Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni

TN-253: Przystosowanie do polskich warunków Mechanistyczno-Empirycznej Metody Projektowania Nawierzchni Asfaltowych MEPDG (USA)
Zadania 3-10

Opracowali:
Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski
dr inż. Wojciech Bańkowski
mgr inż. Beata Gajewska
dr inż. Marcin Gajewski
mgr inż. Renata Horodecka
mgr inż. Przemysław Harasim
dr inż. Wiktor Jasiński
dr inż. Cezary Kraszewski
mgr inż. Maciej Maliszewski
mgr inż. Dominika Maliszewska
Krzysztof Mirski
mgr inż. Aneta Pryga
mgr inż. Jacek Sudyka
mgr inż. Andrzej Wróbel

Kierownik Zakładu Technologii Nawierzchni

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, listopad 2011 r.

Spis treści

1 Wprowadzenie 5
2 Zadanie 3: Przystosowanie metody gromadzenia danych obciążenia ruchem 6
2.1 Opis metody MEPDG 6
2.1.1 Wprowadzenie 6
2.1.2 Opis hierarchicznego podejścia stosowanego w charakterystyce ruchu 6
2.1.3 Założenia 10
2.1.4 Dane wejściowe wymagane do charakterystyki ruchu 10
2.1.5 Przetwarzanie danych wejściowych 26
2.1.6 Plan pomiarów ruchu dla lokalnych stacji WIM i AVC 27
2.2 Opis metod stosowanych w Polsce 29
2.2.1 Klasyfikacja ruchu 29
2.2.2 Wyznaczanie kategorii ruchu 29
2.3 Przystosowanie metody gromadzenia danych obciążenia ruchem 30
2.3.1 Wprowadzenie 30
2.3.2 Hierarchizacja danych wejściowych 31
2.3.3 Dostosowanie danych wejściowych 31
3 Zadanie 4: Przystosowanie metod oceny warunków klimatycznych i prognozy warunków termicznych i wodnych nawierzchni 33
3.1 Wprowadzenie 33
3.2 Przystosowanie danych do polskich warunków 33
3.3 Amerykańskie odpowiedniki polskich stacji 40
4 Zadanie 5: Przystosowanie metod gromadzenia danych oceny podłoża gruntowego 44
4.1 Analiza metod badawczych zawartych w normach ASTM i AASHTO 44
4.2 Wykaz parametrów geotechnicznych wg MEPDG dla poszczególnych poziomów z dostosowaniem norm PN – PN-EN 50
4.3 Klasyfikacje gruntów 53
4.4 Wybór klasy geotechnicznej AASHTO 53
4.5 Analiza składu granulometrycznego dla potrzeb metody MEPDG 56
4.6 Określanie lokalnych warunków gruntowych 56
4.7 Materiały do nasypów (Ad. 11.5 odnośnie do gruntów) 64
5 Zadanie 6: Przystosowanie metod oceny właściwości lepiszczy asfaltowych 66
5.1 Program pracy 66
5.2 Metodyka badań asfaltów 66
5.2.1 Właściwości podstawowe 66

5.2.2 Pojemnik starzenia ciśnieniowego (Pressure Aging Vessel PAV) wg PN-EN 14769 [7] 67
5.2.3 Obliczeniowe parametry oceny jakościowej asfaltów:.... 67
5.2.4 Reometr dynamicznego ścinania (Dynamic Shear Rheometer DSR) 68
5.2.5 Reometr zginanej belki (Bending Beam Rheometer BBR) 68
5.2.6 Metodyka ustalania rodzaju funkcjonalnego lepiszcza PG według SHRP 68
5.3 Wyniki badań asfaltów 71
5.3.1 Właściwości podstawowe 71
5.3.2 Wyniki badań w DSR 71
5.3.3 Wyniki badania BBR i ustalenie rodzaju PG 78
6 Zadanie 7: Przystosowanie metod oceny właściwości kruszyw mineralnych 81
6.1 Przedmiot i cel sprawozdania 81
6.2 Zakres prac 81
6.3 Porównanie polskich i amerykańskich metod oceny właściwości kruszyw mineralnych 81
6.3.1 Gęstość nasypowa w stanie luźnym wg PN-EN 1097-3 i ASTM C29/C29M-09 81
6.3.2 Odporność na ścieranie w bębnie micro-Devala wg PN-EN 1097-1 i ASTM D7428-08, ASTM D6928-10 82
6.3.3 Odporność na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2 i ASTM C131, ASTM C535 84
6.3.4 Gęstość i nasiąkliwość wg PN-EN 1097-6 i ASTM C127, ASTM C128 86
6.3.5 Skład ziarnowy kruszyw wg PN-EN 933-1 i ASTM C117, ASTM C136 87
6.3.6 Zawartość substancji organicznych wg PN-EN 1744-1 i ASTM C40/C40M-11 89
6.3.7 Odporność na polerowanie kruszywa wg PN-EN 1097-8 (PSV) i ASTM 391 (RPV) 91
7 Zadanie 8: Przystosowanie metod oceny właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych 92
7.1 Program pracy 92
7.2 Program badań mma 92
7.3 Metodyka badań (MMA) 92
7.3.1 Zawartość wolnych przestrzeni 92
7.3.2 Odporność na działanie wody 92
7.3.3 Sztywność - metoda belki czteropunktowo zginanej 93
7.3.4 Trwałość zmęczeniowa - metoda belki czteropunktowo zginanej 93
7.3.5 Odporność na koleinowanie (mały aparat) 93
7.4 Wyniki badań materiałów składowych 94
7.4.1 Materiały do badań oraz podstawowe badania materiałów wyjściowych 94
7.4.2 Lepiszcza 95
7.4.3 Materiały mineralne 95
7.5 Wyniki badań MMA 95
7.5.1 Mieszanka ACWMS16 95

7.5.2 Mieszanka SMA8 ... 102
7.5.3 Mieszanka AC 16 W 35/50 ... 103
7.5.4 Mieszanka AC 22 P 35/50 ... 107
8 Zadanie 9: Przystosowanie metod oceny właściwości mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym ... 111
8.1 Analiza metod badawczych zawartych w normach ASTM i AASHTO ... 111
8.2 Wykaz parametrów dla mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym wg MEPDG dla poszczególnych poziomów z dostosowaniem norm PN i PN-EN ... 117
9 Zadanie 10: Przystosowanie metod oceny właściwości nawierzchni ... 120
9.1 Wprowadzenie ... 120
9.2 Przegląd wymagań MEPDG dotyczących badań istniejących nawierzchni drogowych ... 120
9.3 Wymagania dotyczące zbierania danych ... 125
9.4 Kryteria oceny ... 127
9.5 Ocena różnic metod pomiarowych proponowanych w MEPDG i dostępnych w Polsce oraz wstępna analiza wpływu wprowadzenia innych (nowszych) metod badawczych na wyniki uzyskiwane w MEPDG. ... 132
9.6 Badania terenowe ... 132
9.7 Analiza danych ... 134
9.8 Opracowanie metodyki oceny właściwości nawierzchni uwzględniającej specyfikę metod pomiarowych dostępnych w Polsce, wyniki uzyskane w trakcie badań terenowych oraz wymagania metody MEPDG ... 134
10 Podsumowanie i wnioski ... 137
11 Załączniki – Recepty mieszanek mineralno-asfaltowych ... 140

1 Wprowadzenie

Sprawozdanie opracowano na podstawie umowy IBDiM z GDDKiA w ramach pracy badawczej pt. Przystosowanie do polskich warunków Mechanistyczno-Empirycznej Metody Projektowania Nawierzchni Asfaltowych MEPDG (TN 253).

Celem opracowania jest przegląd metod badań i charakterystyki danych stosowanych w MEPDG w porównaniu do stosowanych w Polsce według obecnie obowiązujących norm i przepisów technicznych.

Niniejsze sprawozdanie obejmuje następujące zadania:

Zadanie 3: Przystosowanie metody gromadzenia danych obciążenia ruchem

Zadanie 4: Przystosowanie metod oceny warunków klimatycznych i prognozy warunków termicznych i wodnych nawierzchni

Zadanie 5: Przystosowanie metod gromadzenia danych oceny podłoża gruntowego

Zadanie 6: Przystosowanie metod oceny właściwości lepiszczy asfaltowych

Zadanie 7: Przystosowanie metod oceny właściwości kruszyw mineralnych

Zadanie 8: Przystosowanie metod oceny właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych

Zadanie 9: Przystosowanie metod oceny właściwości mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym

Zadanie 10: Przystosowanie metod oceny właściwości nawierzchni.

2 Zadanie 3: Przystosowanie metody gromadzenia danych obciążenia ruchem

2.1 Opis metody MEPDG

2.1.1 Wprowadzenie

Dane o ruchu są kluczowym elementem wymaganym do strukturalnego projektowania lub analizy konstrukcji nawierzchni. Wymagane są do szacowania obciążeń nawierzchni i częstości ich występowania podczas projektowanego okresu użytkowania nawierzchni. W wytycznych projektowania MEPDG wymagane dane o ruchu są niezmienne dla różnych typów nawierzchni (podatne lub sztywne) oraz sposobu ich projektowania (nowa lub przebudowa).

Wymagane są następujące dane o ruchu:

- natężenie ruchu pojazdów ciężarowych w roku bazowym,
- prędkość operacyjna pojazdów ciężarowych,
- współczynniki rozkładu kierunku ruchu i obciążenia pasów ruchu przez pojazdy ciężarowe,
- rozkład klas pojazdów ciężarowych,
- współczynniki rozkładu obciążenia osi,
- konfiguracja osi i kół,
- charakterystyka opon i wzrostu ciśnienia w oponie,
- współczynnik rozkładu poprzecznego pojazdów ciężarowych,
- współczynniki wzrostu ruchu pojazdów ciężarowych.

Zwykle zbierane są trzy rodzaje danych o ruchu: ważenie pojazdów w ruchu (weigh-in-motion -WIM), pomiary automatyczne (AVC) oraz liczenie pojazdów. Dane te mogą być uzupełniane o szacunkowe obliczenia oparte na prognozach ruchu i modelach generacji podróży. Dane WIM przedstawiane są zwykle w formacie podobnym do FHWA W-4 Truck Weight Tables (tj. dane prezentowane jako zestawienie liczby osi w danych grupach obciążeń, w których to każda grupa zawiera określony przedział obciążeń [1,000-, 2,000- i 3,00-lb]). Dane AVC odnoszą się do liczby typów pojazdów zarejestrowanych w danym przedziale czasowym, podczas gdy dane z liczenia pojazdów odnoszą się wyłącznie do liczby pojazdów w danym przedziale czasowym.

Pojęcie standardowej osi równoważnej (ESAL), charakteryzujące ruch pojazdów ciężarowych stosowane we wcześniejszych wersjach Wytycznych projektowania nawierzchni (AASHTO Guide for Pavement Design), nie jest stosowane w MEPDG. Wynikiem obliczeń oprogramowania MEPDG jest miesięczna łączna liczba pojazdów ciężarowych na projektowanym pasie ruchu jako ogólny wskaźnik wielkości obciążenia ruchem dla pojazdów klas 4 i wyższych (zgodnie z klasyfikacją pojazdów FHWA). Łączna liczba pojazdów ciężarowych na projektowanym pasie ruchu może być traktowana jako ogólny wskaźnik poziomu obciążenia ruchem. Na przykład nawierzchnia może być określona jako przenosząca ruchu jednego miliona pojazdów ciężarowych w projektowanym okresie użytkowania.

2.1.2 Opis hierarchicznego podejścia stosowanego w charakterystyce ruchu

W MEPDG do projektowania nowych oraz przebudowy istniejących nawierzchni wymagane są kompletne dane o rozkładzie obciążenia osi. Uznaje się jednak, że niektóre zarządy dróg nie posiadają środków do zbierania tego typu danych zarówno archiwalnych jak i obecnych. Aby ułatwić korzystanie z Wytycznych, niezależnie od poziomu szczegółowości posiadanych danych, przyjęto hierarchiczne podejście do danych wejściowych o ruchu. Wytyczne definiują trzy poziomy danych wejściowych o ruchu (Poziomy od 1 do 3) oparte na wielkości dostępnych danych o ruchu. Poziomy te oznaczają w jakim stopniu projektant nawierzchni może oszacować przyszły ruch pojazdów ciężarowych na nowoprojektowanej drodze. Trzy poziomy określa się jako:

- Poziom 1 – bardzo dobra znajomość archiwalnej i prognozowanej charakterystyki ruchu,
- Poziom 2 – umiarkowana znajomość archiwalnej i prognozowanej charakterystyki ruchu,
- Poziom 3 – niska znajomość archiwalnej i prognozowanej charakterystyki ruchu.

Natężenie ruchu i waga pojazdów ciężarowych mogą znacząco różnić się pomiędzy drogami oraz na poszczególnych odcinkach tej samej drogi. Dlatego **bardzo dobra znajomość** obciążenia ruchem może być uzyskana jedynie na podstawie danych archiwalnych zebranych wzdłuż lub w pobliżu projektowanego odcinka. Dane pochodzące z monitoringu ruchu używane są do prognozowania przyszłej charakterystyki ruchu, zapewniając projektantowi wysoki poziom ufności wielkości ruchu przyjętej do projektowania.

Gdy dla danej drogi dostępne są jedynie regionalne dane o natężeniu ruchu i wagach pojazdów ciężarowych, w procesie projektowania przyjmuje się **umiarkowaną znajomość** danych archiwalnych i na tej podstawie wyznacza się prognozowaną charakterystykę ruchu. W takim przypadku projektant ma możliwość przewidywania z uzasadnioną pewnością modelu obciążeń wywoływanych pojazdami ciężarowymi. Jeżeli natomiast projektant musi polegać jedynie na domyślnych wartościach pochodzących z krajowej bazy danych i/lub relatywnie niewielkich informacjach o ruchu, wtedy w procesie projektowania przyjmuje się **niską znajomość** danych archiwalnych i stąd przyszłej charakterystyki ruchu.

2.1.2.1 Poziom 1 danych wejściowych – bardzo dobra znajomość charakterystyki ruchu

Poziom 1 wymaga zbierania i analiz historycznych danych o natężeniu ruchu i obciążeniach miejscowych. Dane o ruchu zebrane z lub obok projektowanej lokalizacji muszą zawierać liczbę i klasyfikację pojazdów ciężarowych w ciągu drogi w rozbiciu na pasy i kierunki ruchu oraz naciski osi dla poszczególnych klas pojazdów w celu określenia ruchu pojazdów ciężarowych w pierwszym roku po oddaniu drogi do ruchu. Poziom 1 uważany jest za najbardziej dokładny, ponieważ opiera się na aktualnych naciskach osi i rozkładach natężeń ruchu pojazdów ciężarowych zmierzonych na lub w pobliżu miejsca projektu (np. na kolejnym odcinku drogi nie przeciętym skrzyżowaniami, które mogłyby zmienić przyjęty model obciążenia).

2.1.2.2 Poziom 2 danych wejściowych – umiarkowana znajomość charakterystyki ruchu

Poziom 2 wymaga od projektanta zebrania wystarczających informacji o natężeniu ruchu pojazdów ciężarowych na miejscu do właściwego zmierzenia natężenia ruchu. Zakłada to możliwość wyliczenia każdej zmiany tygodniowego rozkładu natężenia ruchu oraz znaczących sezonowych trendów w obciążeniach pojazdów ciężarowych (np. w obszarach rolniczych podczas zwożenia zbiorów).Wagi pojazdów brane są z regionalnych raportów przygotowywanych przez każdy stan, które używane są do rozróżniania dróg, po których poruszają się pojazdy obciążone i nie obciążone (zgodnie z klasyfikacją FHWA Traffic Monitoring Guide, 2011 Edition). Analizy regionalnych rozkładów obciążenia osi dla poszczególnych klas pojazdów są następnie przetwarzane do modułu ruchu.

2.1.2.3 Poziom 3 danych wejściowych – niska znajomość charakterystyki ruchu

Poziom 3 używany jest kiedy projektant ma niewiele informacji o natężeniu ruchu pojazdów ciężarowych dla rozpatrywanej drogi (np. jeżeli jedyną informacją jest wartość średniorocznego dobowego ruchu AADT i udział pojazdów ciężarowych). Na tym poziomie bazuje się na AADT i procentowym udziale pojazdów ciężarowych lub pomiarach natężenia ruchu bez znajomości wielkości obciążeń zarejestrowanych pojazdów ciężarowych. Oznacza to, że jako uzupełnienie muszą być użyte średnie rozkłady obciążeń regionalne, krajowe lub inne dostępne. W poziomie 3 uwzględnia się również szacowanie danych wejściowych na podstawie lokalnych doświadczeń.

2.1.2.4 Opis źródeł danych i elementów danych używanych do charakterystyki ruchu

W MEPDG do charakterystyki ruchu stosowane są zwykle cztery źródła danych o ruchu, Tabela 1. Dane z tych źródeł używane są również do identyfikacji poziomu danych wejściowych. Różne elementy danych wykorzystywane w charakterystyce ruchu, lecz niekoniecznie uzyskiwane na podstawie źródeł wymienionych w Tablicy 1, przedstawiono w Tablicy 3. Źródła danych opisano poniżej.

2.1.2.5 Źródła danych o natężeniu i obciążeniu ruchem

Dane z ważeń pojazdów w ruchu (WIM)

Dane WIM są zestawieniami typów pojazdów oraz liczby, rozstawu i obciążenia ich osi zmierzonych w określonej jednostce czasu. Używane są do określania znormalizowanego rozkładu lub widma obciążenia osi dla każdego typu osi w danej klasie pojazdów ciężarowych. Analizy te wykonywane są poza oprogramowaniem do projektowania.

Tablica 1. Źródła danych o ruchu wymagane do każdego z poziomu danych wejściowych

Źródło danych		**Poziom danych wejściowych**		
		1	**2**	**3**
Obciążenie ruchem / natężenie ruchu	Dane WIM – lokalne	X		
	Dane WIM – regionalne standardowe		X	
	Dane WIM – krajowe standardowe			X
	Dane AVC – lokalne	X		
	Dane AVC – regionalne standardowe		X	
	Dane AVC – krajowe standardowe			X
	Liczenie pojazdów – lokalne [1]		X	X
	Prognozy ruchu i modele planowania podróży [2]	X	X	X

[1] Poziom zależy od przyjętych krajowych lub regionalnych danych WIM lub AVC
[2] Poziom zależy od danych wejściowych oraz modelu dokładności / niezawodności

Tablica 2. Elementy danych o ruchu wymagane dla każdego poziomu danych wejściowych

Elementy danych / zmienne		Poziom danych wejściowych		
		1	2	3
Czynniki ruchu pojazdu i opony	Współczynnik rozkładu kierunkowego poj. ciężarowych	WIM lub AVC lokalne	WIM lub AVC regionalne	WIM lub AVC krajowe
	Współczynnik rozkładu poj. ciężarowych na pasie ruchu	WIM lub AVC lokalne	WIM lub AVC regionalne	WIM lub AVC krajowe
	Liczba typów osi w klasie pojazdów ciężarowych	WIM lub AVC lokalne	WIM lub AVC regionalne	WIM lub AVC krajowe
	Rozstawy osi i opon	Nie obowiązują poziomy hierarchiczne		
	Ciśnienie w oponie	Nie obowiązują poziomy hierarchiczne		
	Funkcja wzrostu ruchu poj. cięż.	Nie obowiązują poziomy hierarchiczne		
	Prędkość operacyjna	Nie obowiązują poziomy hierarchiczne		
	Współczynnik rozkładu toru jazdy	Nie obowiązują poziomy hierarchiczne		
	Współczynniki rozkładu miesięcznego poj. ciężarowych	WIM lub AVC lokalne	WIM lub AVC regionalne	WIM lub AVC krajowe
	Współczynniki rozkładu godzinowego poj. ciężarowych	WIM lub AVC lokalne	WIM lub AVC regionalne	WIM lub AVC krajowe
Zmienne rozkładu i natężenia ruchu pojazdów ciężarowych	AADT lub AADTT dla roku bazowego	Nie obowiązują poziomy hierarchiczne		
	Rozkład / widmo poj. cięż. w klasie dla roku bazowego	WIM lub AVC lokalne	WIM lub AVC regionalne	WIM lub AVC krajowe
	Rozkład / widmo obciążeń osi w klasie poj. cięż. i dla typu osi	WIM lub AVC lokalne	WIM lub AVC regionalne	WIM lub AVC krajowe
	Klasyfikacja grup poj. cięż. do projektowania nawierzchni (TTC)	Nie obowiązują poziomy hierarchiczne		
	Udział pojazdów ciężarowych	Nie obowiązują poziomy hierarchiczne		

Dane AVC

Dane AVC to zestawienie liczby i typów pojazdów zarejestrowanych w przedziale czasu (klasy od 4 do 13 zgodnie z FHWA). Dane używane są do określenia znormalizowanego rozkładu klas pojazdów ciężarowych, ale ich analizy wykonywane są poza oprogramowaniem do projektowania. Klasyfikacja poziomu danych oparta jest na lokalizacji pomiarów (lokalnie, regionalnie, krajowe).

Liczenie pojazdów

Liczenie pojazdów polega na zarejestrowaniu całkowitej liczby pojazdów w przedziale czasu z podziałem na samochody osobowe (klasy od 1 do 3 FHWA), autobusy (klasa 4 FHWA) i pojazdy ciężarowe (klasy od 5 do 13 FHWA). Liczenie pojazdów może odbywać się w sposób ciągły, sezonowy lub w krótkich przedziałach czasowych. Ciągły pomiar liczby pojazdów trwa przez 365 dni w roku i daje najlepsze odwzorowana charakterystyki ruchu. Pomiar sezonowy odbywa się zwykle od 2 do 12 razy na rok dla okresów od doby do dwóch tygodni. Krótki pomiar – od 6 godzin do 7 dni. Klasyfikacja poziomu danych oparta jest na lokalizacji pomiarów (np. na odcinku, dane regionalne lub krajowe).

Prognozy ruchu i modele generowania podróży

Prognozy ruchu i modele generowania podróży są szczególnie użyteczne dla obszarów miejskich, gdzie opierają się na studiach ruchu, analizach początku i celu podróży lub ankietowaniu tablic rejestracyjnych. Mogą być istotnym źródłem danych o ruchu. Zasady ich stosowania wykraczają jednak poza ramy wytycznych projektowania.

2.1.3 Założenia

W module charakteryzującym ruch ujętym w oprogramowaniu przyjmuje się 2 główne założenia:

1. Znormalizowane rozkłady obciążenia osi dla każdego typu osi w danej klasie pojazdów ciężarowych pozostają stałe z roku na rok, chyba że wskutek uregulowań politycznych i/lub ekonomicznych zostaną zmienione maksymalne naciski osi lub masa całkowita pojazdów. Niemniej jednak znormalizowany rozkład natężenia ruchu pojazdów ciężarowych może ulec zmianie z roku do roku.
2. Znormalizowany rozkład obciążenia osi dla typu osi w klasie pojazdów oraz znormalizowany rozkład natężenia ruchu pojazdów ciężarowych nie ulegają zmianie w ciągu doby (dzień i noc) i tygodnia (dni robocze i wolne od pracy) dla danego sezonu.

2.1.4 Dane wejściowe wymagane do charakterystyki ruchu

W strukturalnym projektowaniu nawierzchni wymagane są cztery podstawowe typy danych:

- Natężenie ruchu w roku bazowym
- Współczynniki korygujące natężenie ruchu
    - Korekta miesięczna
    - Rozkład klas pojazdów
    - Rozkład godzinowy pojazdów ciężarowych
    - Wskaźniki wzrostu ruchu
- Współczynniki rozkładu obciążenia osi
- Ogólne dane wejściowe
    - Liczba osi / pojazdów ciężarowych
    - Konfiguracja osi
    - Rozstaw osi

2.1.4.1 Natężenie ruchu w roku bazowym

Rok bazowy dla danych wejściowych definiowany jest jako pierwszy rok po oddaniu projektowanego odcinka drogi do ruchu. Wymagane są następujące dane dla roku bazowego:

- dwukierunkowy średnioroczny dobowy ruch pojazdów ciężarowych (AADTT),
- liczba pasów na projektowanym kierunku ruchu,
- udział pojazdów ciężarowych na projektowanym kierunku ruchu,
- udział pojazdów ciężarowych na projektowany pasie ruchu,
- prędkość operacyjna pojazdów (ciężarowych).

Dwukierunkowy średnioroczny dobowy ruch pojazdów ciężarowych (AADTT)

AADTT jest to całkowite natężenie ruchu pojazdów ciężarowych (klasy od 4 do 13), przejeżdżających przez projektowany odcinek drogi w obu kierunkach w ciągu 24 godzin. Dane te uzyskiwane są ze stacji WIM, AVC, liczenia pojazdów oraz prognoz ruchu i modeli generowania podróży. AADTT to po prostu iloraz całkowitej liczby pojazdów ciężarowych w określonym przedziale czasowym do liczby dni w danym przedziale.

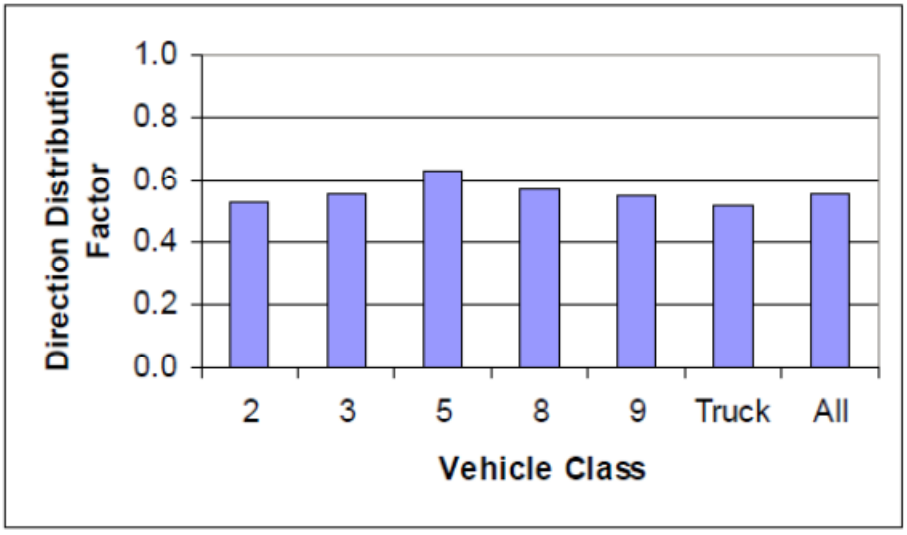
Liczba pasów na projektowanym kierunku ruchu

Liczba pasów ruchu na projektowanym kierunku ruchu określona jest w specyfikacji projektu i przedstawia liczbę pasów w jednym kierunku ruchu.

Udział pojazdów ciężarowych na projektowanym kierunku ruchu

Udział pojazdów ciężarowych na projektowanym kierunku ruchu lub współczynnik rozkładu kierunkowego (DDF) używane są do określenia różnicy natężenia ruchu pojazdów ciężarowych w obu kierunkach. Zazwyczaj przyjmuje się wartość 50 %, kiedy wartości AADT i AADTT znane są dla obu kierunków łącznie. Jednakże w przypadku lokalnych uwarunkowań i specyfiki ruchu dane te powinny być analizowane indywidualnie.

W oprogramowaniu MEPDG dla poziomu 3 przyjęto wartość 55% dla dróg międzystanowych na podstawie danych LTPP. Na Rysunku 1 przedstawiono współczynniki średniego rozkładu kierunkowego dla określonych klas pojazdów (2,3, 5, 8 i 9), całkowitego ruchu pojazdów ciężarowych oraz wszystkich pojazdów na podstawie danych LTPP.



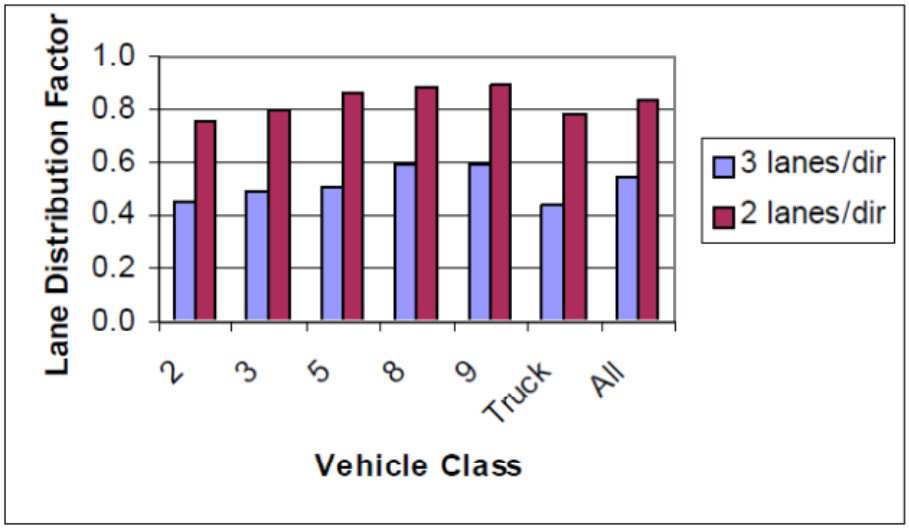
Rysunek 1 Współczynniki rozkładu kierunkowego

Z wyjątkiem klasy 5, obserwowane współczynniki rozkładu kierunkowego zawierają się w przedziale od 0,5 do 0,6. Poniżej przedstawiono wartości współczynników dla poszczególnych klas pojazdów ciężarowych:

- klasa 4, autobusy – 0,50, z wyjątkiem lokalnych dróg dla autobusów lub bus-pasów, gdzie współczynnik wynosi od 0,8 do 1,0,
- klasy 5 – 7, samochody ciężarowe bez przyczep – 0,62,
- klasy 8 – 10, pojazdy ciężarowe z jednoprzyczepowe – 0,55,
- klasy 11 – 13, pojazdy ciężarowe wieloprzyczepowe – 0,50.

Udział pojazdów ciężarowych na projektowanym pasie ruchu

Udział pojazdów ciężarowych na projektowanym pasie ruchu lub współczynnik rozkładu pasa ruchu (LDF) określa rozkład ruchu pojazdów ciężarowych pomiędzy pasami ruchu w jednym kierunku. Dla dróg dwukierunkowych o jednym pasie ruchu w każdym kierunku współczynnik ten wynosi 1,0 , ponieważ cały ruch przenoszony jest przez jeden pas. Dla dróg o kilku pasach ruchu współczynnik zależy od AADTT oraz lokalnych warunków i geometrii drogi.



Rysunek 2 Współczynniki rozkładu pasa ruchu

Na Rysunku 2 przedstawiono średnie współczynniki rozkładu pasa ruchu wyznaczone dla określonych klas pojazdów (2,3, 5, 8 i 9), całkowitego ruchu pojazdów ciężarowych oraz wszystkich pojazdów dla dróg o 2 i 3 pasach ruchu na podstawie danych LTPP. Zazwyczaj przyjmuje się, że dla dróg o 2 pasach ruchu współczynnik LDF dla klasy 9 wynosi 0,89 i 0,78 dla wszystkich pojazdów ciężarowych. Dla dróg o 3 pasach ruchu współczynnik LDF dla klasy 9 wynosi 0,59 i 0,43 dla wszystkich pojazdów ciężarowych. Dla poziomu 3 zaleca się używanie wartości dla najczęściej występującej klasy pojazdu tj. 9 według zależności poniżej:

- droga o jednym pasie ruchu w jednym kierunku – LDF = 1,00,
- droga o dwóch pasach ruchu w jednym kierunku – LDF = 0.90,
- droga o trzech pasach ruchu w jednym kierunku – LDF = 0,60,
- droga o czterech pasach ruchu w jednym kierunku – LDF = 0,45.

Prędkość operacyjna pojazdów

Prędkość operacyjna pojazdów ciężarowych lub średnia prędkość podróży zależy od wielu czynników takich jak: rodzaj drogi (międzystanowa lub inna), ukształtowanie terenu, udział pojazdów ciężarowych w potoku ruchu itp. Szczegółowy opis metody określania prędkości operacyjnej zawarty jest w "Transportation Research Board (TRB) Highway Capacity Manual" oraz "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets" (AASHTO). W oprogramowaniu MEPDG domyślnie stosuje się wartość prędkości operacyjnej równą 60 mph (96 km/h), ale może być zmieniona zgodnie lokalnymi uwarunkowaniami.

2.1.4.2 Korekty natężenia ruchu

Poniżej przedstawiono listę współczynników korygujących natężenie ruchu pojazdów ciężarowych wymaganych do charakterystyki ruchu:

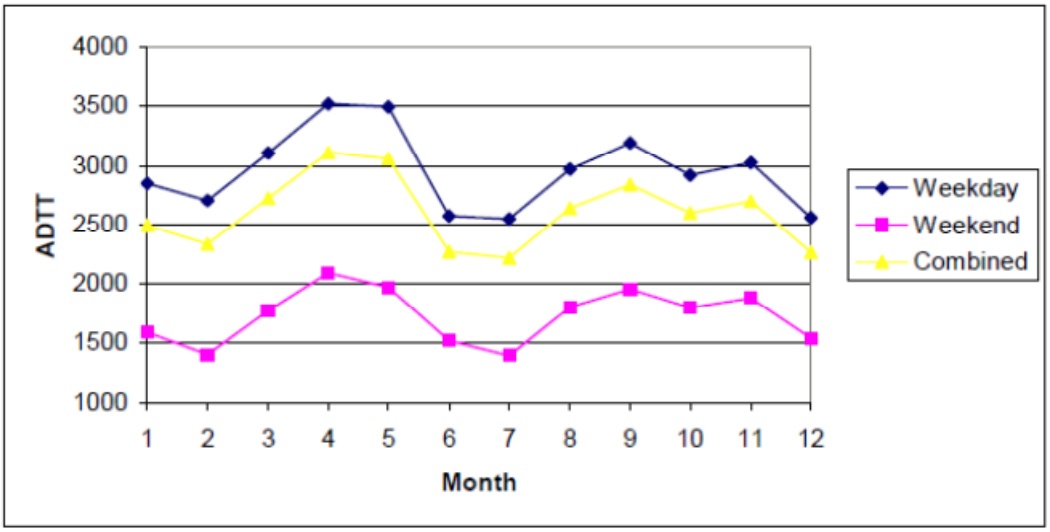
- miesięczne współczynniki korygujące,
- współczynniki rozkładu klas pojazdów,
- współczynniki rozkładu godzinowego pojazdów ciężarowych,
- współczynniki wzrostu ruchu.

Miesięczne współczynniki korygujące

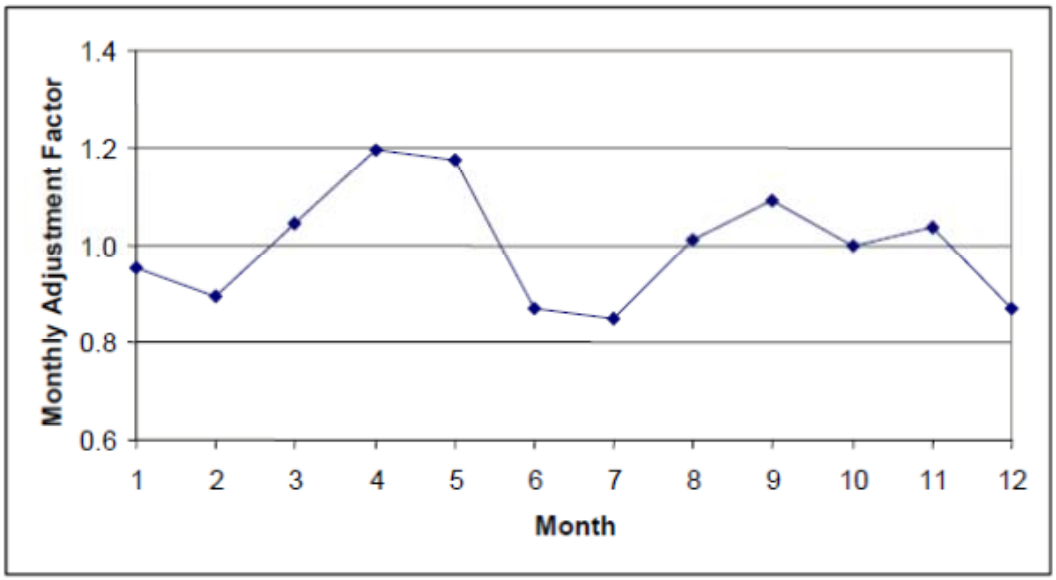
Miesięczne współczynniki korygujące (MAF) określają jaka część ruchu rocznego odbywa się w rozpatrywanym miesiącu w rozbiciu na poszczególne klasy pojazdów ciężarowych. Współczynniki

MAF zależą m.in. od przyległych do drogi gruntów, lokalizacji w danym obszarze fabryk i charakterystyki obszaru (wiejski lub zurbanizowany). Pomimo, że w praktyce miesięczne różnice w rozkładzie ruchu mogą zmieniać się kilkukrotnie, to w MEPDG przyjmuje się je jako stałe w okresie projektowym nawierzchni.

Na Rysunku 3 przedstawiono przykład zmian w miesięcznych ADTT dla odcinka testowego LTPP nr 18 - 5022, natomiast na Rysunku 4 współczynniki rozkładu miesięcznego pojazdów ciężarowych obliczone na podstawie danych z ww. odcinka. Należy jednak zauważyć, że pomimo różnic ADTT w odniesieniu do dni roboczych i końca tygodnia przedstawionych na Rysunku 3 w MEPDG stosuje się wartości stałe dla poszczególnych dni miesiąca lub roku. Różnice te brane są pod uwagę przy określaniu AADTT w roku bazowym.



Rysunek 3 Średni dobowy ruch pojazdów ciężarowych dla poszczególnych miesięcy na odcinku 18-5022 LTPP



Rysunek 4 Miesięczne współczynniki korygujące dla odcinka 18-5022 LTPP

Niezależnie od źródła danych o ruchu (WIM, AVC, liczenie pojazdów itd.) zarządcy dróg mogą określać własne współczynniki według następującego schematu:

1. Dla wskazanej bazy danych o ruchu (24-godzinna rejestracja danych) określenie całkowitej liczby pojazdów ciężarowych w podziale na klasy dla danej doby. Jeśli zebrane dane nie

pochodzą z ciągłego 24-godzinnego pomiaru, pomiar dzienny należy przeliczyć jako reprezentatywny dla 24 godzin.

2. Na podstawie reprezentatywnych dobowych danych o ruchu dla różnych miesięcy w roku, wyznaczenie średniego dobowego ruchu pojazdów ciężarowych dla każdego miesiąca w roku.
3. Dodanie średnich dobowych ruchów pojazdów ciężarowych z każdego miesiąca dla całego roku.
4. Obliczenie miesięcznych współczynników korygujących jako ilorazu średniego dobowego ruchu pojazdów ciężarowych dla danego miesiąca i sumy średnich dobowych ruchów pojazdów z każdego miesiąca dla całego roku oraz mnożenia przez 12 według wzoru:

$$MAF_i = \frac{AMDTT_i}{\sum_{i=1}^{12} AMDTT_i} * 12$$

w którym:
MAF_i – miesięczny współczynnik korygujący dla miesiąca *i*,
$AMDTT_i$ – średni miesięczny ruch pojazdów ciężarowych dla miesiąca *i*.
Suma współczynników MAF musi być równa 12.

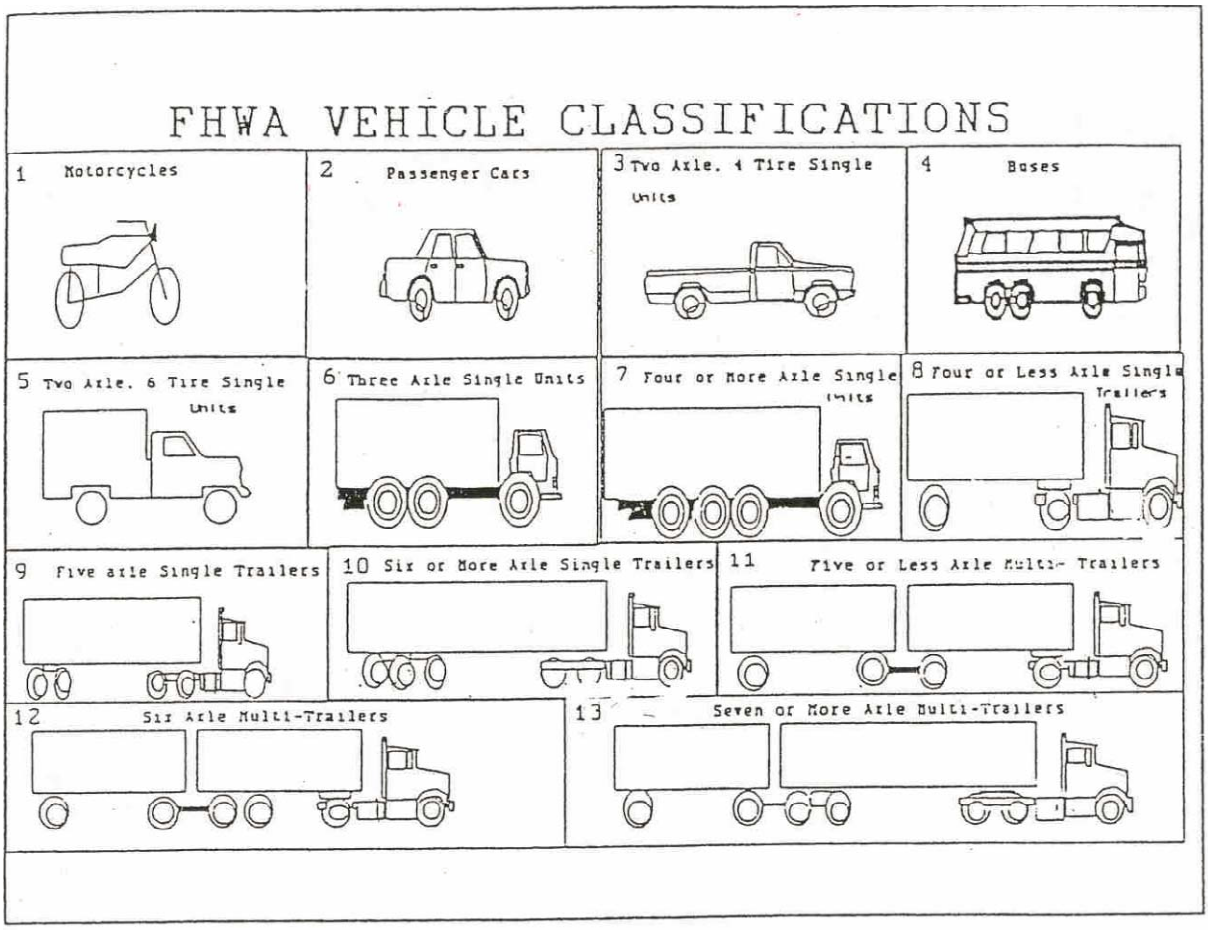
W przypadku braku szczegółowych informacji na temat ruchu zakłada się równy rozkład w ciągu roku zgodnie z Tablicą 3.

Tablica 3 Domyślne wartości współczynników MAF

Miesiąc	Klasa 4	Klasa 5	Klasa 6	Klasa 7	Klasa 8	Klasa 9	Klasa 10	Klasa 11	Klasa 12	Klasa 13
Styczeń	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Luty	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Marzec	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kwiecień	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Maj	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Czerwiec	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lipiec	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sierpień	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Wrzesień	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Październik	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Listopad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Grudzień	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Rozkład klas pojazdów

Rozkład klas pojazdów obliczany jest na podstawie danych uzyskanych z programów pomiarów WIM, AVC oraz liczenia pojazdów. Programy pomiarów klas pojazdów mogą być krótkotrwałe lub ciągłe. Zazwyczaj większość danych pochodzi z: krótkotrwałych pomiarów takich jak WIM, stanowiska AVC, centra zarzadzania ruchem w miastach, urządzeń poboru opłat i innych. Kluczem do uzyskania najlepszych danych nie jest sposób ich zbierania, ale możliwość przeprowadzenia pomiarów rutynowo i weryfikacja ich ważności oraz przedstawienia danych w użytecznej formie. Na Rysunku 5 przedstawiono standardowe klasy pojazdów używane w FHWA i LTPP.



Rysunek 5 Klasyfikacja pojazdów FHWA stosowana do zbierania danych o ruchu

Znormalizowany rozkład klas pojazdów określa udział procentowy poszczególnych klas pojazdów ciężarowych (klasy od 4 do 13) w AADTT dla roku bazowego. Suma udziałów AADTT wszystkich klas pojazdów ciężarowych powinna wynosić 100.

Domyślne współczynniki rozkładu klas pojazdów (poziom 3), określone na podstawie danych LTPP, zawarte są w oprogramowaniu MEPDG. Zostały one wybrane na podstawie klasy funkcjonalnej drogi i najlepszej kombinacji grup klasyfikacji ruchu pojazdów ciężarowych (TTC), które określają przewidywany strumień ruchu na danej drodze. Przykład domyślnych współczynników rozkładu klas pojazdów dla głównej arterii (drogi międzystanowe i obronne) przedstawiono w Tabeli 4. Standardowy zestaw grup TCC, które najlepiej opisują strumień ruchu dla różnych klas funkcjonalnych przedstawiono w Tabeli 5. Każda grupa TCC określa strumień ruchu o unikalnych cechach ruchu pojazdów ciężarowych. Na przykład, TCC 1 opisuje strumień ruchu z głównym udziałem pojazdów ciężarowych jednoprzyczepowych, a TCC 17 autobusów. Współczynniki rozkładu klas pojazdów dla drogi wypełnionej pojazdami ciężarowymi jednoprzyczepowymi oraz autobusami będą obliczone jako kombinacja TCC 1 i 17.

Projektant musi wybrać domyślny zestaw rozkładu klas pojazdów dla TTC, który najlepiej opisuje strumień ruchu na projektowanym odcinku drogi. Można to zrobić, wykorzystując dane z Tablic od 4 do 6. *Należy zaznaczyć, że dla poziomów 1 i 2 zbieranie wymaganych danych powinno zacząć się kilka lat wcześniej niż realizacja projektu w celu zebrania wystarczającej liczby danych do analiz.* Z uwagi na to, dla wielu projektów zarządcy dróg stosują połączenie danych lokalnych z regionalnymi celem redukcji czasu potrzebnego do uzyskania niezbędnych danych. Oprogramowanie MEPDG pozwala projektantowi na bezpośrednie wprowadzenie współczynników rozkładu klasyfikacji pojazdów (Poziomy od 1 do 3) lub zaimportowanie ich z uprzednio przygotowanych plików dla Poziomu 3.

