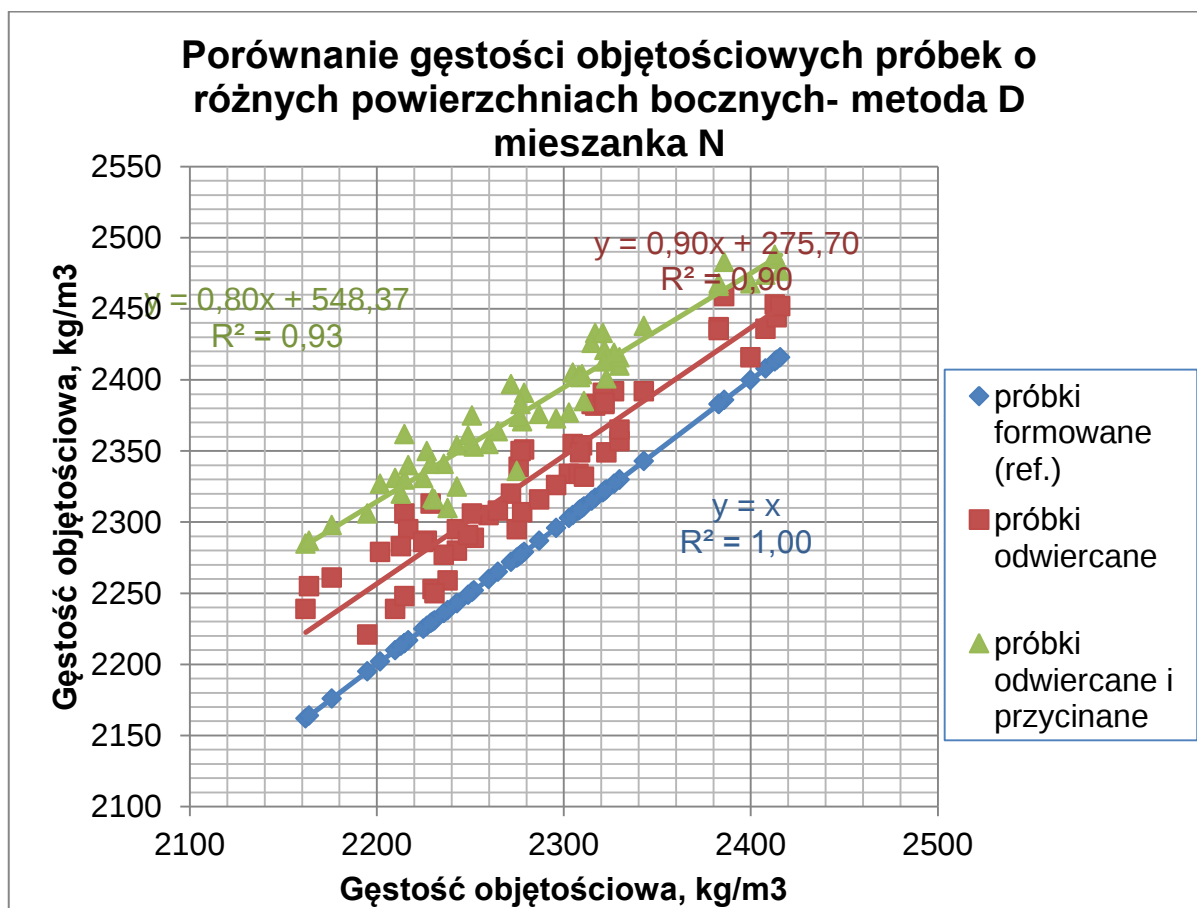
Rysunek 14. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne



Rysunek 15. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne



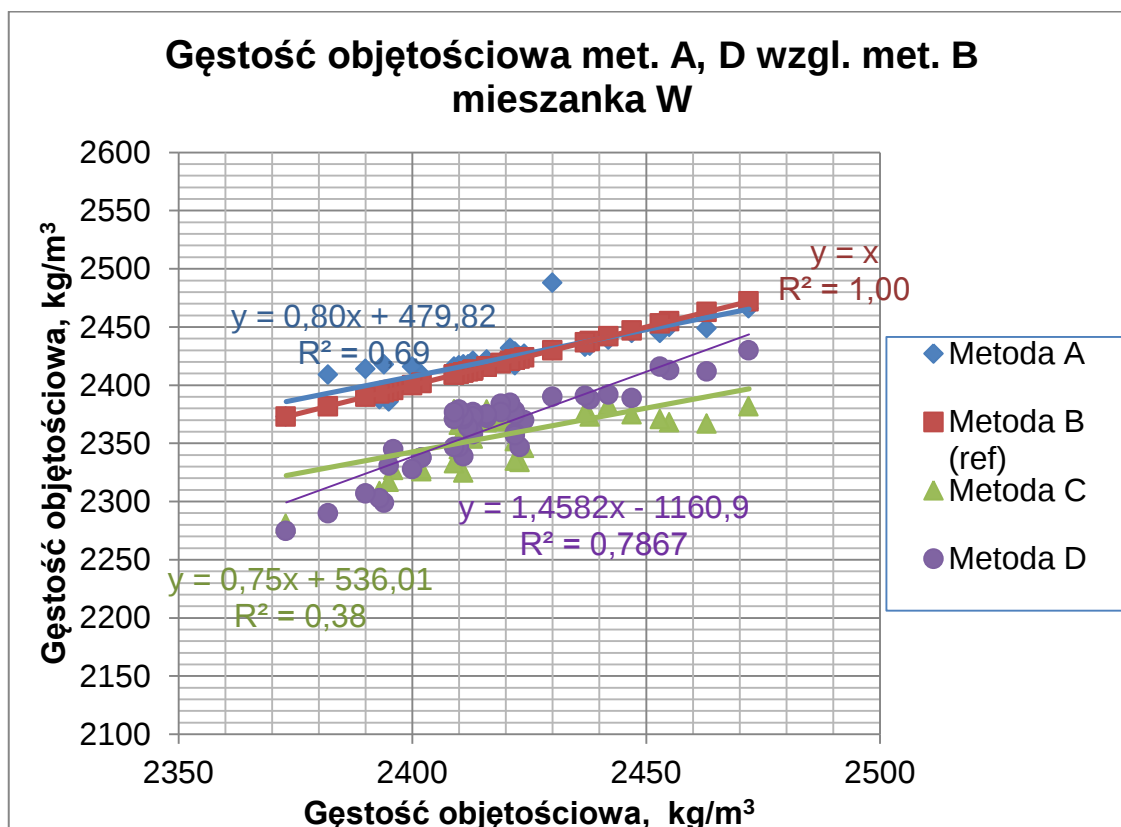
Rysunek 16. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne



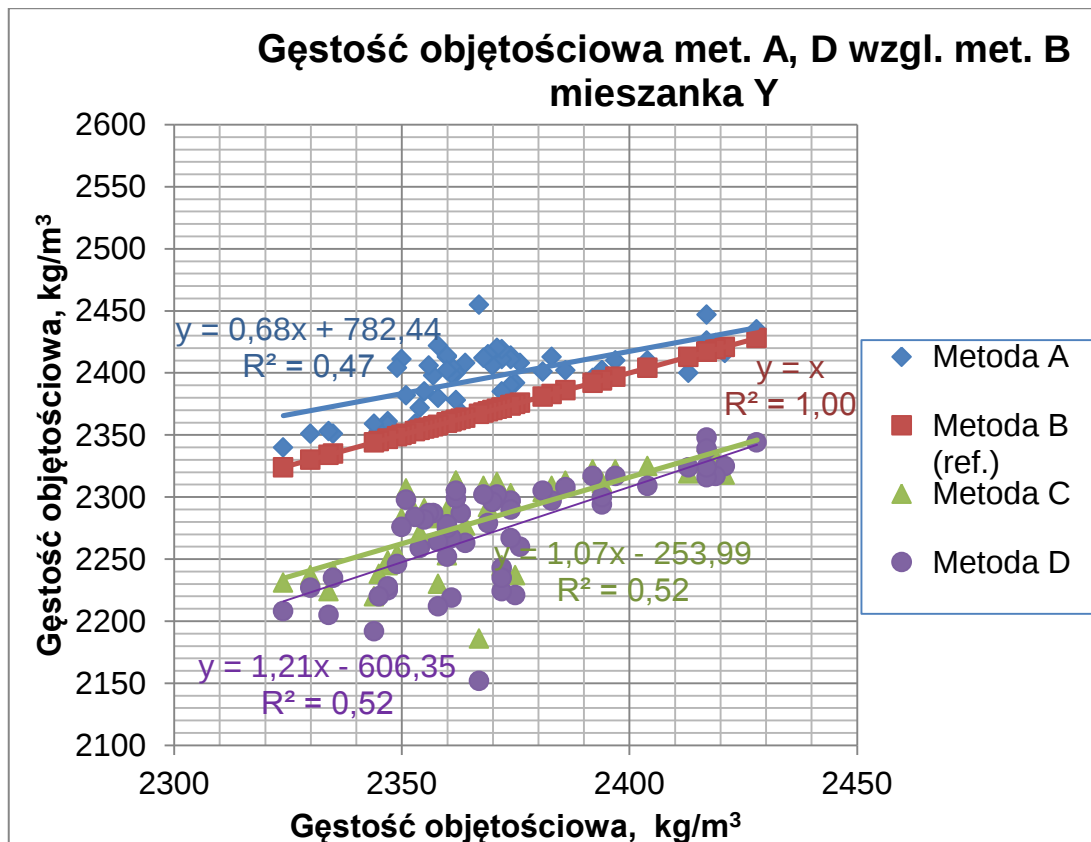
Rysunek 17. Gęstość objętościowa, różne powierzchnie boczne
Mieszanka N wykazywała stałą tendencję przyrostu gęstości objętościowej wszystkimi metodami pomiaru gęstości objętościowej. Uzyskano dobre współczynniki korelacji.