Tablica 4 Opis grup TTC oraz rozkład klas pojazdów ciężarowych

Grupa TTC i jej opis		Rozkład klasy pojazdów ciężarowych (%)									
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Droga głównie dla pojazdów ciężarowych jednoprzyczepowych (Typ I)	1,3	8,5	2,8	0,3	7,6	74,0	1,2	3,4	0,6	0,3
2	Droga głównie dla pojazdów ciężarowych jednoprzyczepowych (Typ II)	2,4	14,1	4,5	0,7	7,9	66,3	1,4	2,2	0,3	0,2
3	Droga głównie dla pojazdów ciężarowych jedno i wieloprzyczepowych (Typ I)	0,9	11,6	3,6	0,2	6,7	62,0	4,8	2,6	1,4	6,2
4	Droga głównie dla pojazdów ciężarowych jednoprzyczepowych (Typ III)	2,4	22,7	5,7	1,4	8,1	55,5	1,7	2,2	0,2	0,4
5	Droga głównie dla pojazdów ciężarowych jedno i wieloprzyczepowych (Typ II)	0,9	14,2	3,5	0,6	6,9	54,0	5,0	2,7	1,2	11,0
6	Droga dla pojazdów ciężarowych umiarkowanie lekkich i jednoprzyczepowych (Typ I)	2,8	31,0	7,3	0,8	9,3	44,8	2,3	1,0	0,4	0,3
7	Droga głównie dla mieszanych pojazdów ciężarowych (Typ I)	1,0	23,8	4,2	0,5	10,2	42,2	5,8	2,6	1,3	8,4
8	Droga głównie dla pojazdów ciężarowych wieloprzyczepowych (Typ I)	1,7	19,3	4,6	0,9	6,7	44,8	6,0	2,6	1,6	11,8
9	Droga dla pojazdów ciężarowych umiarkowanie lekkich i jednoprzyczepowych (Typ II)	3,3	34,0	11,7	1,6	9,9	36,2	1,0	1,8	0,2	0,3
10	Droga głównie dla mieszanych pojazdów ciężarowych (Typ II)	0,8	30,8	6,9	0,1	7,8	37,5	3,7	1,2	4,5	6,7
11	Droga głównie dla pojazdów ciężarowych wieloprzyczepowych (Typ II)	1,8	24,6	7,6	0,5	5,0	31,3	9,8	0,8	3,3	15,3
12	Droga dla pojazdów ciężarowych umiarkowanie lekkich i jednoprzyczepowych (Typ III)	3,9	40,8	11,7	1,5	12,2	25,0	2,7	0,6	0,3	1,3
13	Droga głównie dla mieszanych pojazdów ciężarowych (Typ III)	0,8	33,6	6,2	0,1	7,9	26,0	10,5	1,4	3,2	10,3
14	Droga głównie dla lekkich pojazdów ciężarowych (Typ I)	2,9	56,9	10,4	3,7	9,2	15,3	0,6	0,3	0,4	0,3
15	Droga głównie dla lekkich pojazdów ciężarowych (Typ II)	1,8	56,5	8,5	1,8	6,2	14,1	5,4	0,0	0,0	5,7
16	Droga głównie dla pojazdów ciężarowych lekkich i wieloprzyczepowych	1,3	48,4	10,8	1,9	6,7	13,4	4,3	0,5	0,1	12,6
17	Droga głównie dla autobusów	36,2	14,6	13,4	0,5	14,6	17,8	0,5	0,8	0,1	1,5

Tablica 5 Wskazówki wyboru właściwej grupy TTC dla danej klasyfikacji funkcjonalnej drogi

Opis klasyfikacji funkcjonalnej drogi	Właściwy numer grupy TTC
Główne arterie – drogi międzystanowe i obronne	1,2,3,4,5,8,11,13
Główne arterie – drogi międzystanowe, włączając autostrady i drogi ekspresowe	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14,16
Arterie drugorzędne	4,6,8,9,10,11,12,15,16,17
Drogi zbiorcze główne	6,9,12,14,15,17
Drogi zbiorcze drugorzędne	9,12,14,17
Drogi lokalne i ulice	9,12,14,17

Tablica 6 Definicje i opisy grup TTC

Udział autobusów w potoku ruchu	Transport towarów stosownie do typów pojazdów ciężarowych		Nr grupy TTC
	Wieloprzyczepowy	Jednoprzyczepowy i bez przyczep	
Niski lub brak (<2%)	Relatywnie wysoka liczba pojazdów ciężarowych wieloprzyczepowych (>10%)	Głównie pojazdy jednoprzyczepowe	5
		Wysoki udział pojazdów jednoprzyczepowych i niewielki pojazdów bez przyczep	8
		Mieszany ruch pojazdów ciężarowych z wyższym udziałem pojazdów jednoprzyczepowych	11
		Mieszany ruch pojazdów ciężarowych ze zbliżonym udziałem pojazdów bez przyczep i jednoprzyczepowych	13
		Głównie pojazdy bez przyczep	16
	Umiarkowana liczba pojazdów ciężarowych wieloprzyczepowych (2-10%)	Głównie pojazdy jednoprzyczepowe	3
		Mieszany ruch pojazdów ciężarowych z wyższym udziałem pojazdów jednoprzyczepowych	7
		Mieszany ruch pojazdów ciężarowych ze zbliżonym udziałem pojazdów bez przyczep i jednoprzyczepowych	10
		Głównie pojazdy bez przyczep	15
Niski do umiarkowanego (>2%)	Niski lub brak (<2%)	Głównie pojazdy jednoprzyczepowe	1
		Głównie pojazdy jednoprzyczepowe i niewielki udział pojazdów bez przyczep	2
		Głównie pojazdy jednoprzyczepowe z niską lub umiarkowaną liczbą pojazdów bez przyczep	4
		Mieszany ruch pojazdów ciężarowych z wyższym udziałem pojazdów jednoprzyczepowych	6
		Mieszany ruch pojazdów ciężarowych ze zbliżonym udziałem pojazdów bez przyczep i jednoprzyczepowych	9
		Mieszany ruch pojazdów ciężarowych z wyższym udziałem pojazdów bez przyczep	12
		Głównie pojazdy bez przyczep	14
Droga głównie dla autobusów (>25%)	Niski lub brak (<2%)	Mieszany ruch pojazdów ciężarowych ze zbliżonym udziałem pojazdów bez przyczep i jednoprzyczepowych	17

Współczynniki godzinowego rozkładu pojazdów ciężarowych

Współczynnik godzinowego rozkładu (HDF) określa udział procentowy AADTT w ciągu każdej godziny doby. Dla poziomów 1 do 3 dane wejściowe HDF mogą zostać obliczone poprzez ciągły 24 godzinny pomiar ruchu pojazdów ciężarowych. Dane godzinowe używane są do określenia procentowego udziału pojazdów ciężarowych w każdej godzinie zgodnie z poniższym schematem:

1. Określenie całkowitej liczby pojazdów ciężarowych na podstawie pomiarów w ciągu każdej godziny.
2. Średnia liczba pojazdów ciężarowych dla każdej godziny doby np. jeżeli dane zawierają pomiary pojazdów ciężarowych przez pierwszą godzinę dnia przez 6 dni, wtedy należy zsumować wszystkie wyniki i podzielić je przez 6.
3. Suma średnich dla 24 godzin z kroku 2.
4. Iloraz każdej ze średnich z punktu 2 i sumy średnich z punktu 3 pomnożony przez 100.

Suma wszystkich współczynników dla doby wynosi 100.

Wartości domyślne HDF obliczone na podstawie bazy danych LTPP zestawiono w Tablicy 7. Zawarte w oprogramowaniu MEPDG współczynniki zaleca się stosować do Poziomu 3.

Tablica 7 Wartości domyślne współczynników godzinowego rozkładu pojazdów ciężarowych

Przedział czasu	Rozkład, %	Przedział czasu	Rozkład, %
24:00 – 1:00	2,3	12:00 – 13:00	5,9
1:00 – 2:00	2,3	13:00 – 14:00	5,9
2:00 – 3:00	2,3	14:00 – 15:00	5,9
3:00 – 4:00	2,3	15:00 – 16:00	5,9
4:00 – 5:00	2,3	16:00 – 17:00	4,6
5:00 – 6:00	2,3	17:00 – 18:00	4,6
6:00 – 7:00	5,0	18:00 – 19:00	4,6
7:00 – 8:00	5,0	19:00 – 20:00	4,6
8:00 – 9:00	5,0	20:00 – 21:00	3,1
9:00 – 10:00	5,0	21:00 – 22:00	3,1
10:00 – 11:00	5,9	22:00 – 23:00	3,1
11:00 – 12:00	5,9	23:00 – 24:00	3,1

Współczynniki wzrostu ruchu

Najlepsze oszacowanie współczynników wzrostu ruchu otrzymuje się z ciągłego pomiaru ruchu, przy założeniu, że zarejestrowane z roku na rok różnice pozwalają na oszacowanie takiego wzrostu. Mniej niezawodne są szacowania na podstawie pomiarów krótkotrwałych, które cechuje niższa dokładność. Należy podkreślić, że nie ma najlepszej procedury do obliczania współczynników wzrostu ruchu. Zaleca się stosowanie wszelkich możliwych narzędzi i dostępnych danych dla rozpatrywanego odcinka drogi w celu uzyskania wiarygodnych wyników.

Oprogramowanie MEPDG pozwala użytkownikom na korzystanie z trzech różnych funkcji do obliczenia zmian ruchu pojazdów ciężarowych w czasie (prognozowanie ruchu pojazdów ciężarowych), Tablica 8. Umożliwia wprowadzanie wskaźnika wzrostu lub funkcji wzrostu. Funkcje wzrostu mogą być stosowane wspólnie lub niezależnie od klasy pojazdów ciężarowych. AADTT jest prognozą dla całego okresu użytkowania nawierzchni począwszy od otwarcia drogi do ruchu.

Tablica 8 Funkcje do obliczeń / prognozowania ruchu pojazdów ciężarowych

Opis funkcji	Wzór
Bez wzrostu	$AADTT_X = 1{,}0 * AADTT_{BY}$
Wzrost liniowy	$AADTT_X = GR * AGE + AADTT_{BY}$
Wzrost złożony	$AADTT_X = ADTT_{BY} * (GR)^{AGE}$

gdzie: $AADTT_X$ – AADTT w roku X, GR – wskaźnik wzrostu ruchu , $AADTT_{BY}$ – AADTT w roku bazowym, AGE – lata

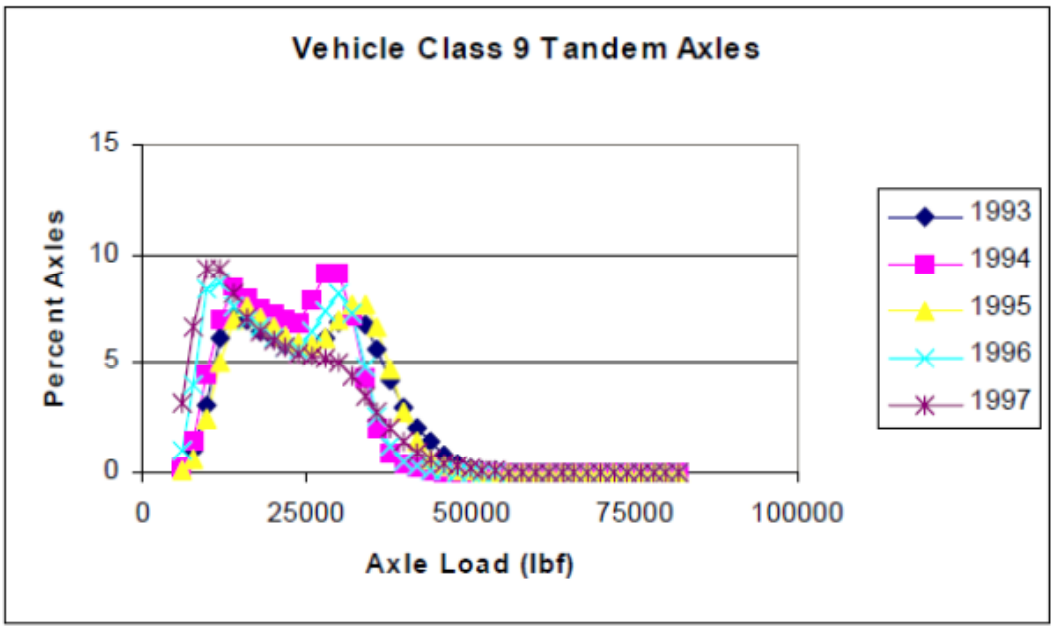
2.1.4.3 Współczynniki rozkładu obciążenia osi

Współczynniki rozkładu obciążenia osi określają procentowy udział poszczególnych zakresów obciążeń w całkowitym obciążeniu osi dla danego typu osi (pojedyncza, podwójna, potrójna i poczwórna) i klasy pojazdu (klasy od 4 do 13). Definicję zakresów obciążeń przedstawiono poniżej:

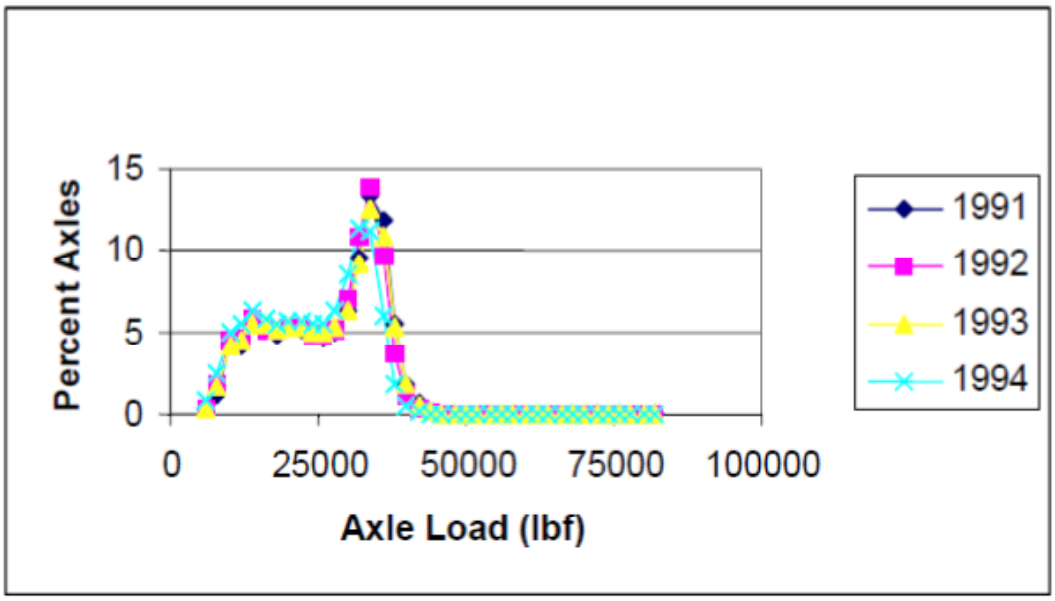
- oś pojedyncza – od 3 000 do 40 000 lb w przedziałach 1 000 lb,
- oś podwójna – od 6 000 do 80 000 lb w przedziałach 2 000 lb,
- oś potrójna i poczwórna – od 12 000 do 102 000 lb w przedziałach 3 000 lb.

Znormalizowany rozkład lub widmo obciążeń osi może być określony wyłącznie na podstawie danych WIM. Dlatego poziom danych wejściowych zależy od źródła danych (lokalne, regionalne lub krajowe). Dla tej procedury projektowania widmo obciążeń znormalizowane jest w skali roku, ponieważ w analizach danych WIM dla LTPP nie znaleziono znaczących różnic danych rok do roku czy miesiąc do miesiąca.

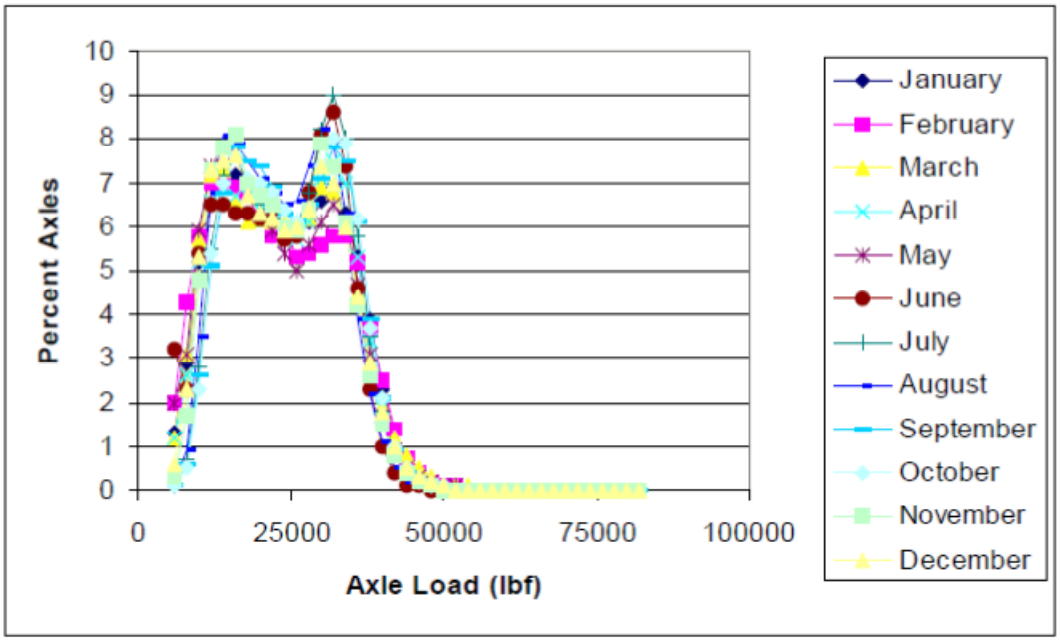
Rysunki 6 i 7 przedstawiają widma obciążeń osi pojedynczych i podwójnych dla klasy 9 pojazdów ciężarowych z dwóch odcinków testowych LTPP dla danych pochodzących z kilku lat. Rysunek 8 przedstawia średnie znormalizowane rozkłady obciążenia osi podwójnej w poszczególnych miesiącach dla klasy 9. Jak pokazano na Rysunku 8 znormalizowane obciążeń osi podwójnej okazało się niezależne od miesiąca. Rysunek 9 przedstawia przykład średniego pięcioletniego znormalizowanego widma obciążeń osi podwójnych dla klas pojazdów 8, 9 i 10.Widma obciążeń dla klas 9 i 10 są zbliżone do siebie, podczas gdy dla klasy 8 znacząco różnią się od pozostałych. Rysunek 10 przedstawia średni znormalizowany rozkład obciążeń osi podwójnej ze wszystkich dostępnych lat dla klas 7, 8 i 9. W tym przypadku wszystkie prezentowane widma różnią się od siebie.



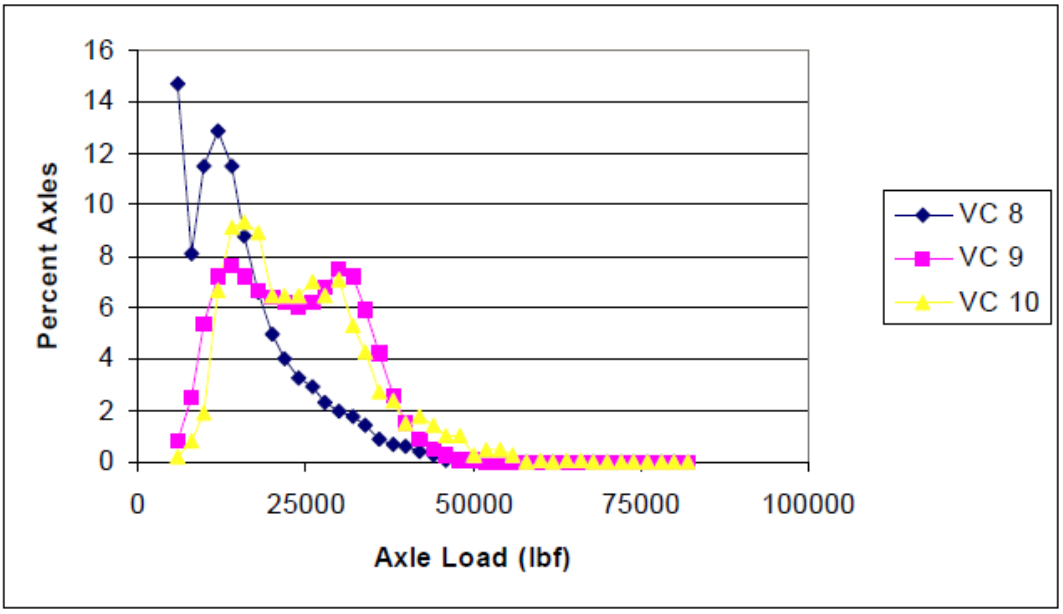
Rysunek 6 Średnie znormalizowane widmo obciążeń osi w klasie 9 dla 5 lat



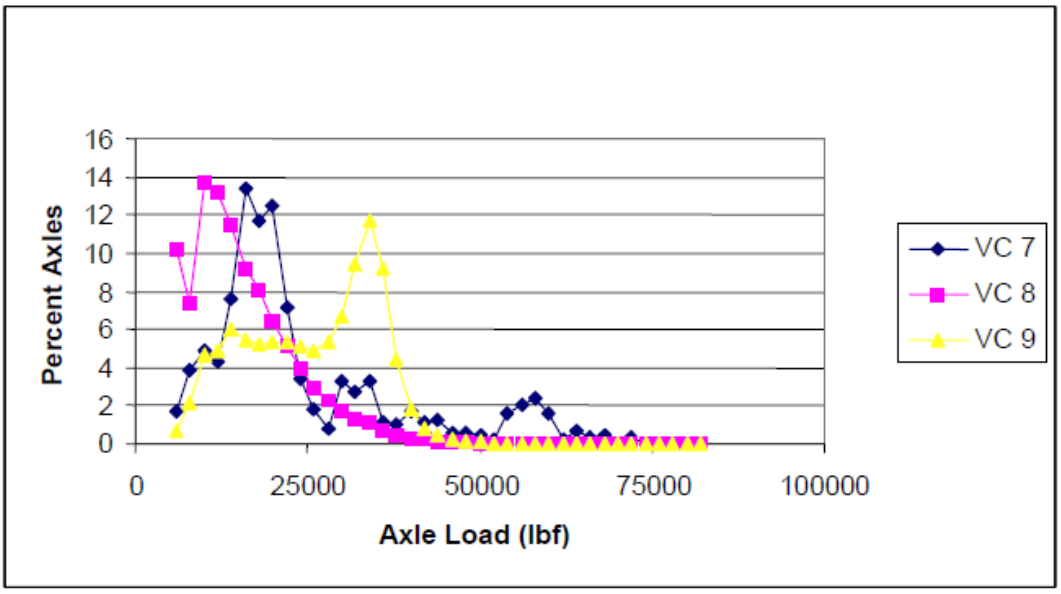
Rysunek 7 Średni znormalizowany rozkład obciążeń osi podwójnych w klasie 9 dla 4 lat



Rysunek 8 Różnice miesięczne w średnich znormalizowanych widmach obciążeń osi podwójnych w klasie 9 (odcinek 185022 LTPP)



Rysunek 9 Średnie znormalizowane widmo obciążeń osi podwójnej dla pojazdów klas 8, 9 i 10 (odcinek 185022 LTPP)



Rysunek 10 Średnioroczny rozkład obciążeń osi podwójnej dla klas 7, 8 i 9 dla wszystkich wieloletnich poprawnych danych z odcinka 421627 LTPP

Oprogramowanie MEPDG pozwala użytkownikowi na wprowadzenie następujących danych wejściowych dla poziomów od 1 do 3:

- Rozkład obciążeń osi dla poszczególnych typów osi (pojedyncza, podwójna, potrójna i poczwórna) dla następujących zakresów:
  - osie pojedyncze – od 3 000 do 40 000 lb w przedziałach 1 000 lb,
  - osie podwójne – od 6 000 do 80 000 lb w przedziałach 2 000 lb,
  - osie potrójne i poczwórne – od 12 000 do 102 000 lb w przedziałach 3 000 lb.
- Dla każdego typu osi wymagany jest rozkład obciążeń dla każdego miesiąca (od stycznia do grudnia) i klasy pojazdu ciężarowego (klasy od 4 do 13).

Dla Poziomu 1 danych wejściowych współczynniki rozkładu obciążenia osi mogą być importowane w postaci plików tekstowych, podczas gdy dla Poziomu 3 stosowane są domyślne dane wejściowe pochodzące z baz danych LTPP. Jako przykład w Tablicach 9 i 10 zestawiono wartości domyślne rozkładów obciążenia osi pojedynczej i podwójnej dla poszczególnych klas pojazdów ciężarowych i grup TTC.

Tablica 9 Wartości domyślne rozkładu obciążenia osi pojedynczej, %

Średni nacisk osi, lbs	Klasa pojazdu ciężarowego									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3000	1,80	10,03	2,47	2,14	11,62	1,74	3,64	3,55	6,68	8,88
4000	0,96	13,19	1,78	0,55	5,36	1,37	1,24	2,91	2,29	2,67
5000	2,91	16,40	3,45	2,42	7,82	2,84	2,36	5,19	4,87	3,81
6000	3,99	10,69	3,95	2,70	6,98	3,53	3,38	5,27	5,86	5,23
7000	6,80	9,21	6,70	3,21	7,98	4,93	5,18	6,32	5,97	6,03
8000	11,45	8,26	8,44	5,81	9,69	8,43	8,34	6,97	8,85	8,10
9000	11,28	7,11	11,93	5,26	9,98	13,66	13,84	8,07	9,57	8,35
10000	11,04	5,84	13,55	7,38	8,49	17,66	17,33	9,70	9,95	10,69
11000	9,86	4,53	12,12	6,85	6,46	16,69	16,19	8,54	8,59	10,69
12000	8,53	3,46	9,47	7,41	5,18	11,63	10,30	7,28	7,09	11,11
13000	7,32	2,56	6,81	8,99	4,00	6,09	6,52	7,16	5,86	7,34
14000	5,55	1,92	5,05	8,15	3,38	3,52	3,94	5,65	6,58	3,78
15000	4,23	1,54	2,74	7,77	2,73	1,91	2,33	4,77	4,55	3,10
16000	3,11	1,19	2,66	6,84	2,19	1,55	1,57	4,35	3,63	2,58
17000	2,54	0,90	1,92	5,67	1,83	1,10	1,07	3,56	2,56	1,52
18000	1,98	0,68	1,43	4,63	1,53	0,88	0,71	3,02	2,00	1,32
19000	1,53	0,52	1,07	3,50	1,16	0,73	0,53	2,06	1,54	1,00
20000	1,19	0,40	0,82	2,64	0,97	0,53	0,32	1,63	0,98	0,83
21000	1,16	0,31	0,64	1,90	0,61	0,38	0,29	1,27	0,71	0,64
22000	0,66	0,31	0,49	1,31	0,55	0,25	0,19	0,76	0,51	0,38
23000	0,56	0,18	0,38	0,97	0,36	0,17	0,15	0,59	0,29	0,52
24000	0,37	0,14	0,26	0,67	0,26	0,13	0,17	0,41	0,27	0,22
25000	0,31	0,15	0,24	0,43	0,19	0,08	0,09	0,25	0,19	0,13
26000	0,18	0,12	0,13	1,18	0,16	0,06	0,05	0,14	0,15	0,26
27000	0,18	0,08	0,13	0,26	0,11	0,04	0,03	0,21	0,12	0,28
28000	0,14	0,05	0,08	0,17	0,08	0,03	0,02	0,07	0,08	0,12
29000	0,08	0,05	0,08	0,17	0,05	0,02	0,03	0,09	0,09	0,13
30000	0,05	0,02	0,05	0,08	0,04	0,01	0,02	0,06	0,02	0,05
31000	0,04	0,02	0,03	0,72	0,04	0,01	0,03	0,03	0,03	0,05
32000	0,04	0,02	0,03	0,06	0,12	0,01	0,01	0,04	0,01	0,08
33000	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,06
34000	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
35000	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
36000	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
37000	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
38000	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
39000	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
40000	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00
41000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablica 10 Wartości domyślne rozkładu obciążenia osi podwójnej, %

Średni nacisk osi, lbs	Klasa pojazdu ciężarowego									
	4	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
6000	5,88	7,06	5,28	13,74	18,95	2,78	2,45	7,93	5,23	6,41
8000	1,44	35,42	8,42	6,71	8,05	3,92	2,19	3,15	1,75	3,85
10000	1,94	13,23	10,81	6,49	11,15	6,51	3,65	5,21	3,35	5,58
12000	2,73	6,32	8,99	3,46	11,92	7,61	5,40	8,24	5,89	5,66
14000	3,63	4,33	7,71	7,06	10,51	7,74	6,90	8,88	8,72	5,73
16000	4,96	5,09	7,50	4,83	8,25	7,00	7,51	8,45	8,37	5,53
18000	7,95	5,05	6,76	4,97	6,77	5,82	6,99	7,08	9,76	4,90
20000	11,58	4,39	6,06	4,58	5,32	5,59	6,61	5,49	10,85	4,54
22000	14,20	2,31	5,71	4,26	4,13	5,16	6,26	5,14	10,78	6,45
24000	13,14	2,28	5,17	3,85	3,12	5,05	5,95	5,99	7,24	4,77
26000	10,75	1,53	4,52	3,44	2,34	5,28	6,16	5,73	6,14	4,34
28000	7,47	1,96	3,96	6,06	1,82	5,53	6,54	4,37	4,93	5,63
30000	5,08	1,89	3,21	3,68	1,58	6,13	6,24	6,57	3,93	7,24
32000	3,12	2,19	3,91	2,98	1,20	6,34	5,92	4,61	3,09	4,69
34000	1,87	1,74	2,12	2,89	1,05	5,67	4,99	4,48	2,74	4,51
36000	1,30	1,78	1,74	2,54	0,94	4,46	3,63	2,91	1,73	3,93
38000	0,76	1,67	1,44	2,66	0,56	3,16	2,79	1,83	1,32	4,20
40000	0,53	0,38	1,26	2,50	0,64	2,13	2,24	1,12	1,07	3,22
42000	0,52	0,36	1,01	1,57	0,28	1,41	1,69	0,84	0,58	2,28
44000	0,30	0,19	0,83	1,53	0,28	0,91	1,26	0,68	0,51	1,77
46000	0,21	0,13	0,71	2,13	0,41	0,59	1,54	0,32	0,43	1,23
48000	0,18	0,13	0,63	1,89	0,20	0,39	0,73	0,21	0,22	0,85
50000	0,11	0,14	0,49	1,17	0,14	0,26	0,57	0,21	0,22	0,64
52000	0,06	0,20	0,39	1,07	0,11	0,17	0,40	0,07	0,23	0,39
54000	0,04	0,06	0,32	0,87	0,06	0,11	0,38	0,13	0,20	0,60
56000	0,08	0,06	0,26	0,81	0,05	0,08	0,25	0,15	0,12	0,26
58000	0,01	0,02	0,19	0,47	0,03	0,05	0,16	0,09	0,07	0,18
60000	0,02	0,02	0,17	0,49	0,02	0,03	0,15	0,03	0,19	0,08
62000	0,10	0,01	0,13	0,38	0,06	0,02	0,09	0,06	0,09	0,14
64000	0,01	0,01	0,08	0,24	0,02	0,02	0,08	0,01	0,04	0,07
66000	0,02	0,01	0,06	0,15	0,02	0,02	0,06	0,01	0,02	0,08
68000	0,01	0,00	0,07	0,16	0,00	0,02	0,05	0,01	0,04	0,03
70000	0,01	0,02	0,04	0,06	0,00	0,01	0,11	0,00	0,12	0,01
72000	0,00	0,01	0,04	0,13	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,04
74000	0,00	0,00	0,02	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
76000	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04
78000	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02
80000	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
82000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

2.1.4.4 Ogólne dane wejściowe o ruchu

Większość danych w tej kategorii określa konfigurację obciążenia osi i szczegóły obciążeń, stosowanych do obliczeń reakcji nawierzchni. Wyjątek stanowią dane wejściowe dotyczące typu osi w klasie pojazdów i rozstawu kół, które używane są w obliczeniach natężenia ruchu.

Średnie położenie koła

Odległość pomiędzy zewnętrzną krawędzią koła i poziomym oznakowaniem pasa ruchu. Wartość domyślna w oprogramowaniu MEPDG wynosi 18 in.

Odchylenie standardowe toru ruchu

Parametr określa odchylenie standardowe położenia poprzecznego ruchu. Używany jest do określania liczby obciążeń osi w danym punkcie w celu przewidywania powstawania uszkodzeń. Wartość domyślna odchylenia standardowego toru ruchu (Poziom 3) wynosi 10 in.

Projektowana szerokość pasa ruchu

Parametr ten określa aktualną szerokość pas ruchu, definiowaną jako odległość pomiędzy oznakowaniem poziomym pasa ruchu. Jest to parametr projektowy dlatego może nie pokrywać się z szerokością płyty. Standardowa domyślna szerokość pasa ruchu wynosi 12 ft.

Liczba typów osi w klasie pojazdów

Parametr opisuje liczbę osi dla każdej klasy pojazdów ciężarowych (klasy od 4 do 13) w podziale na typy osi (pojedyncza, podwójna, potrójna i poczwórna). Domyślne szacowania liczby osi (Poziom 3) oparte na danych LTPP przedstawiono w Tablicy 11.

Tablica 11 Wartości domyślne średniej liczby typu osi w klasie pojazdu

Klasa pojazdu	Liczba osi pojedynczych na pojazd	Liczba osi podwójnych na pojazd	Liczba osi potrójnych na pojazd	Liczba osi poczwórnych na pojazd
4	1,62	0,39	0,00	0,00
5	2,00	0,00	0,00	0,00
6	1,02	0,99	0,00	0,00
7	1,00	0,26	0,83	0,00
8	2,38	0,67	0,00	0,00
9	1,13	1,93	0,00	0,00
10	1,19	1,09	0,89	0,00
11	4,29	0,26	0,06	0,00
12	3,52	1,14	0,06	0,00
13	2,15	2,13	0,35	0,00

Uwaga: liczba osi poczwórnych wynosi 0,00 ponieważ zbyt mało takich pojazdów zarejestrowano w bazie LTPP

Konfiguracja osi

Szereg danych jest potrzebnych do opisu typowej konfiguracji osi i obciążeń osi przekazywanych na nawierzchnię, ponieważ obliczenia reakcji nawierzchni są wrażliwe zarówno na położenie kół i oddziaływanie pomiędzy kołami osi. Dane te mogą być uzyskane z baz danych producentów lub zmierzone bezpośrednio na drodze. Poniżej przedstawiono typowe wartości danych:

- Średnia szerokość osi – dystans pomiędzy dwoma skrajnymi brzegami osi. Dla typowego pojazdu ciężarowego wynosi 8,5 ft.
- Rozstaw opon bliźniaczych – dystans pomiędzy środkami opon. Dla typowego pojazdu ciężarowego wynosi 12 in.
- Rozstaw osi – dystans pomiędzy dwoma kolejnymi osiami osi podwójnych, potrójnych i poczwórnych. Średni rozstaw osi wynosi 51,6 in. dla osi podwójnej oraz 49,2 in. dla osi potrójnej i poczwórnej.

Do analiz nawierzchni JPCP odległość pomiędzy osią kierującą a napędową używana jest do określenia krytycznego położenia osi na płytach PCC stąd wartość ta musi być dostarczona. Wartość domyślna rozstawu pomiędzy osią pierwszą a drugą pojazdu ciężarowego została określona na podstawie danych z WIM programu LTPP. Analiza danych dla poszczególnych pojazdów

ciężarowych sugeruje o normalnym, skośnym lub dwumianowym rozkładzie pomiędzy pierwszą i drugą osią i zależy od klasy pojazdu ciężarowego. W Tablicy 12 zestawiono typ rozkładu pomiędzy osią sterującą i napędową oraz średnią, medianę i maksimum rozstawu. Należy używać rozstawu dla klasy dominującej.

Tablica 12 Rozstaw osi kierującej i napędowej oraz typ rozkładu pomiędzy osiami

Klasa pojazdu	Rozstaw osi			
	Typ rozkładu	Średnia, ft.	Mediana, ft.	Maksimum, ft.
4	Dwumianowy	29,9	29,9	26,9 i 30,5
5	Skośny do wyższych rozstawów	19,7	18,7	16,1
6	Normalny	20,7	21,0	21,7
7	Normalny	15,7	15,1	14,8
8	Normalny	13,8	16,1	16,1
9	Dwumianowy	19,4	20,0	15,1 i 22,0
10	Skośny do niższych rozstawów	20,3	21,0	23,3
11	Skośny do wyższych rozstawów	17,7	16,4	16,7
12	Dwumianowy	18,0	17,1	15,1 i 21,7
13	Dwumianowy	17,7	16,4	15,7 i 23,0

Rozstaw osi

Informacje dotyczące rozstawu osi mogą być uzyskane z baz danych producentów lub z bezpośredniego pomiaru. Do stosowania przygotowano zestaw typowych wartości, jednak mogą być również użyte wartości terenowe.

Średni rozstaw osi (ft.): krótki – 12, średni – 15, długi – 18.

Należy założyć równomierny podział procentowy pojazdów ciężarowych w klasach od 8 do 13 z krótkim, średnim i długim rozstawem osi (np. odpowiednio 33,33,34%), chyba że dokładne dane są dostępne.

Należy zauważyć, że rozkład rozstawu osi ma zastosowanie tylko dla ciągników siodłowych (klasy 8 i powyżej). Jeżeli w strumieniu ruchu występują inne pojazdy o rozstawach krótkim, średnim bądź długim to należy je uwzględnić

Ciśnienie i rozmiar opony

Ciśnienie i rozmiar opony są ważnymi elementami danych wejściowych, dlatego poświęcono wiele uwagi na weryfikację ciśnień w oponie bazując na danych zebranych z Tire and Rim Association (TRA), Rubber Manufacturers' Association (RMA), American Trucking Association (ATA), and Truck Trailer Manufacturers' Association (TTMA). W Tablicy 13 przedstawiono szerokość sekcji opony nowej oraz poszerzonej w skutek zużycia oraz minimalny rozstaw opon bliźniaczych na podstawie rocznika TRA (1999).

Tablica 13 Szerokości opon i minimalny rozstaw opon bliźniaczych na podstawie rocznika TRA

Rozmiar RMA	Klasa nośności	Minimalny rozstaw opon bliźniaczych	Szerokość opony, in.	
			Nowej	Używanej (maks.)
295/75R22,5	14	13,5	11,7	12,5
11R22,5	14	12,5	11,0	12,0
11R24,5	14	12,5	11,0	12,0
285/75R24,5	14	12,5	11,1	11,7
11R22,5	16	12,5	11,0	12,0
11R24,5	16	12,5	11,0	12,0
225/70R19,5	12	10,0	8,9	9,5
255/70R22,5	16	11,5	10,0	10,5

Tablica 14 przedstawia maksymalne dopuszczalne obciążenie i ciśnienie zimnych opon.
W oprogramowaniu MEPDG powinno się używać ciśnienia opony rozgrzanej. Ciśnienie opony rozgrzanej jest zazwyczaj wyższe o około 10 do 15 procent od zimnej. Wartość domyślna ciśnienia opony rozgrzanej stosowana w oprogramowaniu wynosi 120 psi.

Tablica 14 Maksymalne obciażenie i ciśnienie w zimnej oponie

Rozmiar RMA	Klasa nośności	Ciśnienie opon, psi		Maksymalne obciążenie, lbs.	
		pojedyncze	bliźniacze	pojedyncze	bliźniacze
295/75R22,5	14	110	110	6,200	5,700
11R22,5	14	104	104	6,200	5,900
11R24,5	14	104	104	6,600	6,000
285/75R24,5	14	110	110	6,200	5,700
11R22,5	16	120	120	6,600	6,000
11R24,5	16	120	120	7,200	6,600
225/70R19,5	12	96	96	3,600	3,400
255/70R22,5	16	120	120	5,500	5,100

2.1.5 Przetwarzanie danych wejściowych

Dane wejściowe o ruchu opisane powyżej są przetwarzane przez oprogramowanie MEPDG i używane do obliczeń reakcji nawierzchni na zadane obciążenia. Dane wyjściowe to liczba obciążeń osi występujących stopniowo (godzinowo lub miesięcznie) w określonej lokalizacji i zakładanym okresie projektowym. Wyniki końcowe przedstawia się w rozbiciu na następujące kategorie:

- liczba osi pojedynczych,
- liczba osi podwójnych,
- liczba osi potrójnych,
- liczba osi poczwórnych,
- liczba ciągników siodłowych (klasy 8 i wyżej do obliczeń spękań w nawierzchniach JPCP).

Poniżej przedstawiono 8 głównych kroków wykonywanych na danych wejściowych przez oprogramowanie MEPDG:

1. Określenie przyrostu (godzinowy lub miesięczny).
2. Określenie AADTT w roku bazowym.
3. Określenie znormalizowanego rozkładu klas ruchu pojazdów ciężarowych w roku bazowym.
4. Określenie liczby osi według ich typu dla danej klasy pojazdów ciężarowych.
5. Określenie znormalizowanego widma obciążenia osi dla danego typu osi i klasy pojazdu ciężarowego.

6. Określenie wskaźnika wzrostu ruchu na podstawie historycznych i obecnych poziomów natężenia ruchu.
7. Określenie całkowitego natężenia ruchu wyrażonego liczbą osi pojedynczych, podwójnych i potrójnych w każdej z grup obciążenia.
8. Określenie szczegółów obciążenia osi i opony.

2.1.6 Plan pomiarów ruchu dla lokalnych stacji WIM i AVC

Rozdział ten stanowi zarys planu zbierania danych potrzebnych do szacowania charakterystyki ruchu pojazdów ciężarowych na podstawie lokalnych pomiarów AVC i WIM.

2.1.6.1 Lokalizacja miejsca pomiaru ruchu

W większości przypadków znormalizowany rozkład lub widmo nacisków osi dla danego projektu można uznać za stały dla danej klasy pojazdu ciężarowego i typu osi. Jednakże widmo ruchu pojazdów ciężarowych może zmieniać się wzdłuż drogi w szczególności w obszarach zurbanizowanych. W tym przypadku jedna lokalizacja wagi WIM jest wystarczająca, ale może być konieczne użycie kilku punktów pomiarowych AVC celem określenia natężenia ruchu pojazdów ciężarowych wzdłuż rozpatrywanego projektu drogi. Liczba lokalizacji punktów AVC powinna być określona na podstawie doświadczenia i uwarunkowań wzdłuż drogi mających wpływ na zmiany natężenia ruchu (skrzyżowania dróg, lokalizacja fabryk itp.)

2.1.6.2 Wielkość próbki i częstotliwość

Dane o ruchu powinny być gromadzone zgodnie z procedurami i urządzeniami wyszczególnionymi w LTPP. Tablice od 15 do 17 mogą być użyte jako wytyczne wstępnego wyboru liczby dni wymaganych do zebrania odpowiedniej ilości danych dla lokalnej populacji ruchu. Liczba dni dla oceny ruchu została opracowana na podstawie analiz LTPP i zależy od poziomu ufności i dopuszczalnego błędu.

Tablica 15 Minimalna wielkość próbki (liczba dni w roku) do oceny znormalizowanego rozkładu obciążenia osi dla danych WIM

Błąd standardowy (± %)	Poziom ufności lub istotności, %				
	80	90	95	97,5	99
20	1	1	1	1	1
10	1	1	2	2	3
5	2	3	5	7	10
2	8	19	30	43	61
1	32	74	122	172	242

Tablica 16 Minimalna wielkość próbki (liczba dni w roku) do oceny znormalizowanego rozkładu ruchu pojazdów ciężarowych dla danych AVC

Błąd standardowy (± %)	Poziom ufności lub istotności, %				
	80	90	95	97,5	99
20	1	1	1	2	2
10	1	2	3	5	6
5	3	8	12	17	24
2	20	45	74	105	148
1	78	180	295	—***	—***

***Dla tych warunków wymagane są pomiary ciągłe.

Tablica 17 Minimalna wielkość próbki (liczba dni w roku) do oceny całkowitej liczby pojazdów w ciągu doby i roku dla danych AVC i liczenia pojazdów

Błąd standardowy (± %)	Poziom ufności lub istotności, %				
	80	90	95	97,5	99
20	3	7	12	16	23
10	12	27	45	64	90
5	47	109	179	254	—***
2	292	—***	—***	—***	—***
1	—***	—***	—***	—***	—***

***Dla tych warunków wymagane są pomiary ciągłe.

Dane WIM

Rozkład normalny obciążenia osi uznaje się za stały niezależnie od czasu i sezonu. Dlatego zaleca się prezentowanie danych WIM w odniesieniu do jednego roku, chyba że doświadczenia z poprzednich lat pokazują zmianę rozkładu obciążenia osi w czasie. Tabela 15 może zostać użyta jako wytyczne do wyboru liczby dni w roku do ciągłego pomiaru WIM, które są potrzebne do uzyskania określonego poziomu ufności i błędu standardowego.

Dane AVC

Minimalny okres zbierania danych

Pomiary ruchu AVC powinny być wykonywane w okresie minimum 3 lat, aby zredukować wpływ anomalii, które mogą się pojawić w przeciągu jednego roku pomiarowego. W przypadku, gdy zarządcy posiadają obszerne dane regionalne dla podobnych dróg, wartość minimalna może zostać zredukowana do jednego roku.

Próbki sezonowe

Moduł obliczenia ruchu używa miesięcznego przedziału do określenia danych wejściowych o ruchu. Jeśli zarządcy nie dysponują danymi regionalnymi lub projektowanego odcinka drogi, wtedy dane powinny być prezentowane w odniesieniu do miesiąca do momentu zebrania odpowiednich danych. Jeśli natomiast zarządcy dysponują odpowiednimi danymi historycznymi do określenia efektu sezonowości ruchu, miesiące o podobnej charakterystyce ruchu mogą zostać połączone w jeden sezon. Tabela 16 może zostać użyta jako wytyczne szacowania liczby dni pomiarów AVC w sezonie.

Dane o natężeniu ruchu

Zbiór danych o natężeniu ruchu powinien być zgodny z danymi AVC. Tabela 17 może być użyta jako wytyczne szacowania liczby dni pomiarowych w roku. Liczba dni powinna być podzielona według sezonu i dni tygodnia (dni robocze i weekend).

2.2 Opis metod stosowanych w Polsce

2.2.1 Klasyfikacja ruchu

Obowiązująca metodyka wyznaczania obciążenia ruchem zawarta jest w „Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych" (opracowanie IBDiM na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych, 1997r.) oraz w „Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie" (Dz. U. Nr 43 z 1999r., poz. 430).

Do projektowania i przebudowy konstrukcji nawierzchni, jako wyjściowy, przyjmuje się prognozowany Średni Dobowy Ruch (SDR) pojazdów ciężkich w przekroju drogi , w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji, w podziale na trzy grupy pojazdów:

- samochody ciężarowe bez przyczep,
- samochody ciężarowe z przyczepami,
- autobusy.

Pomija się pozostałe kategorie pojazdów, tj.: motocykle, samochody osobowe, samochody dostawcze i ciągniki rolnicze.

Podział ruchu na kategorie według liczby osi obliczeniowych na pas ruchu na dobę w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji przedstawiono w Tablicy 18. W Tablicy 18 podano również graniczną liczbę osi obliczeniowych 100 kN na pas obliczeniowy w założonym obliczeniowym okresie eksploatacji nawierzchni – 20 lat.

Tablica 18 Klasyfikacja dróg według kategorii ruchu

Kategoria ruchu	Liczba osi obliczeniowych (100 kN) na dobę, na pas obliczeniowy L	Trwałość zmęczeniowa: liczba osi obliczeniowych (100 kN) w założonym okresie obliczeniowym (20 lat)
KR1	≤ 12	≤ 90 000
KR2	13 ÷ 70	90 000 ÷ 510 000
KR3	71 ÷ 335	510 000 ÷ 2 500 000
KR4	336 ÷ 1 000	2 500 000 ÷ 7 300 000
KR5	1 001 ÷ 2 000	7 300 000 ÷ 14 600 000
KR6	2 001 i więcej	14 600 000 i więcej

2.2.2 Wyznaczanie kategorii ruchu

Metoda wyznaczania kategorii ruchu

Kategorię ruchu wyznacza się na podstawie liczby osi obliczeniowych na dobę na pas obliczeniowy w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji lub na podstawie przewidywanej liczby osi obliczeniowych w obliczeniowym okresie eksploatacji nawierzchni, który przyjęto na 20 lat.

Wyznaczanie kategorii ruchu na podstawie liczby osi obliczeniowych 100 kN na dobę na pas obliczeniowy

Na podstawie prognozowanego ruchu, w podziale na grupy pojazdów ciężkich, oblicza się liczbę osi obliczeniowych wg wzoru:

$$L = (N_1 \cdot r_1 + N_2 \cdot r_2 + N_3 \cdot r_3) \cdot f_1 \quad \text{osi/pas/dobę}$$

w którym:

L - liczba osi obliczeniowych na dobę na pas obliczeniowy w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji,

f_1 - współczynnik obliczeniowego pasa ruchu wg Tablicy 2,

N_1 - średni dobowy ruch samochodów ciężarowych bez przyczep w przekroju drogi, w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji,

N_2 - średni dobowy ruch samochodów ciężarowych z przyczepami w przekroju drogi, w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji,

N_3 - średni dobowy ruch autobusów w przekroju drogi, w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji,

r_1, r_2, r_3 - współczynniki przeliczeniowe samochodów ciężarowych i autobusów na osie obliczeniowe, wyznaczone wg Tablicy 19.

Kategorię ruchu wyznacza się z Tablicy 18 na podstawie obliczonej wartości *L*.

Tablica 19 Wartość współczynnika f_1

Liczba pasów ruchu w obu kierunkach		f_1
droga jednojezdniowa	droga dwujezdniowa	
2	-	0,50
3	-	0,50
4	4	0,45
-	6	0,35

Tablica 20 Współczynniki przeliczeniowe grup pojazdów na osie obliczeniowe 100 kN

Rodzaj pojazdu	Współczynnik przeliczeniowy na osie 100 kN
Samochody ciężarowe bez przyczep	$r_1 = 0,109$
Samochody ciężarowe z przyczepami	$r_1 = 1,245$ [1)] $r_2 = 1,950$ [2)]
Autobusy	$r_3 = 0,594$

[1)] gdy udział pojazdów o obciążeniu osi 115 kN w grupie pojazdów ciężkich z przyczepami wynosi do 8%;
[2)] gdy udział pojazdów o obciążeniu osi 115 kN w grupie pojazdów ciężkich z przyczepami wynosi od 8% do 20%.

2.3 Przystosowanie metody gromadzenia danych obciążenia ruchem

2.3.1 Wprowadzenie

Pojęcie osi obliczeniowej ESAL, charakteryzujące ruch pojazdów ciężarowych stosowane we wcześniejszych wersjach Wytycznych projektowania nawierzchni (Guide for Pavement Design) (AASHTO, 1993), nie jest stosowane w MEPDG. Zamiast tego MEPDG wykorzystuje dane dotyczące pełnego rozkładu obciążenia osi dla każdego typu osi w przypadku procedur projektowania nowych lub przebudowywanych nawierzchni. Rozkład obciążenia osi uzyskuje się w wyniku przetworzenia danych z ważenia pojazdów w ruchu (WIM). Jest to zasadnicza zmiana jakości odwzorowania oddziaływania ruchu na nawierzchnię, którą zaleca się wprowadzić do stosowania w polskich warunkach.

W 2010 roku w ramach pracy badawczej Instytut wykonał i uruchomił na jednej z głównych dróg krajowych stanowisko do dynamicznego ważenia pojazdów w ruchu. Stanowisko umożliwia kompleksową kontrolę pojazdów ciężkich (waga, wymiary, prędkość, czas pracy kierowców, parametry techniczne) i eliminację z ruchu pojazdów niebezpiecznych. Dzięki swojej wielofunkcyjności rozwiązanie to zyskało duże zainteresowanie wśród zarządców dróg i organów kontrolnych. Praca IBDiM przyczyniła się do rozpowszechnienia zagadnień związanych z ważeniem pojazdów w ruchu. Efektem takich działań będzie uruchomienie na drogach krajowych kilku stacji WIM do końca bieżącego roku, a także dalsza rozbudowa systemu ważenia w latach kolejnych. Biorąc pod uwagę nowe możliwości techniczne proponuje się wykorzystanie założeń metody MEPDG „wprost" zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w punkcie 1, do czasu utworzenia krajowych szczegółowych baz danych o ruchu.

2.3.2 Hierarchizacja danych wejściowych

W MEPDG uwzględniono, że pewne zarządy drogowe mogą nie dysponować środkami potrzebnymi do gromadzenia szczegółowych danych dotyczących ruchu pojazdów ciężarowych w okresie umożliwiającym dokładne określenie rzeczywistych poziomów ruchu pojazdów ciężarowych. Na dodatek niektóre zarządy mogą dysponować jedynie ograniczonymi obszarami (odcinkami), na których były zbierane dane dotyczące rozkładu obciążenia osi w czasie. Dla tych przypadków określono domyślne wartości z analiz blisko 200 WIM obszarów (odcinków) uwzględnionych w programie LTPP, co znacznie uprościło korzystanie z MEPDG w odniesieniu do ruchu pojazdów ciężarowych. Te wartości domyślne są zawarte w programie MEPDG i zostały określone na podstawie danych WIM zebranych przeważnie na międzystanowych autostradach i głównych arteriach.

Dla projektów przebudowy (remontu) lub odnowy nawierzchni projektant może żądać jakichkolwiek danych WIM zebranych w granicach projektu. Jeżeli dane WIM nie są dostępne, to projektant może prosić o zainstalowanie przenośnych urządzeń WIM w celu pomiaru charakterystyki ruchu pojazdów ciężarowych w krótkim okresie jako minimum. Jeżeli zainstalowanie urządzeń WIM nie jest możliwe, to w celu określenia danych wejściowych dotyczących ruchu pojazdów ciężarowych zaleca się:

- W przypadku projektów przebudowy (remontu) lub odnowy dane ruchu pojazdów ciężarowych mogą być oszacowane przy użyciu WIM i AVC, które są zlokalizowane na bliskich odcinkach drogi, przy założeniu że nie ma tam żadnych cech i większych skrzyżowań, które mogłyby zmienić potok ruchu pojazdów ciężarowych. Dane wejściowe określone na podstawie takiego rodzaju danych są rozważane w poziomie 1.
- Jeżeli nie istnieją punkty WIM zlokalizowane wzdłuż tego samego odcinka drogi lub w przypadku projektów konstrukcji nowych dróg można użyć danych WIM i AVC z innych podobnych dróg zlokalizowanych w tym samym regionie. Projektant może skontaktować się z zarządcą drogi w celu określenia punktów WIM i AVC, które mogą być przydatne do oszacowania danych wejściowych dotyczących ruchu pojazdów ciężarowych dla lokalizacji projektu. Dane wejściowe określone na podstawie tego typu danych są rozważane w poziomie 2.
- Jeżeli żadne punkty WIM nie są dostępne z podobnych dróg, to można użyć domyślnych wartości zawartych w programie MEPDG (Poziom 3 danych wejściowych).

2.3.3 Dostosowanie danych wejściowych

Poniżej przedstawiono interpretację wymagań danych wejściowych w odniesieniu do polskich warunków projektowych. Dokładny opis parametrów zamieszczono w punkcie 1.

2.3.3.1 Natężenie ruchu

- Dwukierunkowy średnioroczny dobowy ruch pojazdów ciężarowych (AADTT) – Średni dobowy ruch pojazdów ciężkich (SDR).
- Liczba pasów na projektowanym kierunku ruchu – zgodnie z wytycznymi MEPDG.
- Udział pojazdów ciężarowych na projektowanym kierunku ruchu – zgodnie z wytycznym MEPDG.
- Udział pojazdów ciężarowych na projektowanym pasie ruchu – zgodnie z wytycznym MEPDG (spójność metody polskiej i amerykańskiej).
- Prędkość operacyjna pojazdów – brak danych, proponuje się stosowanie prędkości 80 km/h (maksymalna dopuszczalna prędkość pojazdów ciężarowych) do czasu uzyskania wiarygodnych danych terenowych.

2.3.3.2 Współczynniki korygujące

- Miesięczne współczynniki korygujące – zgodnie z wytycznym MEPDG.

- Rozkład klas pojazdów – proponuje się wyłączenie z analiz pojazdów klas od 11 – 13 (pojazdy ciężarowe wieloprzyczepowe), które nie występują na polskich drogach.
- Współczynniki godzinowego rozkładu pojazdów ciężarowych – zgodnie z wytycznymi MEPDG.
- Współczynniki wzrostu ruchu – zgodnie z wytycznymi MEPDG.

2.3.3.3 Współczynniki rozkładu obciążenia osi

Brak dostępnych danych możliwych do zastosowania w projektowaniu jako wartości domyślnych. Proponuje się stworzenie wytycznych dotyczących zbierania i administrowania danymi pochodzącymi ze stacji ważenia pojazdów w ruchu WIM. Do czasu utworzenia takich baz danych należy postępować zgodnie z wytycznymi MEPDG.

2.3.3.4 Dane ogólne

Ogólne dane wejściowe o ruchu określają konfigurację obciążenia osi i szczegóły obciążeń stosowane do obliczeń reakcji nawierzchni. Proponuje się postępowanie zgodnie z wytycznymi MEPDG do czasu uzyskania danych w tym zakresie.

3 Zadanie 4: Przystosowanie metod oceny warunków klimatycznych i prognozy warunków termicznych i wodnych nawierzchni

3.1 Wprowadzenie

W ramach wdrażanej obecnie w USA nowej metody projektowania konstrukcji nawierzchni drogowych (odrębnie asfaltowych i betonowych) zwanej MEPDG potrzebne są różnorodne dane wejściowe dotyczące przyszłej konstrukcji drogowej oraz warunków, w których konstrukcja ta będzie eksploatowana. Jednymi z danych są dane klimatyczne.

Przeprowadzone w ramach AASHO badania wstępne był zrealizowane w jednej, określonej lokalizacji geograficznej (Ottawa, Illinois), szybko uwidoczniły, że nie ma możliwości przypisania tych warunków klimatycznych do projektowania nawierzchni w odległych regionach, o odmiennym klimacie. Z tego powodu obecnie dostępne są dane szczegółowe z tereny całych Stanów Zjednoczonych.

W ramach programu MEPDG wersji 1.100 do projektowanie nawierzchni podatnych i sztywnych niezbędne dane klimatyczne do przeprowadzenia analizy należy ściągnąć ze strony internetowej http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/mepdg/climatic_state.htm następnie rozpakować pliki z danymi. W celu zapewnienia poprawnego działania plik musi być zapisany w następującej lokalizacji (c:\dg2002\hcd\00000.hcd). Dysponując takim plikiem, w programie MEPDG należy wybrać stację meteorologiczną znajdującą się najbliżej lokalizacji projektowanej nawierzchni. Jeżeli dostępne stacje klimatyczne są zbyt oddalone istnieje możliwość stworzenie wirtualnej stacji na podstawie regresji liniowej danych z kilku sąsiednich stacji, z których dostępne są dane klimatyczne.

3.2 Przystosowanie danych do polskich warunków

Warunki środowiskowe mają znaczący wpływ na sprawność nawierzchni podatnych. Wzajemne oddziaływanie czynników klimatycznych z materiałami i obciążeniem nawierzchni są zespolone. Czynniki takie jak opady atmosferyczne, temperatura, cykle zamarzania i odmarzania oraz głębokość poziomu wody gruntowej wpływają na temperaturę i wilgotność nawierzchni oraz podłoża gruntowego, które z kolei, bezpośrednio wpływają na zdolność przenoszenia obciążeń warstw nawierzchni i ostatecznie sprawności nawierzchni. W pliku z danymi z USA znajdują się następujące dane:

- Data oraz godzina pomiaru,
- Cogodzinna temperatura powietrza,
- Cogodzinna prędkość wiatru,
- Cogodzinny procent nasłonecznienia,
- Cogodzinne opady atmosferyczne,
- Cogodzinna względna wartość wilgotności otoczenia

Ponadto w nagłówku podane są współrzędne geograficzne stacji oraz uśrednione dane dotyczące snozowego lub stałego poziom głębokości wód gruntowych, nasłonecznienia oraz wilgotności.

W ramach prac przeprowadzonych w zakresie zadania 4 planowano początkowo dołożenie plików z danymi z Polski do danych dostępnych z terytorium USA, tak aby można było używać Polskich danych w taki sam sposób jak amerykańskich. Niestety pomimo długotrwałych pertraktacji z administratorami bazy danych w USA nie udało się uzyskać ich zgody, ponadto zaistniał problem aktualizacji danych w czasie. W przypadku zaimplementowania danych z Polski należałoby znaleźć dodatkowe finansowanie na aktualizowanie danych po zakończeniu projektu, co było by niezbędne z uwagi na gwałtowne zmiany klimatu obserwowane w ostatnich latach.

Kolejnym podejściem do zagadnienie implementacji polskich danych do bazy amerykańskiej było podmienienie danych w pliku, w miejsce danych oryginalnych wprowadzono dane polskie i zapisano

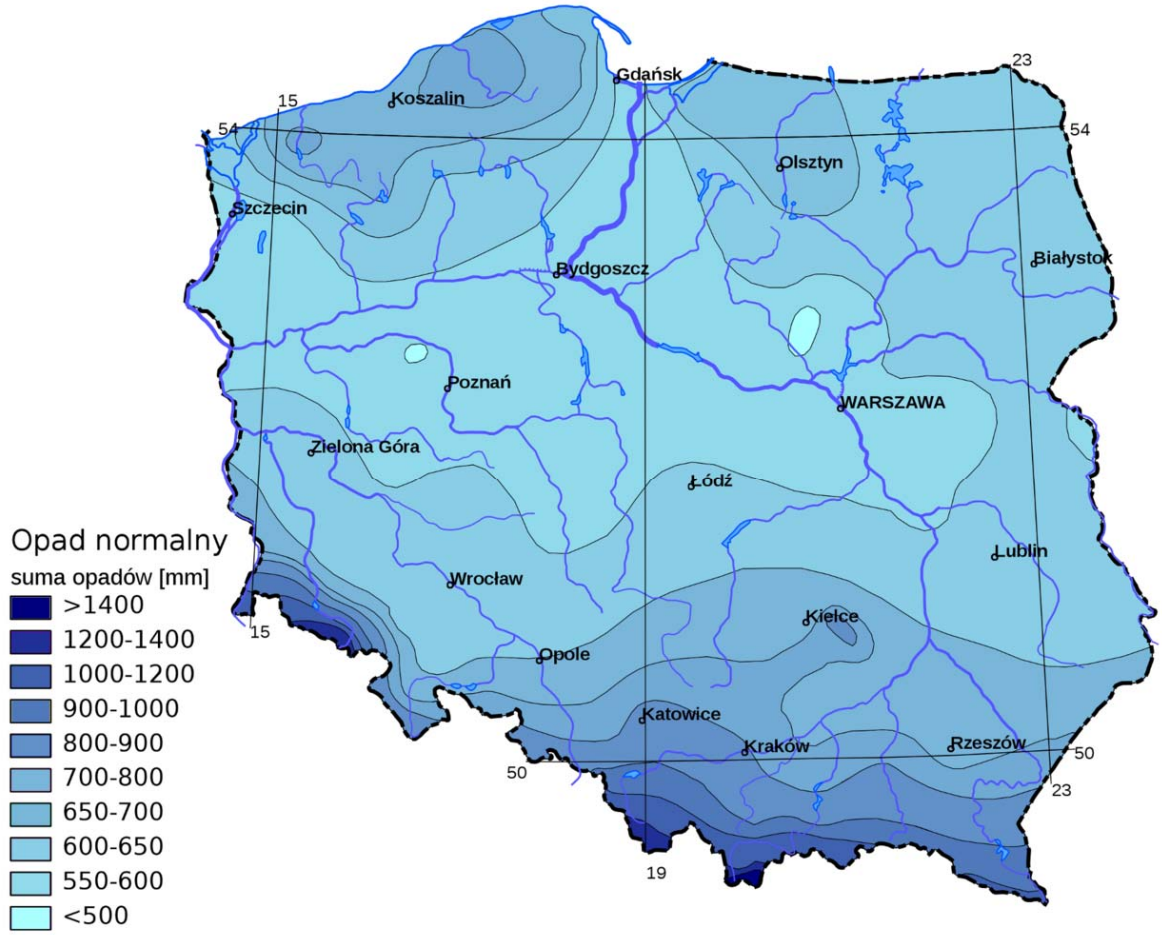
pliki ponownie. Przy próbie wykorzystania takich danych okazało się, że w programie MEPDG jest zapisany przedział długości i szerokości geograficznych odpowiedni do położenie USA, a program zgłaszał błąd przy próbie użycia pliku z polskimi współrzędnymi. Po zmianie współrzędnych na wartości z odpowiedniego zakresu, program pozwalał wybrać nową lokalizację stacji meteorologicznej z wprowadzoną polską nazwą, jednakże nie importował żadnych danych z tak zmienionego pliku. W toku dalszych prac ustalono, że jakakolwiek zmiana w pliku z rozszerzeniem .hcd, mimo zapisania pliku ze zmianami w identycznym formacie do pierwowzoru uniemożliwia jego ponowne prawidłowe użycie.

Z powodów opisanych powyżej ustalono, że bezpośrednia implementacja danych klimatycznych z Polski jest niewykonalna, dlatego zgodnie z sugestiami przesłanymi od administratora danych z USA postanowiono wybrać amerykańskie odpowiedniki polskich stacji metrologicznych. W Polsce monopolistą dostarczania danych jest IMGW, który pobiera opłaty za ich udostępnienie, koszt pozyskania danych porównywalnych do danych z USA, w odniesieniu do 1 stacji wyniósłby ok. 40 tys.. Dane, które są gromadzone przez IMGW pochodzą z depesz SYNOP (zakodowana depesza meteorologiczna zawierająca informacje o powierzchniowych obserwacjach meteorologicznych (ang. surface synoptic observations), jednakże dane z głównych terminów pomiarowych (co trzy godziny) przesyłane są do sieci wymiany międzynarodowej innych regionalnych biur pogodowych między innymi w USA. Dzięki współpracy ze specjalistami Wojskowej Akademii Technicznej udało się pozyskać te dane. Zgromadzone i przeanalizowane statystycznie dane dotyczące Polski obejmowały 37 stacji meteorologicznych rozproszonych na całym obszarze naszego kraju, oraz okres od 1996 do 2006 r. Wykaz stacji znajduje się w tablicy 21.

Tablica 21. Stacje pogodowe w Polsce

L.p.	Nr. stacji	Nazwa	L.p.	Nr. stacji	Nazwa
1	12100	Kołobrzeg	20	12326	Poznań
2	12105	Koszalin	21	12336	Powidz
3	12120	Łeba	22	12345	Koło
4	12135	Hel	23	12360	Płock
5	12136	Cewice	24	12375	Warszawa
6	12154	Malbork	25	12399	Terespol
7	12195	Suwałki	26	12400	Zielona Góra
8	12200	Świnoujście	27	12415	Legnica
9	12205	Szczecin	28	12418	Leszno
10	12212	Świdnin	29	12424	Wrocław
11	12215	Ustka	30	12435	Kalisz
12	12226	Mirosławiec	31	12455	Wieluń
13	12230	Piła	32	12465	Łódź
14	12235	Chojnice	33	12469	Sulejów
15	12250	Toruń	34	12485	Radom
16	12270	Mława	35	12490	Dęblin
17	12272	Olsztyn	36	12495	Lublin
18	12295	Białystok	37	12497	Włodawa
19	12300	Gorzów Wielkopolski			

Do porównania warunków związanych z opadami wykorzystano mapę sumy opadów w Polsce (rys. 11). Oraz dane klimatyczne dotyczące najniższej oraz najwyższej 7-mio dniowej temperatury. (temperatury te zostały przyjęte w ramach programu SUPERPAVE jako parametry pozwalające uwzględnić warunki klimatyczne w doborze odpowiedniego lepiszcza pod względem jego rodzaju funkcjonalnego PG).



Rysunek 11. Roczna suma opadów na terytorium Polski (źródło – Wikipedia)

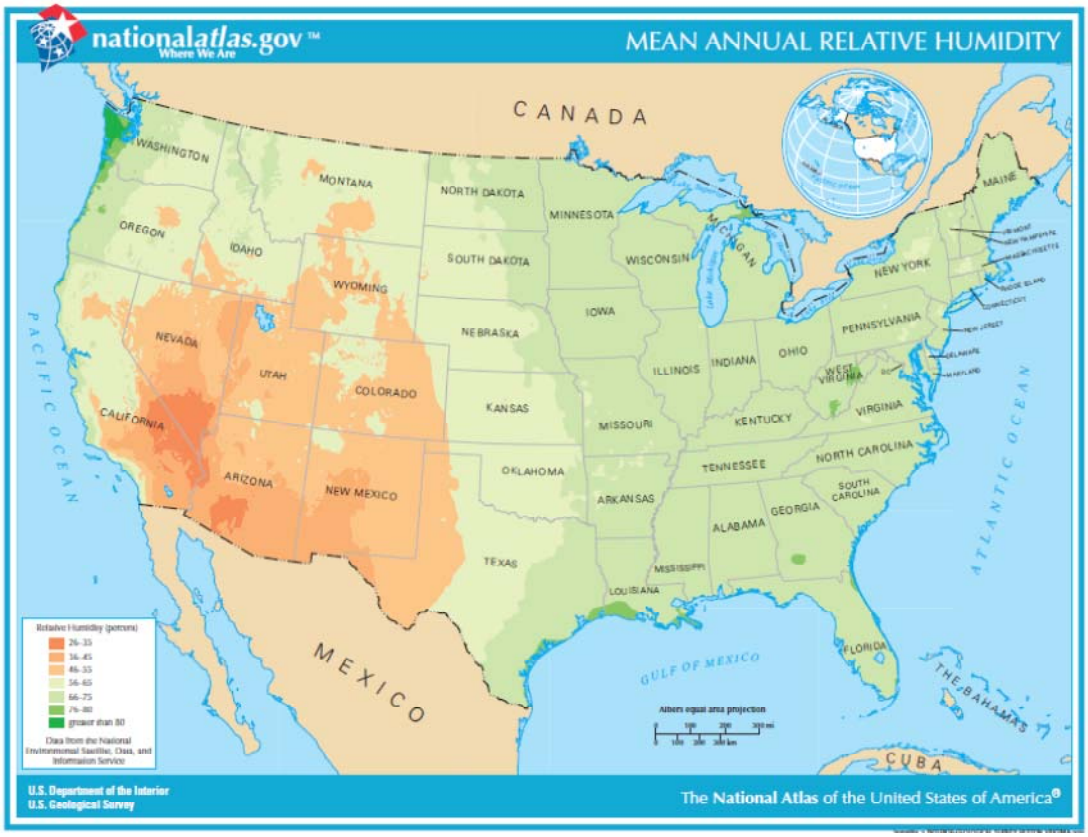
W tablicy 22 podane są odpowiednie temperatury obliczone na podstawie danych z ostatnich lat.

Tablica 22. Temperatury charakterystyczne powietrza ze stacji meteorologicznych w Polsce

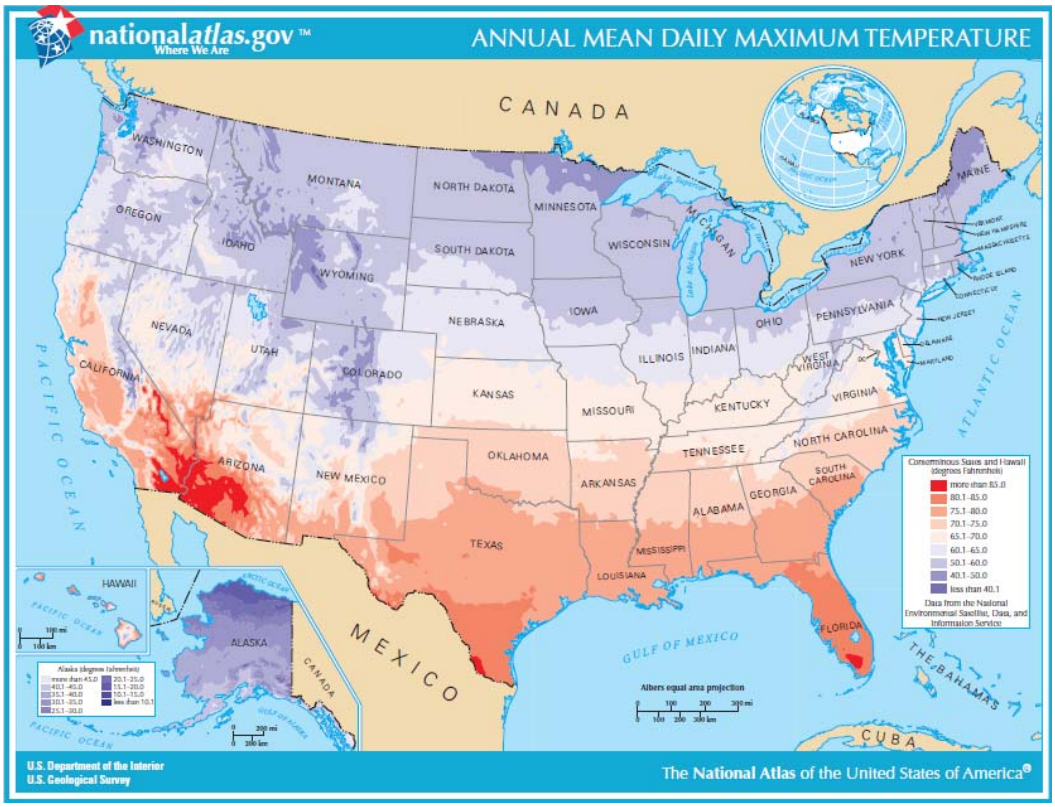
L.p.	Nr stacji	Nazwa stacji	Maksymalna temperatura 7-miodniowa*	Minimalna temperatura
1	12100	Kołobrzeg	28,0	-19,8
2	12105	Koszalin	31,1	-20,9
3	12120	Łeba	30,1	-21,2
4	12135	Hel	29,7	-17,1
5	12136	Cewice	32,7	-25,8
6	12154	Malbork	31,7	-29,4
7	12195	Suwałki	32,9	-30,9
8	12200	Świnoujście	30,6	-19,6
9	12205	Szczecin	34,6	-22,7
10	12212	Świdnin	34,6	-22,2
11	12215	Ustka	30,1	-17,9
12	12226	Mirosławiec	34,6	-23,8
13	12230	Piła	35,7	-27,5
14	12235	Chojnice	34,5	-24,0
15	12250	Toruń	35,4	-30,8
16	12270	Mława	34,4	-26,6
17	12272	Olsztyn	33,6	-28,1
18	12295	Białystok	33,7	-28,9
19	12300	Gorzów Wielkopolski	34,9	-23,4
20	12326	Poznań	32,6	-24,6
21	12336	Powidz	33,6	-26,0
22	12345	Koło	34,8	-27,8
23	12360	Płock	34,2	-28,6
24	12375	Warszawa	34,3	-26,8
25	12399	Terespol	33,2	-27,6
26	12400	Zielona Góra	34,5	-22,2
27	12415	Legnica	35,4	-27,1
28	12418	Leszno	35,2	-23,2
29	12424	Wrocław	35,4	-22,3
30	12435	Kalisz	34,9	-25,1
31	12455	Wieluń	34,6	-26,5
32	12465	Łódź	35,0	-30,1
33	12469	Sulejów	34,5	-31,5
34	12485	Radom	31,7	-27,7
35	12490	Dęblin	32,1	-29,8
36	12495	Lublin	32,9	-27,4
37	12497	Włodawa	33,6	-28,3

* Jest to średnia z maksymalnych temperatur zarejestrowanych podczas kolejnych 7 dni

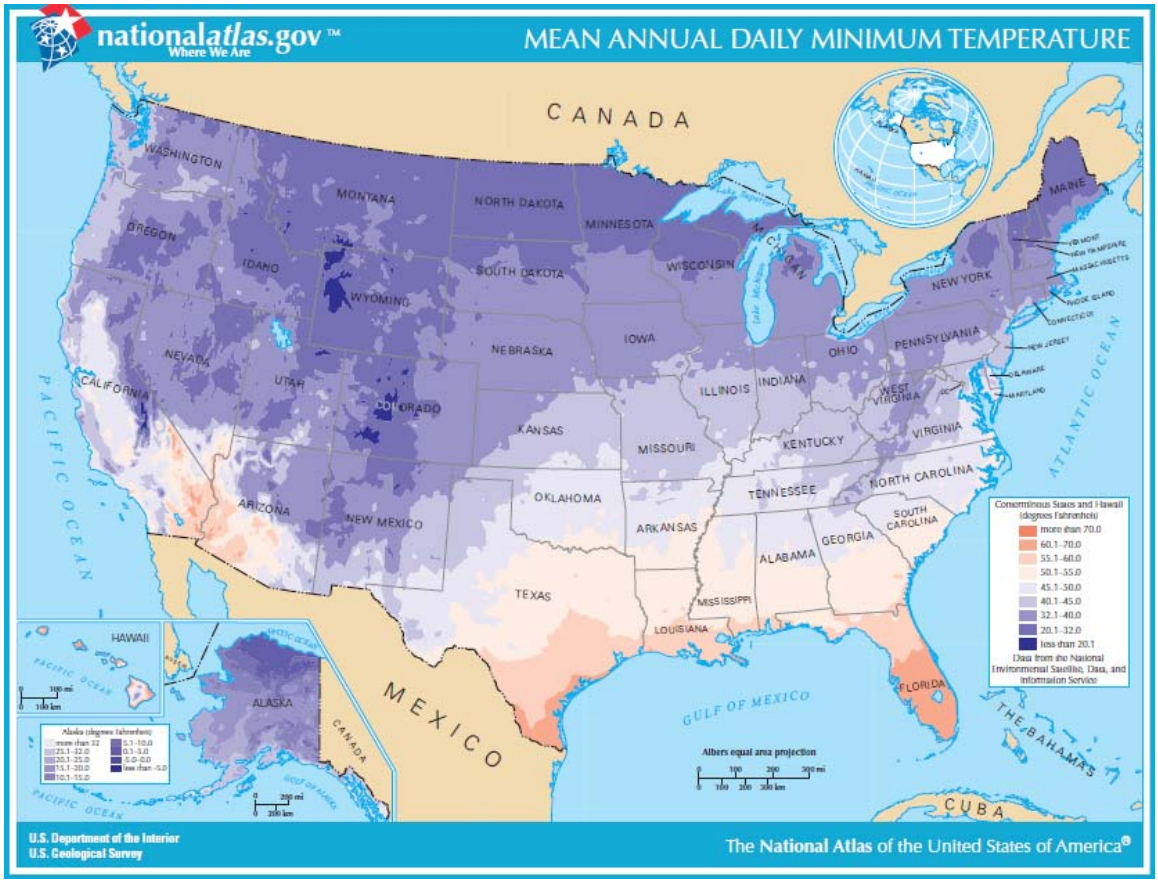
Polska leży na półkuli północnej i wschodniej między 49°00’ a 54°00’ szerokości geograficznej północnej oraz między 14°07’ a 24°08’ długości geograficznej wschodniej. Tereny leżące na tych samych równoleżnikach znajduje się na terenie Kanady, dlatego przyjęto, że należy rozpatrzeć dane ze stanów leżących blisko granicy pomiędzy USA i Kanady o klimacie umiarkowanym. W praktyce ograniczono się do stanów centralnych oraz z wschodniego wybrzeża. Do wyboru stanów USA o zbliżonym klimacie wykorzystano mapy ze strony www.nationalatlas.gov. Użyto map: wilgotności (rysunek 12) oraz średniej rocznej minimalnej i maksymalnej temperatury dobowej (rysunki 13 i 14).



Rysunek 12 Wilgotność względna

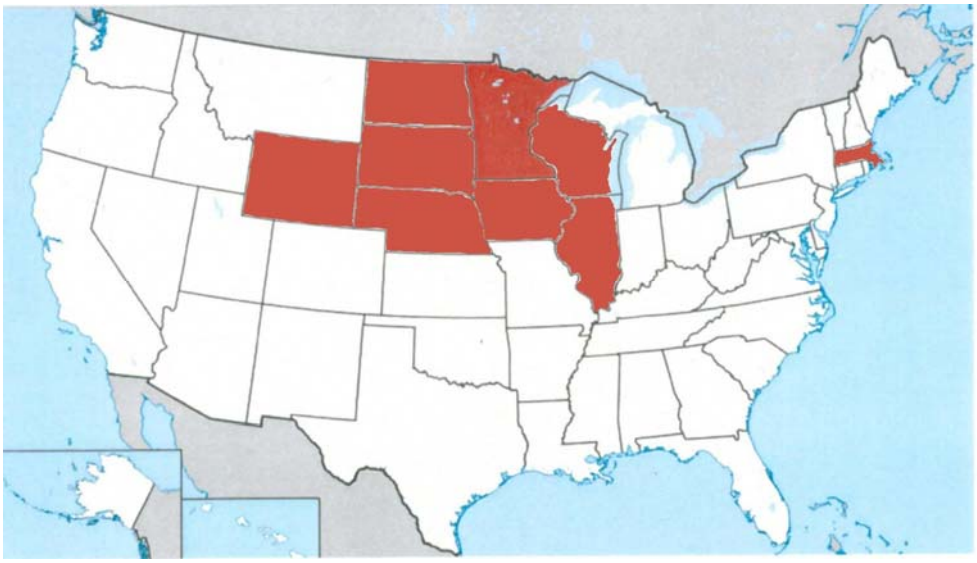


Rysunek 13 Średnia roczna maksymalna temperatura



Rysunek 14 Średnia roczna minimalna temperatura

Po przeanalizowaniu danych klimatycznych poszczególnych stanów w USA oraz danych z polskich stacji meteorologicznych wybrano do porównań następujące stany: Illinois, Iowa, Massachusetts, Minnesota, Nebraska, North Dakota, South Dakota, Wisconsin oraz Wyoming. Obszar ten odzwierciedla pełen zakres warunków klimatycznych w Polsce. Na rysunku 15 zaznaczono wybrane stany w USA.



Rysunek 15 Wybrane do analizy porównawczej stany z USA

3.3 Amerykańskie odpowiedniki polskich stacji

Zgodnie ze sposobem postępowania ustalonym w MEPDG, w ramach niniejszego zadania ściągnięte zostały pliki z danymi klimatycznymi z wybranych do analizy porównawczej stanów USA. W całości oznaczało to przeanalizowanie danych z ponad 130 stacji meteorologicznych (Tablica 23) z okresu od roku 1996 do roku 2006. Okres, z którego pochodziły dane był zróżnicowany, czasami dane były niekompletne, lecz w każdym przypadku minimalny analizowany okres wyniósł 6 lat.

Tablica 23. Wykaz użytych stacji meteo w USA

Nr stacji	Nazwa	Nr. stacji	Nazwa
24164	BIG PINEY| WY	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
94054	BUFFALO| WY	93810	CARBONDALE/MURPHYBORO| IL
24089	CASPER| WY	94870	CHAMPAIGN/URBANA| IL
24018	CHEYENNE| WY	14819	CHICAGO| IL
94057	DOUGLAS| WY	94846	CHICAGO| IL
4111	EVANSTON| WY	4808	CHICAGO/AURORA| IL
94023	GILLETTE| WY	14880	CHICAGO/WAUKEGAN| IL
24048	GREYBULL| WY	4838	CHICAGO/PROSPECT HGTS/WHEELING| IL
24021	LANDER| WY	94892	CHICAGO/WEST CHICAGO| IL
24022	LARAMIE| WY	3887	DECATUR| IL
24057	RAWLINS| WY	13809	LAWRENCEVILLE| IL
24061	RIVERTON| WY	53802	MATTOON/CHARLESTON| IL
24027	ROCK SPRINGS| WY	14923	MOLINE| IL
24029	SHERIDAN| WY	14842	PEORIA| IL
94053	TORRINGTON| WY	93989	QUINCY| IL
24062	WORLAND| WY	94822	ROCKFORD| IL
24044	ALLIANCE| NE	93822	SPRINGFIELD| IL
94946	BROKEN BOW| NE	14702	BEDFORD| MA
24017	CHADRON| NE	54733	BEVERLY| MA
94957	FALLS CITY| NE	14739	BOSTON| MA
14935	GRAND ISLAND| NE	94624	CHATHAM| MA
94949	HASTINGS| NE	4780	FITCHBURG| MA
24091	IMPERIAL| NE	94720	HYANNIS| MA
14939	LINCOLN| NE	94723	LAWRENCE| MA
94040	MC COOK| NE	14756	NANTUCKET| MA
14941	NORFOLK| NE	94726	NEW BEDFORD| MA
24023	NORTH PLATTE| NE	54768	NORTH ADAMS| MA
14942	OMAHA| NE	54704	NORWOOD| MA
94958	ORD| NE	54756	ORANGE| MA
24028	SCOTTSBLUFF| NE	14763	PITTSFIELD| MA
24030	SIDNEY| NE	54769	PLYMOUTH| MA
94978	TEKAMAH| NE	54777	TAUNTON| MA
24032	VALENTINE| NE	94724	VINEYARD HAVEN| MA
94989	AMES| IA	14775	WESTFIELD/SPRINGFIELD| MA
14931	BURLINGTON| IA	94746	WORCESTER| MA
14990	CEDAR RAPIDS| IA	94929	ASHLAND| WI
94982	DAVENPORT| IA	94994	BOSCOBEL| WI
14933	DES MOINES| IA	14991	EAU CLAIRE| WI
94908	DUBUQUE| IA	4840	FOND DU LAC| WI
94971	ESTHERVILLE| IA	14898	GREEN BAY| WI
14937	IOWA CITY| IA	94973	HAYWARD| WI
94991	LAMONI| IA	4845	KENOSHA| WI
94988	MARSHALLTOWN| IA	14920	LA CROSSE| WI
14940	MASON CITY| IA	14921	LONE ROCK| WI
14950	OTTUMWA| IA	14837	MADISON| WI

Nr stacji	Nazwa	Nr. stacji	Nazwa
14943	SIOUX CITY| IA	94985	MARSHFIELD| WI
14972	SPENCER| IA	14839	MILWAUKEE| WI
94910	WATERLOO| IA	94855	OSHKOSH| WI
24011	BISMARCK| ND	94818	RACINE| WI
24012	DICKINSON| ND	4803	RHINELANDER| WI
14914	FARGO| ND	4841	SHEBOYGAN| WI
14916	GRAND FORKS| ND	14897	WAUSAU| WI
94038	HETTINGER| ND	4826	WISCONSIN RAPIDS| WI
14919	JAMESTOWN| ND	14910	ALEXANDRIA| MN
24013	MINOT| ND	94961	BAUDETTE| MN
94014	WILLISTON| ND	94938	BRAINERD| MN
14929	ABERDEEN| SD	14913	DULUTH| MN
94032	CUSTER| SD	94931	HIBBING| MN
14936	HURON| SD	14918	INTERNATIONAL FALLS| MN
94950	MITCHELL| SD	14922	MINNEAPOLIS| MN
94052	MOBRIDGE| SD	94960	MINNEAPOLIS| MN
24024	PHILIP| SD	94963	MINNEAPOLIS| MN
24025	PIERRE| SD	94967	PARK RAPIDS| MN
94039	PINE RIDGE| SD	14992	REDWOOD FALLS| MN
24090	RAPID CITY| SD	14925	ROCHESTER| MN
14944	SIOUX FALLS| SD	14926	ST CLOUD| MN
14946	WATERTOWN| SD	14927	ST PAUL| MN
94990	WINNER| SD		

Na podstawie minimalnej wartości bezwzględnej różnicy pomiędzy danymi klimatycznymi w Polsce i USA utworzono następujące powiązania stacji meteorologicznych (tablica 24).

Tablica 24 Przyporządkowane sobie stacji meteorologiczne w Polsce i USA

Nr i nazwa stacji w Polsce		Nr i nazwa stacji w USA	
12100	Kołobrzeg	54777	TAUNTON| MA
12105	Koszalin	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
12120	Łeba	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
12135	Hel	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
12136	Cewice	94040	MC COOK| NE
12154	Malbork	14925	ROCHESTER| MN
12195	Suwałki	94960	MINNEAPOLIS| MN
12200	Świnoujście	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
12205	Szczecin	93989	QUINCY| IL
12212	Świdnin	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
12215	Ustka	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
12226	Mirosławiec	4111	EVANSTON| WY
12230	Piła	94054	BUFFALO| WY
12235	Chojnice	4111	EVANSTON| WY
12250	Toruń	24021	LANDER| WY
12270	Mława	24027	ROCK SPRINGS| WY
12272	Olsztyn	24018	CHEYENNE| WY
12295	Białystok	24018	CHEYENNE| WY
12300	Gorzów Wielkopolski	4111	EVANSTON| WY
12326	Poznań	4111	EVANSTON| WY
12336	Powidz	4112	EVANSTON| WY
12345	Koło	24027	ROCK SPRINGS| WY
12360	Płock	24028	ROCK SPRINGS| WY
12375	Warszawa	24029	ROCK SPRINGS| WY
12399	Terespol	24018	CHEYENNE| WY
12400	Zielona Góra	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
12415	Legnica	24027	ROCK SPRINGS| WY
12418	Leszno	93989	QUINCY| IL
12424	Wrocław	3960	CAHOKIA/ST,LOUIS| IL
12435	Kalisz	4111	EVANSTON| WY
12455	Wieluń	24027	ROCK SPRINGS| WY
12465	Łódź	94054	BUFFALO| WY
12469	Sulejów	14922	MINNEAPOLIS| MN
12485	Radom	94990	WINNER| SD
12490	Dęblin	14925	ROCHESTER| MN
12495	Lublin	94990	WINNER| SD
12497	Włodawa	24018	CHEYENNE| WY

Na podstawie powyższej tablicy, projektując nawierzchnie np. w Warszawie, z wykorzystaniem oprogramowania MEPDG w wersji 1.100 należy pobrać i odpowiednio zainstalować plik z danymi z Wyoming i wybrać stacje meteorologiczną nr 24029 w mieście ROCK SPRINGS. Oprócz danych z pliku z bazy danych z USA trzeba podać również poziom wód gruntowych ustalony na podstawie oddzielnych badań, poprzedzających planowanie konstrukcji drogowej. Wraz z pojawieniem się wersji on-line nie będzie konieczności ściągania odpowiedniego pliku z danymi klimatycznymi, natomiast wybór odpowiedniej stacji, do warunków polskich będzie odbywał się na podstawie tablicy 23.

4 Zadanie 5: Przystosowanie metod gromadzenia danych oceny podłoża gruntowego

4.1 Analiza metod badawczych zawartych w normach ASTM i AASHTO

W programie MEPDG do projektowania wykorzystywane są dane dotyczące podłoża gruntowego wyznaczane zgodnie z procedurami zawartymi w normach ASTM i procedurach AASTO (American Association of State Highway and Transportation). W celu przystosowania metod gromadzenia danych odnośnie do podłoża gruntowego wykonano analizę metod badawczych zawartych w normach ASTM i procedurach AASHTO i porównano je z metodami badawczymi stosowanymi w Polsce (normy PN, PN-EN, specyfikacje CEN ISO/TS). Wyniki analizy zestawiono w tablicy 25. W wyniku analizy wskazano zalecane metody badań poszczególnych parametrów gruntów podłoża.

Ponadto przeanalizowano zalecane dla poziomu 2 i 3 wartości modułu sztywności sprężystej dla materiałów niezwiązanej podbudowy z kruszywa, warstwy mrozochronnej (podbudowy pomocniczej), nasypów oraz podłoża gruntowego, podane w podręczniku MEPDG w tablicy 11-10.

Tablica 25. Analiza metod badawczych ASTM i AASHTO oraz PN, PN-EN i CEN ISO/TS

Normy AASHTO i ASTM	**Normy PN i PN-EN odpowiadające lub najbardziej zbliżone metodyką badania do AASHTO i ASTM**	**Uwagi i komentarze dot. metodyki badań w stosunku do AASHTO i ASTM**	**Zalecana metoda**
Materiały i grunty niezwiązane			
AASHTO T88 Particle Size Analysis of Soils	PN-88/B-04481 Grunty budowlane -Badania próbek gruntu	Analiza sitowa i areometryczna podobne. Drobne różnice w sitach wynikające z innej klasyfikacji gruntów. Inne rodzaje płynów używane do stworzenia zawiesiny, ale metodyki badań są zgodne z AASHTO T88 .	ISO/TS 17892-4
	PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego	Analiza sitowa i areometryczna podobne. Dodatkowo do analizy areometrycznej dodano analizę pipetową. Drobne różnice w sitach, raczej nieistotne. Płyny chemiczne do zawiesiny zgodne z AASHTO T88.	
AASHTO T 89 Determining the Liquid Limits of Soils	PN-88/B-04481 Grunty budowlane - Badania próbek gruntu	Oznaczanie granicy płynności metodą Cassagrand`a zgodna z AASHTO T 89, lecz długość zlania bruzdy wynosi 10mm a w AASHTO T 89 wynosi 13mm. Norma PN nie precyzuje uziarnienia próbki do badania a AASHTO T 89 podaje że grunt należy przesiać przez 0,425mm.	PN-88/B-04481 Z zaleceniem przesiania próbki przez sito 0,425mm
	PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 12: Oznaczanie granic Atterberga	Oznaczanie granicy płynności metodą stożkową. Metoda Cassagrand`a nie jest zalecana. Mogą wystąpić różnice pomiędzy badaniami AASHTO T 89 I PKN-CEN ISO/TS 17892-1	
AASHTO T 90 Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils	PN-88/B-04481 Grunty budowlane -Badania próbek gruntu	Metoda wałeczkowania i określenia granic plastyczności – bez różnic	PN-88/B-04481 lub ISO/TS 17892-12
	PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 12: Oznaczanie granic Atterberga	Metoda wałeczkowania i określenia granic plastyczności – bez różnic	

Normy AASHTO i ASTM	**Normy PN i PN-EN odpowiadające lub najbardziej zbliżone metodyką badania do AASHTO i ASTM**	**Uwagi i komentarze dot. metodyki badań w stosunku do AASHTO i ASTM**	**Zalecana metoda**
AASHTO T 99 Moisture Density Relations of Soils Using a 2.5 kg (5.5 lb) Rammer and a 305 mm (12 in) Drop	PN-88/B-04481 Grunty budowlane -Badania próbek gruntu	Metoda badania bez różnic	PN-88/B-04481
	PN-EN 13286-2:2010 Mieszanki niezwiązane i związane hydraulicznie - Część 2: Metody badań laboratoryjnych gęstości na sucho i zawartości wody - Zagęszczanie metodą Proctora (oryg.) – stosowana dla kruszyw	Ogólnie metoda badania bez różnic. Występują drobne różnice w tolerancjach wymiarów cylindrów, bez wpływu na wynik badania.	
AASHTO T 100 Specific Gravity of Soils	PN-88/B-04481 Grunty budowlane -Badania próbek gruntu	Metoda badania zgodna z AASHTO T 100	PN-88/B-04481 lub ISO/TS 17892-3
	PKN-CEN ISO/TS 17892-3:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 3: Oznaczanie gęstości właściwej - Metoda piknometru	Metoda badania zgodna z AASHTO T 100	
AASHTO T 180 Moisture Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10 lb) Rammer and an 457-mm (18 in) Drop	PN-88/B-04481 Grunty budowlane -Badania próbek gruntu.	Metoda badania bez różnic.	PN-88/B-04481
	PN-EN 13286-2:2010 Mieszanki niezwiązane i związane hydraulicznie - Część 2: Metody badań laboratoryjnych gęstości na sucho i zawartości wody - Zagęszczanie metodą Proctora (oryg.) - stosowana dla kruszyw	Metoda badania bez różnic. Występują drobne różnice w tolerancjach wymiarów cylindrów, lecz bez wpływu na wynik badania.	
AASHTO T 190 Resistance R-Value and Expansion Pressure of Compacted Soils	Brak normy		szacować wg MEPDG dla poziomu 2 i 3

Normy AASHTO i ASTM	**Normy PN i PN-EN odpowiadające lub najbardziej zbliżone metodyką badania do AASHTO i ASTM**	**Uwagi i komentarze dot. metodyki badań w stosunku do AASHTO i ASTM**	**Zalecana metoda**
AASHTO T 193 The California Bearing Radio	PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania) stosowana dla gruntów.	Metoda zgodna z AASHTO T 193	PN-S-02205
	PN-EN 13286-47:2007 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym -- Część 47: Metoda badania do określenia kalifornijskiego wskaźnika nośności, natychmiastowego wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego (stosowana dla kruszyw)	Metoda zgodna z AASHTO T 193, lecz norma nie precyzuje rodzaju pielęgnacji. WG AASHTO próbkę należy nasączać wodą	
AASHTO T 206 Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils	PN-EN ISO 22476-3:2005 Rozpoznanie i badania geotechniczne - Badania polowe - Część 3: Sonda cylindryczna SPT	Metoda zgodna z AASHTO T 206	PN-EN ISO 22476-3
AASHTO T 207 Thin-Walled Tube Sampling of Soils	PN-EN 1997:2 PN-EN ISO 22475-1:2006 Rozpoznanie i badania geotechniczne -- Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych -- Część 1: Techniczne zasady wykonania	Dostosować kształt i wymiary urządzenia do klasy próbki i rodzaju badania	PN-EN 1997:2 i EN ISO 22475-1
AASHTO T 215 Permeability of Granular Soils (Constant Head)	PN-55/B-04492 Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Oznaczanie wskaźnika wodoprzepuszczalności	Stara polska norma stosowana wyłącznie dla gruntów piaszczystych.	ISO/TS 17892-11
	PKN-CEN ISO/TS 17892-11:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 11: Badanie filtracji przy stałym i zmiennym gradiencie hydraulicznym	Norma badania dla wszystkich rodzajów gruntów sypkich i spoistych, podaje metody przy stałym i zmiennym spadku hydraulicznym	

Normy AASHTO i ASTM	**Normy PN i PN-EN odpowiadające lub najbardziej zbliżone metodyką badania do AASHTO i ASTM**	**Uwagi i komentarze dot. metodyki badań w stosunku do AASHTO i ASTM**	**Zalecana metoda**
ASTM D2434-68 Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)	PN-55/B-04492 Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Oznaczanie wskaźnika wodoprzepuszczalności	j/w	ISO/TS 17892-11
	PKN-CEN ISO/TS 17892-11:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 11: Badanie filtracji przy stałym i zmiennym gradiencie hydraulicznym	j/w	
AASHTO T 258 Determining Expansive Soils	PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania		
AASHTO T 265 Laboratory Determination of Moisture Content of Soils	PN-88/B-04481 Grunty budowlane -Badania próbek gruntu.	Normy PN i PN-EN zgodne z metodyką AASHTO T 265	PN-88/B-04481 lub ISO/TS 17892-1
	PKN-CEN ISO/TS 17892-1:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 1: Oznaczanie wilgotności		
AASHTO T 307 Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials	PN-EN 13286-7:2004 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 7: Próba cyklicznego obciążania trójosiowego mieszanek niezwiązanych (oryg.)	Różnice w metodach. Na obecnym etapie zaleca się stosować PN-EN 13286-7	PN-EN 13286-7
	PKN-CEN ISO/TS 17892-9:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 9: Badanie gruntów w aparacie trójosiowego ściskania po nasyceniu wodą		
ASTM D 2487 Classification of Soils for Engineering Purposes	PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania	ASTM D 2487 zawiera klasyfikację gruntów do celów inżynieryjnych opartą na właściwościach gruntów określonych wg norm badań (które dobrano wg norm PN	ASTM D 2487 i AASHTO M 145 wg opracowania

Normy AASHTO i ASTM	**Normy PN i PN-EN odpowiadające lub najbardziej zbliżone metodyką badania do AASHTO i ASTM**	**Uwagi i komentarze dot. metodyki badań w stosunku do AASHTO i ASTM**	**Zalecana metoda**
	PN-B-02480:1986 Grunty budowlane - Określenia, symbole, podział i opis gruntów	lub PN-EN). Klasyfikacja jest różna od stosowanej obecnie w Polsce klasyfikacji PN-EN ISO, dlatego do klasyfikacji gruntów do stosowania w MEPDG zaleca się stosować ASTM D 2487 i AASHTO M 145. Kwalifikowanie materiału do klasy geotechnicznej wg opracowania IBDiM	IBDiM oraz PN-EN ISO 14688
	PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne - Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów - Część 1: Oznaczanie i opis		
	PN-B-02481:1998 Geotechnika - Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar		
	PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne - Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów - Część 2: Zasady klasyfikowania		
ASTM D 6951 Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone. Penetrometer in Shallow Pavement Applications	Brak normy		ASTM D 6951

4.2 Wykaz parametrów geotechnicznych wg MEPDG dla poszczególnych poziomów z dostosowaniem norm PN – PN-EN

W podręczniku MEPDG, w tablicy 11-9, zestawione są wymagania i metody badań (zalecane w MEPDG) nowych i istniejących materiałów niezwiązanych do podbudowy z kruszywa, warstwy mrozochronnej (podbudowy pomocniczej), nasypów oraz podłoża gruntowego - poziom 1. Przeprowadzone analizy procedur badawczych pozwoliły na zaproponowanie zalecanej metody do stosowania w Polsce.