11.5) Analiza wpływu metody badania na wynik badania

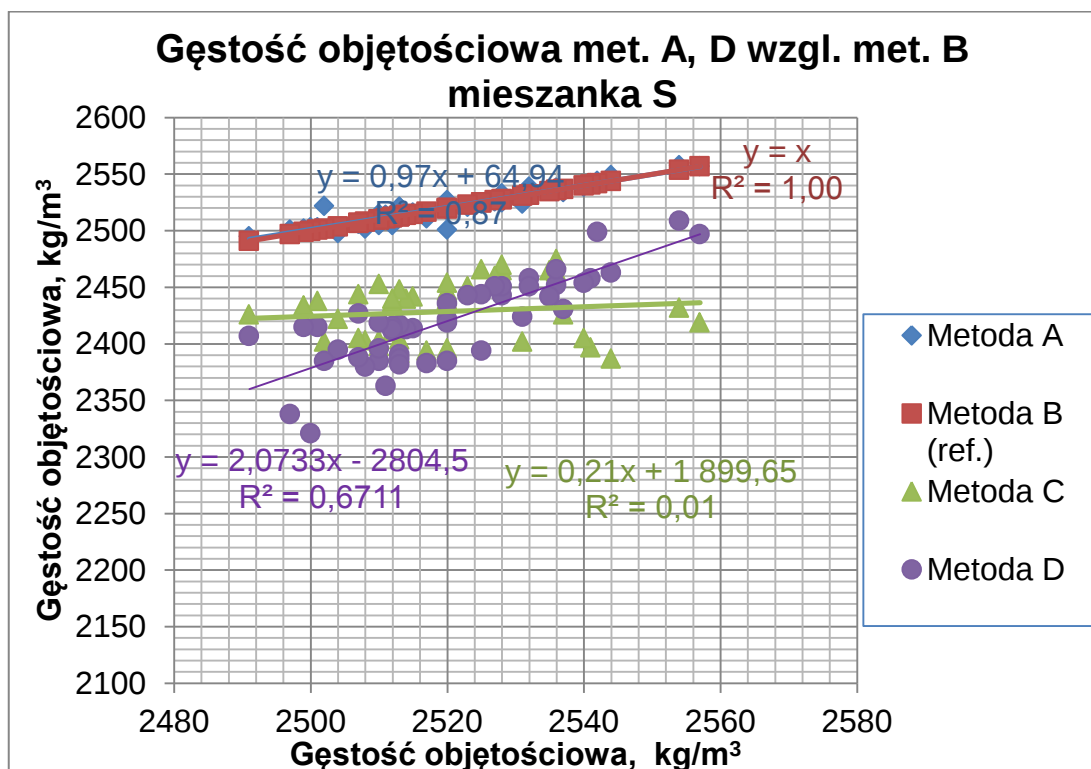
Wyniki badań próbek formowanych, o nieobrabianych powierzchniach bocznych zestawiono w sposób umożliwiający przeanalizowanie wpływu zastosowanej metody badania na wynik. Na wykresy naniesiono wyniki badań gęstości objętościowej metodami A, B, C i D. Każdą z metod odniesiono do metody referencyjnej czyli metody B. Uzyskano w ten sposób zależność pomiędzy metodą A, B i D a metodą B. Odnosząc wyniki metodą B do siebie samej uzyskano na wykresie linię równości (opisaną funkcją $y=x$). Na rysunkach 18-21 przedstawiono wyniki badań.