Tablica 11-9. Wymagania i metody badań nowych i istniejących materiałów niezwiązanych do podbudowy z kruszywa, warstwy mrozochronnej (podbudowy pomocniczej), nasypów oraz podłoża gruntowego-poziom 1

Rodzaj konstrukcji	Wyznaczany parametr	Dane wyznaczono:		Zalecany protokół badawczy i/lub źródło danych	Zalecana metoda do stosowania w Polsce
		Empirycznie	Szacunkowo		
Nowa (próbki laboratoryjne) i istniejąca (materiał wyekstrachowany)	Dwie możliwości: Współczynniki regresji k_1, k_2, k_3 uogólnionego modelu konstytutywnego określającego moduł sztywności sprężystej w funkcji stanu naprężenia oraz przez regresję wyznaczonych laboratoryjnie wartości modułu sztywności sprężystej. Wyznaczenie średniej projektowej wartości modułu sztywności dla oczekiwanego stanu naprężenia zabudowanego materiału na podstawie wyznaczonego laboratoryjnie modułu sztywności sprężystej.	X		AASHTO T 307 lub NCHRP I-28A Uogólniony model wykorzystywany w instrukcji MEPDG opisuje następujące równanie: $M_r = k_1 p_a \left(\frac{\Theta}{P_a}\right)^{k_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a}\right)^{k_3}$ gdzie: M_r = moduł sztywności sprężystej, psi θ = suma naprężeń głównych = $\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3$ σ_1 = największe naprężenie główne σ_2 = pośrednie naprężenie główne σ_3 = najmniejsze naprężenie główne dla ograniczającego ciśnienia τ_{oct} = oktaedryczne naprężenie ścinające = $\tau_{oct} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2}$ P_a = znormalizowane naprężenie k_1, k_2, k_3 = stałe regresji	PN-EN 13286-7
	Współczynnik Poissona		X	Brak norm krajowych, zastosować wartości	Brak norm krajowych,

Rodzaj konstrukcji	Wyznaczany parametr	Dane wyznaczono:		Zalecany protokół badawczy i/lub źródło danych	Zalecana metoda do stosowania w Polsce
		Empirycznie	Szacunkowo		
				standardowe podane w instrukcji MEPDG.	zastosować wartości standardowe podane w instrukcji MEPDG
	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	X		AASHTO T 180	PN-B 04481
	Wilgotność optymalna	X		AASHTO T 180	PN-B 04481
	Ciężar właściwy	X		AASHTO T 100	PN-B 04481 lub ISO/TS 17892-3
	Wodoprzepuszczalność	X		AASHTO T 215	ISO/TS 17892-11
	Parametry krzywej charakteryzującej układ grunt-woda	X		Płyta naciskowa (AASHTO T 99) Proctor Papier filtracyjny (AASHTO T 180) Proctor mod. Piknometr (AASHTO T 100) gęstość właściwa.	PN-B 04481 PN-B 04481 PN-B 04481 lub ISO/TS 17892-3
Istniejący materiał przewidziany do pozostawienia	Moduł obliczony powtórnie z badania FWD	X		AASHTO T 256 i ASTM D 5858	według metody stosowanej w Polsce
	Współczynnik Poissona		X	Brak norm krajowych, zastosować wartości standardowe podane w instrukcji MEPDG.	Brak norm krajowych, zastosować wartości standardowe podane w instrukcji MEPDG

Tablica 11-10 Zalecane dla poziomu 2 i 3 parametry i wartości wejściowe dla materiałów niezwiązanej podbudowy z kruszywa, warstwy mrozochronnej (podbudowy pomocniczej), nasypów oraz podłoża gruntowego

<table>
<tr><th>Wymagany parametr wyjściowy</th><th>Wymagany poziom wejściowy</th></tr>
<tr><td>Moduł sztywności sprężystej</td><td>Przyjąć dane wejściowe poziomu 3 na podstawie klasyfikacji geotechnicznej AASHTO dla materiałów niezwiązanej podbudowy z kruszywa, podbudowy pomocniczej, nasypu i podłoża gruntowego. Klasa geotechniczna AASHTO wynika z uziarnienia, wskaźnika plastyczności i granicy płynności.
<table>
<tr><td rowspan="2">Klasa geotechniczna AASHTO</td><td colspan="3">Zalecane wartości modułu sztywnościsprężystej pry optymalnej wilgotności gruntu (AASHTO T180), psi</td></tr>
<tr><td>Podbudowa zasadnicza/ pomocnicza nawierzchni podatnych i sztywnych</td><td>Nasyp i podłoże gruntowe pod nawierzchniami podatnymi</td><td>Nasyp i podłoże gruntowe pod nawierzchniami sztywnymi</td></tr>
<tr><td>A-1-a</td><td>40,00</td><td>29,500</td><td>8000</td></tr>
<tr><td>A-1-b</td><td>38,000</td><td>26,50</td><td>18,00</td></tr>
<tr><td>A-2-4</td><td>32,000</td><td>24,50</td><td>16,500</td></tr>
<tr><td>A-2-5</td><td>28,000</td><td>21,500</td><td>16,000</td></tr>
<tr><td>A-2-6</td><td>26,000</td><td>21,000</td><td>16,000</td></tr>
<tr><td>A-2-7</td><td>24,000</td><td>20,500</td><td>16000</td></tr>
<tr><td>A-3</td><td>29,000</td><td>16,50</td><td>16,000</td></tr>
<tr><td>A-4</td><td>24,000</td><td>16500</td><td>15,000</td></tr>
<tr><td>A-5</td><td>20,000</td><td>15,500</td><td>8,000</td></tr>
<tr><td>A-6</td><td>7,000</td><td>14,500</td><td>14,000</td></tr>
<tr><td>A-7-5</td><td>12,000</td><td>13,000</td><td>10,000</td></tr>
<tr><td>A-7-6</td><td>8,000</td><td>11,500</td><td>13,000</td></tr>
</table>
Uwagi: 1. Moduł sztywności sprężystej przeliczany jest przez program na wartość k w celu analizy nawierzchni sztywnych.
2. Na etapie budowy wartości modułu sztywności sprężystej dla tej samej klasy geotechnicznej AASHTO są różne dla nawierzchni podatnych i sztywnych ze względu na różny poziom stanu naprężeń pod tymi nawierzchniami. Pod wpływem naprężeń wartości modułu sztywności gruntu zmieniają się odpowiednio do stanu naprężenia (wg Tablicy 11-9). Wartości standardowe programu MEPDG obliczono jako medianę z wartości dla odcinków badawczych bazy danych LTPP i wykorzystano do analizy technicznej. Przyjęcie tych wartości jest uzasadnione w przypadku gruntów charakteryzujących się maksymalną gęstością objętościowej szkieletu gruntowego i optymalną wilgotnością, wyznaczonymi zgodnie z AASHTO T 180.</td></tr>
<tr><td>Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego</td><td>Oszacować na podstawie: uziarnienia, wskaźnika plastyczności, granicy płynności</td></tr>
<tr><td>Wilgotność optymalna</td><td>Oszacować na podstawie: uziarnienia, wskaźnika plastyczności, granicy płynności</td></tr>
<tr><td>Ciężar właściwy</td><td>Oszacować na podstawie: uziarnienia, wskaźnika plastyczności, granicy płynności</td></tr>
</table>

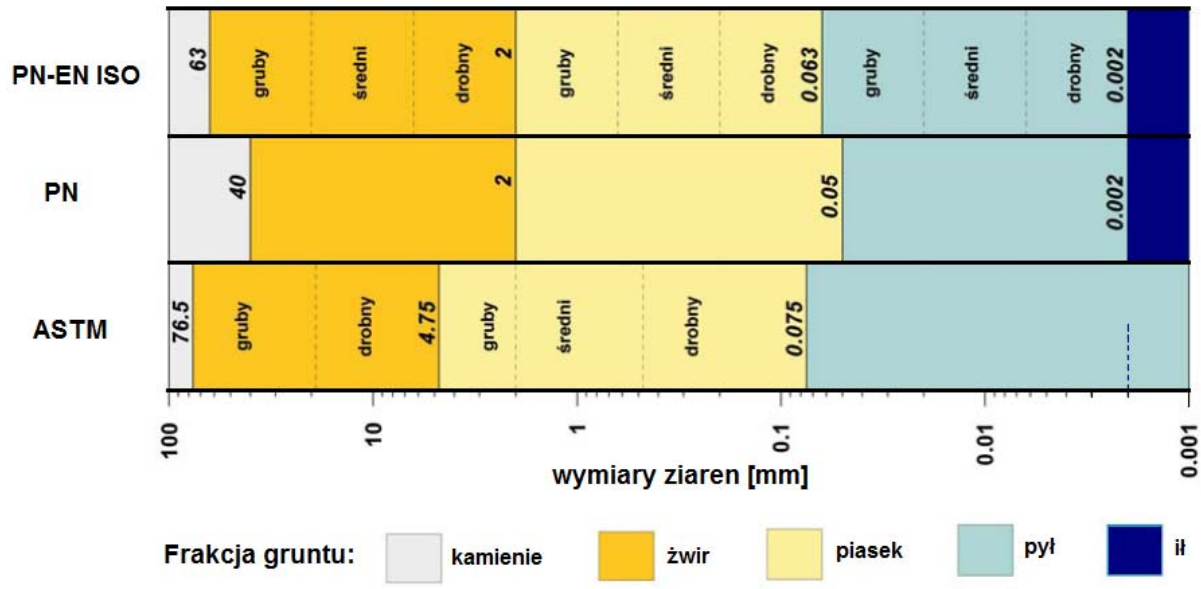
Wymagany parametr wyjściowy	Wymagany poziom wejściowy
Wodoprzepuszczalność	Wybrać na podstawie: uziarnienia, wskaźnika plastyczności, granicy płynności
Parametry krzywej charakteryzującej układ grunt-woda	Wybrać na podstawie klasy geotechnicznej materiału kruszywo/ podłoże

Przyjąć dane wejściowe poziomu 3 na podstawie klasyfikacji geotechnicznej AASHTO dla materiałów niezwiązanej podbudowy z kruszywa, podbudowy pomocniczej, nasypu i podłoża gruntowego.

4.3 Klasyfikacje gruntów

Tablica 11-10 w podręczniku MEPDG zawiera zalecane dla poziomu 2 i 3 parametry i wartości wejściowe dla materiałów niezwiązanej podbudowy z kruszywa, warstwy mrozochronnej (podbudowy pomocniczej), nasypów oraz podłoża gruntowego. Dane wejściowe dla poziomu 3 w metodzie MEPDG przyjmowane są na podstawie klasyfikacji geotechnicznej AASHTO dla materiałów niezwiązanej podbudowy z kruszywa, podbudowy pomocniczej, nasypu i podłoża gruntowego. Klasa geotechniczna AASHTO wynika z uziarnienia, wskaźnika plastyczności i granicy płynności.

Klasyfikacje gruntów ASTM i PN-EN ISO różnią się znacznie. Podział na frakcje przyjęty w nowej normie europejskiej (PN-EN ISO 14688-1) odbiega od dotychczasowej klasyfikacji polskiej, a także amerykańskiej (ASTM D2487). Klasyfikacja ASTM granice poszczególnych frakcji ma wyraźnie przesunięte w stronę większych średnic ziaren (rys. 16.). Takie same nazwy gruntów w przypadku obydwu klasyfikacji oznaczają odmienne grunty.



Rysunek 16. Podział na frakcje w przypadku różnych klasyfikacji [wg 0]

Dla poziomu 3 danych wejściowych proponuje się klasyfikowanie materiałów niezwiązanej podbudowy z kruszywa, podbudowy pomocniczej, nasypu i podłoża gruntowego do klasy geotechnicznej AASHTO zgodnie z poniższą procedurą.

4.4 Wybór klasy geotechnicznej AASHTO

System klasyfikacji gruntów AASHTO pokazano tablicy 26. System ten stosowany jest do materiałów przeznaczonych do konstrukcji drogowych. Klasa geotechniczna AASHTO wynika z uziarnienia,

wskaźnika plastyczności i granicy płynności. W celu zakwalifikowania gruntu (lub kruszywa) do jednej z klas geotechnicznych konieczne jest wykonanie analizy sitowej i oznaczenie granic Atterberga.

Analiza sitowa

Analizę sitowa należy przeprowadzić zgodnie z punktem 4.5.

Oznaczenie granicy płynności i plastyczności należy wykonać, gdy zawartość ziaren d < 0,075 mm jest większa od 5%. Oznaczenie granicy płynności i plastyczności należy wykonać na gruncie przesianym przez sito 0,425 mm. Oznaczenie granic Atterberga należy wykonać zgodnie z PN-88/B-04481 z zaleceniem przesiania próbki przez sito 0,425 mm.

W celu zakwalifikowania materiału do odpowiedniej grupy AASHTO należy sprawdzać, począwszy od lewej strony tablicy klasyfikacyjnej, czy wyznaczone parametry materiału spełniają kryteria danej grupy.

Indeks grupy GI

Do dalszej klasyfikacji materiału wewnątrz grupy stosowany jest indeks grupy GI. Indeks grupy GI można wyznaczyć z równania:

$GI = (F - 35)\,[0{,}2 + 0{,}005\,(w_L - 40)] + 0{,}01(F\text{-}15)(I_P - 10)$

W przypadku grup A-2-6 i A-2-7:

$GI = 0{,}01(F\text{-}15)(\,I_P - 10)$

F – procent przechodzący przez sito 0,075 mm

w_L – granica płynności

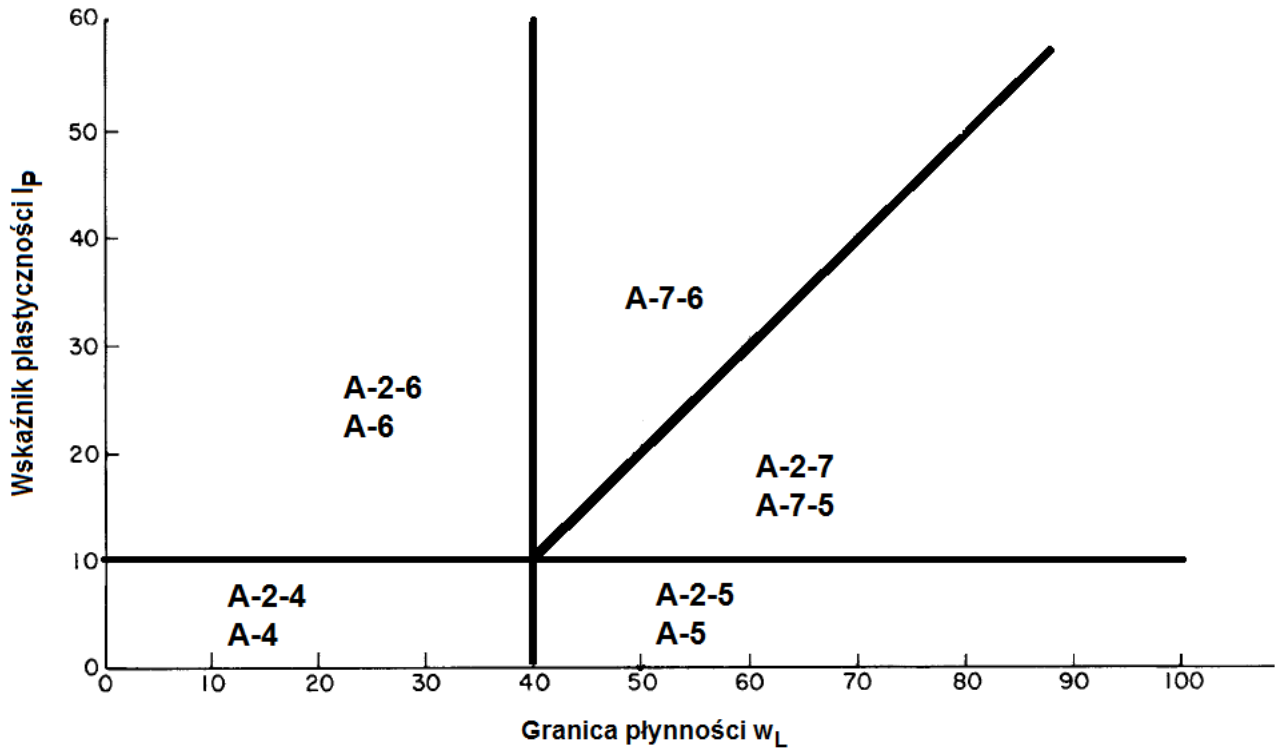
I_P – wskaźnik plastyczności

W przypadku, gdy obliczona wartość indeksu GI jest ujemna, należy przyjąć GI = 0. Obliczoną wartość GI należy zaokrąglić do pełnej wartości. Indeksy GI na grup A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 i A3 zawsze wynoszą 0.

Ogólnie przydatność materiału do zastosowania jako podbudowa drogowa jest odwrotnie proporcjonalna do wartości indeksu grupy GI.

Tablica 26 System klasyfikacji gruntów wg AASHTO

	Materiały sypkie (nie więcej niż 35% przechodzi przez sito 0,075 mm)							**Materiały spoiste (>35% przechodzi przez sito 0,075 mm)**			
Grupa	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analiza sitowa, % przechodzi											
2,00 mm (sito nr 10)	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (sito nr 40)	30 max	50 max	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (sito nr 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Charakterystyki frakcji przechodzącej przez sito 0,425 mm (sito nr 40)											
Granica płynności w_L	-		-	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Wskaźnik plastyczności I_P	6 max		N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Typowe materiały	Okruchy skalne, żwir i piasek		Drobny piasek	Pylaste lub ilaste piasek i żwir				Grunty pylaste		Grunty ilaste	
Ogólna ocean jako podbudowy	Doskonała do dobrej							Dostateczna do słabej			
[1)] Dla grupy A-7-5: $I_P \leq w_L - 30$ [2)] Dla grupy A-7-6: $I_P > w_L - 30$											



Rysunek 17. Zakresy granicy płynności i wskaźnika plastyczności dla grup A-2, A-4, A-5, A-6 i A-7

4.5 Analiza składu granulometrycznego dla potrzeb metody MEPDG

Granice frakcji w normach PN-EN ISO 14688 i ASTM D 2487 różnią się (patrz p. 4.3). Badania gruntów należy prowadzić zgodnie z PN-EN 1997-2. W EC7-2 oznaczanie gruntu oparte na badaniu pobranych prób należy przeprowadzać zgodnie z PN-EN ISO 14688-1. Z kolei w celu wykorzystania danych zawartych w tablicy 9.5 MEPDG konieczne jest oznaczenie zawartości frakcji drobnej $d_z < 0{,}075$ mm.

Dla potrzeb metody MEPDG proponuje się klasyfikowanie gruntów zgodnie z PN-EN ISO 14688-1. W celu wykorzystania danych wejściowych zaimplementowanych w programie należy również wyznaczyć zawartość cząstek o średnicy zastępczej $d_z < 0{,}075$ mm oraz granic Atterberga zgodnie z punktem 4.4.

Analizę składu granulometrycznego należy przeprowadzać zgodnie z ISO/TS 17892-4. Analizę sitowa należy wykonywać przy uwzględnieniu sit 2 mm, 0,425 mm i 0,075 mm.

Grunt do analizy areometrycznej przemyć przez sito 0,075 mm. Analizę areometryczną wykonywać zgodnie z ISO/TS 17892-4.

W przypadku gdy w badaniu makroskopowym stwierdzono występowanie części organicznych, należy wykonać oznaczenie granicy płynności po wysuszeniu w temperaturze 110 ± 5 °C gruntu przesianego przez sito 0,425 mm.

4.6 Określanie lokalnych warunków gruntowych

Ad. 9 Określanie lokalnych warunków i wskaźników (Determining Site Conditions and Factors)

Ad. 9.3 Podłoże gruntowe (Foundation and Subgrade Soils)

Ad. 9.3.1 Badania podłoża do projektowania nawierzchni

W procesie projektowania nawierzchni należy rozważyć poziome i pionowe zmienności rodzajów gruntu podłoża, wilgotności, gęstości, głębokości zwierciadła wody gruntowej i usytuowania warstw

skały. Grunty pęczniejące, grunty wysadzinowe i przepływ wody gruntowej muszą zostać rozpoznane i rozważone w procesie projektowania nawierzchni ze względu na ich negatywny wpływ na zachowanie nawierzchni.

Rozpoznanie podłoża należy prowadzić zgodnie z wymaganiami PN-EN 1997-2: Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne, Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.

W przypadku występowania gruntów wątpliwych, należy rozważyć je poza MEPDG, gdyż program nie przewiduje potencjalnej zmiany objętości. Pewne wskazówki dotyczące wyboru różnych opcji w celu zminimalizowania efektu zmiany objętości na zachowanie nawierzchni zawiera rozdział 12.

Rozpoznanie podłoża (liczba wierceń) powinno określić głębokość, grubość (miąższość) i umiejscowienie głównych warstw gruntu i warstwy skały, które mogą ograniczyć okres użytkowania nawierzchni i wyznaczyć potrzebę ulepszenia podłoża i wzmocnienia. Czynności związane z rozpoznaniem podłoża są podsumowane poniżej.

Przed określeniem programu badań, należy zebrać i ocenić dostępne informacje i dokumentacje archiwalne, a także przeprowadzić wizję terenową. Dokumentami archiwalnymi mogą być: mapy topograficzne, stare plany opisujące dawne wykorzystanie danego terenu, mapy i dokumentacje geologiczne, mapy geologiczno-inżynierskie, mapy i dokumentacje hydrogeologiczne, mapy geotechniczne, zdjęcia lotnicze i wcześniejsze fotointerpretacje, badania aerogeofizyczne oraz wcześniejsze badania prowadzone na danym terenie i w jego pobliżu, wcześniejsze doświadczenia z analizowanego obszaru, a także lokalne warunki klimatyczne. Po uzyskaniu wyników badań polowych, program badań podłoża powinien być ponownie przeanalizowany i zweryfikowany. Badania podłoża należy planować zgodnie z postanowieniami PN-EN 1997-2.

Prowadzić rozpoznanie topograficzne i podłoża i pobrać dostateczne próbki (nienaruszone i próbki dużej ilości) do badań laboratoryjnych. Ilekroć możliwe jest pozyskanie nienaruszonych próbek do określenia gęstości i modułu sztywności (resilient modulus), pobrać próbki cylinderkiem o znanej objętości (cylinderek o cienkich ściankach) zgodnie z PN-EN 1997:2 i EN ISO 22475-1. Pobranie próbek gruntu za pomocą cylinderka nie zawsze jest możliwe. W przypadku gruntów dla których nie jest możliwe pobranie nienaruszonych próbek w trakcie badań terenowych, należy zastosować techniki wiercenia i odłupywania przy pobieraniu próbek. Próbki z wierceń i odłupywane należy pobrać zgodnie PN-EN 1997:2 i EN ISO 22475-1. Głębokość otworów powinna wynosić nie mniej niż 1,5 m poniżej poziomu, gdzie pozostaną naturalne nienaruszone warstwy podłoża. Niektóre otwory mogą być wykonane głębiej w celu określenia krytycznych właściwości podłoża takich jak poziom (warstwa) przepływu wody gruntowej, zwietrzałe podłoże skaliste, nasycone warstwy gruntów itd. Projektant może wprowadzić sezonowe głębokości zwierciadła wody gruntowej, jeżeli na budowie zebrano wystarczające dane. Rekomendowane jest stosowanie jednego poziomu, chyba że pomiary terenowe lub dane archiwalne wskazują na sezonowe wahania.

Przeprowadzić badania terenowe w celu ustalenia warunków in-situ warstw podłoża gruntowego. Inne badania mogą zostać wykonane w celu oceny sztywności in-situ, takie jak badanie kalifornijskiego wskaźnika nośności (CBR, PN-S-02205). Użycie sondy dynamicznej (DCP) pozwala na oszacowania modułu in-situ istniejącego gruntu podłoża. Badania DCP należy przeprowadzić zgodnie z procedurą ASTM D 6951 lub równorzędną. Badania terenowe i ich zastosowanie są omówione w kolejnym rozdziale.

Przygotować wiercenia podsumowujące wyniki rozpoznania podłoża. Wiercenia mogą wykazać głębokość i grubość (miąższość) poszczególnych warstw gruntu, głębokość do warstwy nośnej twardej warstwy lub skały, głębokość do zwierciadła wody gruntowej lub wilgotnej warstwy gruntu i zwykłe warunki, które wpływają na konstrukcje nawierzchni i jej zachowanie. Głębokość do zwierciadła wody gruntowej jest ważną daną wejściową, ponieważ MEPDG ma możliwość, przez użycie ICM, oszacowania zmian modułu sztywności warstw kruszywa i gruntów podbudowy w czasie. W przypadku większości projektów nawierzchni, głębokość do zwierciadła wody gruntowej większa

od 6 m poniżej projektowanej niwelety nawierzchni będzie miała minimalny wpływ na prognozowanie uszkodzeń nawierzchni.

Na podstawie badań podłoża należy zaplanować program badań laboratoryjnych.

Ad. 9.3.2 Badania laboratoryjne i polowe gruntów do projektowania nawierzchni

Program badań laboratoryjnych i polowych może być zastosowany w celu określenia właściwości podłoża (podbudowy) nawierzchni. Właściwości gruntów potrzebne do projektowania są dyskutowane w rozdziale 11, a rodzaje zabiegów mające na celu wzmocnienie podłoża zawiera rozdział 12. Program badań może być pogrupowany według trzech podstawowych właściwości; klasyfikacja badania klasyfikujące, badania objętościowe, badania wytrzymałości i sztywności. Każda grupa jest streszczona poniżej.

Badania klasyfikujące są wykonywane w celu określenia możliwej zmiany objętości, wysadzinowości i właściwości drenażowych (przepuszczalności) gruntów podłoża nawierzchni. W tablicy 9-5 zestawiono podsumowanie właściwości gruntu oraz kryteria klasyfikacyjne. Badania klasyfikujące obejmują analizy sitowe lub gradacji oraz granice Atterberga, i powinny być wykonane dla każdej głównej warstwy gruntu określonej w trakcie badań podłoża. Badania klasyfikujące mogą być wykonane zgodnie z p. 4.5. Wyniki badań klasyfikujących i tablica 9-5 mogą być użyte w celu określenia rodzajów wzmocnienia podłoża nawierzchni w celu ograniczenia skutków gruntów wątpliwych (gruntów mogących powodować problemy), jeżeli występują

Badania objętościowe (gęstość objętościowa szkieletu i wilgotność) powinny być wykonane na nienaruszonych próbkach pobranych z warstw gruntu, które nie będą odspajane i przetwarzane. Jeżeli uzyskanie nienaruszonych próbek nie jest możliwe, wilgotność należy określić na próbkach naruszonych pobranych podczas wierceń zgodnie z PN-88/B 04481 lub ISO/TS 17892-1.

Moduł in-situ podłoża nawierzchni (nieodspajanego i nieprzetwarzanego w trakcie budowy) jest ważnym parametrem wejściowym, zwłaszcza w przypadku projektowania nowych nawierzchni podatnych. Moduł sztywności gruntów podłoża in-situ może być oszacowany z badań DCP, właściwości fizycznych gruntów podłoża lub zmierzony w laboratorium według PN-EN 13286-7. Wskazówki odnośnie do wyznaczania wartości projektowej modułu sztywności zawiera rozdział 11.5.

Tablica 9-5. Zestawienie cech gruntu jako materiału nawierzchni wg MEPDG

Główny podział	Nazwa	Wytrzymałość w przypadku, gdy nie jest wystawiony na działanie mrozu	Potencjalne działanie mrozu	Ściśliwość	Właściwości drenażowe/ przepuszczalność	Kryteria klasyfikacji
Żwir i grunty gruboziarniste	Żwiry dobrze (nierównomiernie) uziarnione lub mieszanki żwirowo-piaskowe, mało do brak drobnych (ił +pył); GW	Doskonała	Brak do bardzo nieznacznego	Prawie brak	Doskonałe	f_d<5%, $C_u \geq 4$, $1 \leq C_C \leq 3$
	Żwiry słabo (równomiernie) uziarnione lub mieszanki żwirowo-piaskowe, mało lub brak drobnych (ił +pył); GP	Dobra do doskonałej	Brak do bardzo nieznacznego	Prawie brak	Doskonałe	f_d<5%, C_u<4, C_C nie spełnia kryterium dla GW
	Żwiry pylaste, mieszanki żwirowo-piaskowe pylaste; GM	Dobra do doskonałej	Nieznaczne do średniego	Bardzo nieznaczne	Dostateczne do słabych	f_d>12%, I_P<4 lub znajduje się poniżej linii A na wykresie plastyczności
	Żwiry silnie pylaste, mieszanki żwirowo-piaskowe pylaste; GM	Dobra	Nieznaczne do średniego	Nieznaczne	Słabe do praktycznie nieprzepuszczalnych	
	Żwiry ilaste, mieszanki żwirowo-piaskowo-ilaste; GC	Dobra	Nieznaczne do średniego	Nieznaczne	Słabe do praktycznie nieprzepuszczalnych	f_d>12%, I_P>7 lub znajduje się na lub powyżej linii A na wykresie plastyczności

Główny podział	Nazwa	Wytrzymałość w przypadku, gdy nie jest wystawiony na działanie mrozu	Potencjalne działanie mrozu	Ściśliwość	Właściwości drenażowe/ przepuszczalność	Kryteria klasyfikacji
Piasek i grunty piaszczyste	Piaski lub pospółki dobrze (nierównomiernie) uziarnione, mało do brak drobnych (ił +pył); SW	Dobra	Brak do bardzo nieznacznego	Prawie brak	Doskonałe	f_d<5%, C_u≥6, 1≤C_C≤3
	Piaski lub pospółki słabo (równomiernie) uziarnione, mało do brak drobnych (ił +pył); SP	Dostateczna do dobrej	Brak do bardzo nieznacznego	Prawie brak	Doskonałe	f_d<5%, C_u<4, C_C nie spełnia kryterium dla SW
	Piaski pylaste, mieszanki piaskowo-pylaste, SP	Dostateczna do dobrej	Nieznaczne do wysokiego	Bardzo nieznaczne	Dostateczne do słabych	
	Piaski pylaste, mieszanki piaskowo-pylaste, SM	Dostateczna	Nieznaczne do wysokiego	Nieznaczne do średniej	Słabe do praktycznie nieprzepuszczalnych	f_d>12%, I_P<4 lub znajduje się poniżej linii A na wykresie plastyczności
	Piaski ilaste (gliniaste), mieszanki piaskowo-ilaste, SC	Słaba do dostatecznej	Nieznaczne do wysokiego	Nieznaczne do średniej	Słabe do praktycznie nieprzepuszczalnych	f_d>12%, I_P>7 lub znajduje się na lub powyżej linii A na wykresie plastyczności
Pyły i iły (gliny) z granicą płynności	Pyły/iły nieorganiczne i bardzo drobne piaski, mączka skalna, pylaste	Słaba do dostatecznej	Średnie do bardzo dużego	Nieznaczne do średniej	Dostateczne do słabych	W_L < 50, I_P<4 lub znajduje się poniżej linii A na wykresie

Główny podział	Nazwa	Wytrzymałość w przypadku, gdy nie jest wystawiony na działanie mrozu	Potencjalne działanie mrozu	Ściśliwość	Właściwości drenażowe/ przepuszczalność	Kryteria klasyfikacji
mniejszą od 50	lub gliniaste piaski drobne lub pyły gliniaste/gliny pylaste o nieznacznej plastyczności; MG, MS i ML					plastyczności
	Gliny nieorganiczne o małej do średniej plastyczności, gliny z domieszką żwiru, gliny piaszczyste. Gliny pylaste, iły (gliny) chude; CG, CL i CS	Słaba do dostatecznej	Średnie do dużego	Nieznaczne do średniej	Praktycznie nieprzepuszczalne	$w_L < 50$, $I_P > 7$ lub znajduje się na lub powyżej linii A na wykresie plastyczności
	Pyły organiczne i organiczne gliny pylaste o małej plastyczności; MSO i CLO	Słaba	Średnie do dużego	Średnie do wysokiej	Słabe	$f_d > 50\%$, $w_{L110}/w_L < 0,75$, I_P znajduje się w obszarze OL na wykresie plastyczności
Pyły i iły (gliny) z granicą płynności większą od 50	Pyły nieorganiczne, piasek drobny mikowy lub okrzemkowy, lub grunty pylaste. Pyły sprężyste; MH	Słaba	Średnie do bardzo dużego	Wysokie	Dostateczne do słabych	$w_L \geq 50$, I_P znajduje się poniżej linii A na wykresie plastyczności
	Iły nieorganiczne o wysokiej plastyczności,	Słaba do	Średnie do bardzo	Wysokie	Praktycznie	$w_L \geq 50$, I_P znajduje się na lub powyżej linii A

Główny podział	**Nazwa**	**Wytrzymałość w przypadku, gdy nie jest wystawiony na działanie mrozu**	**Potencjalne działanie mrozu**	**Ściśliwość**	**Właściwości drenażowe/ przepuszczalność**	**Kryteria klasyfikacji**
	iły (gliny) tłuste; CH	dostatecznej	dużego		nieprzepuszczalne	na wykresie plastyczności
	Iły organiczne o średniej do wysokiej plastyczności, pyły organiczne: MHO i CHO	Słaba do bardzo słabej	Średnie	Wysokie	Praktycznie nieprzepuszczalne	f_d>50%, $W_{L110}/W_L < 0,75$, I_P znajduje się w obszarze OH na wykresie plastyczności
Grunty silnie organiczne	Torf i inne silnie organiczne grunty	Nie dotyczy	Nieznaczne	Bardzo wysokie	Dostateczne do słabych	Grunt składający się z tkanki roślinnej o różnym stopniu rozłożenia, konsystencja gąbczasta ze strukturą roślinną od włóknistej do amorficznej (bezpostaciowej), barwa ciemnobrązowa do czarnej, zazwyczaj z zapachem organicznym

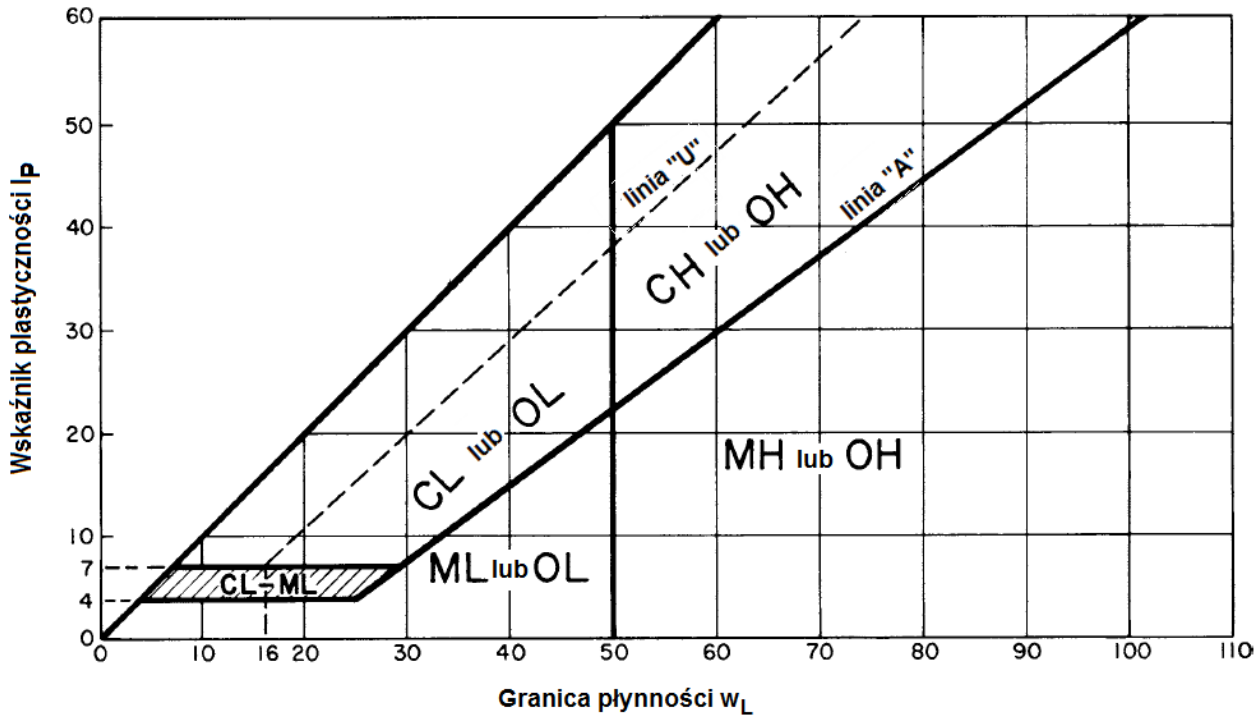
f_d – zawartość frakcji drobnej $d_z < 0,075$ mm

C_u – wskaźnik różnoziarnistości z krzywej uziarnienia

C_C – współczynnik krzywizny z krzywej uziarnienia

w_{L110} – granica płynności gruntu przesianego przez sito 0,425 mm i wysuszonego w temperaturze 110°C

Główny podział	Nazwa	Wytrzymałość w przypadku, gdy nie jest wystawiony na działanie mrozu	Potencjalne działanie mrozu	Ściśliwość	Właściwości drenażowe/ przepuszczalność	Kryteria klasyfikacji
w_L – granica płynności gruntu przesianego przez sito 0,425 mm I_P – wskaźnik plastyczności, $I_P = w_L - w_P$, w_P – granica plastyczności gruntu przesianego przez sito 0,425 mm						



Linia „A” – pozioma I_P=4 do wartości w_L= 25,5, nastepnie I_P = 0,73 (w_L – 20)

Linia „U” – pionowa w_L= 16 do I_P=7, następnie I_P = 0,9 (w_L – 8)

Rysunek 18. Wykres plastyczności do klasyfikowania gruntów drobnoziarnistych wg ASTM

4.7 Materiały do nasypów (Ad. 11.5 odnośnie do gruntów)

Ad. 11.5 Materiały do podbudowy mineralnej i nasypów (Unbound Aggregate Base Materials and Engineered Embankments)

Poniżej opisano parametry i wartości obliczeniowe zalecane w przypadku podbudów niezwiązanych spoiwem i podłoża:

Uziarnienie – w przypadku nowych materiałów zaleca się przyjęcie wartości średniego wykresu z pola dobrego uziarnienia określonego w specyfikacji lub średnie z dzienników budowy dla podobnych materiałów. W przypadku warstw istniejących nawierzchni przyjąć należy średnią wartość uziarnienia zapisaną w dzienniku budowy. W przypadku braku tych danych należy podstawić średnie wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzanych na materiałach pobranych w terenie. Uziarnienie niezwiązanego spoiwem kruszywa lub gruntu nasypu należy wyznaczyć zgodnie z ISO-TS 17892-4 z uwzględnieniem zapisów p. 4.5. W przypadku niewystarczającej ilości materiału pobranego do badań w terenie skorzystać można z wartości standardowych programu MEPDG w klasyfikacji stanu gruntu.

Granice Atterberga – w przypadku nowych materiałów zaleca się przyjęcie wartości w połowie przedziału dopuszczonego w specyfikacji lub średnią wartość granicy płynności lub wskaźnika plastyczności z dzienników budowy dla podobnych materiałów. W przypadku warstw istniejących nawierzchni przyjąć należy średnią wartość granic Attenberga oznaczonych dla podobnych materiałów, przy zabudowywaniu których obowiązywała ta sama specyfikacja materiałowa. Granicę płynności można wyznaczyć zgodnie z PN-B 04481 z zaleceniem przesiania próbki przez sito 0,425 mm, natomiast granicę plastyczności i wskaźnik plastyczności - według PN-B 04481 lub ISO/TS 17892-12 z zaleceniem przesiania próbki przez sito 0,425 mm. W przypadku niewystarczającej ilości materiału pobranego do badań w terenie skorzystać można z wartości standardowych programu MEPDG w klasyfikacji stanu gruntu.

Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego – w przypadku nowych materiałów zaleca się przyjęcie maksymalnej gęstości objętościowej podanej w specyfikacji z uwzględnieniem przewidzianego dla danej budowy stopnia zagęszczania lub średniej gęstości objętościowej z pomiarów przeprowadzonych na poprzednio realizowanych budowach dla podobnego materiału. W przypadku warstw istniejących nawierzchni, które nie zostały przewidziane do usunięcia w ramach prac remontowych przyjąć należy średnią wartość gęstości objętościowej z dokumentacji powykonawczej lub średnią wartość uzyskaną w badaniach terenowych. Uwzględnione w programie MEPDG wartości standardowe gęstości objętościowej stanowią medianę maksymalnych gęstości objętościowych dla stanów poszczególnych materiałów. W przypadku warstw istniejących nawierzchni, które nie zostały przewidziane do usunięcia w ramach prac remontowych wartości standardowe można wykorzystać jedynie po uprzednim potwierdzeniu ich w badaniach terenowych.

Wilgotność – w przypadku nowych materiałów zaleca się przyjęcie optymalnej wilgotności uwzględniającej przewidziany dla danej budowy wskaźnik zagęszczenia lub średniej wilgotności z pomiarów przeprowadzonych na poprzednio realizowanych budowach dla podobnego materiału. W przypadku warstw istniejących nawierzchni, które nie zostały przewidziane do usunięcia w ramach prac remontowych przyjąć należy średnią wilgotność uzyskaną w badaniach terenowych. Uwzględnione w programie MEPDG wartości standardowe wilgotności stanowią medianę optymalnych wilgotności dla poszczególnych stanów materiału. Wartości standardowe można wykorzystać jedynie po uprzednim potwierdzeniu ich w badaniach terenowych.

Współczynnik Poissona – skorzystać ze standardowej wartości programu MPEDG, chyba że inna wartość wynika z posiadanych przez projektanta protokółów badań.

Moduł sztywności sprężystej – w przypadku nowych materiałów skorzystać z wartości poziomów 2 lub 3, chyba że zarządca drogi posiada archiwalne protokóły badań. Właściwości materiałów potrzebne do wprowadzenia danych poziomu 2 lub 3 obejmują uziarnienie, stan gruntu, granice Atterberga, wilgotność i gęstość objętościową. W przypadku warstw niezwiązanych i dolnych warstw podbudowy wartość modułu sztywności sprężystej wyznaczyć można na podstawie badania CBR (PN-S-02205) lub otrzymanej doświadczalnie wartości - R (AASHTO T 190).

DODATKOWA LITERATURA:

Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskich warunków posadowienia obiektów budownictwa morskiego i zabezpieczeń brzegu morskiego. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2009

5 Zadanie 6: Przystosowanie metod oceny właściwości lepiszczy asfaltowych

5.1 Program pracy

Program pracy w poszczególnych zadaniach dostosowano do celu realizowanego projektu. Przygotowano program badań, który zawiera metody badań asfaltów i mma stosowane w Polsce i metody przewidziane do stosowania w metodzie MEPDG.

Program badań asfaltów:

a) Badania podstawowe:
- penetracja w 25˚C wg PN-EN 1426:2009 [1],
- temperatura mięknienia PiK wg PN-EN 1427:2009 [2],
- temperatura łamliwości Fraassa wg PN-EN 12593:2009 [3]
- lepkość w 60˚C wg ASTM D 4402-06 [4].

b) Badania modułu zespolonego w funkcji temperatury i częstotliwości obciążenia DSR (Dynamic Shear Rheometer) wg PN-EN 14770:2009 [5].

c) Badania właściwości niskotemperaturowych reometru zginanej belki BBR (Bending Beam Rheometer) wg PN-EN 14771:2009 [6].

d) Porównanie właściwości do wymagań amerykańskich SUPERPAVE oraz analiza wyników badań.

Badania wg pkt. a) przewidziano dla asfaltów w stanie oryginalnym (przed odparowaniem), badania wg pkt. b) przewidziano dla asfaltów w stanie oryginalnym (przed odparowaniem) i po starzeniu eksploatacyjnym PAV (Pressure Aging Vessel) wg PN-EN 14769:2010 [7], badania wg pkt. c) przewidziano dla asfaltów w stanie oryginalnym (przed odparowaniem) po odparowaniu RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) wg PN-EN 12607-1:2009 [8] i po starzeniu eksploatacyjnym PAV (Pressure Aging Vessel) wg PN-EN 14769:2010.

5.2 Metodyka badań asfaltów

5.2.1 Właściwości podstawowe

Badania wg:

- PN-EN 1426 - Asfalty i lepiszcza asfaltowe -- Oznaczanie penetracji igłą
- PN-EN 1427 - Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczenie temperatury mięknienia. Metoda Pierścień i Kula,
- PN-EN 12593 - Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie temperatury łamliwości Fraassa,
- lepkość w 60°C wg ASTM D 4402-01.

5.2.1.1 Konsystencja

- penetracja w temperaturze 25°C,
- temperatura mięknienia PiK,

Cechę tę opisuje się standardowo penetracja i temperaturą mięknienia PiK. Standardowym sposobem klasyfikacji lepiszczy bitumicznych jest wartość penetracji w 25 °C i do tej właściwości odnoszą się pozostałe parametry konsystencji.

5.2.1.2 Wrażliwość termiczna

- indeks penetracji (Pen/PiK),
- przedział plastyczności PP (T_{PiK}-T_{Fraass}).

Cecha ta charakteryzuje zmienność konsystencji asfaltu wraz z temperaturą. W zakresie penetracji (temperatury eksploatacyjnej) zmienność tę opisuje indeks penetracji PI, zdefiniowany przez Pfeiffera i van Doormaala [9] oraz przedział plastyczności PP. Niski indeks penetracji oraz niska wartość PP świadczy o większej wrażliwości temperaturowej asfaltu, co jest niekorzystne.

5.2.1.3 Odporność na niską temperaturę

- temperatura łamliwości wg Fraassa

Cechę tę opisuje temperatura łamliwości Fraassa. Im niższy wynik badania Fraassa, tym odporniejszy jest on na działanie niskiej temperatury.

5.2.1.4 Starzenie

Starzenie /T/ badanie starzenia technologicznego /T/ metodą wygrzewania w cienkiej warstwie RTFOT – „Rolling Thin Film Oven Test".

Starzenie /E/ badanie starzenia eksploatacyjnego /E/ z wykorzystaniem pojemnika starzenia ciśnieniowego (PAV - Pressure Aging Vessel) wg PN-EN 14769 [7[. Lepiszcze wykorzystywane w tym badaniu musi być wcześniej poddane starzeniu w suszarce RTFOT (Rolling Thin Film Oven – RTFOT).

Starzenie jest to zjawisko, w czasie którego następuje utlenianie asfaltu oraz odparowanie z niego lekkich frakcji olejowych, przez co zmieniają się właściwości lepiszcza. Starzenie /T/ zachodzi szybciej podczas produkcji mieszanki mineralno-bitumicznej (asfalt ma wysoką temperaturę i dużą powierzchnię styczności z powietrzem) niż we wbudowanej mieszance /E/. Starzenie /T/ jest symulowane zabiegiem laboratoryjnym odparowalności asfaltu w cienkiej wirowanej warstwie metodą RTFOT.

5.2.2 Pojemnik starzenia ciśnieniowego (Pressure Aging Vessel PAV) wg PN-EN 14769 [7]

Symulacja starzenia eksploatacyjnego przeprowadza się w pojemniku starzenia ciśnieniowego PAV. Badany asfalt poddaje się oddziaływaniu temperatury 100ºC oraz ciśnieniu 2,1 MPa w czasie 20 h. Drugi etap badania starzenia eksploatacyjnego przeprowadza się w piecu próżniowym. Pod wpływem wysokiego ciśnienia panującego w komorze aparatu PAV, badane lepiszcze zostaje nasycone pęcherzykami powietrza w stopniu powodującym zmianę jego właściwości reologicznych. W celu odgazowania badanego lepiszcza poddaje się je oddziaływaniu podciśnienia 15 kPa w piecu próżniowym. W tym celu lepiszcze po starzeniu w aparacie PAV przelewa się do specjalnych pojemników i umieszcza w komorze pieca próżniowego. Proces odgazowywania lepiszcza trwa 30 min.

Ocena wpływu procesu starzenia asfaltu jest relatywna. Ze względu na odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na deformacje trwałe stwardnienie asfaltu jest sprzyjającą cechą. Natomiast ze względu odporności asfaltu na niską temperaturę nie jest to pożądane.

5.2.3 Obliczeniowe parametry oceny jakościowej asfaltów:

indeks penetracji PI (Pen-Pen) i PI (Pen-PiK), według wzoru :

$$\mathrm{PI} = \frac{20 - 500\mathrm{A}}{1 + 50\mathrm{A}} \qquad \textbf{Równanie 1}$$

w którym:

A – wrażliwość temperaturowa, według wzoru :

Równanie 2

$$A = \frac{\log Pen_{T1} - \log Pen_{T2}}{T_1 - T_2} \quad [1/°C]$$

w którym:

Pen_{T1} – wartość penetracji w temperaturze T_1 = 25 °C, 0,1 mm,

Pen_{T2} – wartość penetracji w temperaturze T_2 = 15 °C lub w temperaturze mięknienia T_{PiK}, 0,1 mm.

przedział plastyczności PP (T_{PiK}-T_{Fraass}), obliczony według wzoru :

$$PP = T_{PiK} - T_{Fraass} \quad [°C]$$ **Równanie 3**

w którym:

T_{PiK} i T_{Fraass} – temperatura mięknienia według metody Pierścień i Kula oraz temperatura łamliwości według Fraassa, °C.

5.2.4 Reometr dynamicznego ścinania (Dynamic Shear Rheometer DSR)

Badanie modułu zespolonego ścinania przeprowadzono w reometrze dynamicznego ścinania $CLS^2{}_{100}$ (Dynamic Shear Rheometer - DSR) wg PN-EN 14770 [5]. Reometr dynamicznego ścinania umożliwia charakterystykę lepkiego i sprężystego zachowania materiału i służy do pomiaru zespolonego modułu ścinania G* oraz kąta przesunięcia fazowego δ lepiszcza. Moduł G* jest miarą całkowitej odporności lepiszcza na deformacje, poddanego powtarzalnemu ścinaniu. Składa się on z dwóch części sprężystej i lepkiej. Tangens kąta przesunięcia fazowego δ jest miarą stosunku części lepkiej do sprężystej. Dla lepiszcza doskonale sprężystego δ= 0º, dla materiału doskonale lepkiego δ= 90º. W przypadku materiałów lepkosprężystych, jakimi są lepiszcza asfaltowe wartość ta oscyluje w granicach δ=(0º - 90º). Aby uzyskać pełną charakterystykę lepiszcza potrzebne są wyniki modułu i kąta przesunięcia fazowego w szerokim zakresie częstotliwości i temperatury.

5.2.5 Reometr zginanej belki (Bending Beam Rheometer BBR)

Reometr zginanej belki charakteryzuje właściwości lepiszcza w niskiej temperaturze. Reometrem BBR badane jest ugięcie (pełzanie) próbki lepiszcza pod stałym obciążeniem w temperaturze odpowiadającej najniższej temperaturze eksploatowanej nawierzchni, w której zachowuje się ona jak ciało sprężyste. Z badania otrzymuje się dwa parametry. Moduł sztywności S(t), który otrzymuje się po czasie obciążenia 60s oraz parametr m, reprezentujący gradient zmiany sztywności w czasie obciążenia. Według wymagań wartość m przyjmowana jest z badania w czasie obciążenia 60 s.