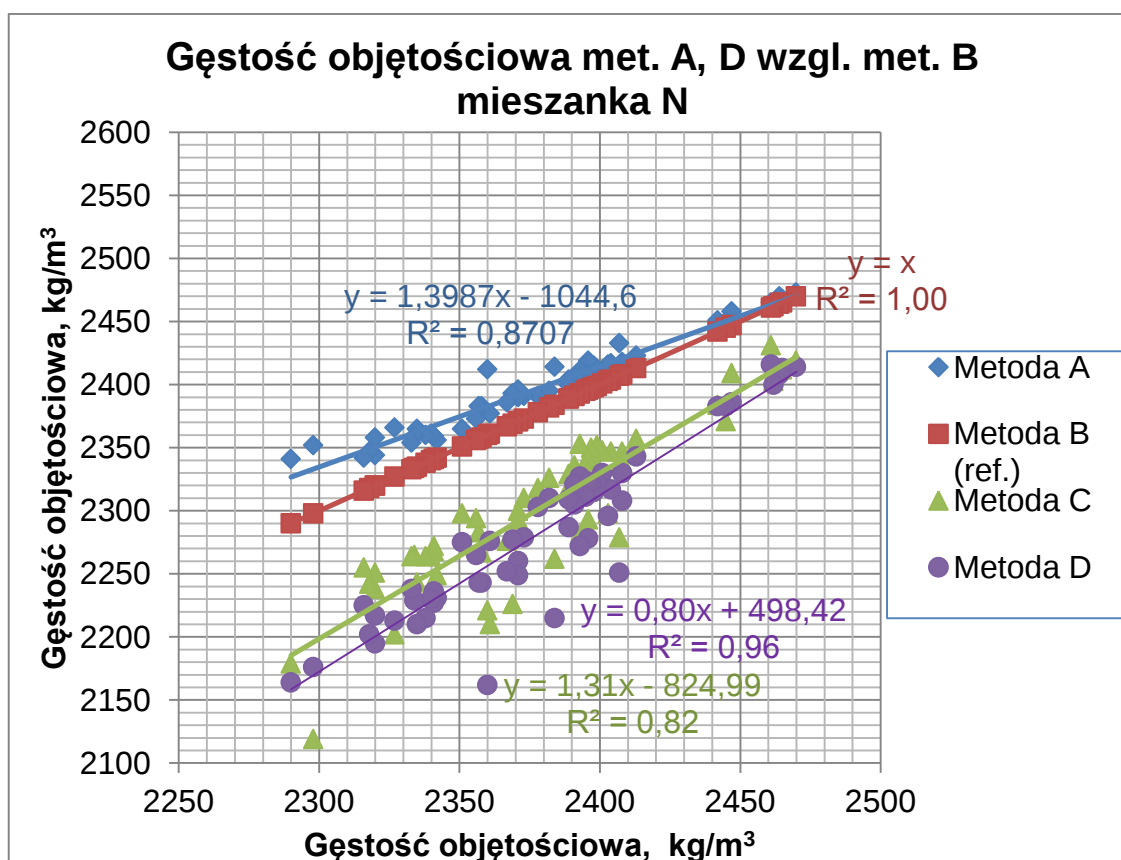
Rysunek 18. Gęstość objętościowa, różne metody badania



Rysunek 19. Gęstość objętościowa, różne metody badania



Rysunek 20. Gęstość objętościowa, różne metody badania



Rysunek 21. Gęstość objętościowa, różne metody badania

Analiza wykazała stałą tendencję zależności gęstości objętościowych według wszystkich metod. Metoda A wykazywała podobne właściwości próbek formowanych jak metoda B. Metoda A przyniosła większe odchyłki w przypadku mieszanki Y i N, a w przypadku mieszanki W i S różnice te nie były istotne. Metoda C dawała niższe gęstości objętościowe niż metoda B, a metoda D najniższe rezultaty, jednak zbliżone do metody C. Metoda C przyniosła najgorszą korelację wyników badań. Może to oznaczać konieczność dopracowania metodologii badań.