5.2.6 Metodyka ustalania rodzaju funkcjonalnego lepiszcza PG według SHRP

Podstawowym pojęciem w odniesieniu do asfaltu w terminologii SHRP/SUPERPAVE jest rodzaj funkcjonalny PG (Performance Grade). Według Superpave asfalt jest charakteryzowany rodzajem funkcjonalnym PG x-y. Współczynniki liczbowe określające PG to:

x maksymalna temperatura nawierzchni T_{max}
y minimalna temperatura nawierzchni T_{min}

w jakich może być eksploatowany dany asfalt.

Określenie rodzaju funkcjonalnego asfaltu uzyskuje się na podstawie badań przeprowadzonych na asfalcie:

- oryginalnym (O),
- po starzeniu RTFOT (T – symulacja starzenia technologicznego),

- po starzeniu RTFOT+PAV (E – symulacja starzenia eksploatacyjnego).

Wyróżnia się trzy typy zniszczeń nawierzchni drogowej, które brane są pod uwagę w ustalaniu kryteriów doboru właściwości lepiszcza:

- trwałe deformacje lepkoplastyczne – koleiny
- zmęczenie
- pękanie niskotemperaturowe.

Odporność na koleinowanie według SHRP charakteryzują temperatury równoważne TEG1 lub TEG2 wyznaczane na podstawie wyników badania asfaltu reometrem dynamicznego ścinania DSR według poniższych wzorów:

- asfalt oryginalny $G^*/\sin\delta = 1$ kPa $\rightarrow$ TEG1,
- asfalt po RTFOT $G^*/\sin\delta = 2{,}2$ kPa $\rightarrow$ TEG2.

Do wyznaczenia górnej wartości PG przyjmuje się niższą temperaturę z dwóch.

Odporność na pękanie niskotemperaturowe według SHRP, charakteryzują temperatury równoważne TES lub TEm wyznaczane na podstawie wyników badania asfaltu w reometrze zginanej belki BBR, według wzorów:

asfalt po starzeniu RTFOT i PAV (E)	S = 300 MPa	$\rightarrow$	TES
asfalt po starzeniu RTFOT i PAV (E)	m = 0,3	$\rightarrow$	TEm

S i m wyznacza się w badaniu reometrem zginanej belki BBR.

Do wyznaczenia dolnej wartości PG przyjmuje się najwyższą temperaturę równoważną spośród: TES i TEm.

Odporność na zmęczenie według SHRP charakteryzuje temperatura równoważna TEG3, jest to kryterium weryfikujące prawidłowość wyznaczenia PG. Znając niższą temperaturę równoważną spośród TES i TEm, według kolumn z tablicy 27 wyznaczamy odpowiednią temperaturę badania DSR asfaltu poddanego uprzednio starzeniu RTFOT oraz PAV. Wynik tego badania musi spełniać podaną zależność:

Asfalt po RTFOT+PAV $G^* \sin\delta \leq 5\,000$ kPa

Otrzymane temperatury równoważne nie są ostatecznymi parametrami PG. Dobiera się je z wymagań wobec asfaltu Superpave, w których ustalono przedziały co 6°C. Parametrami PG są więc dolna granica przedziału wysokiej temperatury oraz górna granica przedziału niskiej temperatury.

Rodzaj funkcjonalny PG asfaltu powinien odpowiadać wyznaczonej strefie temperaturowej, w której będzie eksploatowana nawierzchnia drogowa. Wyznacza się je na podstawie wzorów LTPP, bazując na najniższej temperaturze i najwyższej średniej 7-dniowej temperaturze nawierzchni.

Uwzględnienie szczególnych warunków obciążenia ruchem pojazdów odbywa się przez zwiększenie górnej granicy PG:

- 6°C (jeden rodzaj PG), jeśli ruch jest powolny lub o dużym natężeniu
- 12°C (dwa rodzaje PG), jeśli ruch jest powolny i o dużym natężeniu.

Tablica 27. Wymagania SHRP/SUPERPAVE dla asfaltów

Właściwość / Metoda badania	Rodzaj asfaltu																				
	PG 52							PG 58					PG 64					PG 70			
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Projektowa, średnia siedmiodniowa najwyższa temperatura nawierzchni[a] poniżej °C	52							58					64					70			
Projektowa, najniższa temperatura nawierzchni[a] powyżej °C	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Asfalt oryginalny																					
Temperatura zapłonu AASHTO T48 nie mniej niż °C	230																				
Lepkość, ASTM D 4402:[c] nie więcej niż 3 Pas (3000 cP) temperatura badania °C	135																				
Dynamiczne ścinanie, TP5:[c] $G^*/\sin\delta$, nie mniej niż 1.00 kPa prędkość ścinania 10 rad/s temperatura badania °C	52							58					64					70			
Asfalt po starzeniu RTFOT (AASHTO T240) lub TFOT (AASHTO T179)																					
Strata masy nie więcej niż, % m/m	1.00																				
Dynamiczne ścinanie, TP5: $G^*/\sin\delta$, nie mniej niż 2.20 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s temperatura badania °C	52							58					64					70			
Asfalt po starzeniu PAV (PP1)																					
Temperatura starzenia PAV[d] °C	90							100					100					100 (110)			
Dynamiczne ścinanie, TP5: $G^*\sin\delta$, nie więcej niż 5000 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s temperatura badania °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25
Fizyczne stwardnienie[e]	Bez wymagania																				
Sztywność pełzania, TP1:[f] S, nie więcej niż 300 MPa m, nie mniej niż 0.300 czas obciążenia 60 s temperatura badania °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18
Rozciąganie bezpośrednie, TP3:[f] odkształcenie, nie mniej niż 1.0% prędkość rozciągania 1.0 mm/min temperatura badania °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18

Uwagi

[a] Temperatura nawierzchni może być wyznaczona z temperatury powietrza, używając algorytmu zawartego w programie SUPERPAVE, lub według określonej procedury, albo może być określona przez stawiającego wymaganie.

[b] Wymaganie to może być zaniechane przez stawiającego wymagania, jeśli dostawca lepiszcza zapewni, że może być ono pompowane i mieszane z kruszywem w temperaturze spełniającej wymagania bezpieczeństwa pracy.

[c] W celu kontroli jakości produkcji asfaltów niemodyfikowanych może być stosowane badanie lepkości asfaltu zamiast badania dynamicznego ścinania w temperaturze, w której asfalt jest cieczą Newtona. Może być stosowana każda, odpowiednia metoda badania, np. badanie lepkościomierzem kapilarnym lub obrotowym (AASHTO T 201 lub T 202).

[d] Temperatura starzenia PAV jest oparta o symulację warunków klimatycznych i może wynosić 90, 100 lub 110°C. Temperatura starzenia PAV wynosi 100°C dla rodzaju PG-58 i powyżej, z wyjątkiem klimatu pustynnego, gdy temperatura ta wynosi 110°C.

[e] Fizyczne stwardnienie (według procedury TP1) jest wykonywane na zestawie beleczek lepiszcza, z tym, że czas pielęgnacji wydłużony jest 24 h ± 10 min w temperaturze o 10°C wyższej niż najniższa temperatura nawierzchni. Sztywność i wartość *m* po 24 h są podawane jedynie informacyjnie.

[f] Jeśli sztywność pełzania jest mniejsza niż 300MPa, badanie rozciągania bezpośredniego nie jest wymagane. Jeśli sztywność pełzania wynosi od 300 do 600 MPa, to wymaganie odkształcenia niszczącego w rozciąganiu bezpośrednim może być użyte zamiast wymagania sztywności pełzania. Wymaganie wartości m musi być spełnione w obu wypadkach.

5.3 Wyniki badań asfaltów

5.3.1 Właściwości podstawowe

Do badań wytypowano poniższe asfalty:

- Asfalt drogowy 20/30 z firmy LOTOS Asfalt,
- Asfalt drogowy 35/50 z firmy LOTOS Asfalt,
- Asfalt drogowy 50/70 z firmy LOTOS Asfalt,
- Asfalt modyfikowany 10/40-65 z firmy LOTOS Asfalt,
- Asfalt modyfikowany 25/55-60 z firmy LOTOS Asfalt,
- Asfalt modyfikowany 45/80-65 z firmy LOTOS Asfalt.

W tablicy 28 zestawione zostały wyniki badań asfaltów wykonane wg programu pracy. Dodatkowo określono przedział plastyczności PP oraz indeks penetracji PI.

Tablica 28. Właściwości lepiszczy

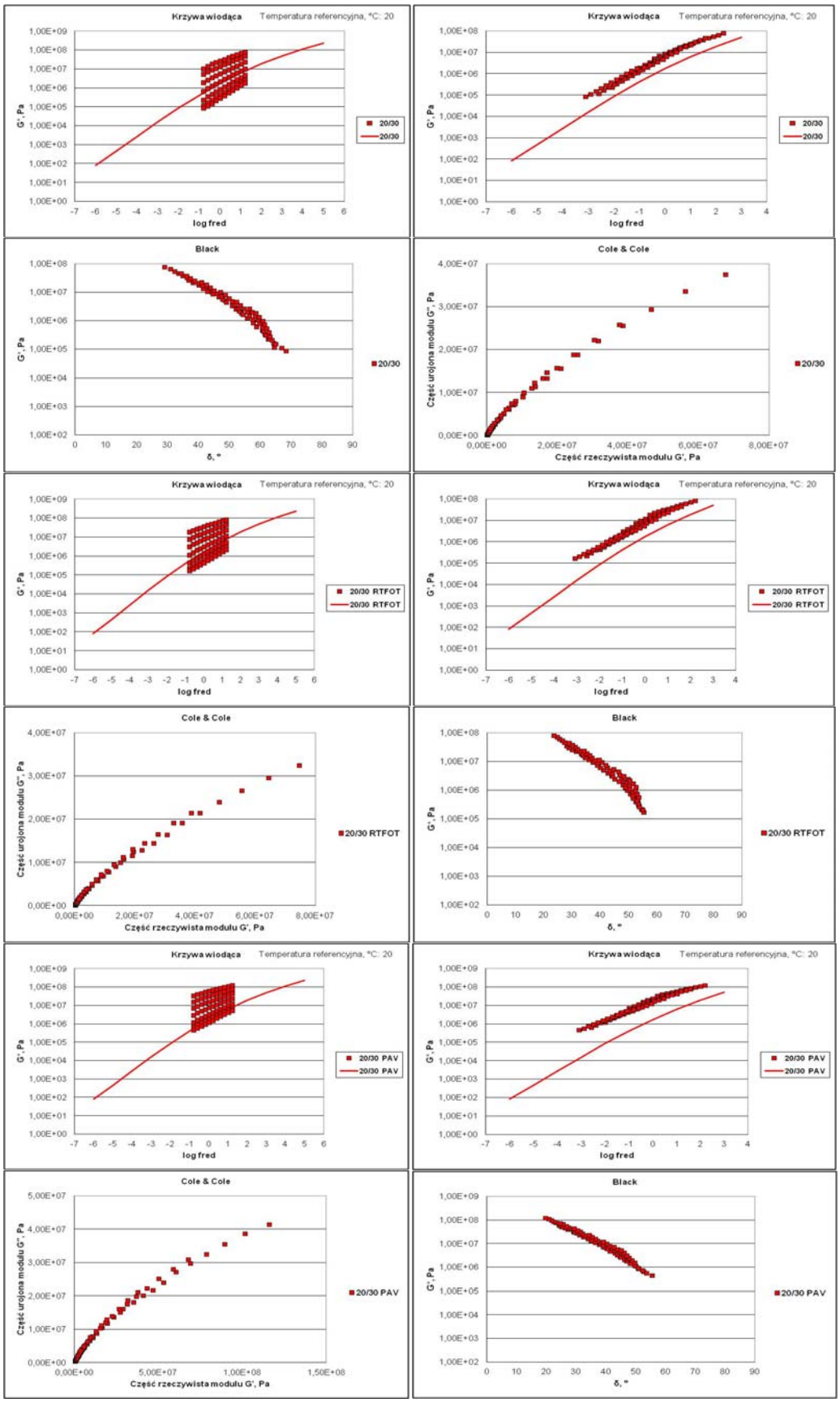
Rodzaj asfaltu, / Właściwość	Asfalt drogowy			PMB (asfalt modyfikowany)		
	20/30	35/50	50/70	10/40-65	25/55-60	45/80-65
Penetracja w temperaturze 25°C, obciążenie 100g, czas obciążenia 5s, 0,1 mm	25	40	62	36	32	55
Temperatura mięknienia PiK, °C	62,6	56	49,4	67,8	68,8	58,6
Temperatura łamliwości wg Fraassa, °C	-16	-14	-19	-19	-18	-20
Lepkość dynamiczna w 60°C, mPa*s	4 730 000	913 556	395 556	6 353 000	7 206 000	1 006 000
Lepkość dynamiczna w 90°C, mPa*s	78 361	24 677	13 847	126 571	113 500	32 513
Lepkość dynamiczna w 135°C, mPa*s	1 946	939	658	3 116	2 163	1 351
Przedział plastyczności, ˚C	78,6	70,0	68,4	86,8	86,8	78,6
PI (Pen-PiK),	-0,01	-0,32	-0,84	1,66	1,56	0,99

5.3.2 Wyniki badań w DSR

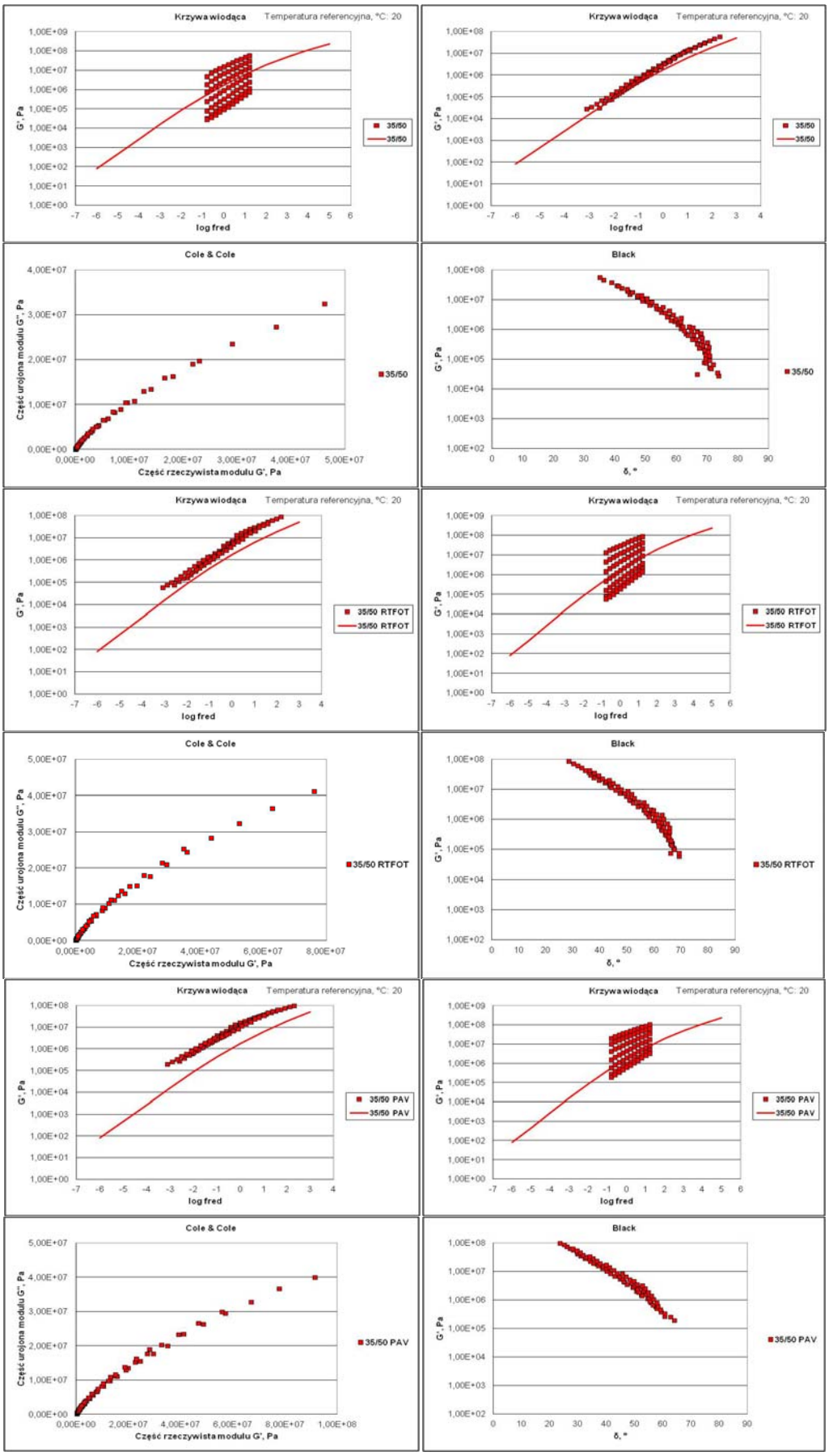
Na rysunkach 19-24 przedstawiono graficznie wyniki badań zespolonego modułu sztywności poszczególnych asfaltów w formie krzywych wiodących, wykresu Cole-Cole i wykresu Blacka.

Spis rysunków:

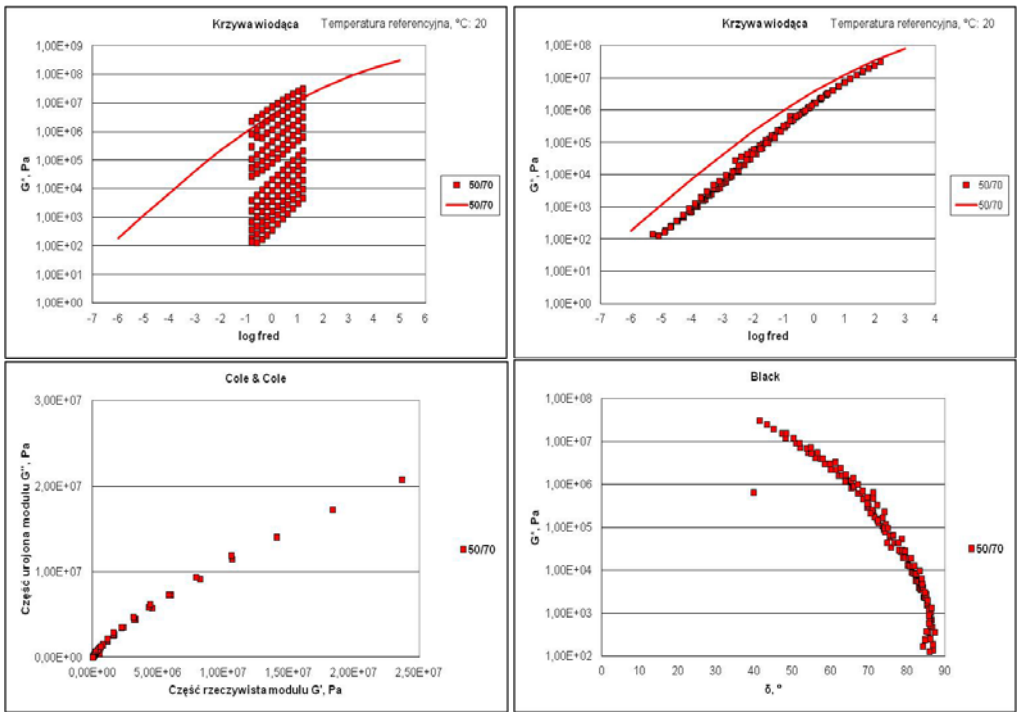
- Rysunek 19 Wyniki badania DSR asfaltu 20/30
- Rysunek 20 Wyniki badania DSR asfaltu 35/50
- Rysunek 21 Wyniki badania DSR asfaltu 50/70
- Rysunek 22 Wyniki badania DSR PMB 10/40-65
- Rysunek 23 Wyniki badania DSR PMB 25/55-60
- Rysunek 24 Wyniki badania DSR PMB 45/80-65



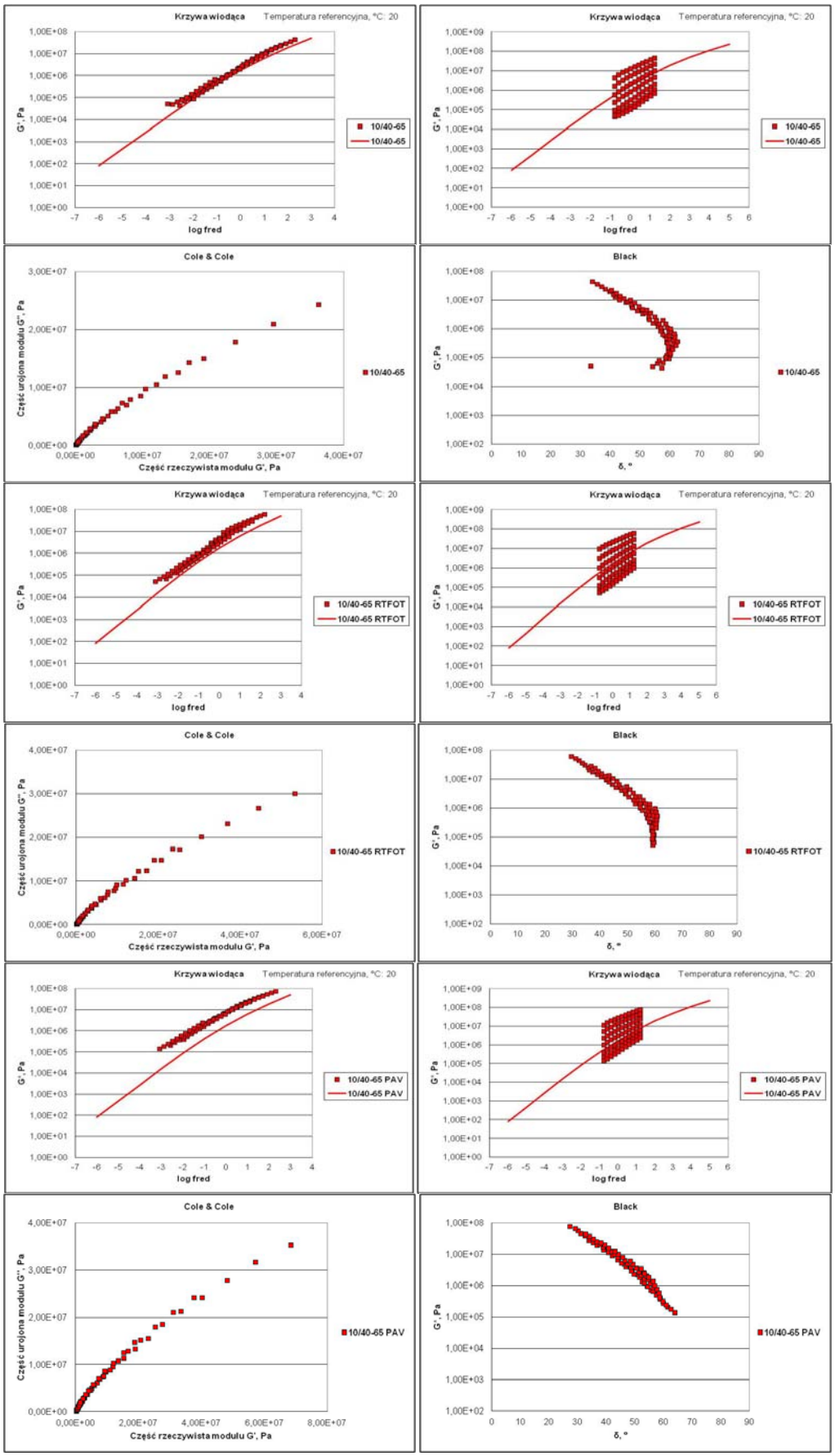
Rysunek 19. Wyniki DSR asfalt 20/30



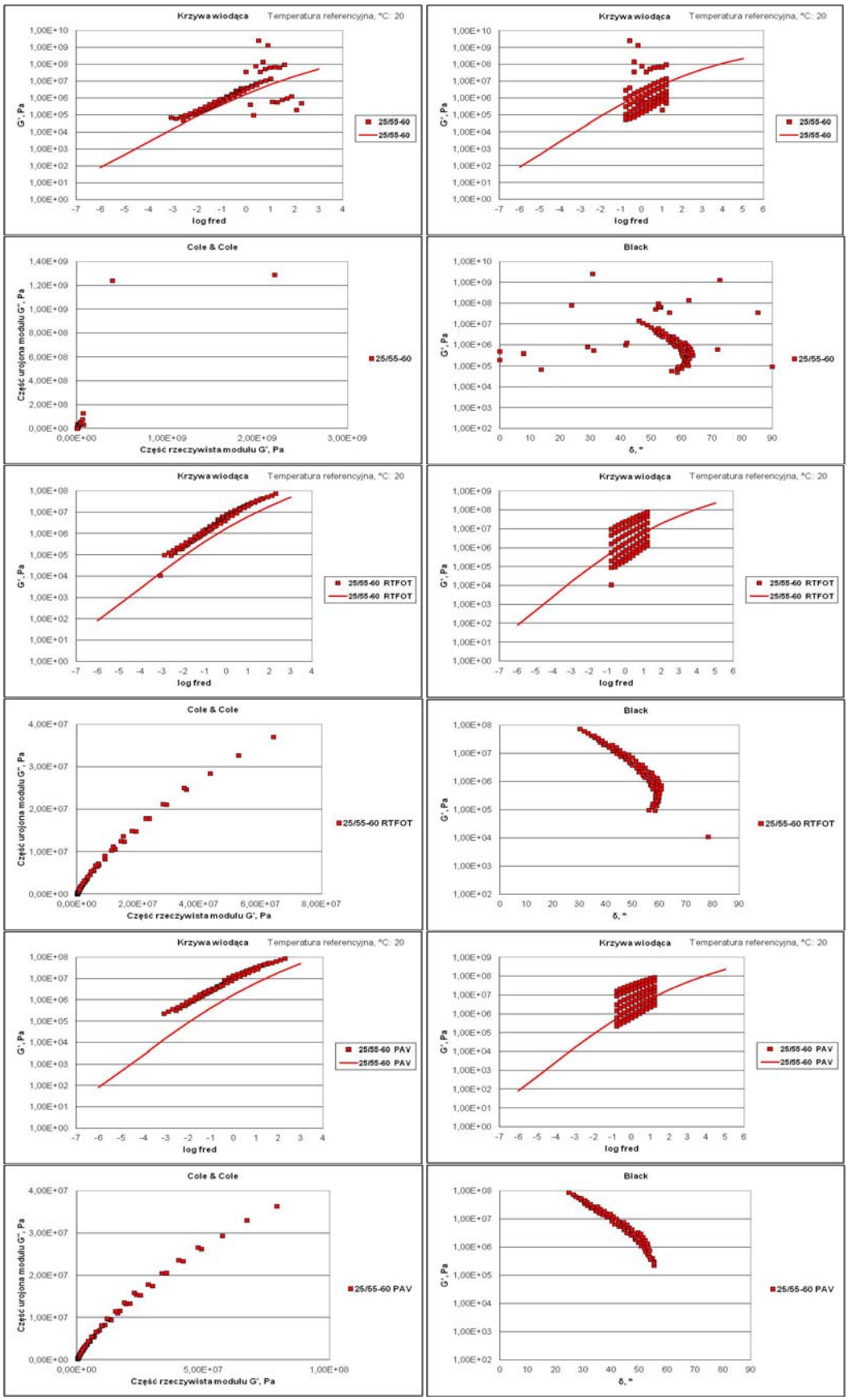
Rysunek 20. Wyniki DSR asfalt 35/50



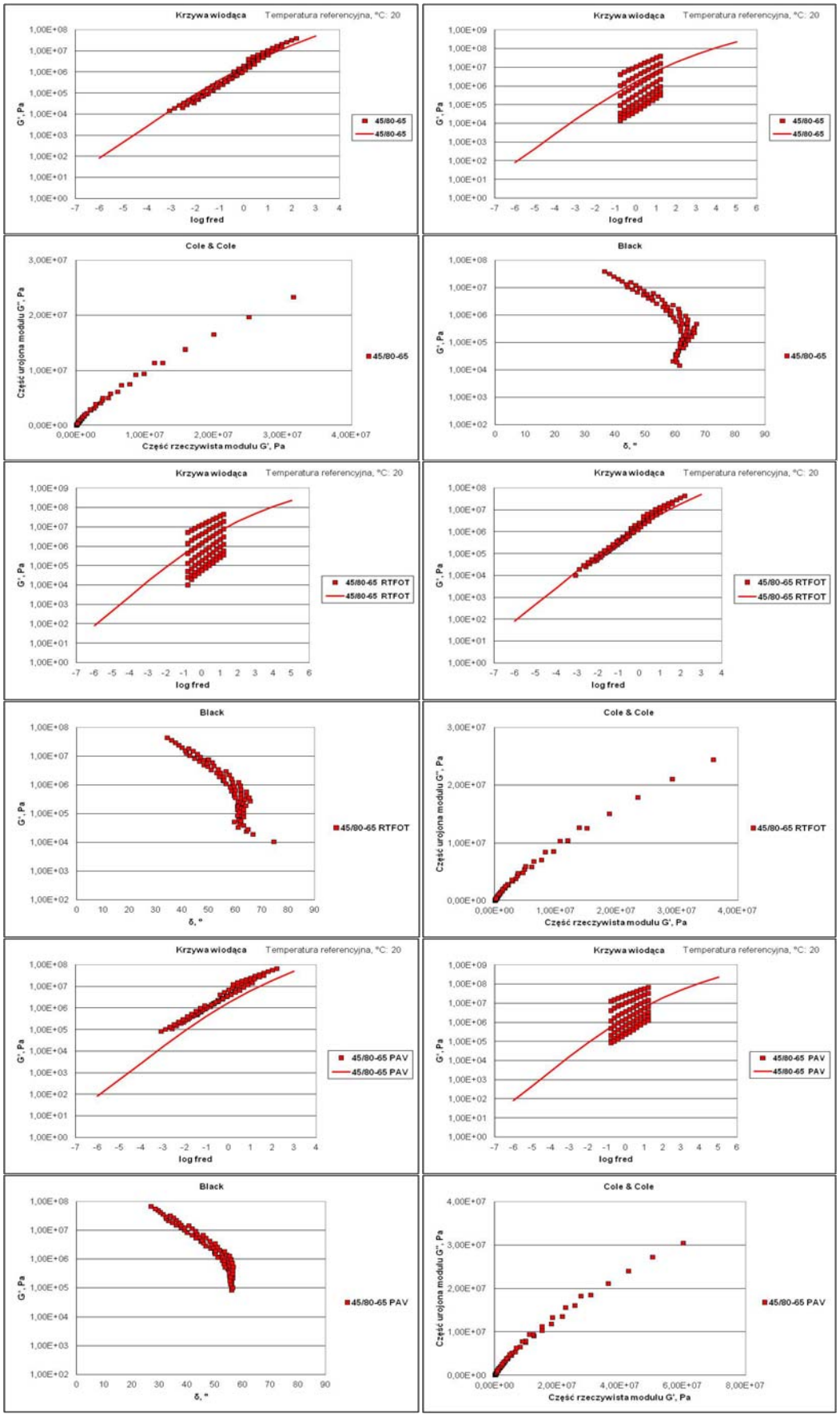
Rysunek 21. Wyniki DSR asfalt 50/70



Rysunek 22. Wyniki DSR PMB 10/40-65



Rysunek 23. Wyniki DSR PMB 25/55-60



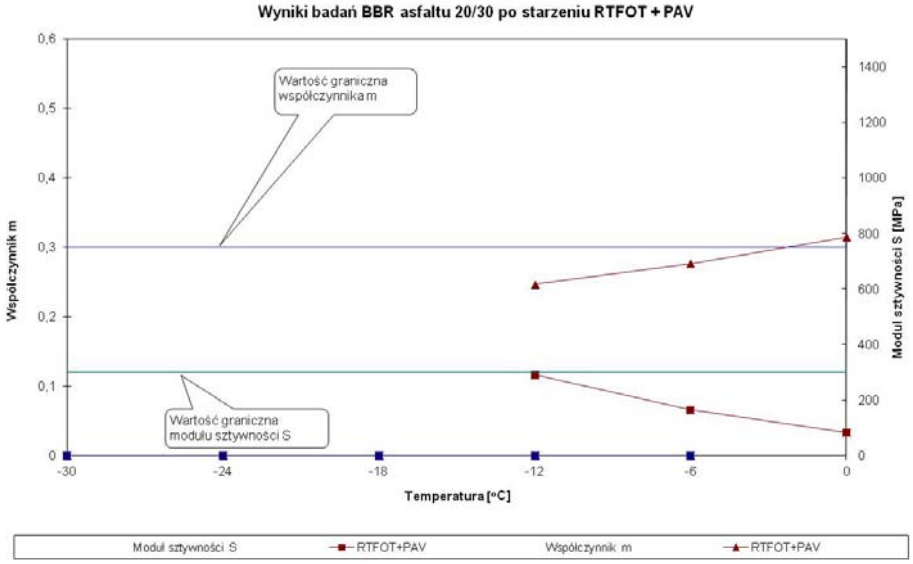
Rysunek 24. Wyniki DSR PMB 45/80-65

5.3.3 Wyniki badania BBR i ustalenie rodzaju PG

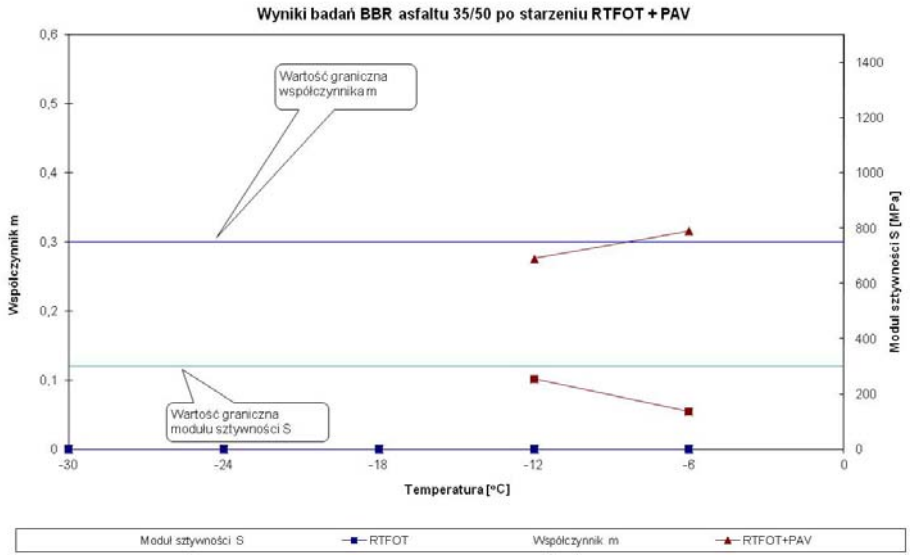
W tablicy 29 oraz na rysunkach poniżej przedstawiono wyniki badań w reometrze BBR.

Tablica 29. Wyniki badań BBR i ustalenie rodzaju PG poszczególnych asfaltów

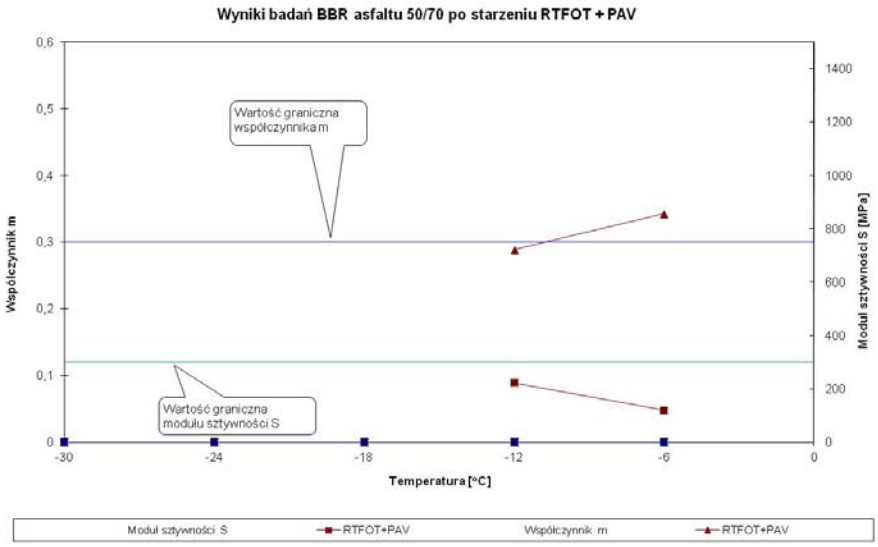
Temperatura ˚C	Asfalt / Parametr	10/40-65	50/70	25/55-60	35/50	45/80-65	20/30
0	Moduł S	-	-	-	-	-	83,3
	Współczynnik m	-	-	-	-	-	0,315
-6	Moduł S	89,55	119,5	115,5	136	-	164
	Współczynnik m	0,314	0,3425	0,3095	0,316	-	0,2765
-12	Moduł S	188,5	221,5	225,5	255	125	290,5
	Współczynnik m	0,2735	0,2885	0,2605	0,276	0,3105	0,247
-18	Moduł S	-	-	-	-	224	-
	Współczynnik m	-	-	-	-	0,2705	-
Dolna granica PG		**-16**	**-16**	**-16**	**-16**	**-22**	**-10**



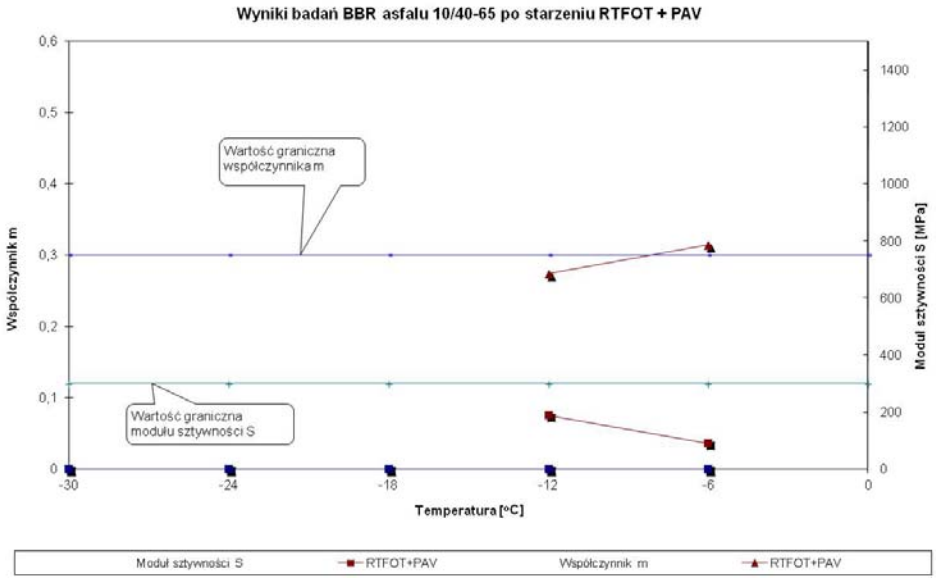
Rysunek 25. BBR asfalt 20/30



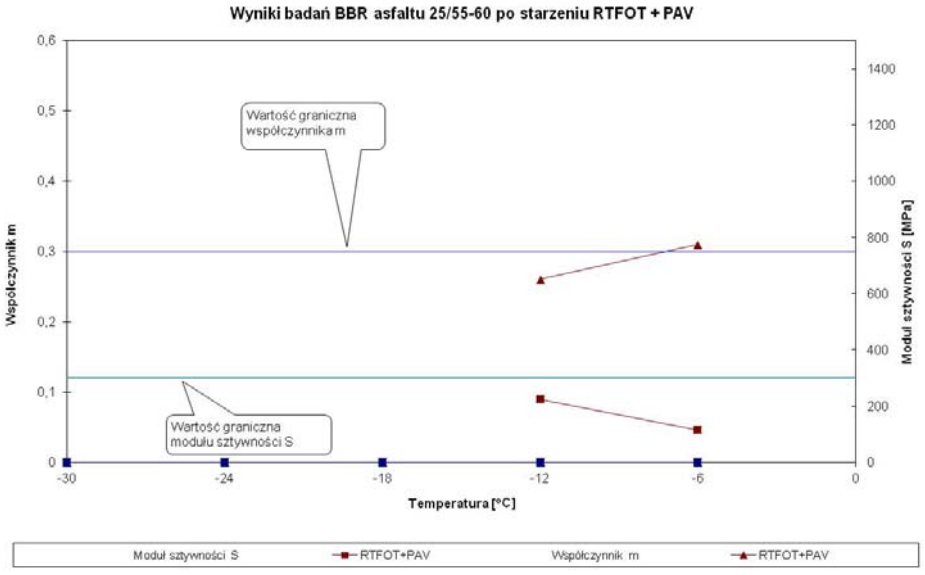
Rysunek 26. BBR asfalt 35/50



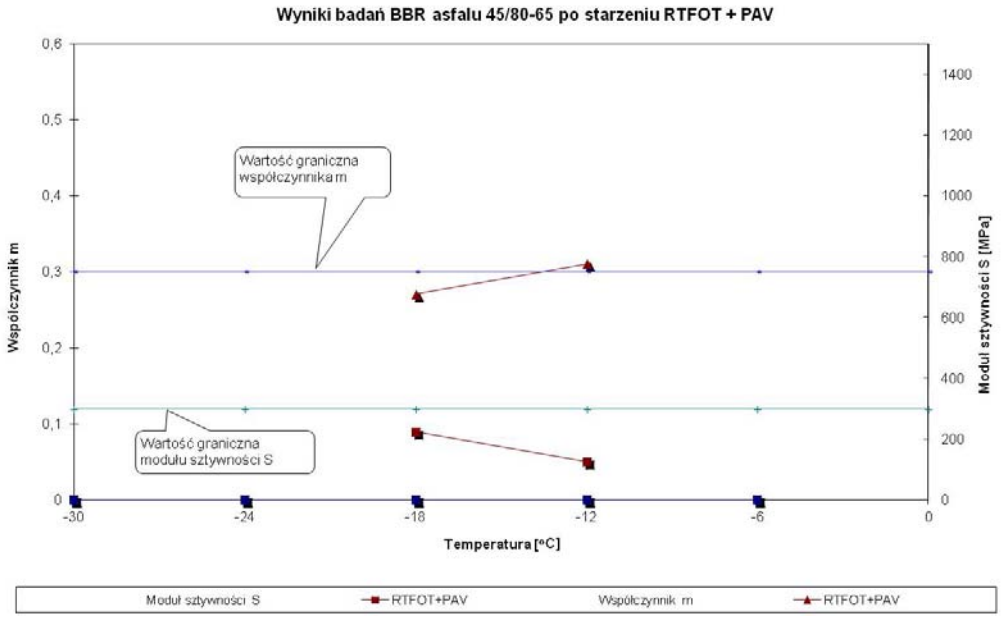
Rysunek 27. BBR asfalt 50/70



Rysunek 28. BBR PMB 10/40-65



Rysunek 29. BBR PMB 25/55-60



Rysunek 30 BBR PMB 45/80-65

6 Zadanie 7: Przystosowanie metod oceny właściwości kruszyw mineralnych

6.1 Przedmiot i cel sprawozdania

Celem sprawozdania jest porównanie i przedstawienie różnic pomiędzy polskimi (PN-EN) a amerykańskimi (ASTM) metodami oceny właściwości kruszyw stosowanych do betonów i mieszanek mineralno asfaltowych.

6.2 Zakres prac

Zakres prac obejmował:

- wybór norm ASTM dotyczących przedmiotowego tematu,
- analizę norm ASTM,
- porównanie pomiędzy polskimi (PN-EN) a amerykańskimi (ASTM) metodami oceny właściwości kruszyw stosowanych do betonów i mieszanek mineralno asfaltowych.

6.3 Porównanie polskich i amerykańskich metod oceny właściwości kruszyw mineralnych

6.3.1 Gęstość nasypowa w stanie luźnym wg PN-EN 1097-3 i ASTM C29/C29M-09

Gęstość nasypowa w stanie luźnym – iloraz niezagęszczonej masy suchego kruszywa wypełniającego określony pojemnik do objętości tego pojemnika.

Różnica 1

Pierwszą znaczącą różnicą jest to że pojemniki do tego badania mają różne pojemności. Według PN-EN 1097-3 pojemniki są następujące:

Tablica 30

Górny wymiar kruszywa [mm]	Pojemność [l]
do 4	1,0
do 16	5,0
do 31,5	10,0
do 63	20,0

Pojemniki wg ASTM C29/C29M-09 do gęstości nasypowej podaje tablica 31.

Tablica 31

Nominalny maksymalny rozmiar kruszywa		Pojemność pojemnika	
[mm]	[cale]	[m^3] / [l]	[cale]
12,5	½	0,0028 / [2,8]	1/10
25,0	1	0,0093 / [9,3]	1/3
37,5	1,1/2	0,014 / [14]	½
75	3	0,028 / [28]	1
100	4	0,070 / [70]	2,1/2
125	5	0,100 / [100]	3,1/2

Różnica 2

Drugą różnicą jest to, że PN-EN 1097-3 podaje metodę badania polegającą na napełnieniu pojemnika za pomocą czerpaka i zważenia go – gęstość nasypowa w stanie luźnym, w załączniku D dopuszczone

jest badanie gęstości w stanie zagęszczonym ale bez wskazania metody. Natomiast w normie ASTM C29/C29M-09 są trzy metody badania gęstości nasypowej:

- pierwsza z nich polega na sztychowaniu kruszywa w pojemniku po przez napełnienie go do 1/3 wysokości i uderzanie 25 razy na całej powierzchni, następnie dosypuje się kruszywa do 2/3 i 25 razy uderza i napełnia do przesypania i ponownie sztychuje się 25 razy; nadmiar materiału ściągany jest liniałem;
- druga metoda polega na wypełnieniu pojemnika w trzech równych warstwach jak opisano wyżej, i zagęszczeniu poszczególnych warstw poprzez umieszczenie pojemnika na betonowej posadzce i podnoszenie go na 50 mm (2 cale) na przemian raz z jednej strony a później z drugiej i opuszczanie na posadzkę. Kruszywo w ten sposób ubija się – zagęszcza; na każdej warstwie podnosi się i opuszcza po 50 razy, po 25 razy na stronę; poziom powierzchni kruszywa wyrównuje się liniałem żeby żadne kruszywo nie wystawało ponad poziom górnej granicy pojemnika;
- trzecia metoda polega na wypełnieniu pojemnika po brzegi za pomocą łopatki, wsypując kruszywo z wysokości nie przekraczającej 50 mm (2 cale) powyżej górnej granicy pojemnika; poziom powierzchni kruszywa wyrównuje się liniałem.

Różnica 3

W normie europejskiej wynik podaje się w [mg/m^3], a w normie amerykańskiej w [kg/m^3].

6.3.2 Odporność na ścieranie w bębnie micro-Devala wg PN-EN 1097-1 i ASTM D7428-08, ASTM D6928-10

Odporność na ścieranie – oznaczenie współczynnika mikro-Devala polegające na określeniu procentowego ubytku początkowej masy próbki w czasie jej ścierania do wymiarów mniejszych niż 1,6 mm (definicja wg EN).

Różnica 1

Metoda badania odporności na ścieranie w bębnie micro-Devala jest zawarta w dwóch normach ASTM dot. kruszyw grubych i drobnych. Metoda wg PN-EN jest zawarta w jednej normie i nie przewiduje badania kruszyw drobnych.

Różnica 2

Wymiar bębna wg norm ASTM to 200 mm średnica i wysokość do 170 do 177 mm a w normie PN-EN to średnica wynosi 200 mm zaś wysokość 154 mm.

ASTM D 7428-08

Różnica 3

Według norm ASTM należy próbkę moczyć przez co najmniej godzinę w wodzie. W normie PN-EN nie ma tej czynności. Użyta ilość wody w normie ASTM wynosi 0,75 l i 1250 g kul stalowych. Liczba obrotów w ASTM wynosi przez15 minut z prędkością 100 obr/min natomiast w PN-EN bębny mają się obracać z prędkością 100 obr/min ale przez 120 min ponieważ badanie ma mieć 12000 obrotów, użyta ilość wody to 2,5 l i masa kul ścierających w zależności od użytej frakcji, zgodnie z tablicą 32.

Tablica 32

Podział uziarnienia [mm]	Pośredni wymiar sita [mm]	Materiał przechodzący przez pośredni wymiar sita [%]	Masa kul [g]
4 do 6,3	5	30 do 40	2000 ± 5
4 do 8	6,3	60 do 70	2800 ± 5
6,3 do 10	8	30 do 40	4000 ± 5
8 do 11,2	10	60 do 70	4400 ± 5
11,2 do 16	14	60 do 70	5400 ± 5
10 do 14	11,2 lub 12,5	30 do 40 lub 60 do 70	5000 ± 5

Powyższa tabela podaje też wymagane uziarnienie dla kruszywa a masa próbki do badania powinna wynosić 500 g.

Różnica 4

W ASTM D 7428-08 dot. badania kruszyw drobnych badaniu podlega tylko jedna próbka o następującym uziarnieniu zgodnie z tablicą 334. Według normy PN-EN badaniu podlegają dwie próbki a wynik końcowy odporności na ścieranie stanowi średnia z dwóch oznaczeń.

Tablica 33

Przechodzi	Pozostaje	Masa [g]
4,75 mm	2,36 mm	50
2,36 mm	1,18mm	125
1,18 mm	0,600 µm	125
0,600 µm	0,300 µm	100
0,300 µm	150 µm	75
150 µm	75 µm	25

ASTM D 6928-10

Różnica 1

Według normy ASTM D 6928-10 dot. badania kruszyw grubych wyróżnia się frakcje zawarte w tablicach 34-36.

Materiał przechodzący przez sito 19,0 mm i pozostający na sicie 9,5mm. Wysuszona próbka o wadze 1500 ± 5 g i powinna być przygotowana zgodnie z tablicą 34.