12) Podsumowanie i zalecenia

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

Metoda A z reguły przynosiła podobne wyniki jak metoda B, jednak w przypadku próbek o powierzchniach bocznych typu otwartego (np. mieszanki gruboziarniste) i w mieszankach o wysokiej zawartości wolnych przestrzeni wyniki się różnią. Mieszanki gruboziarniste ze względu na niską jednorodność przy krawędziach formowanej próbki zawierają podwyższoną porowatość na jej powierzchni. Metoda A (jak i B) nie uwzględniają objętości tych porów w pomiarach objętości próbki, co wpływa na zafałszowanie wyników w stronę wyższej gęstości objętościowej. Poza tym podczas badania próbek metodą A, jeśli zawartość wolnych przestrzeni jest większa, występuje trudność w ustabilizowaniu odczytu wagi po zanurzeniu próbki w wodzie. Z powodów praktycznych do wszystkich badanych próbek zastosowano regułę, że odczyt masy próbki po zanurzeniu w wodzie według metody A wykonuje się tuż po zarejestrowaniu przez wagę pierwszego stabilnego odczytu (w tym przypadku pojawieniu się symbolu jednostki ważenia, czyli „g”). Z reguły metoda ta przynosiła podobne średnie rezultaty, co metoda B, jednak w przypadku próbek o dużej chłonności występowały znaczne rozbieżności zbadanych gęstości objętościowych według metody A, względem metody B.

Metoda B jest metodą nową, wdrożoną przez normy europejskie, nieco odmienną od obecnie powszechnie stosowanej. W porównaniu do powszechnie stosowanej przez laboratoria drogowe, występującej w większości obecnych specyfikacji, metody określania gęstości strukturalnej według Zeszytu 64/2002 IBDiM metoda B różni się przede wszystkim czasem zanurzenia próbki w wodzie i brakiem zanurzania próbki w spirytusie skażonym bezpośrednio przed badaniem. Zgodnie z zapisami Zeszytu 64/2002 IBDiM próbkę w wodzie zanurza się na czas jednej minuty, poprzedzając zanurzenie w wodzie zanurzeniem próbki na 30 sekund w spirytusie skażonym

(denaturacie). Z doświadczenia wynika jednak, że w przypadku próbek o porowatej strukturze 1 minutowe zanurzenie próbki w wodzie jest niewystarczające do ustabilizowania odczytu wagi. Próbka nadal chłonie wodę. W przypadku metody B zanurzenie próbki w wodzie trwa „z reguły 30 minut”, ale również do ustabilizowania odczytu wagi. W celu zredukowania napięcia powierzchniowego wody występującego podczas zanurzenia próbki można dodać do wody kilka kropel substancji powierzchniowo czynnej (np. płynu do naczyń). Metoda B (lub według Zeszytu 64/2002 IBDiM) jest metodą najczęściej stosowaną ze względu na dostępność wyposażenia do badań, łatwość procedury oraz powtarzalność wyników. Dlatego w rozważaniach przyjęto tą metodę jako metodę referencyjną.

Metoda C, czyli ważenia próbki w stanie powierzchniowego uszczelnienia jest metodą o bardzo obiecujących rezultatach, jednak ze względu na stopień trudności stosowania nie jest metodą uniwersalną. Dostępne jest kilka wariantów uszczelnienia powierzchniowego próbki. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest zanurzenie próbki w rozgrzanej parafinie. Do zalet metody należy łatwość wykonania, jednak ze względu na nieodwracalność procesu powlekania, próbka nie nadaje się już do dalszych badań. Rzadziej stosowanym rozwiązaniem jest zawijanie próbki w folię typu „stretch”. Rozwiązanie to jest w miarę dostępne, jednak silny wpływ na wyniki pomiarów ma sposób owinięcia próbki. Próbka nie jest zabezpieczana w sposób hermetyczny i możliwe jest penetrowanie wody pomiędzy warstwy folii. Bardzo często następuje również przerwanie folii na ostrej krawędzi próbki. Fakty te znajdują odzwierciedlenie w niskiej odtwarzalności i powtarzalności metody. Obiecujący jest kolejny sposób zabezpieczania powierzchniowego próbki poprzez pakowanie próżniowe w specjalne woreczki. Próbka jest pakowana w specjalny worek, w próżni odciągane jest powietrze ze środka próbki i z worka a następnie worek jest zgrzewany, co zapewnia trwałość zamknięcia i atmosfery wewnątrz worka. Zaletą rozwiązania jest uzyskanie objętości próbki zbliżonej do teoretycznej objętości, ze zminimalizowanym wpływem tekstury próbki, a jednocześnie niewypełnianiem przez wodę wolnych przestrzeni połączonych wewnątrz próbki, co nie prowadzi do zakłamania wyniku. Do wad tej metody należy zaliczyć konieczność doposażenia laboratorium w specjalne urządzenie, tzw. pakowarkę próżniową oraz dobór odpowiednich worków zapewniających wystarczającą trwałość a zarazem elastyczność.

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki badań metodą C przy zastosowaniu pakowania próżniowego pokazały, że dobór rodzaju folii odgrywa jedną z najistotniejszych ról. Folia musi zapewniać odpowiednią trwałość i odporność na przebicie podczas naciągania folii na próbkę, operowania próbką zapakowaną oraz utrzymywania szczelności w czasie badania. Z drugiej strony folia musi być wystarczająco elastyczna, aby dopasowywać się kształtem do powierzchni próbki i wypełnić pory powierzchniowe próbki w wystarczającym zakresie. Uzyskane znaczne rozrzuty wyników badań według metody C nie pozwalają na razie na jej powszechne stosowanie. Uzyskiwane wyniki są zbliżone do wyników według metody D, szczególnie po obróbce powierzchniowej próbek.

Należy prowadzić dalsze prace badawcze nad opracowaniem procedury ważenia w folii po zapakowaniu próżniowym próbek w celu osiągnięcia lepszych korelacji.

Metoda D jest metodą geometryczną pomiaru gęstości objętościowej próbki. Polega ona na wyznaczeniu objętości próbki na podstawie pomiaru geometrii badanej próbki. Metoda ta w pewnych warunkach jest jedyną słuszną metodą. Dotyczy to mieszanek mineralno-asfaltowych o znacznej zawartości wolnych przestrzeni np. asfalt porowaty. Gdyby pomiar gęstości objętościowej próbek o dużej porowatości i dużej zawartości połączonych wolnych przestrzeni odbywał się w wodzie (metodą B), to woda spenetrowałaby większość wolnych przestrzeni w próbce (jeśli nie wszystkie) co doprowadziłoby do znacznego zawyżenia wyniku badania. Gęstość objętościowa takiej próbki byłaby bliska gęstości niezagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej badanej w wodzie. Z przeprowadzonych badań wynika, że wyniki badań gęstości objętościowej metodą D były znacznie niższe niż wyniki badań metodą B. Rozbieżność między metodami wzrastała wraz ze spadkiem gęstości objętościowej.

Na podstawie zrealizowanych badań nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu zagęszczania próbek oraz geometrii próbek na wyniki badań. Charakterystyczne było spostrzeżenie, że większe różnice w przypadku tych samych próbek po obróbce powierzchni wykazywały próbki które pierwotnie miały bardziej rozbudowaną teksturę. Jednak tego spostrzeżenia nie można uogólnić na podstawie przeprowadzonych badań.

Najistotniejszy wpływ na wyniki badań miał stan powierzchni bocznych próbek. Obróbka poprzez odwiercania i odcinanie podstaw odwiertów powodowała znaczne podwyższanie gęstości objętościowych, niezależnie od metody badania. Im bardziej

próbki były obrabiane powierzchniowo, tym różnica między gęstościami objętościowymi według różnych metod badawczych zmniejszała się.

Analiza porównawcza badań gęstości w wodzie i rozpuszczalniku mieszanki mineralno-asfaltowej (wpływ maksymalnego wymiaru kruszywa w mieszance, składu frakcyjnego, itp.) nie przyniosła istotnych wniosków. Na podstawie przeprowadzonych badań nie ustalono korelacji pomiędzy badaniem w wodzie i rozpuszczalniku i nie powinno się ich stosować zamiennie. Fakt ten może być przyczynkiem do konieczności opracowania nowych przedziałów wymagań dla właściwości, na które ma wpływ badanie gęstości, czyli zawartość wolnych przestrzeni, wypełnienie wolnych przestrzeni lepiszczem oraz zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej.

13) Bibliografia

[1] – www.introtek.com/corelok.php

[2] – NCAT - The National Center for Asphalt Technology at Auburn University,