Tablica 34

Przechodzi [mm]	Pozostaje [mm]	Masa [g]
19,0	16,0	375
16,0	12,5	375
12,5	9,5	750

Gdy maksymalny rozmiar kruszywa to 12,5 mm masa próbki powinna wynosić 1500 ± 5 g i powinna być przygotowana zgodnie z tablicą 35.

Tablica 35

Przechodzi [mm]	Pozostaje [mm]	Masa [g]
12,5	9,5	750
9,5	6,3	375
6,3	4,75	375

W przypadku gdy maksymalny rozmiar kruszywa to 9,5 mm lub mniej to masa próbki powinna wynosić 1500 ± 5 g i powinna być przygotowana zgodnie z tablicą 36.

Tablica 36

Przechodzi [mm]	Pozostaje [mm]	Masa [g]
9,5	6,3	750
6,3	4,75	750

Różnica 2

Według normy ASTM masa kruszywa wynosi 1500 g i zanurza się ją w 2,0 l wody i przetrzymuje przez co najmniej godzinę, do badania w bębnie daje się 5000 g stalowych kul i uruchamia maszynę na 2 h czyli 12000 obrotów dla kruszywa przechodzącego przez sito 19,0 mm i pozostające na sicie 9,5 mm, a dla kruszywa o maksymalnym nominalnym rozmiarze 12,5 mm maszynę nastawia się na 105 min. czyli 10500 obrotów a dla materiału gdzie maksymalny nominalny rozmiar to 9,5 mm maszynę uruchamia się na 95 min. czyli 9500 obrotów. Po zakończeniu określonej liczby obrotów próbkę przesiewa się przez sito 1,18 mm. Norma PN-EN na badanie odporności na ścieranie określa inną ilość wody i masa próbki ma wynosić po 500 g, a ładunek stalowych kul jest różny (tabela 3), w zależności od badanej frakcji. Przesiewanie po zakończeniu określonej liczby obrotów jest wykonywane na sicie 1,6 mm.

Różnica 3

Różnicą jest obliczanie wyników gdzie w normie amerykańskiej wyniki obliczmy jako procentowy ubytek masy wg wzoru:

(A-B)/A*100 Równanie 4

w którym: *A* – próbka przed badaniem,

B – próbka po określonej liczbie obrotów i przesiana na sicie 1,18 mm.

W normie europejskiej wzór wygląda następująco:

M_{DE}= 500 – m / 5 Równanie 5

w którym: *m* - masa frakcji pozostająca na sicie 1,6 mm w gramach.

6.3.3 Odporność na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2 i ASTM C131, ASTM C535

Współczynnik Los Angeles (LA) – część masy próbki analitycznej, wyrażona w procentach, która po zakończeniu badania przeszła przez sito 1,6 mm.

Różnica 1

Badanie odporności na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles w normach amerykańskich jest podzielone na dwa osobne standardy pierwszy z nich to ASTM C131 na małe rozmiary kruszywa, a drugi to ASTM C535 na duże rozmiary kruszywa.

ASTM C131

Pierwszą niewielką różnicą jest wielkość i wymiary kul według ASTM średnica to około 46,8 mm i masa od 390 do 445 g, wg PN-EN średnica kul powinna wynosić od 45 do 59 mm a waga od 400 do 445 g. Różnice występują również w masie próbek i ilości kul. Według normy ASTM C131 warunki te zawierają tablice 37 i 38.

Tablica 37

Wielkość próbki (wg tab. 15)	Liczba kul [szt.]	Masa ładunku [g]
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tablica 38

Rozmiar sita [mm]/[cale]		Masa [g]			
Przechodzi	Pozostaje	Oznaczenie rodzaju próbki wg jej masy			
		A	B	C	D
37,5 / 1,1/2	25,0 / 1	1250 ± 25	-------	-------	-------
25,0 / 1	19,0 / 3/4	1250 ± 25	-------	-------	-------
19,0 / 3/4	12,5 / 1/2	1250 ± 10	2500 ± 10	-------	-------
12,5 / 1/2	9,5 / 3/8	1250 ± 10	2500 ± 10	-------	-------
9,5 / 3/8	6,3 / 1/4	-------	-------	2500 ± 10	-------
6,3 / 1/4	4,75 / nr 4	-------	-------	2500 ± 10	-------
4,75 / nr 4	2,36 / nr 8	-------	-------	-------	5000 ± 10
Suma		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

W normie europejskiej wielkości próbek i masy kul są następujące:

- Podstawową zalecaną frakcją badawczą jest kruszywo o ziarnach od 10 do 14 mm i dodatkowo próbka powinna być zgodna z następującym wymaganiem: zawartość kruszywa o uziarnieniu do 12,5 mm wynosi od 60 do70 % lub zawartość kruszywa o uziarnieniu do 11,2 mm wynosi od 30 do 40%.

Tablica 39 podaje alternatywne warunki badania.

Tablica 39

Podział uziarnienia [mm]	Pośredni wymiar sita [mm]	Materiał przechodzący przez pośredni wymiar sita [%]	Liczba kul [szt.]	Masa kul [g]
4 do 6,3	5	30 do 40	7	od 2930 do3100
4 do 8	6,3	60 do 70	8	od 3410 do 3540
6,3 do 10	8	30 do 40	9	od 3840 do 3980
8 do 11,2	10	60 do 70	10	od 4250 do 4420
11,2 do 16	14	60 do 70	12	od 5120 do 5300
31,5 do 50 *)	40	-	12	5210 ± 90
*) badanie dotyczy kruszywa na podsypkę kolejową masa próbki powinna wynosić 10000 ± 100 g a ilość obrotów 1000.				

Różnica 2

Następną różnicą jest przesiewanie próbki po rozdrabnianiu przez inne sita oraz obliczanie wyników. Według normy ASTM próbkę przesiewa się przez sito 1,70 mm, a wynik przedstawia się jako procentowy ubytek masy. W normie PN-EN przesiewanie próbki przez sito 1,6 mm i obliczanie wyniku odporności na rozdrabnianie z następującego wzoru:

$$LA = (5000 – m)/50$$

w którym: *m* – masa frakcji pozostającej na sicie 1,6 w [g]

ASTM C535

Różnica 1

W normie ASTM C535 ładunek składa się z 12 kul i wynosi 5000 ± 25 g, każda o średnicy około 47 mm i masie od 390 do 445 g. Próbki powinny być zgodne z tablicą 40.

Tablica 40

Rozmiar sita [mm/cale]		Masa [g]		
Przechodzi	Pozostaje	Oznaczenie rodzaju próbki wg jej masy		
		1	2	3
75 / 3	63 / 2,1/2	2500 ± 50	-------	-------
63 / 2,1/2	50 / 2	2500 ± 50	-------	-------
50 / 2	37,5 / 1,1/2	5000 ± 50	5000 ± 50	
37,5 / 1,1/2	25,0 / 1	--------	5000 ± 50	5000 ± 50
25,0 / 1	19,0 / 3/4	--------	-------	5000 ± 50
Suma		10000 ± 100	10000 ± 100	10000 ± 100

Różnica 2

W przypadku ASTM C535 bęben uruchamiany jest na 1000 obrotów i po wykonaniu tych obrotów przesiewa się próbkę na sicie 1,7 mm. W normie europejskiej z frakcją większą postępuje się podobnie (zawartość frakcji i warunki badania zawiera tablica 39). Próbkę przesiewa się przez sito 1,6 mm.

6.3.4 Gęstość i nasiąkliwość wg PN-EN 1097-6 i ASTM C127, ASTM C128

Gęstość ziaren – stosunek masy do objętości próbki.

Nasiąkliwość – zwiększenie masy próbki kruszywa wysuszonego w suszarce spowodowane penetracją wody do dostępnych dla niej pustych przestrzeni.

Do badania gęstości i nasiąkliwości normy ASTM są także podzielone na normę do kruszyw drobnych i grubych. W normie PN-EN wyróżnia się metody w zależności od wielkości ziaren tj. metoda drucianego kosza dla ziaren od 31,5 mm do 63 mm, metoda piknometryczna dla ziaren od 4 mm do 31,5 mm, metoda piknometryczna dla ziaren od 0,063 mm do 4 mm, metoda drucianego kosza dla ziaren od 40 mm do 50 mm lub od 50 mm do 63 mm nasyconych do stałej masy.

ASTM C127

Norma ASTM C127 dotyczy kruszywa grubego badanego w drucianym koszu. Różnice między metodą wg PN-EN a ASTM polegają na użyciu innych wymiarów ziaren i masy próbek. Minimalne masy próbek jakie muszą być użyte wg ASTM podano w tablicy 18. Badanie kruszyw grubych jest dozwolone na kilku frakcjach. Jeśli próbka zawiera więcej niż 15 % materiału pozostającego na sicie 37,5 mm, badanie materiału większego niż 37,5 mm wykonuje się na jednej lub większej ilości frakcji oddzielnie począwszy od mniejszych frakcji. Gdy kruszywa bada się na oddzielnych frakcjach minimalna masa próbki dla każdej musi różnić się od maksymalnego i minimalnego rozmiaru frakcji.

Tablica 41

Maksymalny wymiar ziaren kruszywa [mm/cal]	Minimalna masa próbki [kg]
12,5 / 1/2 lub mniejsze	2
19,0 / 3/4	3
25,0 / 1	4
37,5 / 1,1/2	5
50 / 2	8
63 / 2,1/2	12
75 / 3	18
90 / 3,1/2	25
100 / 4	40
125 / 5	75

ASTM C128

Według ASTM C128 badanie gęstości i nasiąkliwości metodami piknometrycznymi wykonuje się tak samo jak w normach europejskich, różnice polegają tylko na użyciu innych wymiarów ziaren i masy próbek, dodatkowo pojawia się też procedura badania objętości w kolbie LeChateliera.

6.3.5 Skład ziarnowy kruszyw wg PN-EN 933-1 i ASTM C117, ASTM C136

Skład ziarnowy – badanie polegające na rozdzieleniu materiału za pomocą zestawu sit, na kilka frakcji klasyfikowanych wg zmniejszających się wymiarów. Wymiary otworów sit dobiera się w zależności od rodzaju próbki.

Normy ASTM rozróżniają podział na analizę sitową cząstek drobnych - ASTM C117 i analizę sitową kruszywa grubego i drobnego - ASTM C136.

ASTM C117

Różnica 1

Wymiary otworów sit badawczych różnią się w ASTM a PN-EN.

Różnica 2

Jeśli ta sama próbka powinna być badana zgodnie z ASTM C 136, to minimalna masa jest opisana w odpowiednim punkcie tej normy. W przeciwnym razie masa próbki po wysuszeniu powinna być zgodna z tablicą 42.

Tablica 42

Maksymalny wymiar ziaren kruszywa [mm/cal]	Minimalna masa próbki [g]
4,75 mm lub mniejsze	300
Większe niż 4,75 mm do 9,5 mm (3/8 cala)	1000
Większe niż 9,5 mm (3/8 cala) do 19,0 mm (3/4 cala)	2500
Większe niż 19,0 mm (3/4 cala)	5000

Wyróżnia się tu dwie procedury badawcze. Procedura A polega na przesiewaniu na mokro na odpowiednim zestawie sit i zebraniu części mniejszych od 75 µm. Następnie kruszywo należy wysuszyć w suszarce do stałej masy w temp. $110 \pm 5\ ^{0}C$ ($230 \pm 9\ ^{0}F$) i określić wagę z dokładnością do 0,1 % do oryginalnej masy próbki.

Procedura B polega na przemyciu za pomocą środków zwilżających. Po suszeniu należy zważyć próbkę i umieścić próbkę w pojemniku. Dodać odpowiedniej ilości wody żeby próbka była zakryta i dodać środka zwilżającego. Wymieszać próbkę z odpowiednią siłą aby odseparować części mniejsze niż 75 µm od większych części oraz wprowadzić materiał drobny w zawiesinę. Natychmiast wlewa się wodę zawierającą zawiesinę i substancje rozpuszczone w poukładane sita, od największego do

mniejszego. Dodaje się drugą ilość wody do pojemnika z próbką (bez środka zwilżającego) miesza i zlewa jak poprzednio. Powtarza się tę operację, aż woda będzie czysta.

Ilość materiału, która przechodzi przez sito 75 µm po przemyciu oblicza się w następujący sposób:

$$A = \left[\frac{(B - C)}{B} \right] \times 100$$

w którym:

A - procent materiału który przechodzi przez sito 75 um (nr 200) po przez przemycie

B - masa próbki suchej [g]

C - masa próbki suchej po przemyciu [g].

ASTM C136

Różnica 1

Norma ASTM C136 nie przewiduje przemywania próbki, skład wykonywany jest na sucho. W PN-EN badanie uziarnienia przeprowadza się na mokro.

Różnica 2

Wymiary otworów sit badawczych różnią się w ASTM a PN-EN.

Różnica 3

W normie ASTM C136 opisano analizę sitową dla kruszywa drobnego i grubego. Wielkość próbki do badań po wysuszeniu dla kruszywa drobnego wynosi minimum 300 g. Wielkości próbek do badań kruszywa grubego są zgodne z tablicą 43. Różnią się one od normy PN-EN. Występują również inne wymagane minimalne masy próbek uzależnione również od innych maksymalnych wymiarów ziaren (tablica 44).

Tablica 43

Maksymalny wymiar ziaren kruszywa [mm/cal]	Minimalna wielkość próbki [kg]
9,5 / 3/8	1
12,5 / 1/2	2
19,0 / 3/4	5
25,0 / 1	10
37,5 / 1,1/2	15
50 / 2	20
63 / 2,1/2	35
75 / 3	60
90 / 3,1/2	100
100 / 4	150
125 / 5	300

Wielkości próbek do badania dla mieszaniny kruszywa grubego i drobnego powinny być takie same jak w tablicy 43.

W normie PN-EN badaną próbkę przetrzymuje się przez 24 h w wodzie. Występują również inne wymagane minimalne masy próbek uzależnione również od innych maksymalnych wymiarów ziaren (tablicy 44).

Tablica 44

Maksymalny wymiar ziaren kruszywa [mm]	Minimalna masa próbki analitycznej [kg]
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2

6.3.6 Zawartość substancji organicznych wg PN-EN 1744-1 i ASTM C40/C40M-11

Różnica 1

Według metody badawczej PN-EN 1744-1 p. 15 .1 próbkę należy przesiać przez sito 4 mm i do badania używa się tej części próbki, która przeszła przez to sito natomiast pozostałość na sicie należy rozkruszyć. W standardzie amerykańskim nie ma podanej granulacji próbek do badań, jest podana masa próbki.

Różnica 2

Roztwór NaOH do badania w obu normach jest w takim samym stężeniu. Natomiast roztwór wzorcowy w standardzie ASTM to rozpuszczony dwuchromian potasu w stężonym kwasie siarkowym, wg metody PN-EN roztwór wzorcowy do porównania barwy to rozpuszczony FeCl3 i CoCl2 rozpuszczony w wodzie i stężonym kwasie solnym.

6.3.6.1 Badanie mrozoodporności

Różnica 1

Podstawową różnicą w badaniach mrozoodporności jest to, że normalizacja europejska przewiduje badanie mrozoodporności w wodzie wg PN-EN 1367-1 oraz 1% roztworze soli wg PN-EN 1367-6, w systemie norm ASTM badaniem na odporność na działanie czynników atmosferycznych funkcjonuje norma na badanie w siarczanie magnezu. Taka metoda również jest w systemie PN-EN ale wzorcowe metody to badanie mrozoodporności w wodzie wg PN-EN 1367-1 oraz 1% roztworze soli wg PN-EN 1367-6.

Zasada metody polega na ocenie zachowania się kruszywa poddanego cyklicznemu zanurzaniu w roztworze siarczanu sodu (wg ASTM) lub siarczanu magnezu (wg PN-EN i ASTM).

Różnica 2

Według normy europejskiej do badania można użyć tylko roztworu siarczanu magnezu a w normie ASTM badanie to można przeprowadzić za pomocą roztworu siarczanu sodu lub siarczanu magnezu.

Różnica 3

Norma PN-EN określa liczbę cykli, a wg ASTM należy określić, ilu cyklom badania poddajemy próbkę. Różnice dotyczą też wymiarów frakcji badawczych i masy próbek. Według PN-EN 1367-2 wymiary frakcji badawczych i masy próbek podaje tablica 45.

Tablica 45

Wymiar frakcji [mm]	Masa próbki w [g]	Sita badawcze		Siatki koszy		
		Przechodzi [mm]	Pozostaje [mm]	Wymiar otworu siatki [mm]	Wysokość [mm]	Średnica [mm]
większe niż 14,00	od 800 do 830	28,00	20,00	3,35	160	120
	od 600 do 630	20,00	14,00	3,35	160	120
od 10,00 do 14,00	od 420 do 430	14,00	10,00	4,00	160	120
mniejsze niż 10,00	od 300 do 310	10,0	6,30	1,18	120	95
	od 200 do 210	6,30	5,00	1,18	120	95
	od 200 do 210	5,00	3,35	0,60	120	95
	od 200 do 210	3,35	2,36	0,60	120	95
	od 100 do 110	2,36	1,18	0,15	80	65
	od 100 do 110	1,18	0,60	0,15	80	65
	od 100 do 110	0,60	0,30	0,15	80	65

Według ASTM rozmiary frakcji kruszyw do badań podają tablice 46 i 47.

W przypadku kruszywa drobnego powinno ono przechodzić przez sito 9,5 mm (3/8 cala).

Tablica 46

Przechodzi przez sito	Pozostaje na sicie
600 µm	300 µm
1,18 mm	600 µm
2,36 mm	1,18 mm
4,75 mm	2,36 mm
9,5 mm	4,75 mm

W przypadku kruszywa grubego próbka do badania powinna się składać z materiału, z którego drobniejsze ziarna niż 4,75 mm zostały usunięte. Próbka powinna być takiej wielkości, jak podaje tablica 47.

Tablica 47

Sito [mm]	Masa[g]
9,5 mm do 4,75 mm 19,0 mm do 9,5 mm	300 ± 5 1000 ± 10
12,5 mm do 9,5 mm 19,0 mm do 12,5 mm 37,5 mm do 19 mm	330 ± 5 670 ± 10 1500 ±50
25,0 mm do 19 mm 37,5 mm do 25,0 mm 63 mm do 37,5 mm	500 ± 30 1000 ± 50 5000 ±300
50 mm do 37,5 mm 63 mm do 50 mm	2000 ± 200 3000 ± 300
75 mm do 63 mm 90 mm do 75mm 100 mm do 90 mm	7000 ± 1000 7000 ± 1000 7000 ± 1000

Różnica 4

Po nasączaniu według ASTM próbki mają ociekać przez 15 ± 5 min. a według PN-EN 2 ± 0,25 h.

6.3.7 Odporność na polerowanie kruszywa wg PN-EN 1097-8 (PSV) i ASTM 391 (RPV)

Odporność na polerowanie – wynik uzyskany z tego badania (PSV wg PN-EN lub RPV wg ASTM) jest miarą odporności kruszywa grubego na polerujące działanie opon pojazdów w warunkach zbliżonych do tych, jakie występują na powierzchni drogi.

Różnica 1

Według normy ASTM w maszynie do przyspieszonego polerowania próbek stosuje się koła pompowane, natomiast wg normy PN-EN koła są gumowe ale nie pompowane. Koło gumowe przenosi obciążenie na koło drogowe według ASTM 391 - 44 $\pm$ 4,45 N a wg PN-EN jest to siła 725 $\pm$ 10 N.

Różnica 2

Jako materiał ścierny w normie amerykańskiej stosuje się piasek węglowo-krzemianowy a w PN-EN jest to korund i mączka korundowa. Poza tym, wg ASTM materiału ściernego używa się w ilości 6 g/min i wody od 50 do 75 ml/min., koło ma się kręcić przez okres odpowiednio 1, 2, 4,6, 8, i 10 h i po każdym okresie oznacza się wartość polerowania. Natomiast według PN-EN do kół ma być doprowadzony korund 14 g/min. i woda 14 g/min. przez okres 3h z kołem ciemnym, po tym okresie zmieniane jest koło na jasne i używa się do koła mączkę korundową z prędkością 3 g/min i 3g/min wody, przez okres 3h, i następnie wykonuje się badanie tarcia na wahadle.

Różnica 3

Według ASTM kruszywo do badania – wyklejania płytek powinno przechodzić przez sito 12,5 mm i pozostawać na sicie 9,5 mm natomiast według PN-EN kruszywo ma przechodzić przez sito 10 mm i pozostawać na sicie prętowym 7,2 mm.

Różnica 4

W standardzie amerykańskim wahadło kalibruje się przed każdym użyciem przy średniej wartości wypolerowania odpowiednio (RPV) 29 $\pm$ 1 i 38 $\pm$ 1. W normie europejskiej dopuszczalne wartości dla kamienia wzorcowego typu TRL wynoszą od 58 do 66.

7 Zadanie 8: Przystosowanie metod oceny właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych

7.1 Program pracy

Program pracy w poszczególnych zadaniach dostosowano do celu realizowanego projektu. Przygotowano program badań, który zawiera metody badań asfaltów i mma stosowane w Polsce i metody przewidziane do stosowania w metodzie MEPDG.

7.2 Program badań mma

- opracowanie składów mma,
- walidacja laboratoryjna na zgodność z wymaganiami WT-2 2010 [10],
- moduł zespolony i kąt przesunięcia fazowego metodą trójosiową wg normy AASHTO TP 62,
- odporność na zmęczenie wg PN-EN 12697-24,
- odporność na działanie wody wg WT-2 2010,
- odporność na koleinowanie wg PN-EN 12697-22,
- wytrzymałość na rozciąganie pośrednie wg AASHTO T 322.

Przewidziane do badań MMA wg WT-2 2010 [9]: ACWMS16 10/40-65, ACWMS16 25/55-60, ACWMS16 20/30, AC 16 35/50 P, AC 16 50/70 P i AC 16 35/50 W, SMA8 45/80-65.

Badania modułu i kąta przesunięcia fazowego metodą AASHTO TP 62 oraz wytrzymałości na rozciąganie pośrednie metodą AASHTO T 322 będą wykonane w początku 2012 r.

7.3 Metodyka badań (MMA)

7.3.1 Zawartość wolnych przestrzeni

Badanie gęstości i gęstości objętościowej metodą B (dawniej gęstości objętościowej i strukturalnej) wykonano wg PN-EN 12697-5 i 6 [11], [12]. Wolną przestrzeń P_p, w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej obliczono wg równania 1:

$$\boldsymbol{P_p = \frac{\rho - \rho_o}{\rho} x 100, \%} \text{ (V/V)} \qquad \textbf{Równanie 6}$$

ρ - gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm3,

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

Zagęszczenie sprawdzono na próbkach sporządzonych w ubijaku Marshalla stosując 2 x 75 uderzeń na stronę.

7.3.2 Odporność na działanie wody

Badanie odporności mieszanki ma działanie wody wykonano wg PN-EN 12697-12 [13]. Badanie wytrzymałości na rozciąganie pośrednie przeprowadzono na próbkach o średnicy 100 mm wg PN-EN 12697-23[14]. W trakcie wykonywania badań wykorzystano instrukcję badawczą podaną w załączniku nr 1 do WT-2 2010. Wynikiem badania jest wskaźnik zmiany wytrzymałości podany równaniem:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_W}{ITS_d} \qquad \textbf{Równanie 7}$$

w którym:

ITSR wskaźnik zmiany wytrzymałości,

ITSw wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek mokrych, [kPa]
ITSd wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek suchych, [kPa]

Im wskaźnik ITSR jest bliższy wartości 100 %, tym mieszanka jest bardziej odporna na wpływ czynników zewnętrznych.

7.3.3 Sztywność - metoda belki czteropunktowo zginanej

Badanie modułu sztywności przeprowadzono zgodnie z metodą określoną w normie PN-EN 12697-26 [15]. Metoda polega na cyklicznym, czteropunktowym zginaniu próbki belkowej umieszczonym w aparacie zmęczeniowym przy stałej amplitudzie ugięcia. Podczas badania rejestrowana jest siła, ugięcie belki, kąt przesunięcia fazowego, liczba cykli, obliczana jest sztywność oraz naprężenia i odkształcenia rozciągające. Warunki badania sztywności przyjęto następujące:

- temperatura: 10°C,
- częstotliwość: 10 Hz,
- odkształcenie: 40 μmm/mm.

7.3.4 Trwałość zmęczeniowa - metoda belki czteropunktowo zginanej

Badania zmęczeniowe zostały przeprowadzone wg normy PN-EN 12697-24 [16]. Metoda polega na cyklicznym, czteropunktowym zginaniu próbki belkowej umieszczonym w aparacie zmęczeniowym przy stałej amplitudzie ugięcia. Podczas badania rejestrowana jest siła, ugięcie belki, kąt przesunięcia fazowego, liczba cykli, obliczana jest sztywność oraz naprężenia i odkształcenia rozciągające. Badanie przeprowadzono w trybie kontrolowanych odkształceń, w temperaturze 10 °C, przy częstotliwości 10 Hz. Celem badania zmęczenia jest określenie trwałości zmęczeniowej danej próbki, następnie wyznaczenie charakterystyki zmęczeniowej mieszanki (tj. zależności pomiędzy odkształceniem w badaniu a uzyskaną trwałością zmęczeniową) i określenie wartości ε_6, która jest parametrem charakteryzującym odporność zmęczeniową mieszanki mineralno-asfaltowej. Charakterystyka zmęczeniowa opisana jest równaniem 6:

$$\boldsymbol{N = A \times \varepsilon^{b}} \qquad \textbf{Równanie 8}$$

w którym:

N – trwałość zmęczeniowa,
ε – odkształcenie w badaniu zmęczenia,
A,b – parametry regresji liniowej jeżeli wyniki podano jako ($\log \varepsilon$, $\log N$).

7.3.5 Odporność na koleinowanie (mały aparat)

Mały koleinomierz wykorzystywany jest do oceny odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na deformacje trwałe. Badanie przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 12697-22 [17]. Odpowiednio obciążone koło, z gumową oponą, porusza się cyklicznie po próbce z mieszanki mineralno-asfaltowej z określoną prędkością. W komorze utrzymywana jest temperatura 60°C. Próbki poddane badaniom mogą być przygotowane w zagęszczarce walcowej i mieć kształt płyty o wymiarach 260 na 320 mm oraz grubości od 30 do 120 mm, ewentualnie mogą być odwierconymi rdzeniami o średnicy 200 mm. Podczas typowego badania koło dociskane jest do próbki z siłą 700 ± 10 N, temperatura badania wynosi 60°C ± 1,0°C, a przyrost koleiny jest stale monitorowany, za pomocą elektromagnetycznego czujnika w 35 punktach z dokładnością do 0,01 mm. Poniżej przedstawiono aparat do koleinowania użyty w badaniach.

Rysunek 31 Koleinomierz w IBDiM (mały aparat)

7.4 Wyniki badań materiałów składowych

7.4.1 Materiały do badań oraz podstawowe badania materiałów wyjściowych

Asfalty:

Asfalt modyfikowany 10/40-65 z firmy LOTOS Asfalt
Asfalt modyfikowany 25/55-60 z firmy LOTOS Asfalt
Asfalt modyfikowany 45/80-65 z firmy LOTOS Asfalt
Asfalt drogowy 20/30 z firmy LOTOS Asfalt
Asfalt drogowy 35/50 z firmy LOTOS Asfalt
Asfalt drogowy 50/70 z firmy LOTOS Asfalt

Materiały kamienne - kruszywo

Mączka wapienna
Piasek łamany naturalny 0/2 [mm]
Bazalt 0/2, 2/5, 5/8, 8/11, 11/16 [mm]
Wapień 0/4, 2/8, 8/16, 16/22 [mm]
Gabro 2/5, 4/8 [mm]
Melafir 11/16 [mm]

Inne

Środek adhezyjny, Wetfix BE
Włókno celulozowe Arbocel

7.4.2 Lepiszcza

Do wykonania mieszanek mineralno-asfaltowych ACWMS 16 i SMA 8 zastosowano asfalt modyfikowany 10/40-65, 25/55-60, 45/80-65 oraz asfalt drogowy 20/30 z firmy LOTOS Asfalt. W tablicy 28 podane zostały podstawowe właściwości tych asfaltów.

Tablica 48. Podstawowe właściwości asfaltów zastosowanych do MMA

	RODZAJ ASFALTU					
WŁAŚCIWOŚCI	10/40-65	25/55-60	35/50	50/70	45/80-65	20/30
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	36	32	40	62	55	25
Temperatura mięknienia PiK, °C	67,8	68,8	56	49,4	58,6	62,6
Temperatura łamliwości wg Fraassa, °C	-19	-18	-14	-19	-20	-16

7.4.3 Materiały mineralne

Wyniki analiz sitowych przeprowadzonych w laboratorium IBDiM zestawiono w receptach przestawionych w załącznikach.

7.5 Wyniki badań MMA

W ramach pracy przewidziano opracowanie składu mieszanek mineralno-asfaltowych typu ACWMS 16 z trzema rodzajami asfaltu tj. 10/40-65, 25/55-60 i 20/30 oraz mieszanki SMA 8 z asfaltem modyfikowanym 45/80-65.

W rezultacie opracowano składy na następujące mieszanki mineralno-asfaltowe:

ACWMS 16 10/40-65 – beton asfaltowy o wysokim module sztywności z kruszywem o wymiarze do 16 mm z asfaltem modyfikowanym 10/40-65,
ACWMS16 25/55-60 – beton asfaltowy o wysokim module sztywności z kruszywem o wymiarze do 16 mm z asfaltem modyfikowanym 25/55-60,
ACWMS16 20/30 – beton asfaltowy o wysokim module sztywności z kruszywem o wymiarze do 16 mm z asfaltem modyfikowanym 20/30,
SMA 8 45/80-65 – mastyks grysowy SMA z kruszywem o wymiarze do 8 mm z asfaltem modyfikowanym 45/80-65.

Projekty mieszanek mineralno-asfaltowych wykonano wg WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2010. Szczegółowe składy mieszanek mineralno-asfaltowych oraz ich podstawowe parametry, przedstawiono w:

- Załącznik nr 1 (Projekt mieszanki **ACWMS16 20/30** wg rec. TN/MEPDG/11-1**)**
- Załącznik nr 2 (Projekt mieszanki **ACWMS 16 10/40-65** wg rec. TN/MEPDG/11-2T)
- Załącznik nr 3 (Projekt mieszanki **ACWMS16 25/55-60** wg rec. TN/MEPDG/11-2)
- Załącznik nr 4 (Projekt mieszanki **SMA 8 45/80-65** wg rec. TN/MEPDG/11-3)
- Załącznik nr 5 (Projekt mieszanki **AC 16 W 35/50** wg rec. TN/MEPDG/11-4)
- Załącznik nr 6 (Projekt mieszanki **AC 22 P 35/50** wg rec. TN/MEPDG/11-5)

7.5.1 Mieszanka ACWMS16

7.5.1.1 Projekt i podstawowe właściwości

Skład mieszanki ACWMS16 został opracowany w laboratorium IBDiM, z wykorzystaniem materiałów własnych tj.: kruszyw, asfaltów oraz dodatków. Projektowana mieszanka ACWMS16 stanowi beton asfaltowy o wysokim module sztywności przeznaczony do warstwy wiążącej i podbudowy dla ruchu

od KR3 do KR6, z asfaltami 10/40-65, 25/55-60 oraz 20/30 (wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2010 [**Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.**]).

Szczegóły projektu zawierają recepty nr TN/MEPDG/11-1, TN/MEPDG/11-2, TN/MEPDG/11-2T.

Tablica 49. Zbadane właściwości mieszanek ACWMS 16

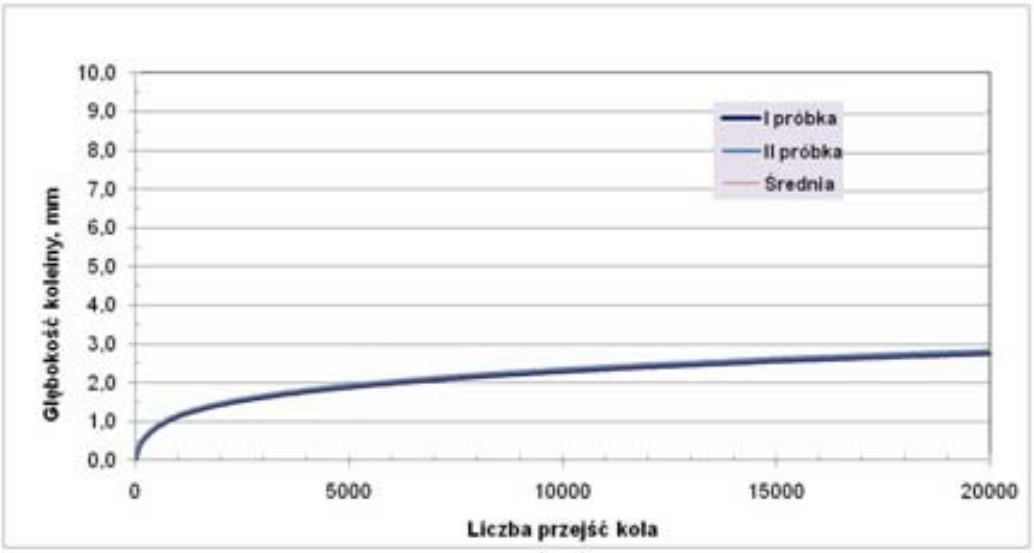
Lp	Właściwości	Wyniki ACWMS16			Wymagania wg WT-2 2010
	Rodzaj asfaltu	20/30	10/40-65	25/55-60	
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej, g/cm^3	2,877	2,999	2,999	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm^3	2,656	2,742	2,740	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm^3	2,569	2,663	2,661	-
4	Zawartość wolnych przestrzeni, %v/v	3,3	2,9	2,9	$V_{min}2{,}0$ $V_{max}4{,}0$
5	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	77,8	81,5	81,4	
6	Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli)	0,10	0,08	0,09	*WTS_{AIR} 0,15*
		0,29	6,87	8,08	*PRD_{AIR} Deklarowane*
7	Odporność na działanie wody, przechowywanie w 40˚C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 25˚C	85,9	95,6	93,6	$ITSR_{80}$
8	Odporność na zmęczenie po 10^6 cyklach, w temperaturze 10°C i częstotliwości 10 Hz, odkształcenie ε_6 µmm/mm, nie mniej niż, Średnia szkoda zmęczeniowa, %	144			$\varepsilon_{6\text{-}130}$
9	Sztywność, MPa	17802			$S_{min14000}$

7.5.1.2 Odporność na koleinowanie

W tablicach 50-52 oraz na rysunkach 32-34 przedstawiono wyniki badań koleinowania w małym aparacie oznaczone na próbkach przygotowanych w laboratorium IBDiM.

Tablica 50. Wyniki badania koleinowania (ACWMS 16 20/30)

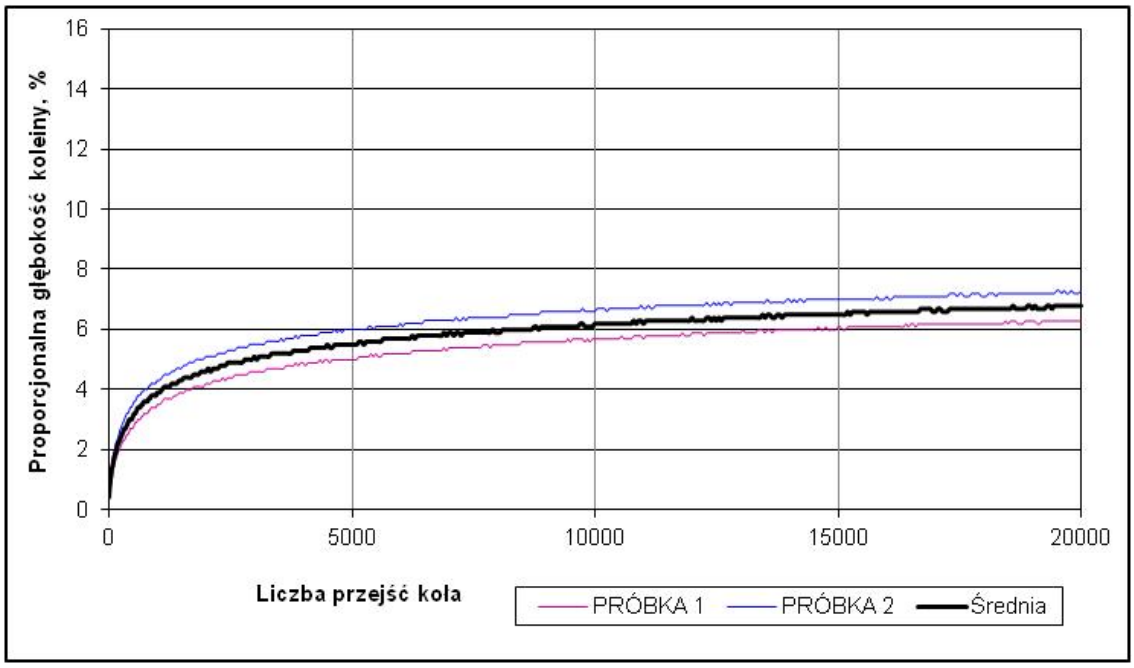
Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli, % (mm/mm) **(wys. próbek 99mm)**			
Cykle (przejścia) / **Właściwości**	**2500 (5000)**	**5000 (10000)**	**10000 (20000)**
Głębokość koleiny, mm	**1,94**	**2,35**	**2,83**
PRD, %	**2,0**	**2,4**	**2,9**
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			**0,1**



Rysunek 32 Przebieg i wyniki badania koleinowania w małym aparacie mieszanka ACWMS16 20/30

Tablica 51. Wyniki badania koleinowania (ACWMS 16 10/40-65)

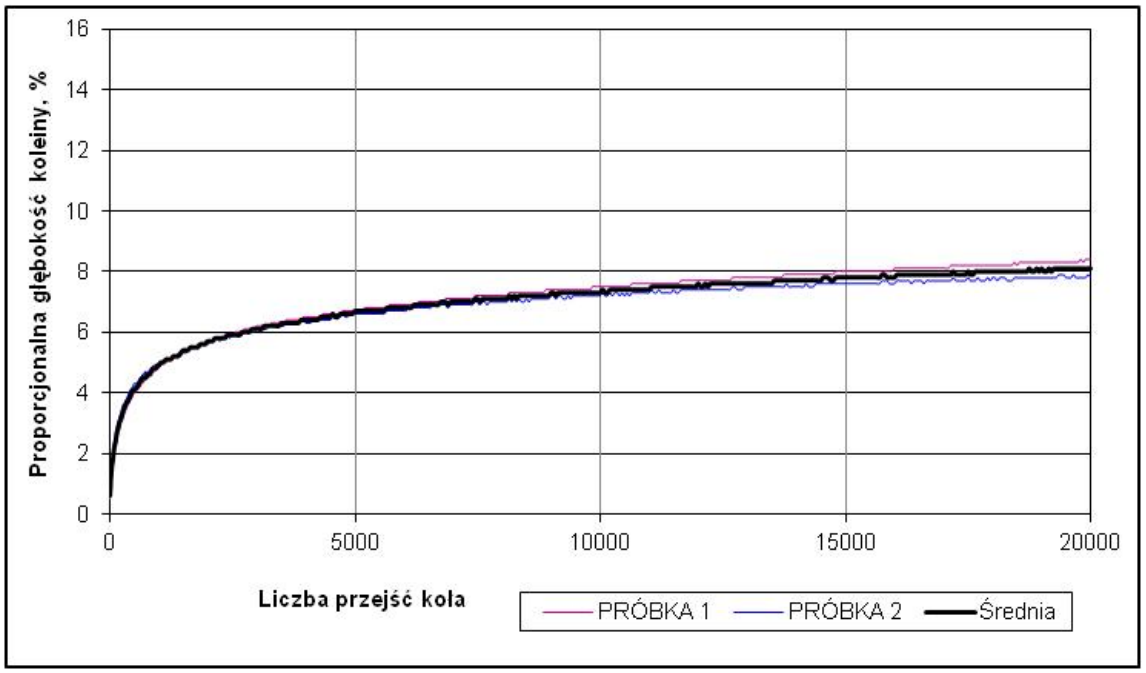
Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli, % (mm/mm) **(wys. próbek 60,3 mm; 60,5mm)**			
Cykle (przejścia) / **Właściwości**	**2500 (5000)**	**5000 (10000)**	**10000 (20000)**
Głębokość koleiny, mm	**3,37**	**3,75**	**4,15**
PRD, %	**5,58**	**6,21**	**6,87**
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			**0,080**



Rysunek 33 Przebieg i wyniki badania koleinowania w małym aparacie mieszanka ACWMS16 10/40-65

Tablica 52. Wyniki badania koleinowania (ACWMS 16 25/55-60)

Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli, % (mm/mm) **ACWMS16 (wys. próbek 60 mm, 60 mm)**			
Cykle (przejścia) / **Właściwości**	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm	**3,99**	**4,41**	**4,85**
PRD, %	**6,65**	**7,35**	**8,08**
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			**0,088**



Rysunek 34. Przebieg i wyniki badania koleinowania w małym aparacie mieszanka ACWMS16 25/55-60

7.5.1.3 Odporność na zmęczenie

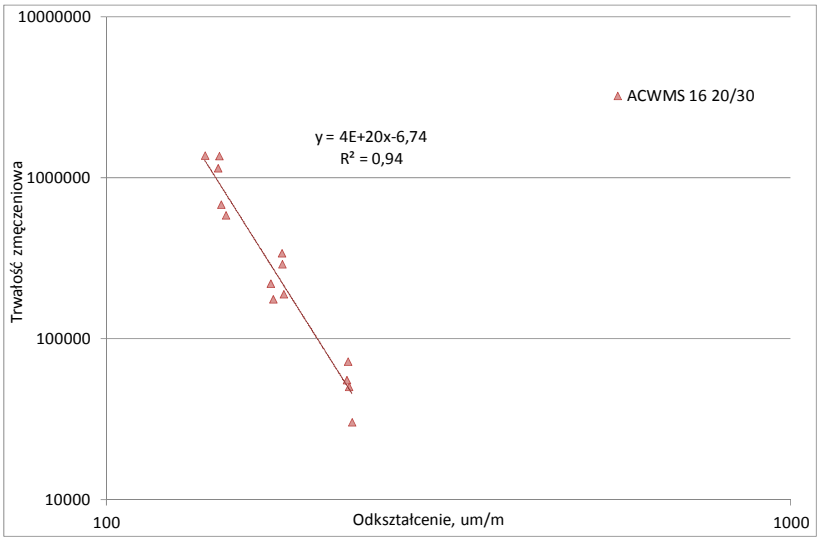
W tablicach 53-54 przedstawiono wyniki badania zmęczenia oraz parametry obliczeniowe wraz z przedziałem ufności p=95% parametru ε_6 mieszanki AC WMS 16 20/30 na próbkach wykonanych w laboratorium. Charakterystykę zmęczeniową pokazano na rysunku 35.

Tablica 53. Wyniki badań zmęczenia mieszanki ACWMS 16 20/30

próbka	ε, µm/m	N
B1	175	176 801
B2	139	1 383 815
B4	174	221 202
B5	225	72 501
B6	146	1 373 032
B7	149	588 014
B8	228	30 401
B9	180	292 107
B10	224	55 601
B12	180	341 807
B14	147	685 516
B15	145	1 153 826
B16	226	50 501
B17	181	104

Tablica 54. Wyniki badań zmęczenia mieszanki AC WMS16 20/30

	ε_6	**144**	**µm/m**
p=95%	ε_6(max)	152	µm/m
	ε_6(min)	137	µm/m
	R^2	0,94	



Rysunek 35 Charakterystyka zmęczeniowa mieszanki AC WMS 20/30

7.5.1.4 Sztywność

W tablicy 55 przestawiono wyniki badania modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego metodą belki czteropunktowo zginanej mieszanki AC WMS 16 20/30.

Tablica 55. Wyniki badania sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki AC WMS 16 20/30

Próbka	[MPa]	[^{o}]
1	18044	10,4
2	19322	9,7
3	20031	10,1
4	18048	9,7
5	17101	10,1
6	17059	9,4
7	14683	12,5
8	17135	9,7
9	18671	9,6
10	17071	10,0
11	18073	9,2
12	18080	9,8
13	18398	8,5
14	17508	9,5
ŚREDNIA	**17802**	**9,9**
ODCH.ST.	**1256**	**0,9**

7.5.1.5 Wodoodporność

Wyniki wskaźnika odporności na działanie wody ITSR przedstawiono w tablicy 56. Odporność na działanie wody określono na próbkach przechowywanych w 40˚C z jednym cyklem zamrażania, badanie wykonano w temperaturze 25˚C. Do badań przeznaczono 8 próbek, które podzielono na dwie grupy: **grupa A** – próbki pielęgnowane, **grupa B** – próbki suche.

Tablica 56. Wyniki odporności na działanie wody (mieszanki ACWMS16 10/40-65, ACWMS16 25/55-60)

Stan próbek	Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, kPa		ITSR, %
	ITS_S	ITS_N	
ACWMS 16 20/30			
Próbki suche	**3745,5**	**-**	85,9
Próbki pielęgnowane	**-**	**3216,8**	
ACWMS 16 10/40-65			
Próbki suche	**1625,6**	-	95,6
Próbki pielęgnowane	-	**1553,6**	
ACWMS 16 25/55-60			
Próbki suche	**1778,4**	-	93,6
Próbki pielęgnowane	-	**1663,9**	

7.5.2 Mieszanka SMA8

7.5.2.1 Projekt i podstawowe właściwości – SMA8

Skład mieszanki SMA8 został opracowany w laboratorium IBDiM, z wykorzystaniem materiałów własnych tj.: kruszyw, asfaltów oraz dodatków. Projektowana mieszanka SMA8 przeznaczona do warstwy ścieralnej dla ruchu od KR3 do KR6, z asfaltem PMB 45/80-65 (wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2010).

Szczegóły projektu zawiera recepta nr TN/MEPDG/11- 3.

Tablica 57. Skład mieszanki mineralnej (MM) i mineralno-asfaltowej (MMA)

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna, % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa, % m/m
1	Mączka wapienna	11,0	10,3
2	Piasek łamany 0/2 [mm]	11,0	10,3
3	Gabro 2/5 [mm]	10,0	9,3
4	Gabro 5/8 [mm]	68,0	63,5
5	Asfalt PMB 45/80-65	–	6,6
6	WETFIX BE	–	–
7	VIATOP	–	–
	Razem	100,0	100,0

W mieszance zastosowano środek adhezyjny WETFIX BE (0,3 %*m/m* w stosunku do asfaltu) oraz włókna celulozowe (0,5 %*m/m* w stosunku do mma).

Tablica 58. Zbadane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej SMA 8 o składzie optymalnym z zawartością asfaltu Am=6,6 % m/m

Lp	Właściwości	Wyniki SMA8	Wymagania wg WT-2 2010 wobec SMA8 (KR3-6)
1	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm^3	2,930	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm^3	2,603	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm^3	2,520	-
4	Zawartość wolnych przestrzeni, %v/v	3,2	V_{min}2,0 V_{max}3,5
5	Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli)	0,02	*WTS_{AIR} 0,3*
		5,8	*PRD_{AIR} Deklarowane*
6	Odporność na działanie wody, przechowywanie w 40˚C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 25˚C	94,7	$ITSR_{90}$
7	Spływność lepiszcza	0,1	$D_{0,3}$

7.5.3 Mieszanka AC 16 W 35/50

7.5.3.1 Projekt i podstawowe właściwości – AC 16 W 35/50

Skład mieszanki AC 16 W 35/50 został opracowany w laboratorium IBDiM, z wykorzystaniem materiałów własnych tj.: kruszyw, asfaltów oraz dodatków. Projektowana mieszanka AC 16 W stanowi beton asfaltowy przeznaczony do warstwy wiążącej dla ruchu od KR3 do KR4, z asfaltem 35/50 (wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2010). Szczegóły projektu zawiera recepta nr TN/MEPDG/11-4.

Tablica 59. Skład mieszanki mineralnej (mm) i mineralno-asfaltowej (mma)

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa % m/m
1	Grys 8/16 [mm]	42,50	40,63
2	Grys 2/8 [mm]	25,00	23,90
3	Krusz dr. gran 0/4 [mm]	30,00	28,68
4	Mączka wapienna	2,5	2,39
5	Asfalt 35/50 Orlen	-	4,40
	Razem	100,00	100,00

Dodatki: 6 Środek adhezyjny Wetfix BE 0,2 % m/m asfaltu

Tablica 60. Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej oraz wymagania

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymaganie WT-2 2010
1	Gęstość mieszanki mineralnej wg PN-EN 1097-6, kg/m^3	2708	–
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej w rozpuszczalniku wg PN-EN 12697-5, kg/m^3	2530	–
3	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej w wodzie wg PN-EN 12697-5, kg/m^3	2525	–
4	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej* wg PN-EN 12697-6, met. B, kg/m^3	2422	–
5	Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla* wg PN-EN 12697-8, na podstawie gęstości w rozpuszczalniku, % v/v	4,3	$V_{min4,0}$ $V_{max7,0}$
6	Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla* wg PN-EN 12697-8, na podstawie gęstości w wodzie, % v/v	4,1	$V_{min4,0}$ $V_{max7,0}$
7	Zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej wg PN-EN 12697-8, % v/v	14,6	VMA_{minNR}
8	Zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej wypełnionej lepiszczem wg PN-EN 12697-8, % v/v	71,8	VFB_{minNR} VFB_{maxNR}
9	Odporność na zmęczenie wg PN-EN 12697-24, 4PB-PR, ε_6 mm/mm	–	$\varepsilon_{6\text{-}NR}$
	Szkoda zmęczeniowa po 1 000 000 cykli, %	–	NR
10	Sztywność wg PN-EN 12697-26, 4PB-PR, MPa	–	S_{minNR} S_{maxNR}
11	Odporność na deformacje trwałe w 60 °C wg PN-EN 12697-22 mały aparat, procedura B w powietrzu: Proporcjonalna głębokość koleiny, % Nachylenie wykresu koleinowania, mm/10^3 cykli	 3,1 0,08	 PRD_{AIRNR} $WTS_{AIR0,3}$
12	Odporność na działanie wody i mrozu wg PN-EN 12697-12:2008**, %	80,6	$ITSR_{80}$

* próbki zagęszczane 2 × 75 ud. ubijaka Marshalla, temp. zagęszczania 150±5 °C

** próbki zagęszczane 2 × 35 ud. ubijaka Marshalla; temp. zagęszczania 150±5 °C, temp. badania 25 °C, 1 cykl zamrażania

7.5.3.2 Właściwości mieszanki AC 16 W

W tablicy 61 przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych i objętościowych mieszanki AC 16 W oznaczonych na próbkach walcowych średnicy 100 mm, zagęszczonych w ubijaku Marshalla 2x75 uderzeń, przy temperaturze zagęszczania 155 °C przygotowanych w laboratorium IBDiM.

Tablica 61. Wyniki badań właściwości fizycznych

Symbol próbki	Gęstość kg/m^3	Gęstość objętościowa kg/m^3	Zawartość wolnej przestrzeni % (v/v)
101217WK1.R24,4.1A	–	2416	4,3
101217WK1.R24,4.1B		2424	4,0
101217WK1.R24,4.1C		2422	4,1
101217WK1.R24,4.1D		2425	4,0
101217WK1.R24,4.2A (woda)	2525	–	–
Średnia	2525	1937	4,1
Niepewność pomiaru	±4	±13	±0,5
101217WK1.R14,4.2B (czterochloroetylen)	2530	–	–

7.5.3.3 Odporność na koleinowanie

W tablicy 62 przedstawiono wyniki badań koleinowania mieszanki AC 16 W w małym aparacie metodą B w powietrzu, w temperaturze 60 °C, 10 000 cykli, oznaczone na próbkach płytach o grubości 10 cm przygotowanych w laboratorium IBDiM.

Tablica 62. Wyniki badania koleinowania

Symbol próbki	Gęstość objętościowa kg/m^3	Głębokość koleiny RD_{AIR}, mm	Proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR}, %	Przyrost koleiny WTS_{AIR} mm/(10^3 cykli)
101217WK1.R24,4.5A	2418	2,7	2,7	0,07
101217WK1.R24,4.5B	2427	3,4	3,4	0,08
Średnia	2423	3,1	3,1	0,08
Niepewność pomiaru	±13	±0,02	±0,2	±0,04

7.5.3.4 Wodoodporność

Wyniki wskaźnika odporności na działanie wody ITSR przedstawiono w tablicy 63. Odporność na działanie wody określono na próbkach przechowywanych w 40˚C z jednym cyklem zamrażania, badanie wykonano w temperaturze 25˚C.

Do badań przeznaczono 8 próbek przygotowanych poprzez ubijanie 2x35 uderzeń, które podzielono na dwie grupy: **grupa A** – próbki pielęgnowane, **grupa B** – próbki suche.

Tablica 63 Wyniki badania odporności na działanie wody mieszanki AC 16 W

Numer próbki	ITSw kPa	ITSd kPa	ITSR %	Niepewność pomiaru
101217WK1.R24,4.5J	1241,709	–		
101217WK1.R24,4.5K	1007,376	–		
101217WK1.R24,4.5L	1131,642	–		
101217WK1.R24,4.5M	–	1472,754		
101217WK1.R24,4.5N	–	1354,563		
101217WK1.R24,4.5O	–	1379,480		
Średnia	1126,9	1402,3	80,4	±14,4

7.5.4 Mieszanka AC 22 P 35/50

7.5.4.1 Projekt i podstawowe właściwości – AC 22 P 35/50

Skład mieszanki AC 22 P 35/50 został opracowany w laboratorium IBDiM, z wykorzystaniem materiałów własnych tj.: kruszyw, asfaltów oraz dodatków. Projektowana mieszanka AC 22 P stanowi beton asfaltowy przeznaczony do warstwy podbudowy dla ruchu od KR3 do KR4, z asfaltem 35/50 (wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2010). Szczegóły projektu zawiera recepta nr TN/MEPDG/11-5.

Tablica 64. Skład mieszanki mineralnej (mm) i mineralno-asfaltowej (mma)

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa % m/m
1	Grys 16/22 [mm]	21,50	20,64
2	Grys 8/16 [mm]	23,00	22,08
3	Grys 2/8 [mm]	19,00	18,24
4	Krusz dr. gran 0/4 [mm]	34,00	32,64
5	Mączka wapienna	2,5	2,40
6	Asfalt 35/50 Orlen	-	4,00
	Razem	100,00	100,00

Dodatki: 7 Środek adhezyjny Wetfix BE 0,3 % m/m asfaltu

Tablica 65. Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej oraz wymagania

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymaganie WT-2 2010
1	Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego, PN-EN 12697-1 + zawartość lepiszcza nierozpuszczalnego, % m/m	3,9+0,1	–
2	Gęstość mieszanki mineralnej wg PN-EN 1097-6, kg/m^3	2707	–
3	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej w rozpuszczalniku wg PN-EN 12697-5, kg/m^3	2543	–
4	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej w wodzie wg PN-EN 12697-5, kg/m^3	2538	–
5	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej* wg PN-EN 12697-6, met. B, kg/m^3	2406	–
6	Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla* wg PN-EN 12697-8, na podstawie gęstości w rozpuszczalniku, % v/v	5,4	$V_{min4,0}$ $V_{max7,0}$
7	Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla* wg PN-EN 12697-8, na podstawie gęstości w wodzie, % v/v	5,2	$V_{min4,0}$ $V_{max7,0}$
8	Zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej wg PN-EN 12697-8, % v/v	14,7	VMA_{minNR}
9	Zawartość wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej wypełnionej lepiszczem wg PN-EN 12697-8, % v/v	64,4	VFB_{minNR} VFB_{maxNR}
10	Odporność na zmęczenie wg PN-EN 12697-24, 4PB-PR, μmm/mm	–	$\varepsilon_{6\text{-}NR}$
	Szkoda zmęczeniowa po 1 000 000 cykli, %	–	NR
11	Sztywność wg PN-EN 12697-26, 4PB-PR, MPa	–	S_{minNR} S_{maxNR}
12	Odporność na deformacje trwałe w 60 °C wg PN-EN 12697-22 mały aparat, procedura B w powietrzu: Proporcjonalna głębokość koleiny, % Nachylenie wykresu koleinowania, mm/10^3 cykli	 2,7 0,08	 $PRD_{AIRDeklarowane}$ $WTS_{AIR0,3}$
13	Odporność na działanie wody i mrozu wg PN-EN 12697-12:2008**, %	84,1	$ITSR_{70}$

* próbki zagęszczane 2 × 75 ud. ubijaka Marshalla, temp. zagęszczania 140±5 °C

** próbki zagęszczane 2 × 35 ud. ubijaka Marshalla; temp. zagęszczania 140±5 °C, temp. badania 25 °C,
1 cykl zamrażania zgodny z WT-2 2010

7.5.4.2 Właściwości mieszanki AC 22 P

W tablicy 66 przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych i objętościowych mieszanki AC 22 P oznaczonych na próbkach walcowych średnicy 100 mm, zagęszczonych w ubijaku Marshalla 2x75 uderzeń, przy temperaturze zagęszczania 140 °C przygotowanych w laboratorium IBDiM.

Tablica 66. Wyniki badań właściwości fizycznych:

Symbol próbki	Gęstość kg/m^3	Gęstość objętościowa kg/m^3	Zawartość wolnej przestrzeni % (v/v)	Wypełnienie wolnych przestrzeni, % (v/v)	Zawartość wolnych przestrzeni w mm, % (v/v)
110124MK1R7.4,0.1 A	–	2407	5,2	64,9	14,6
110124MK1R7.4,0.1 B		2404	5,3	64,0	14,7
110124MK1R7.4,0.1 C		2415	4,8	65,9	14,4
110124MK1R7.4,0.1 D		2396	5,6	62,7	15,0
110124MK1R7.4,0.2 A (woda)	2538	–	–	–	–
Średnia	2538	2406	5,2	64,4	14,7
Niepewność pomiaru	±4	±13	±0,5	–	–
				±1,0	±0,7
110124MK1R7.4,0.2 B (czterochloroetylen)	2543	–	–	–	–

7.5.4.3 Odporność na koleinowanie

W tablicy 67 przedstawiono wyniki badań koleinowania mieszanki AC 22 P w małym aparacie metodą B w powietrzu, w temperaturze 60 °C, 10 000 cykli, oznaczone na próbkach płytach o grubości 6 cm przygotowanych w laboratorium IBDiM.

Tablica 67. Wyniki badania koleinowania

Symbol próbki	**Gęstość objętościowa kg/m^3**	**Głębokość koleiny RD_{AIR}, mm**	**Proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR}, %**	**Przyrost koleiny WTS_{AIR} mm/(10^3 cykli)**
110124MK1R7.4,0.3A	2382	1,8	3,0	0,10
110124MK1R7.4,0.3B	2374	1,4	2,3	0,06
Średnia	**2378**	**1,6**	**2,7**	**0,08**
Niepewność pomiaru	**±13**	**±0,02**	**±0,2**	**±0,04**

7.5.4.4 Wodoodporność

Wyniki wskaźnika odporności na działanie wody ITSR przedstawiono w tablicy 68. Odporność na działanie wody określono na próbkach przechowywanych w 40˚C z jednym cyklem zamrażania, badanie wykonano w temperaturze 25˚C.

Do badań przeznaczono 6 próbek przygotowanych poprzez ubijanie 2x35 uderzeń, które podzielono na dwie grupy (próbki pielęgnowane i próbki suche).

Tablica 68 Wyniki badania odporności na działanie wody mieszanki AC 22 P

Numer próbki	ITSw kPa	ITSd kPa	ITSR %	Niepewność pomiaru
100124WK1.R7.4,0.4B	647,791	–		
100124WK1.R7.4,0.4C	696,537	–		
100124WK1.R7.4,0.4D	–	758,843		
100124WK1.R7.4,0.4E	727,798	–	**84,1**	**±14,4**
100124WK1.R7.4,0.4F	–	781,496		
100124WK1.R7.4,0.4H	–	922,511		
Średnia	**690,7**	**821,0**		

8 Zadanie 9: Przystosowanie metod oceny właściwości mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym

8.1 Analiza metod badawczych zawartych w normach ASTM i AASHTO

Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym HBM (ang. *hydraulically bound mixtures)* objęte w tym rozdziale to mieszanki kruszyw lub grunty z dodatkiem spoiw, które twardnieją pod wpływem reakcji chemicznych. Stosowane mogą być różne spoiwa, np. cement, wapno, aktywne popioły lotne, hydrauliczne spoiwa drogowe. Niniejszy rozdział obejmuje mieszanki o niskich wytrzymałościach na ściskanie (stabilizowane grunty *R*c=5MPa[1]) i mieszanki o większych wytrzymałościach (kruszywa związane hydraulicznie *R*c>5.0 MPa), np. chude betony i betony wyższych marek. Mieszanki związane hydraulicznie są wytwarzane i stosowane w Polsce na podstawie wymagań następujących norm:

- PN-S-96011:1998 Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych,
- PN-S-96012:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem,
- PN-S-96013:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa z chudego betonu. Wymagania i badania,
- PN-S-06103:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego,
- PN-EN 14227-1:2007 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 1: Mieszanki związane cementem
- PN-EN 14227-2:2007 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Specyfikacje. Część 2: Mieszanki żużlowe
- PN-EN 14227-3:2007 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 3: Mieszanki związane popiołami lotnymi
- PN-EN 14227-4:2005 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 4: Popioły lotne do mieszanek (oryg.)
- PN-EN 14227-5:2007 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania. Część 5: Mieszanki związane spoiwem drogowym.
- PN-EN 14227-10:2006 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Specyfikacja -Część 10: Grunty stabilizowane cementem. (oryg.)
- PN-EN 14227-11:2006 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Specyfikacja - Część 11: Grunty stabilizowane wapnem. (oryg.)
- PN-EN 14227-12:2006 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Specyfikacja - Część 12: Grunty stabilizowane żużlem. (oryg.)
- PN-EN 14227-13:2006 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Specyfikacja - Część 13: Grunty stabilizowane hydraulicznym spoiwem drogowym. (oryg.)
- PN-EN 14227-14:2006 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym -Specyfikacja - Część 14: Grunty stabilizowane popiołami lotnymi.

[1] *R*c – wytrzymałość na ściskanie

Do norm PN-EN 14227:1÷5 zostały opracowane Wymagania Techniczne WT-5[2], które są uszczegółowieniem i dopasowaniem tych norm do warunków Polskich. Normy PN-EN 14227 powinno się stosować razem z tymi Wytycznymi.

Program MEPDG opiera się w całości na normach amerykańskich. W niniejszym rozdziale dokonano zestawienia norm ASTM i AASHTO dotyczących właściwości mieszanek związanych hydraulicznie i dobrano normy polskie PN lub PN-EN odpowiadające lub najbardziej zbliżone do norm amerykańskich. Niedogodnością będzie stosowanie różnych jednostek wg miar amerykańskich i metrycznych. Wymagało to będzie przeliczenia przez współczynniki lub kalkulatory jednostek, które są ogólnie dostępne w Internecie, więc nie będzie to większy problem.

Poniżej w tablicach 69-70 przedstawiono zestawienie wymaganych cech wg ASTM I AASHTO z doborem metod badań wg norm PN lub PN-EN.

[2] Wymagania Techniczne WT-5 „Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg publicznych”, GDDKiA 2010

Tablica 69

Normy AASHTO i ASTM	**Normy PN i PN-EN odpowiadające lub najbardziej zbliżone metodyką badania do AASHTO i ASTM**	**Uwagi i komentarze dot. metodyki badań w stosunku do AASHTO i ASTM**	**Zalecana metoda**
Materiały i grunty związane hydraulicznie			
AASHTO T 220 Determination of the Strength of Soil-Lime Mixtures	PN-EN 13286-41:2005 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 41: Metoda oznaczania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym	Metoda zgodna z AASHTO T 220	PN-EN 13286-41
ASTM C 593 Fly Ash and Other Pozzolans for Use with Lime for Soil Stabilization	PN-EN 14227-4:2005 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Specyfikacja - Część 4: Popioły lotne do mieszanek (oryg.)	ASTM C 593 zawiera inną klasyfikację niż stosowana jest w Polsce. Generalnie popioły są podzielona na dwie grupy C i F odpowiednio w Polsce popioły wapienne i krzemionkowe. Występujące różnice w badaniach popiołów i ich klasyfikacji raczej nieistotne, gdyż w nawierzchniach stosowane są mieszanki gruntów z popiołami i uwzględnia się w analizach właściwości stwardniałej mieszanki gruntu z popiołem, którą bada się wg norm badań. Normy badań zostały przeanalizowane i dostosowane.	PN-EN 14227-4
ASTM D 1633 Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders	PN-EN 13286-41:2005 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 41: Metoda oznaczania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym	Metoda zgodna z AASHTO T 220	PN-EN 13286-41

Tablica 70

Portland Cement Concrete and Cement Treated/Stabilized Base Mixtures			
AASHTO T 22 Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens	PN-EN 13286-41:2005 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 41: Metoda oznaczania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym	Metoda PN-EN 13286-41 może być stosowana dla mieszanek związanych hydraulicznie o wytrzymałościach do 36 MPa. Występują nieznaczne różnice w prędkościach obciążenia, raczej nieistotne.	PN-EN 13286-41
	PN-EN 12390-3:2009 Badania betonu - Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania	Metoda AASHTO T 22 zbliżona PN-EN 12390-3:2009 może być stosowana do badania betonów cementowych	PN-EN 12390-3
AASHTO T 97 Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)	PN-EN 12390-5:2009 Badania betonu - Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badania	Metoda PN-EN 12390-5 może być stosowana dla kruszyw związanych hydraulicznie i betonów cementowych	PN-EN 12390-5 (stosować dla betonów i kruszyw o ziarnach pow. 2mm,
	PN EN 196-1 Metody badania cementu Oznaczanie wytrzymałości	PN EN 196-1 może być stosowana dla mieszanek drobnych (uziarnienie do 2mm), np. mieszanki popiołowe, lub mieszanki na gruntach drobnoziarnistych	PN EN 196-1 stosować dla mieszanek związanych o drobnym uziarnieniu
AASHTO T 121 M/T 121 Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete	PN-EN 12390-7:2009 Badania betonu - Część 7: Gęstość betonu	Metoda AASHTO T 121 zbliżona do PN-EN 12390-7	PN-EN 12390-7
AASHTO T 152 Air Content of Freshly Mixed Concrete	PN-EN 12350-7:2009 Badania mieszanki betonowej - Część 7: Badanie	Metoda AASHTO T 152 zbliżona do PN-EN 12350-7	PN-EN 12350-7

Portland Cement Concrete and Cement Treated/Stabilized Base Mixtures			
by the Pressure Method	zawartości powietrza - Metody ciśnieniowe		
AASHTO T 196 M/T 196 Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method	Brak metody PN	Należy przyjąć dane szacunkowe z poziomu 2 i 3.	dane szacunkowe z poziomu 2 i 3 MEPDG
AASHTO T 198 Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens	PN-EN 12390-6:2010 Badania betonu - Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badania	Metoda PN-EN 12390-6 zbliżona do AASHTO T 198	PN-EN 12390-6
AASHTO TP 60 Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete	Brak normy PN	Należy przyjąć dane szacunkowe z poziomu 2 i 3.	dane szacunkowe z poziomu 2 i 3 MEPDG
ASTM C 469 Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression	PN-EN 13286-43 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 43: Metoda oznaczania modułu sprężystości mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym	Metoda PN-EN 13286-43 określa moduł sprężystości przy 30% sily maksymalnej. Norma ASTM C 469 zaleca stosować siłę o wartości 40% F_{max}. Można uznać te metody za równoważne gdyż wyniki powinny być porównywalne – badanie przebiega w fazie sprężystej. Badanie może być stosowane dla mieszanek związanych hydraulicznie i betonów cementowych	PN-EN 13286-43
ASTM D1635 Standard Test Method for Flexural Strength of Soil-Cement Using Simple Beam with Third-Point Loading	PN EN 196-1 Metody badania cementu Oznaczanie wytrzymałości	PN EN 196-1 może być stosowana dla mieszanek drobnych (uziarnienie do 2mm), np. mieszanki popiołowe, lub mieszanki na gruntach drobnoziarnistych	PN EN 196-1
ASTM D5102 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of	PN-EN 13286-41 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 41: Metoda oznaczania	PN-EN 13286-41	PN-EN 13286-41

Portland Cement Concrete and Cement Treated/Stabilized Base Mixtures			
Compacted Soil-Lime Mixtures	wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym		

8.2 Wykaz parametrów dla mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym wg MEPDG dla poszczególnych poziomów z dostosowaniem norm PN i PN-EN

W MEPDG obowiązuje hierarchiczny poziom danych wejściowych, 1, 2 lub 3. Dla każdego poziomu danych przyjęto metodę badania PN lub PN-EN zgodną lub najbardziej zbliżoną do metod stosowanych w MEPDG.

Poniżej w tabelach wg podręcznika MEPDG przedstawiono w ostatniej kolumnie metodę badania wg norm stosowanych w Polsce PN lub PN-EN dla każdego poziomu.

Tablica 11-6 Wejściowe wymagania i metody badań materiałów stabilizowanych chemicznie dla nowych i istniejących materiałów stabilizowanych chemicznie – Poziom 1

Rodzaj projektu	Rodzaj materiału	Mierzone własności	Źródło danych		Zalecana metoda badawcza i/lub źródło danych	Zalecana metoda badawcza i/lub źródło danych wg PN lub PN-EN
			Badanie	Oszacowanie		
Nowy	Beton chudy i kruszywo stabilizowane cementem	Moduł sprężystości	X		ASTM C469	PN-EN 13286-43
		Wytrzymałość na zginanie (wymagane tylko w przypadku stosowania konstrukcji nawierzchni HMA)	X		AASHTO T97	PN-EN 12390-5 (stosować dla betonów i kruszyw o ziarnach pow. 2mm,
	Mieszanka popiół lotny- cement-wapno	Moduł sprężystości		X	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	PN-EN 13286-43
		Wytrzymałość na zginanie	X		AASHTO T97	PN EN 196-1
	Grunt stabilizowany	Moduł sprężystości		X	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	PN-EN 13286-43
		Wytrzymałość na zginanie	X		ASTM D 1635	PN-EN 12390-5 (stosować dla betonów i kruszyw o ziarnach pow. 2mm, PN EN 196-1 stosować dla mieszanek związanych o drobnym uziarnieniu
	Grunt stabilizowany wapnem	Moduł elastyczny	X		AASHTO T 307	PN-EN 13286-7 (kruszywa) PKN-CEN ISO/TS 17892-9
		Wytrzymałość na zginanie		X	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3

Rodzaj projektu	Rodzaj materiału	Mierzone własności	Źródło danych		Zalecana metoda badawcza i/lub źródło danych	Zalecana metoda badawcza i/lub źródło danych wg PN lub PN-EN
			Badanie	Oszacowanie		
	Wszystkie	Ciężar jednostkowy		X	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Współczynnik Poissona		X	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Przewodność cieplna	X		ASTM E 1952	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Pojemność cieplna	X		ASTM D 2766	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Absorpcja powierzchni		X	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
Istniejący	Wszystkie	Oblicz moduły z czasz ugięcia w FWD	X		AASHTO T 256 & ASTM D 5858	
		Wytrzymałość na zginanie (wymagane tylko w przypadku stosowania w konstrukcji nawierzchni HMA)		X	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Ciężar jednostkowy		X	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Współczynnik Poissona		X	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	Badanie nie wymagane. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Przewodność cieplna	X		ASTM E 1952	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Pojemność cieplna	X		ASTM D 2766	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3
		Absorpcja powierzchni		X	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3	Brak badań. Oszacować za pomocą poziomów 2 i 3

Tablica 11-7 Zalecane dla poziomów 2 i 3 wejściowe parametry i ich wartości dla materiałów stabilizowanych chemicznie

<table>
<tr><th>Wymagany parametr wejściowy</th><th>Wymagany poziom wejściowy</th></tr>
<tr><td>Moduł sprężystości/ sztywności sprężystej</td><td>przyjąć wytrzymałość na ściskanie bez skrępowania bocznego (f'_c lub q_u) w psi wyznaczone na próbkach laboratoryjnych lub wyciętych, po przeliczeniu na moduł sprężystości/sztywności sprężystej przy wykorzystaniu poniższych współczynników:
<table>
<tr><th>Materiał</th><th>Zależności do obliczania modułu</th><th>Metoda badania</th><th>Zalecana metoda badawcza wg PN lub PN-EN</th></tr>
<tr><td>Beton chudy i kruszywo stabilizowane cementem</td><td>E = 57000 (fc)^{05}</td><td>AASHTO T22</td><td>PN-EN 13286-41</td></tr>
<tr><td>Porowata stabilizacja cementem kruszywa</td><td>Przyjąć poziom wyjściowy 3</td><td>Brak</td><td>Brak</td></tr>
<tr><td>Mieszanka popiół lotny cement-wapno</td><td>E = 500 + q_u</td><td>ASTM C 593</td><td>PN-EN 14227-4</td></tr>
<tr><td>Grunt stabilizowany cementem</td><td>E = 1200 (q_u)</td><td>ASTM D 1633</td><td>PN-EN 13286-41</td></tr>
<tr><td>Grunt stabilizowany wapnem</td><td>Mr = 0.124(q_u)+9.98</td><td>ASTM D 5102</td><td>PN-EN 13286-41</td></tr>
</table>
Lub wybrać podane poniżej typowe wartości E i M_r w psi
<table>
<tr><td>Beton chudy, E</td><td>2,000,000</td></tr>
<tr><td>Kruszywo stabilizowane cementem, E</td><td>1,000,000</td></tr>
<tr><td>Porowata stabilizacja cementem kruszywa</td><td>750,000</td></tr>
<tr><td>Grunt stabilizowany cementem</td><td>500,000</td></tr>
<tr><td>Mieszanka popiół lotny cement-wapno, E</td><td>1,500,000</td></tr>
<tr><td>Grunt stabilizowany wapnem, Mr</td><td>45,000</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Wytrzymałość na zginanie (wymagana jedynie w przypadku nawierzchni podatnych)</td><td>Przyjąć 20% wytrzymałości na ściskanie wyznaczonej na próbkach laboratoryjnych lub wyciętych z nawierzchni jako szacunkową wartość wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu dla wszystkich materiałów związanych spoiwem hydraulicznym
Lub wybrać podane poniżej typowe wartości M_r w psi
<table>
<tr><td>Materiał stabilizowany chemicznie ułożony pod nawierzchnią podatną (podbudowa)</td><td>750</td></tr>
<tr><td>Materiał stabilizowany chemicznie zastosowany jako podbudowa pomocnicza, jako materiał wyselekcjonowany lub podłoże pod nawierzchnią podatną</td><td>250</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Współczynnik Poissona</td><td>Wybrać odpowiednią typową wartość współczynnika Poissona:
<table>
<tr><td>Chudy beton i kruszywo stabilizowane cementem</td><td>0.1 do 0.2</td></tr>
<tr><td>Grunt stabilizowany cementem</td><td>0.15 do 0.35</td></tr>
<tr><td>Materiały stabilizowane wapnem i popiołem aktywnym</td><td>0.1 do 0.15</td></tr>
<tr><td>Grunt stabilizowany wapnem</td><td>0.15 do 0.2</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Ciężar jednostkowy</td><td>Przyjąć standardową wartość MEPDG wynoszącą 150 pcf</td></tr>
<tr><td>Przewodność cieplna</td><td>Przyjąć standardową wartość MEPDG wynoszącą 1,25 BTU/h-ft-°F</td></tr>
<tr><td>Pojemność cieplna</td><td>Przyjąć standardową wartość MEPDG wynoszącą 0,28 BTU/h-ft-°F</td></tr>
</table>

Przedstawione dane w tablicy 11-7 (moduły sprężystości) wymagają zweryfikowania. Uzyskiwane moduły dla mieszanek związanych hydraulicznie (badania IBDiM) są znacznie większe niż podane w tablicy 11-7. Weryfikacja powinna nastąpić na podstawie badań porównawczych. Dla przykładu: moduły dla mieszanek HBH o wytrzymałości *R*c=5÷20 MPa wynoszą od 10GPa do 25GPa, a wg ASTM dla stabilizacji i chudego betonu *E*=7÷14 GPa.

Program powinien zawierać badania modułów dla 2 grup mieszanek HBM o wytrzymałości *R*c=5 MPa I Rc>5 MPa na typowych mieszankach grunto-cementowych i chudych betonach.

9 Zadanie 10: Przystosowanie metod oceny właściwości nawierzchni

9.1 Wprowadzenie

Efektywne projektowanie zabiegów utrzymaniowych na istniejących odcinkach dróg wymaga szczegółowego zbioru danych o aktualnym stanie nawierzchni. Metoda MEPDG, oprócz algorytmów wprost odnoszących się do projektowania konstrukcji nawierzchni, zawiera również procedury i zalecenia określające zakres danych wejściowych, niezbędnych w procesie definiowania technologii odnowy nawierzchni.

W ramach niniejszej pracy zostaną wykonane następujące zadania:

1. przegląd wymagań MEPDG dotyczących badań istniejących nawierzchni drogowych,
2. ocena różnic metod pomiarowych proponowanych w MEPDG i dostępnych w Polsce oraz wstępna analiza wpływu wprowadzenia innych (nowszych) metod badawczych na wyniki uzyskiwane w MEPDG,
3. wykonanie badań terenowych na wytypowanych odcinkach testowych według wstępnie przyjętego algorytmu oceny stanu nawierzchni,
4. opracowanie metodyki oceny właściwości dla potrzeb wdrażanej metody MEPDG.

9.2 Przegląd wymagań MEPDG dotyczących badań istniejących nawierzchni drogowych

Podstawowym aspektem rozpatrywanym w ocenie stanu nawierzchni na poziomie projektu jest określenie ogólnego stanu nawierzchni poprzez oszacowanie następujących istotnych elementów funkcjonowania istniejącej nawierzchni:

- dostosowanie konstrukcyjne (związane z obciążeniem) - odnosi się do tych właściwości i cech, które określają reakcję nawierzchni na obciążenie ruchem,
- dostosowanie funkcjonalne (związane z użytkownikiem) - odnosi się do właściwości powierzchniowych i podpowierzchniowych, które wpływają na równość jezdni, szorstkość nawierzchni lub inne parametry mające znaczenie dla bezpieczeństwa użytkowników ruchu,
- dostosowanie odwodnienia podpowierzchniowego – istotne ze względu na wpływ na stan strukturalny i funkcjonalny nawierzchni,
- trwałość materiałowa - istotne ze względu na wpływ na stan strukturalny i funkcjonalny nawierzchni,
- stan pobocza - istotny z punktu widzenia wyboru typu odnowy oraz wpływu na koszt przyjętego rozwiązania,
- zmienność stanu nawierzchni – odnosi się do tych sekcji odcinka, na których obserwowana jest znaczna zmienność stanu nawierzchni,
- inne ograniczenia (np. mosty, skrajnia boczna, ograniczenia kontroli ruchu) – dotyczy wszystkich tych elementów, które mogą mieć znaczenie w trakcie realizacji projektu.

W związku z takim podejściem w projektowaniu odnów istniejących nawierzchni określony został zbiór danych wejściowych, sklasyfikowanych w następujących grupach:

- stan nawierzchni pasa ruchu (np. uszkodzenia, nierówności, właściwości przeciwpoślizgowe, ugięcia),
- stan pobocza drogi,
- dane archiwalne – wykonane zabiegi utrzymaniowe,

- projektowane właściwości drogi (np. typ nawierzchni i pobocza, charakterystyka geometryczna, wymagania konstrukcyjne),
- właściwości materiałowe warstw konstrukcyjnych i podłoża gruntowego,
- natężenie ruchu i jego charakterystyka,
- warunki klimatyczne,
- stany odwodnienia,
- czynniki geometryczne terenu (np. skrajnia mostowa),
- aspekty bezpieczeństwa (np. wielkość i lokalizacja wypadków),
- czynniki różnorodne (np. infrastruktura, skrajnia, inne ograniczenia).

Istotną, ze względu na przyjęty sposób pozyskiwania danych, cechą charakterystyczną metody MEPDG jest hierarchizacja danych wejściowych. Metoda pozwala projektantowi na swobodę (obarczoną jednak ryzykiem ale i odpowiedzialnością) w wyborze poziomu szczegółowości danych wejściowych:

a. **Poziom 1-szy** zapewnia najwyższą dokładność danych, ale jednocześnie koszt wykonania badań i analiz jest największy. Poziom ten powinien być wykorzystywany do projektowania nawierzchni obciążonych ruchem ciężkim lub na odcinkach, na których przedwczesne obniżenie bezpieczeństwa ruchu lub pojawienie się uszkodzeń nawierzchni miałoby poważne skutki społeczne i ekonomiczne.
b. **Poziom 2-gi** zapewnia pośredni poziom dokładności i powinien być najczęstszym wyborem projektanta i zarządcy drogi. Parametry wejściowe na tym poziomie szacowane są z zależności korelacyjnych lub równań regresji. Poziom może być stosowany, kiedy zasoby lub sprzęt badawczy nie są dostępne do wykonania wymaganych badań dla poziomu 1-ego.
c. **Poziom 3-ci** danych wejściowych zapewnia najniższą dokładność, ale jednocześnie koszt wykonania badań i analiz jest najmniejszy. Ten poziom może być stosowany tam, gdzie występują minimalne konsekwencje wczesnych uszkodzeń (np. drogi o mniejszym natężeniu ruchu). Dane wejściowe są przyjętymi lub zakładanymi średnimi wartościami dla regionu.

W metodzie określono również sposób i kolejność w jakiej wymienione wcześniej dane powinny być uzyskiwane. Niezależnie od poziomu projektu są to następujące kroki:

1. dane archiwalne - w ramach tego kroku wymaga się zebrania danych o lokalizacji projektu, rok budowy, roku i rodzaju modernizacji, parametrach projektowych, właściwościach materiałów warstw konstrukcyjnych i podłoża, warunkach ruchu i warunkach klimatycznych oraz wszelkich dostępnych danych o cechach istniejącej nawierzchni,
2. pierwszy etap pomiarów terenowych – na tym etapie prowadzona jest inspekcja wizualna drogi oraz szczegółowe pomiary na wytypowanych sekcjach odcinka. Uzyskane dane powinny obejmować informacje o uszkodzeniach nawierzchni, stanie odwodnienia, równości nawierzchni, wariantach organizacji ruchu oraz zachowaniu bezpieczeństwa użytkowników ruchu.
3. wstępna ocena danych i określenie zakresu badań – na podstawie danych uzyskanych w poprzednim kroku należy oszacować krytyczne poziomy oraz wskazać przyczyny powstawania uszkodzeń i nierówności nawierzchni. Należy również określić zakres koniecznych badań przewidzianych w ramach kroku 4.
4. drugi etap pomiarów terenowych – etap ten obejmuje szczegółowe pomiary prowadzone w terenie, takie jak: pomiar równości nawierzchni, pomiar współczynnika tarcia, pomiar ugięć, odwierty
5. badania laboratoryjne – krok obejmujący badania materiałowe próbek pobranych w terenie, prowadzone w warunkach laboratoryjnych, które powinny obejmować ocenę

między innymi: wytrzymałości materiałów, modułu sztywności, składu, gęstości i uziarnienia, itp.

6. szczegółowa analiza danych i opracowanie raportu – wyniki przeprowadzonych analiz powinny jednoznacznie określać aktualny stan nawierzchni oraz wskazywać przyczyny powstania zarejestrowanych uszkodzeń konstrukcji nawierzchni.

Krok 1 i 2 tj. zebranie danych archiwalnych i pierwszy etap pomiarów terenowych polega na sprawdzeniu dostępnych danych oraz inspekcji wizualnej stanu odcinka. Są to istotne elementy procesu zbierania danych ponieważ dane pozyskane na tym etapie mogą służyć do określenia odcinków jednorodnych pod względem właściwości projektowych, warunków i cech charakterystycznych nawierzchni i stanowić będą element pomocniczy w szczegółowej ocenie stanu drogi. Ze względu na szczególną przydatność danych archiwalnych na poziomie projektu zaleca się utrzymywanie przez zarządców dróg minimalnego poziomu dostępności do tego rodzaju danych.

W kroku 3, polegającym na wstępnej ocenie danych i określeniu zakresu badań, przygotowywana jest wstępna analiza stanu badanego odcinka, która stanowić może podstawę podejmowanych kierunków działań w zakresie technologii odnowy nawierzchni i pozyskiwania dodatkowych danych. Uzyskuje się to przez weryfikację uzyskanych w kroku 1 i 2 danych pod kątem zasadniczych aspektów funkcjonowania istniejącej nawierzchni tj weryfikację: dostosowania konstrukcyjnego, dostosowania funkcjonalnego, dostosowania odwodnienia podpowierzchniowego, trwałości materiałowej, stan pobocza, zmienności stanu nawierzchni i innych ograniczeń. Krok 3 jest istotnym elementem oceny stanu nawierzchni ponieważ pomaga znacznie zredukować zakres dodatkowych badań, czyniąc w ten sposób cały proces oceny stanu nawierzchni tańszym i bardziej efektywnym.

W ramach kroku 4 i 5 realizowany jest drugi etap pomiarów terenowych i badania laboratoryjne. W ramach tych działań przewidywane są szczegółowe badania terenowe i laboratoryjne. W MEPDG zaleca się wykonywanie badań terenowych jak i laboratoryjnych według standardów AASHTO[3], ASTM[4], LTPP[5], SHRP[6] oraz regulacji stanowych i lokalnych administracji amerykańskich.

Krok 6 jest ostatnim etapem, którego celem jest szczegółowa analiza danych i opracowanie raportu. Wykorzystując informacje zebrane w krokach 1 - 5 przygotowywana jest szczegółowa analiza stanu wraz z wskazaniem przyczyn powstania uszkodzeń nawierzchni. W opracowanym raporcie muszą znaleźć się informacje, na podstawie których określone zostaną możliwe alternatywy technologii odnowy nawierzchni.

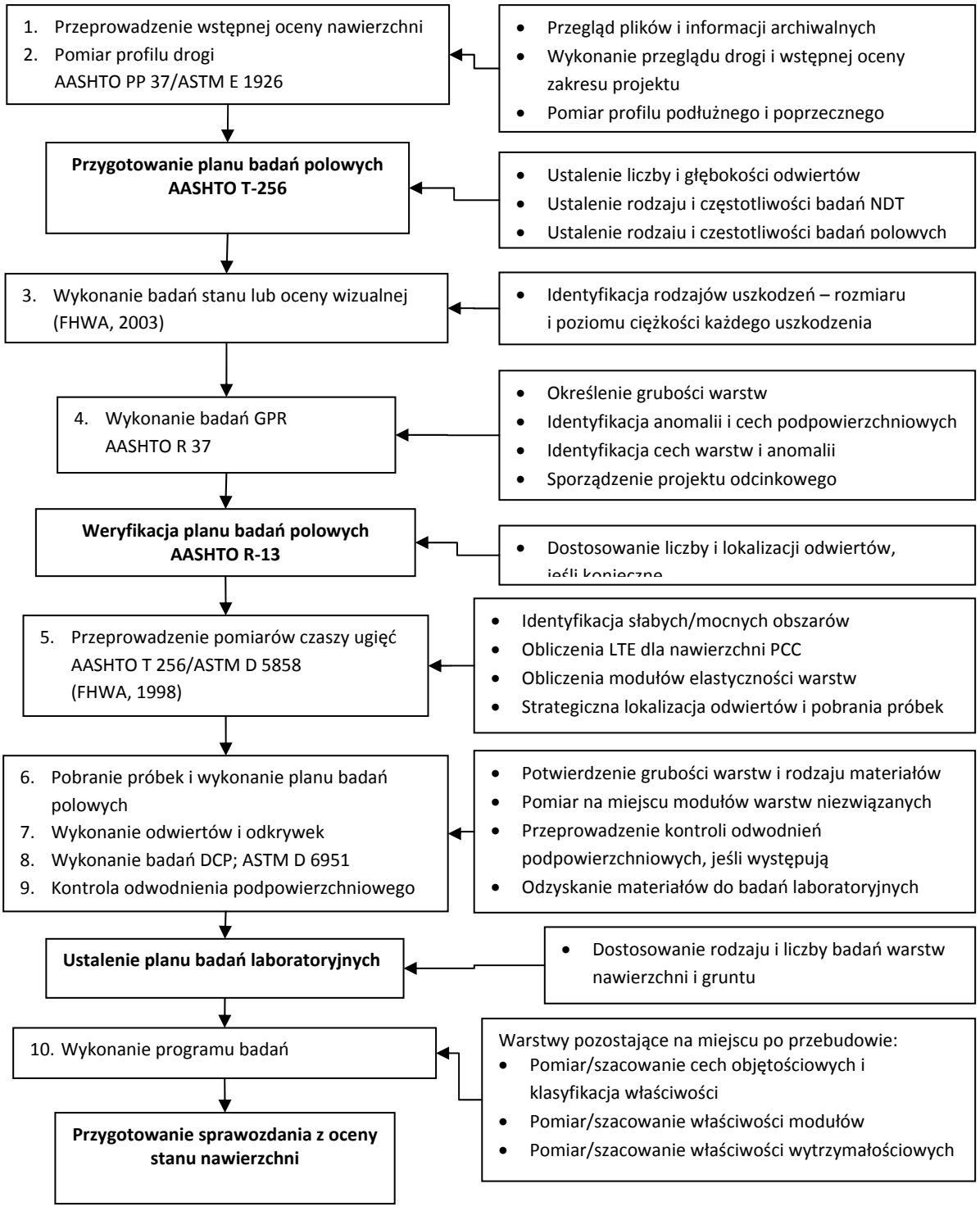
Szczegółowy zakres czynności prowadzonych w ramach kolejnych działań dotyczących diagnostyki stanu przedstawiono w tablicy 71 oraz na rysunku 36.

Przedstawiony schemat należy traktować jako podstawowy algorytm diagnostyki nawierzchni, którego przestrzeganie zapewni wystarczający poziom oceny odcinka na poziomie projektu i jednocześnie zapewni wymagany w MEPDG zakres danych.

[3] American Association of State Highway and Transportation Officials
[4] American Society for Testing and Materials
[5] Long-Term Pavement Performance Program
[6] Strategic Highway Research Program

Tablica 71 Dane wejściowe MEPDG w projektowaniu przebudowy istniejących warstw nawierzchni

Działanie	Cel działania
Ocena wstępna: Przegląd plików i informacji archiwalnych, przeprowadzenie przeglądu drogi	Ocena ogólnych cech konstrukcyjnych i trwałości materiałów istniejącej nawierzchni, podział projektu na odcinki ze względu na: Istniejące warstwy Pobocza, jeśli istnieją Odwodnienie powierzchniowe i podpowierzchniowe Zidentyfikowane możliwe strategie przebudowy
Szczegółowe badania stanu: Określenie rodzaju, ilości i wielkości uszkodzeń	Określenie cech konstrukcyjnych lub pozostałej trwałości i trwałości materiałów istniejących warstw nawierzchni oraz wybór wariantu przebudowy. Deformacje; uszkodzenia nawierzchni betonowych i koleiny warstw asfaltowych Spękania; spękania zmęczeniowe i nie wywołane ruchem Rozpad materiałów (wykruszenia i uszkodzenia powierzchniowe) Podział na obszary o różnych uszkodzeniach
Badania GPR: Określenie grubości warstw, identyfikacja anomalii i cech podpowierzchniowych	Określenie cech konstrukcyjnych, anomalii i cech podpowierzchniowych, trwałości materiałów istniejących warstw: Określenie grubości warstw Identyfikacja potencjalnych anomalii podpowierzchniowych Lokalizacja pustek poniżej powierzchni Lokalizacja odmytych warstw asfaltowych
Pomiary czaszy ugięć: pomiar reakcji konstrukcji nawierzchni i gruntu na obciążenie	Określenie cech konstrukcyjnych oraz modułów warstw nawierzchni i podłoża In-situ. Obliczenia LTE spękań i szczelin w nawierzchniach betonowych Obliczenia modułów warstw Lokalizacja odwiertów do testów niszczących Poziom 1 – Inne kroki pomiarowe dla obszarów o różnych uszkodzeniach wzdłuż całego projektu. Poziom 2 – Jednakowy krok pomiarowy dla obszarów o różnych uszkodzeniach
Pobranie próbek: Wykonanie odwiertów w celu pozyskana materiałów do oceny wizualnej i badań laboratoryjnych	Określenie cech konstrukcyjnych i trwałości materiałów. Wizualna klasyfikacja materiałów i gruntu Potwierdzenie grubości warstw i rodzaju materiałów Identyfikacja/potwierdzenie podpowierzchniowych anomalii – odmycie MMA, pustki itp. Określenie głębokości do warstwy sztywnej lub skały Określenie zwierciadła wód gruntowych Identyfikacja bocznych żył wodnych (Identify seams with lateral water flow) Poziom 1 i 2 – odwierty dla każdej sekcji wyznaczonej w badania stanu, pomiarach ugięć i badaniach GPR. Poziom 3 – Ograniczona liczba odwiertów w obszarach wyznaczonych we wstępnej ocenie nawierzchni
Kontrola terenowa: Odwierty i odkrywki w obszarach uszkodzeń	Cechy konstrukcyjne i wybór wariantu przebudowy: Określenie deformacji poszczególnych warstw na podstawie wykonanych odkrywek Określenie miejsc powstania spękań i kierunku ich propagacji
Badania terenowe: Badania DCP warstw niezwiązanych	Określenie cech konstrukcyjnych – badania modułów sondą DCP in-situ przeprowadzone na warstwach niezwiązanych wewnątrz odwiertów
Kontrola terenowa: Elementy odwodnień podpowierzchniowych	Cechy odwodnienia podpowierzchniowego – kontrola elementów odwodnienia przy użyciu mini kamer w celu określenia stanu i potwierdzenia działania skrajnych drenów
Badania laboratoryjne: Materiały niezwiązane, grunty, mieszanki asfaltowe i betonowe	Warstwy pozostające na miejscu po przebudowie: Testy klasyfikacyjne (uziarnienia i badania granic Atterberga) Badania gęstości i wilgotności Współczynnik rozszerzalności cieplnej – PCC Badania wytrzymałościowe – warstwy PCC i MMA Badania modułów – tylko warstwy PCC Poziom 1 – Badania laboratoryjne wymienione powyżej Poziom 2 – Obliczenia modułów na podstawie badań DCP i czaszy ugięć dla warstw niezwiązanych właściwości objętościowe dla warstw związanych Poziom 3 – Wszystkie dane wejściowe oparte na brakach i wizualnej klasyfikacji materiałów i gruntów; nie przeprowadzono bada ń laboratoryjnych pozostających na miejscu.



Rysunek 36 Kroki i czynności do oceny stanu istniejących nawierzchni do projektowania przebudowy

9.3 Wymagania dotyczące zbierania danych

Jednym z najbardziej krytycznych aspektów oceny stanu jest wiarygodność uzyskanych danych. Dzieje się tak dlatego, ponieważ wszelkie decyzje dotyczące napotykanych problemów i przyjmowanych sposobów odnowy istniejącej nawierzchni zależą od dokładności i integralności dostarczonego zestawu danych. Zakres danych wymagany w MEPDG do oceny stanu przedstawiono w tablicy 72.

Tablica 72 Zakres danych w ramach poszczególnych poziomów hierarchizacji

cecha	parametr	poziom hierarchizacji danych		
		1	2	3
dostosowanie konstrukcyjne	uszkodzenia powierzchniowe	ocena wizualna na 50-100% długości odcinka	ocena wizualna na 10-50% długości odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	pomiar ugięć	pomiar NDT[7] nie rzadziej niż ok. 150 m	pomiar NDT rzadziej niż ok. 150 m	dane archiwalne lub wykonanie pomiarów NDT w wybranych lokalizacjach
	pomiar georadarowy			
	pomiar profilu			
	odwierty, sondowanie DCP	pomiar nie rzadziej niż ok. 600 m	pomiar rzadziej niż ok. 600 m	dane archiwalne lub wykonanie pomiarów w wybranych lokalizacjach
	dane archiwalne	dane archiwalne i ocena wizualna	dane archiwalne	dane archiwalne
dostosowanie funkcjonalne	pomiar profilu - IRI[8]	pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka	dane archiwalne
	pomiar szorstkości - FC[9]	pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka	dane archiwalne
odwodnienie podziemne	dane klimatyczne	opisano w rozdziale dotyczącym danych klimatycznych		
	uszkodzenia związane z zwiększoną wilgotnością	pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	uszkodzenia postępujące w skutek wilgotności	pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	stan urządzeń odwodnienia podziemnego	pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	stan urządzeń odwodnienia powierzchniowego	pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
trwałość materiałów	trwałość w odniesieniu do odkształceń powierzchniowych	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	stan podbudowy	pomiar nie rzadziej niż 15m	pomiar nie rzadziej niż 150m	dane archiwalne lub wykonanie pomiarów

[7] NDT (non-destructive testing) – badanie nieniszczące
[8] IRI - International Roughness Index
[9] FC – Friction Coefficient

cecha	parametr	poziom hierarchizacji danych		
		1	2	3
				w wybranych lokalizacjach
pobocza	stan powierzchni	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
zmienność odcinka	identyfikacja obszarów zmienności i określenie ich stanu	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
inne zdarzenia	stan połączeń płyt	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	przepustowość i geometria	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
ograniczenia, wymogi	dostępność objazdów	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	możliwość realizacji prac „pod ruchem”	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	możliwość realizacji prac poza godzinami szczytu	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	zachowanie skrajni w przypadku mostów	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	przeszkody	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	infrastruktura (instalacje itp)	ocena wizualna na 100% długości odcinka	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka

Przedstawiony powyżej zakres danych wymaga zastosowania różnorodnych metod i systemów pomiaru cech nawierzchni, takich jak:

- ogólny przegląd odcinka – polega na dokonaniu przeglądu z poruszającego się samochodu,
- ocena wizualna – wykonywana pieszo przez inżyniera lub przeszkolonego technika szczegółowa ocenia uszkodzeń, które w trakcie oceny są odpowiednio inwentaryzowane; uzyskiwana ocena jest agregowana do ustalonych odcinków (np. nie dłuższych niż 150m),

- pomiary nieniszczące NDT – obejmuje całą grupę metod pomiarowych takich jak pomiar ugięć, pomiar georadarowy, pomiar profilu (równości podłużnej, poprzecznej i tekstury) metodą profilometryczną, pomiar szorstkości,
- pomiary niszczące – wykonanie odwiertów lub odkrywek w celu pobrania próbek materiałów lub wykonania badań sondą DCP[10].

Oddzielną kwestią jest zapewnienie odpowiedniej jakości danych, co można osiągnąć stosując opisane w Metodzie metody i systemy pomiarowe. W Części II, w Rozdziale 5 podręcznika MEPDG przedstawiono skrócone opisy urządzeń i metod pomiarowych. Po szczegółowe informacje Podręcznik odsyła do odpowiednich wymagań publikowanych w USA przez American Association of State Highway and Transportation Officials, American Society for Testing and Materials, Long-Term Pavement Performance Program i Strategic Highway Research Program.

9.4 Kryteria oceny

Poniżej przedstawiono kryteria oceny parametrów uwzględnianych w procesie oceny stanu nawierzchni w ramach MEPDG. Kryteria te zostaną zweryfikowane po analizie danych z badań terenowych.

[10] DCP – dynamic cone penetrometer

Tablica 73 Kryteria oceny uszkodzeń ze względu na dostosowanie konstrukcyjne nawierzchni sztywnych

Rodzaj uszkodzenia	Klasyfikacja dróg	Stan nawierzchni		
		zły	ostrzegawczy	dobry
pęknięcia płyt nawierzchni JPC [% płyt]	A,S	>10	5-10	<5
	GP,G	>15	8-15	<8
	Z, L, D	>20	10-20	<10
pęknięcia płyt nawierzchni JRC [liczba/mila pasa ruchu]	A,S	>40	15-40	<15
	GP,G	>50	20-50	<20
	Z, L, D	>60	25-60	<25
średnie uszkodzenie połączenia/pęknięcia poprzecznego nawierzchni JPC [cale]	A,S	>0.15	0.1-0.15	<0.1
	GP,G	>0.20	0.125-.20	<0.125
	Z, L, D	>0.3	0.15-0.3	<0.15
średnie uszkodzenie połączenia/pęknięcia poprzecznego nawierzchni JRC [cale]	A,S	>0.3	0.15-0.3	<0.15
	GP,G	>0.35	0.175-0.35	<0.175
	Z, L, D	>0.4	0.2-0.4	<0.2
odspojenia nawierzchnia CRC [liczba/mila pasa ruchu]	A,S	>10	5-10	<5
	GP,G	>15	8-15	<8
	Z, L, D	>20	10-20	<10

Tablica 74 Kryteria oceny uszkodzeń ze względu na dostosowanie konstrukcyjne nawierzchni podatnych

Rodzaj uszkodzenia	Klasyfikacja dróg	Stan nawierzchni		
		zły	ostrzegawczy	dobry
pęknięcia zmęczeniowe [% spękanej powierzchni śladu koła]	A,S	>20	5-20	<5
	GP,G	>45	10-45	<10
	Z, L, D	>45	10-45	<10
pęknięcia podłużne w śladzie koła [stopa/mila]	A,S	>1060	265-1060	<265
	GP,G	>2650	530-2650	<530
	Z, L, D	>2650	530-2650	<530
szerokość pęknięcia odbitego *) [cale]	A,S	>0.5	0.25-0.5	<0.5
	GP,G	>0.75	0.5-0.75	<0.5
	Z, L, D	>0.75	0.5-0.75	<0.5
odległość między pęknięciami poprzecznymi [stopy]	A,S	>100	100-200	<200
	GP,G	>60	60-120	<120
	Z, L, D	>60	60-120	<120
średnia głębokość koleiny w obu śladach kół [cale]	A,S	>0.4	0.25-0.4	<0.25
	GP,G	>0.6	0.35-0.6	<0.35
	Z, L, D	>0.8	0.4-0.8	<0.4
garby i przemieszczenia [% powierzchni śladów koła]	A,S	>10	1-10	0
	GP,G	>20	10-20	<10
	Z, L, D	>45	20-45	<20

*) dotyczy nawierzchni półsztywnych

Tablica 75 Typowe wartości modułów warstw uzyskanych z obliczeń odwrotnych

Rodzaj uszkodzenia	Typ materiału	Wartości modułów		
		niski	wysoki	średni
moduł [MPa]	AC w T=20°C	2068	10342	3447
	PCC	20684	51711	31026
moduł sztywności [MPa]	podbudowa stabilizowana	689	3447	1724
	podbudowa z chudego betonu	3447	17237	10342
	podbudowa stabilizowana	1724	6895	4137
	grunt stabilizowany cementem	345	689	517
	podbudowa z kruszywa	103	276	207
	dolna podbudowa z kruszywa	55	172	103
	podłoże z kruszywa	48	138	83
	podłoże z piasku	21	48	34
wytrzymałość na zginanie [MPa]	PCC	3	6	5
wytrzymałość na ściskanie [MPa]	PCC	17	48	379

Tablica 76 Kryteria oceny równości podłużnej

Rodzaj nawierzchni	Klasyfikacja dróg	IRI [mm/m]		
		zły	ostrzegawczy	dobry
podatne i sztywne	A,S	>2.8	1.6-2.8	<1.6
	GP,G	>3.2	1.7-3.2	<1.7
	Z, L, D	>3.9	2.0-3.9	<2.0

Tablica 77 Typy uszkodzeń i kryteria oceny dostosowania konstrukcyjnego odwodnienia

Rodzaj uszkodzenia	Klasyfikacja dróg	Stan nawierzchni		
		zły	ostrzegawczy	dobry
ubytki lepiszcza warstwy AC	A,S	Oznaki uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń
	GP,G	Oznaki uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń
	Z, L, D	Oznaki uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń
pocenie warstwy AC	A,S	Oznaki uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń
	GP,G	Oznaki uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń
	Z, L, D	Oznaki uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń	Bez onak uszkodzeń
pocenie warstwy JPC i JRC [% połączeń]	A,S	>25	10-25	<10
	GP,G	>30	15-30	<15
	Z, L, D	>40	20-40	<20
średnie uszkodzenie połączenia/pęknięcia poprzecznego nawierzchni JPC [cale]	A,S	>0.15	0.1-0.15	<0.1
	GP,G	>0.20	0.125-.20	<0.125
	Z, L, D	>0.3	0.15-0.3	<0.15
średnie uszkodzenie połączenia/pęknięcia poprzecznego nawierzchni JRC [cale]	A,S	>0.3	0.15-0.3	<0.15
	GP,G	>0.35	0.175-0.35	<0.175
	Z, L, D	>0.4	0.2-0.4	<0.2
trwałość PCC (D-spękania i uszkodzenia trwałości kruszywa)	A,S	Przewaga uszkodzeń o średnim i dużym natężeniu	Przewaga uszkodzeń o małym i średnim natężeniu	Brak lub niewiele uszkodzeń o małym natężeniu
	GP,G			
	Z, L, D			
pęknięcia narożne JPC i JRC [liczba/mila]	A,S	>25	10-25	<10
	GP,G	>30	15-30	<15
	Z, L, D	>40	20-40	<20

Tablica 78 Typy uszkodzeń i kryteria oceny trwałości materiałowej nawierzchni podatnych i półsztywnych

Rodzaj uszkodzenia	Klasyfikacja dróg	Stan nawierzchni		
		zły	ostrzegawczy	dobry
ubytki kruszywa [% powierzchni jezdni]	A,S	ubytek	-	ubytek
	GP,G	>50	10-50	<10
	Z, L, D	>100	45-100	<45
koleiny [średnia głębokość w obu śladach kół w mm]	A,S	>10	6-10	<6
	GP,G	>13	9-13	<9
	Z, L, D	>20	10-20	<10
garby i przemieszczenia [% powierzchni śladów kół]	A,S	>10	1-10	brak
	GP,G	>20	10-20	<10
	Z, L, D	>45	20-45	<20
pęknięcia siatkowe [szerokość pęknięcia w mm]	A,S	pojedyncze	-	brak
	GP,G	>6	-	<6
	Z, L, D	>6	-	<6
pocenie nawierzchni [% powierzchni śladów kół]	A,S	>10	5-10	<5
	GP,G	>25	10-25	<10
	Z, L, D	>25	20-50	<20
ubytki ulepszonych warstw podbudowy	A,S	W większości lokalizacji brak możliwości uzyskania pełnych rdzeni z powodu dużych ubytków. Mogą być obserwowane drobne części	W kilku lokalizacjach brak możliwości uzyskania pełnych rdzeni z powodu dużych ubytków.	Pełne, nie naruszone rdzenie.
	GP,G			
	Z, L, D			
zanieczyszczenia warstw niezwiązanych	A,S	zanieczyszczenia warstw podbudowy niezwiązanej drobnymi cząsteczkami podłoża gruntowego		
	GP,G			
	Z, L, D			

9.5 Ocena różnic metod pomiarowych proponowanych w MEPDG i dostępnych w Polsce oraz wstępna analiza wpływu wprowadzenia innych (nowszych) metod badawczych na wyniki uzyskiwane w MEPDG.

Analiza wymagań dotyczących sprzętu stosowanego do diagnostyki nawierzchni w ramach MEPDG wskazała, że w większości przypadków nie ma istotnych różnic co do metodyki pomiarowej. Urządzenia takie jak FWD (Falling Weight Deflectometer), GPR (Ground Penetrating Radar), czy pomiar profilu metodami profilometrycznymi są szeroko stosowane zarówno w Europie jak i w Polsce.

Zasadnicze różnice dotyczą najnowszych rozwiązań sprzętowych lub systemów pomiarowych indywidualnie stosowanych w poszczególnych krajach. W Polsce są to nowoczesne systemy oceny uszkodzeń powierzchniowych, wykorzystujących techniki wizyjne, oraz urządzenie SRT-3 stosowane w naszym kraju od kilkunastu lat w ramach rutynowych pomiarów właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni sieci dróg krajowych.

W przypadku identyfikacji uszkodzeń powierzchniowych problem rozbieżności między metodami tradycyjnymi, preferowanymi w MEPDG, a półautomatycznymi metodami wizyjnymi jest mniejszy, gdyż w obu przypadkach uzyskany wynik powinien zawierać ilościowy zakres wytypowanych uszkodzeń. Metody wizyjne są pod tym względem o wiele bardziej elastyczne ponieważ dają możliwość zmiany zakresu identyfikowanych uszkodzeń przy zachowaniu szczegółowego obrazu ocenianej nawierzchni.

Ocena właściwości przeciwpoślizgowych jest traktowana w Metodzie w sposób informacyjny. Dane uzyskane z pomiarów tego parametru nie są importowane do algorytmu oceny funkcjonującego w ramach MEPDG, natomiast ocena właściwości przeciwpoślizgowych jest dokonywana i uwzględniana w procesie projektowania remontu nawierzchni. Jednocześnie zaleca się, aby w odniesieniu do tego parametru stosować kryteria oceny określone przez zarządcę drogi.

Największe wątpliwości budzi w ocenie autorów możliwość wykorzystania danych archiwalnych jako bazowych i jednocześnie jedynych w projektowaniu wzmocnienia odcinków. W metodzie MEPDG dopuszcza się taką możliwość w przypadku trzeciego poziomu szczegółowości, w odniesieniu do identyfikacji uszkodzeń powierzchniowych, pomiaru ugięć, oceny układu warstw konstrukcyjnych, pomiaru profilu, pomiaru profilu oraz pomiaru współczynnika tarcia. Z uwagi na historyczne uwarunkowania i fakt, że w Polsce kwestie prowadzenia regularnych przeglądów stanu i tworzenia na ich podstawie baz danych drogowych nie są w pełni rozwiązane i realizowane przez zarządców dróg, przeniesienie wymagań MEPDG w tym zakresie powodowałoby znaczne braki i nieciągłości w informacji o stanie nawierzchni.

9.6 Badania terenowe

W ramach niniejszej pracy wykonano badania terenowe na wytypowanych odcinkach dróg. Badania te miały na celu weryfikację algorytmu oceny proponowanego w ramach MEPDG oraz wstępnie przyjętych założeń dotyczących zakresu pomiarów oceny stanu nawierzchni.

Do badań wytypowano odcinki wskazane przez GDDKiA - Departamet Studiów. Z pośród kilkudziesięciu odcinków wybrano kilka, o zmiennej charakterystyce uszkodzeń. Przy wyborze odcinków kierowano się również wielkością natężenia ruchu pojazdów ciężarowych, tak aby wytypowane odcinki reprezentowały kategorie ruchu od KR1-2 do KR5-6. Lokalizację odcinków przedstawiono na rysunku 37 i w tablicy 80.

Tablica 79 Wykaz wytypowanych odcinków testowych

Lp	Kategoria ruchu	Odcinek	Droga nr	Pikietaż [km]		Długość [km]
				od	do	
1	KR2	A	DK48	67+000	69+000	2,000
2	KR3	B	DK48	34+090	37+300	3,210
3	KR5	C	DK8	313+500	315+500	2,000
4	KR4	D	DK72	27+400	29+100	1,700
5	KR5	E	DK50	72+000	76+000	4,000

Rysunek 37 Lokalizacja odcinków

W ramach badań wykonano pełen zakres badań diagnostycznych. Badania nie zawierały badań laboratoryjnych podłoża gruntowego i warstw asfaltowych. Wyniki badań zamieszczono w Załączniku elektronicznym (płyta CD). Badania terenowe przeprowadzono zgodnie z wstępnie zakładanym zakresem badań, który przedstawiono w tablicy 81.

Tablica 80 Zakres badań w ramach MEPDG na wytypowanych odcinkach testowych

Krok	Zadanie	Opis
1	dane historyczne	zebranie dostępnych danych: rok budowy, modernizacji parametry projektowe, właściwości materiałów i podłoża ruch, powyższe dane zostaną uwzględnione w raporcie o ile będą dostępne
2	pomiary terenowe – etap I	pomiar i ocena parametrów: równość (Profilograf) ugięcia (FWD) układ warstw (GPR) uszkodzenia powierzchniowe (ocena wizualna, wideo)
3	wstępna ocena i określenie zakresu badań	wstępna ocena przyczyn zarejestrowanych uszkodzeń powierzchniowych, ocena jednorodności ugięć i układu warstw konstrukcyjnych; wytypowanie sekcji objętych szczegółowymi badaniami
4	pomiary terenowe i analizy– etap II	pomiar i ocena parametrów: odwierty (lokalizacje wytypowane na podstawie danych z etap I) analiza danych z GPR i odwiertów szczegółowa ocena wizualna wytypowanych sekcji (o ile wskazano stan nawierzchni, odwodnienia, obiektów, inne)
5	badania laboratoryjne	pominięto
6	końcowa ocena stanu i opracowanie raportu	analiza danych i opracowanie raportu końcowego

9.7 Analiza danych

Analiza danych będzie uzupełniona w późniejszym czasie (rok 2012).

9.8 Opracowanie metodyki oceny właściwości nawierzchni uwzględniającej specyfikę metod pomiarowych dostępnych w Polsce, wyniki uzyskane w trakcie badań terenowych oraz wymagania metody MEPDG

Opracowanie metodyki oceny właściwości nawierzchni będzie uzupełniona na podstawie analizy danych w późniejszym czasie (rok 2012).

Wstępnie przyjmuje się, że zakres pomiarów prowadzonych na potrzeby Metody powinien być taki jak zaprezentowano w tablicy 82.

Tablica 81 Szczegółowy zakres badań w ramach MEPDG dla warunków polskich

cecha	parametr	poziom hierarchizacji danych		
		1	**2**	**3**
dostosowanie konstrukcyjne	uszkodzenia powierzchniowe	ocena wizualna na 100% długości odcinka*)	ocena wizualna na 100% długości odcinka*)	ocena wizualna na 100% długości odcinka*)
	pomiar ugięć	pomiar FWD na całym odcinku co 25m na wszystkich pasach ruchu	pomiar FWD na całym odcinku co 50m na zasadniczych pasach ruchu	pomiar FWD na całym odcinku co 100m na najbardziej obciążonym pasie ruchu w każdym kierunku
	pomiar georadarowy	pomiar GPR na całym odcinku	pomiar GPR na całym odcinku	pomiar GPR na całym odcinku lub dane archiwalne
	odwierty, sondowanie DCP	pomiar na całym odcinku co 1000m (jeżeli pomiar GPR potwierdził dane archiwalne liczbę odwiertów można zmniejszyć maksymalnie o 25%); rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych wg. obowiązujących przepisów	pomiar na całym odcinku co 1000m (jeżeli pomiar GPR potwierdził dane archiwalne liczbę odwiertów można zmniejszyć maksymalnie o 35%); rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych wg. obowiązujących przepisów	pomiar na całym odcinku co 500m; w przypadku wykonania pomiaru GPR odwierty co 1000m (jeżeli pomiar GPR potwierdził dane archiwalne liczbę odwiertów można zmniejszyć maksymalnie o 50%); rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych wg. obowiązujących przepisów
	dane archiwalne	o ile to możliwe dane archiwalne powinny obejmować cały odcinek	o ile to możliwe dane archiwalne powinny obejmować cały odcinek	o ile to możliwe dane archiwalne powinny obejmować cały odcinek
dostosowanie funkcjonalne	pomiar profilu - IRI	pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka jeżeli dostępne są dane archiwalne; jeżeli nie pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka lub dane archiwalne
	pomiar szorstkości - FC_{SRT}[11]	pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka jeżeli dostępne są dane archiwalne; jeżeli nie pomiar na całym odcinku	pomiar na wybranych sekcjach odcinka lub dane archiwalne
odwodnienie podziemne	dane klimatyczne	opisano w rozdziale dotyczącym danych klimatycznych		
	uszkodzenia związane z zwiększoną wilgotnością	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	uszkodzenia postępujące w skutek wilgotności	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	stan urządzeń odwodnienia podziemnego	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	stan urządzeń odwodnienia powierzchniowego	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na wybranych sekcjach odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
trwałość	trwałość w	ocena wizualna na	ocena wizualna na	ogólny przegląd całego

[11] FC_{SRT} – współczynnik tarcia uzyskany przy pomocy SRT-3

cecha	**parametr**	**poziom hierarchizacji danych**		
		1	**2**	**3**
materiałów	odniesieniu do odkształceń powierzchniowych	całym odcinku	wybranych sekcjach odcinka	odcinka
	stan podbudowy	pomiar nie rzadziej niż 500m	pomiar nie rzadziej niż 500m	dane archiwalne lub wykonanie pomiarów w wybranych lokalizacjach
pobocza	stan powierzchni	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
zmienność odcinka	identyfikacja obszarów zmienności i określenie ich stanu	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
inne zdarzenia	stan połączeń płyt	oce ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	przepustowość i geometria	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
ograniczenia, wymogi	dostępność objazdów	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	możliwość realizacji prac „pod ruchem”	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	możliwość realizacji prac poza godzinami szczytu	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	zachowanie skrajni w przypadku mostów	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	przeszkody	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka
	infrastruktura (instalacje itp)	ocena wizualna na całym odcinku	ocena wizualna na 100% długości wybranych sekcji odcinka	ogólny przegląd całego odcinka

*) - należy stosować metody skanujące powierzchnię nawierzchni w sposób automatyczny, z archiwizacją danych, na podstawie których można wskazać dokładną lokalizację oraz ilościowy zakres występowania uszkodzeń. Na krótkich odcinkach (do 2 km) mogą być stosownie metody „ręczne”. Na poziomie 3 metody ręczne można stosować na całym odcinku bez względu na jego długość.

10 Podsumowanie i wnioski

Sprawozdanie zawiera analizę systemu gromadzenia danych do projektowania nawierzchni asfaltowych metodą MEPDG według norm i metod stosowanych w USA i porównanie tych metod z normami i metodami stosowanymi w Polsce zgodnie z obecnie obowiązującymi normami i metodami badawczymi.

W metodzie MEPDG przyjęto trzy poziomy hierarchiczne danych do wykorzystania w projektowaniu konstrukcji nawierzchni. Odnosi się to do wszystkich grup danych wymaganych w projekcie: materiały, grunty, obciążenie ruchem. W zależności od dostępności danych w każdej grupie mogą być przyjęte różne poziomy hierarchiczne.

W Zadaniu 3 przedstawiono analizę gromadzenia danych obciążenia nawierzchni dróg pojazdami. Ze względu na odmienną konfigurację osi i obciążenie pojazdów w USA i w Polsce konieczne będzie przystosowanie założeń przyjętych w MEPDG do polskich warunków obciążenia i konfiguracji pojazdów. W tym celu przedstawiono interpretację wymagań danych wejściowych w odniesieniu do polskich warunków projektowych.

Zadanie 4 dotyczy określenia warunków klimatycznych do wykorzystania w projektowaniu metodą MEPDG. Planowano początkowo dołożenie plików z danymi z Polski do danych dostępnych z terytorium USA, tak aby można było używać polskich danych w taki sam sposób jak amerykańskich. Niestety pomimo długotrwałych pertraktacji z administratorami bazy danych w USA nie udało się uzyskać ich zgody, ponadto zaistniał problem aktualizacji danych w czasie. Ponieważ bezpośrednia implementacja danych klimatycznych z Polski jest niewykonalna, zdecydowano zgodnie z sugestiami przesłanymi od administratora danych z USA, że najlepszym dostępnym rozwiązaniem jest wybór amerykańskich odpowiedników polskich stacji meteorologicznych.

W przyszłości można rozważać stworzenie systemu danych klimatycznych w Polsce analogicznego do systemu włączonego do MEPDG obejmującego stacje na kontynencie amerykańskim (USA i Kanada).

W Zadaniu 5 przedstawiono porównanie metod gromadzenia danych o podłożu gruntowym. W programie MEPDG do projektowania wykorzystywane są dane wyznaczane zgodnie z normami ASTM i AASHTO. W celu przystosowania metod gromadzenia danych o podłożu gruntowym wykonano analizę metod badawczych zawartych w normach ASTM i procedurach AASHTO i porównano je z metodami badawczymi stosowanymi w Polsce - normy PN, PN-EN, specyfikacje CEN ISO/TS. Na podstawie tej analizy wskazano zalecane metody badań poszczególnych parametrów gruntów podłoża. Ponadto przeanalizowano zalecane dla poziomu 2 i 3 wartości modułu sztywności sprężystej materiałów niezwiązanej podbudowy z kruszywa, warstwy mrozochronnej (podbudowy pomocniczej), nasypów oraz podłoża gruntowego.

Zadanie 6 dotyczy metod badań asfaltów. Przygotowano program badań, który zawiera metody badań asfaltów stosowane w Polsce i metody przewidziane do stosowania w metodzie MEPDG. Przeprowadzono badania wybranych asfaltów i polimeroasfaltów stosowanych w Polsce według metod norm PN-EN oraz według metod ASTM niezbędnych do zastosowania w MEPDG. Uzyskane wyniki będą wykorzystane w kolejnym etapie pracy w analizach projektowania metodą MEPDG.

W ramach Zadania 7 dokonano porównania i przedstawienia różnic pomiędzy polskimi (PN-EN) a amerykańskimi (ASTM) metodami oceny właściwości kruszyw stosowanych do betonów i mieszanek mineralno asfaltowych. Wyniki analizy wskazują na liczne różnice między metodami badań kruszyw stosowanymi w USA i w Polsce. Konieczne będzie zwracanie na to uwagi w stosowaniu metody MEPDG. Jednakże należy zwrócić uwagę, że w projektowaniu konstrukcji nawierzchni decydujące są właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych lub betonów. Dane o kruszywach są w tym wypadku mniej istotne. Charakterystyka kruszywa zależy bowiem od jego pochodzenia, a to może oznaczać, że

kruszywa produkowane z takich samych skał w USA i w Polsce mogą wykazywać te same właściwości, choć mierzone różnymi metodami.

Zadanie 8 miało na celu przygotowanie wybranych mieszanek mineralno-asfaltowych do wykonania badań porównawczych metodami obowiązującymi w Polsce i w USA. Wybrano mieszanki m-a najczęściej stosowane w Polsce z asfaltami zwykłymi i modyfikowanymi polimerami. Mieszanki poddano badaniom według metod stosowanych w Polsce. W początku roku 2012 zostaną uzupełnione badania metodami stosowanymi w USA do wykorzystania w projektowaniu metodą MEPDG na najwyższym poziomie hierarchicznym. Uzyskane dane zostaną wykorzystane w projektowaniu konstrukcji nawierzchni z kolejnym etapie pracy. Dobór mieszanek uwzględnia projektowanie nawierzchni pod bardzo ciężki, jak też lekki ruch pojazdów.

W Zadaniu 9 dokonano analizy porównawczej metod badań i właściwości mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym HBM, obejmujących mieszanki kruszyw lub grunty z dodatkiem spoiw, które twardnieją pod wpływem reakcji chemicznych (np. cement, wapno, aktywne popioły lotne, hydrauliczne spoiwa drogowe). Uwzględniono mieszanki o niskiej wytrzymałości na ściskanie (stabilizowane grunty *R*c=5MPa) i mieszanki o większej wytrzymałości (kruszywa związane hydraulicznie *R*c>5.0 MPa), np. chude betony i betony wyższych marek. Przedstawiono zestawienie norm ASTM i AASHTO i dobrano normy polskie PN lub PN-EN odpowiadające lub najbardziej zbliżone do norm amerykańskich. W MEPDG obowiązuje hierarchiczny poziom danych wejściowych, 1, 2 lub 3. Dla każdego poziomu danych przyjęto metodę badania PN lub PN-EN zgodną lub najbardziej zbliżoną do metod stosowanych w MEPDG. Stwierdzono, że moduł sprężystości mieszanek związanych hydraulicznie według badań IBDiM jest znacznie wyższy niż określony w metodzie MEPDG. Będzie to wymagało odrębnej analizy.

Zadanie 10 dotyczy oceny stanu nawierzchni pod kątem wzmacniania konstrukcji nawierzchni. Wymaga to szczegółowego zbioru danych o aktualnym stanie nawierzchni. Metoda MEPDG, oprócz algorytmów wprost odnoszących się do projektowania konstrukcji nawierzchni, zawiera również procedury i zalecenia określające zakres danych wejściowych, niezbędnych w procesie definiowania technologii odnowy nawierzchni. W ramach Zadania wykonano przegląd wymagań MEPDG dotyczących badań istniejących nawierzchni drogowych, ocenę różnic metod pomiarowych proponowanych w MEPDG i dostępnych w Polsce oraz wstępną analizę wpływu wprowadzenia innych (nowszych) metod badawczych na wyniki uzyskiwane w MEPDG. W celu uzyskania wiarygodnych danych do analizy porównawczej wykonano badania terenowe na wytypowanych odcinkach testowych według wstępnie przyjętego algorytmu oceny stanu nawierzchni oraz przygotowano metodykę oceny właściwości dla potrzeb wdrażanej metody MEPDG. W metodyce uwzględniono ogólny przegląd odcinka, ocenę wizualną, pomiary nieniszczące NDT (pomiar ugięć, pomiar georadarowy, pomiar profilu (równości podłużnej, poprzecznej i tekstury) metodą profilometryczną, pomiar szorstkości) oraz pomiary niszczące (wykonanie odwiertów lub odkrywek w celu pobrania próbek materiałów lub wykonania badań sondą DCP).

Analiza wymagań dotyczących sprzętu stosowanego do diagnostyki nawierzchni w ramach MEPDG wskazała, że nie ma istotnych różnic co do metodyki pomiarowej. Urządzenia takie jak FWD (Falling Weight Deflectometer), GPR (Ground Penetrating Radar), czy pomiar profilu metodami profilometrycznymi są szeroko stosowane zarówno w Europie jak i w Polsce.

Największe wątpliwości budzi stosowanie trzeciego poziomu (najniższego) hierarchicznego MEPDG uwzględniającego możliwość wykorzystania danych archiwalnych jako bazowych i jednocześnie jedynych w projektowaniu wzmocnienia odcinków. Potrzebne w tym celu dane są rzadko możliwe do uzyskania z uwagi na brak systematycznej oceny stanu i tworzenia baz danych przez zarządcó11 dróg w Polsce.

TN-253: Przystosowanie do polskich warunków Mechanistyczno-Empirycznej Metody Projektowania Nawierzchni Asfaltowych MEPDG (USA). Zadania 3-10

Ogólnym istniejący problemem w stosowaniu MEPDG jest ograniczenie obecnej wersji programu według miar amerykańskich. W przyszłości przewidywane jest stworzenie wersji zgodnie z systemem SI.

Ostatecznym wnioskiem wynikającym z dokonanego przeglądu porównawczego metod stosowanych w Polsce i USA wynika, że możliwe jest (choć trudne) stosowanie metody MEPDG na podstawie danych uzyskiwanych metodami stosowanymi w Polsce z uzupełnieniem o pewne metody badawcze stosowane w USA. Dotyczy to przede wszystkim projektowania konstrukcji nawierzchni na najwyższym poziomie hierarchicznym - 1. Problem ten jest niemal nieistotny w przypadku poziomu najniższego - 3.

Bardziej szczegółowych wniosków można oczekiwać po wykonaniu etapu 3 obejmującego analizy projektowe metodą MEPDG w ramach prac w 2012 roku.

12 Załączniki – Recepty mieszanek mineralno-asfaltowych

Załącznik 1: Recepta nr TN/MEPDG/11-1
Załącznik 2: Recepta nr TN/MEPDG/11-2T
Załącznik 3: Recepta nr TN/MEPDG/11-2
Załącznik 4: Recepta nr TN/MEPDG/11-3
Załącznik 5: Recepta nr TN/MEPDG/11-4
Załącznik 6: Recepta nr TN/MEPDG/11-5
Załącznik 7: Recepta nr TN/MEPDG/11-6

---

1 PN-EN 1426 Asfalty i lepiszcza asfaltowe -- Oznaczanie penetracji igłą

2 PN-EN 1427 Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczenie temperatury mięknienia. Metoda Pierścień i Kula

3 PN-EN 12593 Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie temperatury łamliwości Fraassa

4 ASTM D4402 - 06 Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer

5 PN-EN 14770:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe -- Oznaczanie zespolonego modułu ścinania i kąta przesunięcia fazowego w reometrze dynamicznego ścinania (DSR)

6 PN-EN 14771:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe -- Oznaczanie sztywności pełzania przy zginaniu -- Reometr zginanej belki (BBR)

7 PN-EN 14769:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe -- Przyśpieszone starzenie długoterminowe/kondycjonowanie w komorze starzenia ciśnieniowego (PAV)

8 PN-EN 12607-1:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe -- Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza -- Część 1: Metoda RTFOT

9 Pfeiffer J.P., van Doormaal P.M.: Journal of Institute of Petroleum. Vol. 22/1936

10 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych WT-2 – Nawierzchnie asfaltowe – 2010, Warszawa 2010

11 PN-EN 12697-5 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 5: Oznaczanie gęstości

12 PN-EN 12697-6 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej

13 PN-EN 12697-12, Mieszanki mineralno-asfaltowe –Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 12: Określenie wrażliwości próbek asfaltowych na działanie wody

14 PN-EN 12697-23, Mieszanki mineralno-asfaltowe –Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 23: Określenie pośredniej wytrzymałości na rozciąganie próbek asfaltowych

15 PN-EN 12697-26, Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 26: Sztywność

16 PN-EN 12697-24, Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 24: Odporność na zmęczenie

17 PN-EN 12697-22, Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 22: Koleinowanie

Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni

Zadanie 11-1: Przeprowadzenie badań weryfikujących przyjęte metody zastępcze charakterystyki materiałów, część 1

W ramach tematu TN-253: Przystosowanie do polskich warunków Mechanistyczno-Empirycznej Metody Projektowania Nawierzchni Asfaltowych MEPDG (USA)

Opracowali:

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski
dr inż. Wojciech Bańkowski
dr inż. Marcin Gajewski
mgr inż. Maciej Maliszewski
mgr inż. Renata Horodecka
Krzysztof Mirski

Kierownik Zakładu
Technologii Nawierzchni

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, czerwiec 2012 r.

Spis treści

1 Wprowadzenie 2
2 Mieszanki mineralno-asfaltowe do warstw wiążących i podbudowy nawierzchni 2
2.1 Moduł dynamiczny (zespolony) 2
2.1.1 Zastosowanie 2
2.1.2 Opis metody badania 3
2.1.3 Dobór metody badawczej do polskich warunków 5
2.2 Badanie pełzania (Creep Test) 7
2.2.1 Zastosowanie 7
2.2.2 Opis metody 8
2.3 Wyniki badań 10
2.3.1 Moduł dynamiczny 10
2.3.2 Pełzanie (Creep Test) 16
3 Mieszanki związane hydraulicznie spoiwami stosowane w podbudowach i ulepszonym podłożu drogowym 17
3.1 Wstęp 17
3.2 Program badań - założenia 17
3.3 Próbki do badań 20
3.4 Wyniki badań 22
3.4.1 Wyniki badań próbek gruntu 22
3.4.2 Wyniki badań mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym 37
4 Bibliografia 41

1 Wprowadzenie

W sprawozdaniu przedstawiono pierwszą część badań dodatkowych materiałów, których celem jest porównanie wyników badań metodami stosowanymi w Polsce i w MEPDG.

Przeprowadzono wstępne badania wybranych mieszanek mineralno-asfaltowych do warstw wiążących i podbudowy oraz mieszanek związanych spoiwami hydraulicznymi do warstw podbudowy i ulepszonego podłoża.

Dalsze badania będą przeprowadzone w ramach Zadania 11-2.

2 Mieszanki mineralno-asfaltowe do warstw wiążących i podbudowy nawierzchni

W poprzednim etapie pracy przeprowadzono badania podstawowe i funkcjonalne wybranych mieszanek mineralno-asfaltowych. Analiza założeń metody projektowanie wg MEPDG pozwoliła stwierdzić, że konieczne jest wykonanie badań dodatkowych, których wyniki są niezbędne do projektowania konstrukcji nawierzchni drogowych. Do badań tych należą:

- Moduł dynamiczny wg AASHTO TP62[1],
- Wytrzymałość na rozciąganie wg AASHTO T 322 [2],
- Podatność pełzania wg AASHTO T 322.

2.1 Moduł dynamiczny (zespolony)

2.1.1 Zastosowanie

Moduł dynamiczny jest parametrem charakteryzującym lepkosprężyste zachowanie mieszanek mineralno-asfaltowych, niezbędnym do przeprowadzenia obliczeń niezależnie od przyjętego poziomu. W normach europejskich moduł dynamiczny określany jest terminem moduł zespolony. Badanie prowadzone jest w szerokim zakresie temperatur i częstotliwości, co umożliwia wykorzystanie w dowolnych warunkach temperatury i obciążenia.

Badania laboratoryjne modułu dynamicznego nie są konieczne w przypadku projektowania wzmocnień, ponieważ wymaga się przeprowadzenia testów na próbkach nienaruszonych próbkach. Wartości modułów mogą być większe niż te uzyskane dla nowych mieszanek, co może sugerować brak zniszczeń istniejącej warstwy, dlatego zaleca się określanie modułów na podstawie pomiaru czaszy ugięć.

Moduł dynamiczny jest używany do obliczania poziomych i pionowych odkształceń na krytycznej głębokości do określenia maksymalnej trwałej deformacji w każdej warstwie i lokalizacji maksymalnej szkody zmęczeniowej w warstwach mma. W przypadku pęknięć poprzecznych (pęknięcia niezależne od obciążenia) program oblicza cogodzinną temperaturę, która służy do oszacowania właściwości mma (podatność na pełzanie, wytrzymałość na rozciąganie pośrednie) potrzebnych do obliczenia naprężeń rozciągających w warstwie ścieralnej z mma.

Moduł dynamiczny jest również wykorzystywany w modelu przewidywania spękań siatkowych i podłużnych. Zakłada się, że spękania siatkowe lub powierzchniowe rozpoczynają się w spodzie warstw asfaltowych i propagują pod ciężkim ruchem aż do warstwy ścieralnej. Natomiast pęknięcia podłużne inicjowane są na powierzchni. Dopuszczalna liczba zadanych obciążeń osi potrzebnych do określenia przyrostu wskaźnika uszkodzenia do przewidywania obydwu rodzajów pęknięć podana jest równanie:

$$N_{f-HMA} = k_{f1}(C)(C_H)\beta_{f1}(\varepsilon_t)^{k_{f2}\beta_{f2}}(E_{HMA})^{k_{f3}\beta_{f3}} \qquad \textbf{Równanie 1}$$

w którym:

$N_{f\text{-}HMA}$ – dopuszczalna liczba zadanych obciążeń osi dla nawierzchni podatnych i nakładek z mma,

ε_t – odkształcenie rozciągające w krytycznych lokalizacjach obliczone wg modelu reakcji konstrukcji, cal/cal,

E_{HMA} – moduł dynamiczny mma mierzony w ściskaniu, psi

k_{f1}, k_{f2}, k_{f3} – parametry globalnej kalibracji terenowej (wg powtórnej kalibracji NCHRP 1-40D; k_{f1} = 0,007566; k_{f2} = -3,9492, k_{f3} = -1,281) oraz

β_{1r}, β_{2r}, β_{3r} = stałe lokalne lub kalibracji terenowej mieszanki; w przypadku kalibracji globalnej stałe te są przyjmowane równe 1,

$$C = 10^M \qquad \textbf{Równanie 2}$$

$$M = 4{,}84\left(\frac{V_{be}}{V_a+V_{be}} - 0{,}69\right) \qquad \textbf{Równanie 3}$$

w którym:

V_{be} – efektywna zawartość asfaltu objętościowo, %,

V_a – procentowa zawartość wolnych przestrzeni w mma,

C_H – współczynnik korygujący grubość w zależności od rodzaju pęknięcia.

W przypadku pęknięcia od dołu do góry:

$$C_H = \frac{1}{0{,}000398+\frac{0{,}003602}{1+e^{(11{,}02-3{,}49H_{HMA})}}} \qquad \textbf{Równanie 4}$$

W przypadku pęknięcia z góry do dołu lub podłużnego:

$$C_H = \frac{1}{0{,}01+\frac{12{,}00}{1+e^{(15{,}676-2{,}8186H_{HMA})}}} \qquad \textbf{Równanie 5}$$

w którym:

H_{HMA} – całkowita grubość warstw z mma, cale

2.1.2 Opis metody badania

Badanie można przeprowadzać na próbkach przygotowanych w laboratorium lub wycinanych z nawierzchni. Stosunek wysokości do średnicy próbki powinien wynosić od 1 do 2. Minimalna średnica wynosi 101,6 mm, a wartość ta powinna być co najmniej 4 razy większa niż średnica najgrubszego ziarna w mieszance. Liczba próbek powinna wynosić:

- 3 dla próbek laboratoryjnych,
- 6 dla próbek wycinanych z nawierzchni.

Badanie polega na cyklicznym obciążaniu próbki w warunkach osiowego ściskania. Obciążenie przykładane jest prostopadle do podstawy próbki. Podczas badania rejestrowany jest czas, siła i przemieszczenie. Obliczane są następujące wartości:

<u>Naprężenie ściskające, [kPa]:</u>

$$\sigma_o = \frac{P}{A} \qquad \textbf{Równanie 6}$$

w którym:

P – średnia wartość amplitudy obciążenia [kN],

A – pole podstawy próbki [m^2].

Odkształcenie sprężyste, [mm/mm]:

$$\varepsilon_o = \frac{d}{H} \qquad \textbf{Równanie 7}$$

w którym:
d – średnie przemieszczenie sprężyste [mm],
H – wysokość próbki [mm].

Moduł zespolony, [kPa]:

$$E^* = \frac{\sigma_o}{\varepsilon_o} \qquad \textbf{Równanie 8}$$

Wynikiem badania jest moduł sztywności i kąt przesunięcia fazowego. Zespolony moduł sztywności E* jest liczbą zespoloną, którą można opisać równaniem:

$$E^* = E' + iE'' \qquad \textbf{Równanie 9}$$

w którym:

$$E' = |E^*| \cos\varphi \qquad \textbf{Równanie 10}$$

$$E'' = |E^*| \sin\varphi \qquad \textbf{Równanie 11}$$

Składowe części modułu zespolonego są następujące:

E’ – część rzeczywista (sprężysta),

E’’ – część urojona (lepka).

Obie składowe modułu zespolonego związane są wartością kąta przesunięcia fazowego wg równania:

$$tg\varphi = \frac{E''}{E'} \qquad \textbf{Równanie 12}$$

w którym:

φ - kąt przesunięcia fazowego, °.

Moduł sztywności jest wartością bezwzględną zespolonego modułu sztywności. Kąt przesunięcia fazowego stanowi informację o przewadze właściwości lepkich lub sprężystych w materiale: niższa jego wartość tym materiał bardziej sprężysty. Wartość kąta przesunięcia fazowego może wynosić od 0 (stal) do 90° (ciecze).

Kąt przesunięcia fazowego wynika z faktu, iż w ciałach lepkosprężystych odkształcenie pojawia się z pewnym opóźnieniem w stosunku do obciążenia. Jako kryterium oceny lepkosprężystych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych przyjmuje się wartość tangensa kąta przesunięcia fazowego:

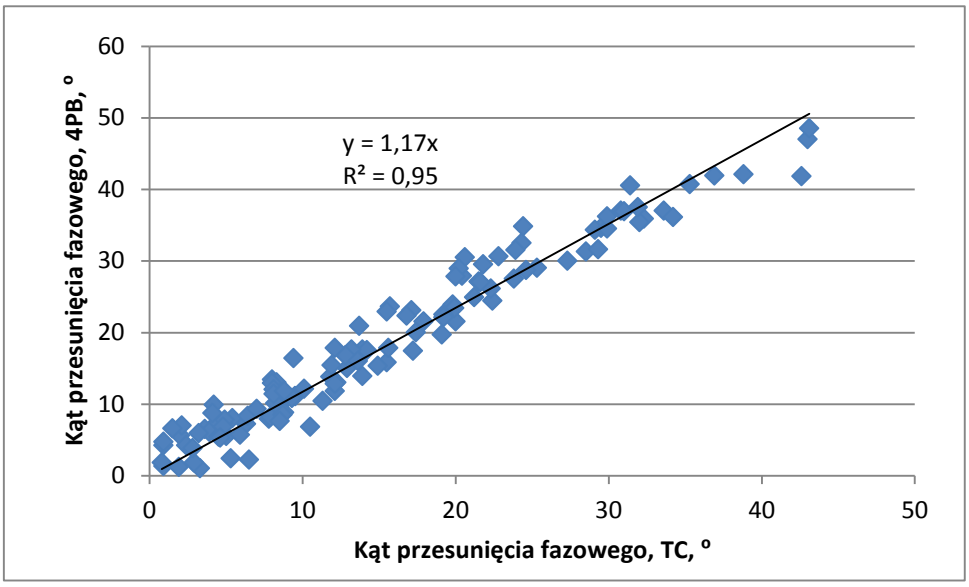
- w materiałach lepkich ϕ =90˚, tg ϕ =∞,

- w materiałach sprężystych $\phi = 0^{\circ}$, $\operatorname{tg}\phi = 0$,
- w materiałach lepkosprężystych $0^{\circ} < \phi < 90^{\circ}$, $0^{\circ} < \operatorname{tg}\phi < \infty$.

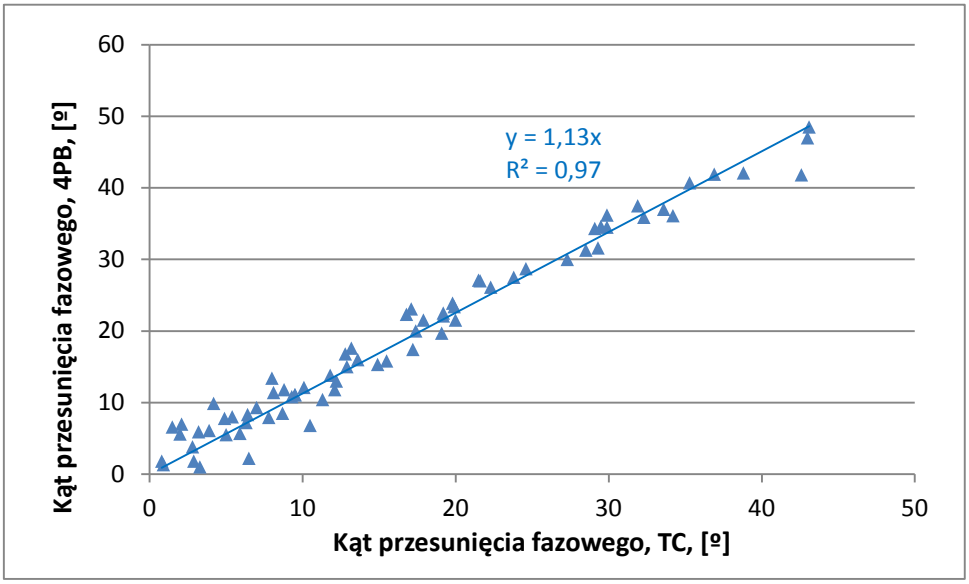
2.1.3 Dobór metody badawczej do polskich warunków

Wyznaczanie modułu dynamicznego (zespolonego) w szerokim zakresie temperatury i częstotliwości obciążenia nie jest w Polsce powszechnie przeprowadzane, wykonywane jest raczej na okoliczność prac naukowo-badawczych. W ostatnich latach w związku z upowszechnieniem się stosowania betonu asfaltowego o wysokim module sztywności wykonywane są badania modułu zespolonego metodą belki czteropunktowo zginanej (4PB) [3]. Badania sprowadzają się do sprawdzenia sztywności w jednej częstotliwości i temperaturze. Sprzęt jest jednak dość powszechnie stosowany i dostępny. Badanie metodą jednoosiowego ściskania nie jest w Polsce powszechnie stosowane, sprzęt jest dostępny w niewielu placówkach badawczych. Wobec powyższego proponujemy, aby dla potrzeb projektowania nawierzchni metodą MEPDG moduł dynamiczny badany był metodą 4PB. Zaletą tej metody jest powszechna dostępność sprzętu do badań oraz dobra korelacja z wynikami metodą jednoosiowego ściskania, co zostało potwierdzone w pracy badawczej zrealizowanej na zlecenie GDDKiA w roku 2009 [4]. Niezależnie jednak od temperatury badania i częstotliwości współczynnik proporcjonalności pomiędzy wynikami metodą 4PB a jednoosiowym ściskaniem zmienia się w niewielkim zakresie (około 0,4-0,45). Efektem tego jest uzyskanie bardzo wysokich wartości R^2 przy analizie regresji wyników ze wszystkich temperatur razem (od 0,94 do 0,98). Zauważono również, że podział na mieszanki ze względu na typ asfaltu (drogowy/modyfikowany) wpływa nieznacznie na współczynnik determinacji regresji. Współczynnik proporcjonalności wynoszący przykładowo przy częstotliwości 10 Hz kolejno 0,44 (wszystkie mma), 0,43 (mma z asfaltami drogowymi) oraz 0,46 (mma z polimeroasfaltem) pomiędzy wynikami 4PB a TC nie wskazuje na konieczność podziału na mieszanki ze względu na typ asfaltu. Ostatecznie zaproponowano przyjęcie współczynnika przeliczeniowego $E_{4PB}/E_{TC} = 0,45$, niezależnie od częstotliwości, temperatury i rodzaju materiałów.

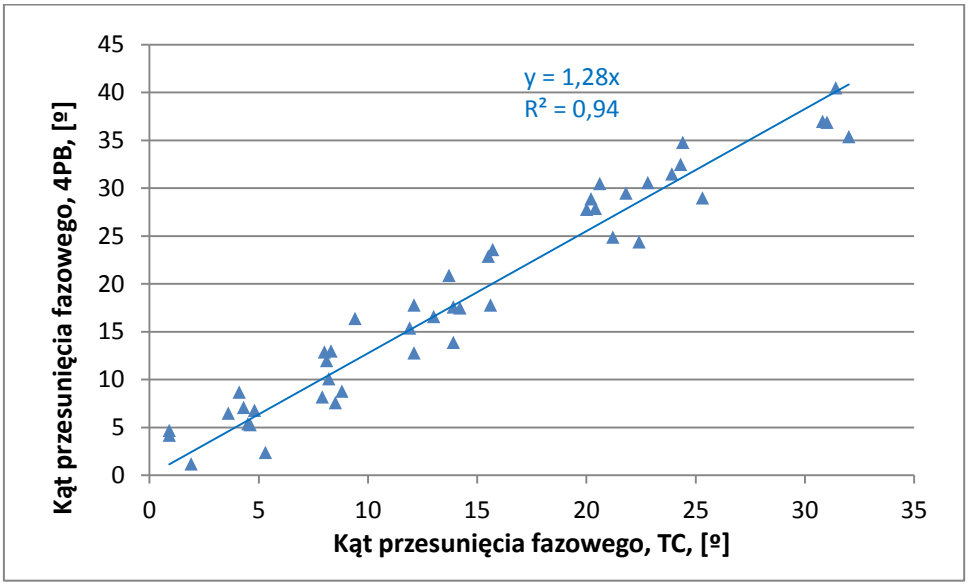
W przywołanej powyżej pracy badawczej nie analizowano zależności pomiędzy wynikami kąta przesunięcia fazowego wyznaczonymi metodą belki czteropunktowo zginanej i jednoosiowego ściskania (TC). W związku z przyjętym wykorzystania metody 4PB do celów MEPDG, analiza taka jest jednak konieczna. Na rysunkach 1-3 przedstawiono porównanie wyników kąta przesunięcia fazowego wg metody 4PB i TC w trzech wariantach: dla zbioru wszystkich wyników, dla mieszanek z asfaltami zwykłymi i mieszanek z polimeroasfaltem.



Rysunek 1. Porównanie wyników kąta przesunięcia fazowego metodą 4PB i TC – wszystkie mieszanki



Rysunek 2 Porównanie wyników kąta przesunięcia fazowego metodą 4PB i TC – wszystkie z asfaltem zwykłym



Rysunek 3 Porównanie wyników kąta przesunięcia fazowego metodą 4PB i TC – wszystkie mieszanki z polimeroasfaltem

Na podstawie przedstawionych wyników proponuje się przyjąć współczynnik przeliczeniowy (współczynnik proporcjonalności) kąta przesunięcia fazowego metodą 4PB do TC na poziomie 1,13 dla mieszanek z asfaltem zwykłym i 1,28 dla mieszanek z polimeroasfaltem:

- Mieszanki mineralno-asfaltowe z asfaltem zwykłym: $\frac{\varphi_{4PB}}{\varphi_{TC}} = 1{,}13$
- Mieszanki mineralno-asfaltowe z polimeroasfaltem: $\frac{\varphi_{4PB}}{\varphi_{TC}} = 1{,}28$

2.2 Badanie pełzania (Creep Test)

2.2.1 Zastosowanie

Badanie to zostało opracowane w ramach programu SHRP [5] i opisana w normie amerykańskiej AASHTO T322. Służy do oceny odporności na spękania niskotemperaturowe mieszanek mineralno-asfaltowych. Wyniki pełzania i wytrzymałości na rozciąganie są niezbędne w metodzie SHRP Superpave do wyznaczenia krzywej wiodącej modułu relaksacji i parametrów pękania. Krzywa wiodąca modułu relaksacji określa rozwój spękań termicznych, natomiast parametr pęknięcia stanowi informację o odporności mieszanki na spękania niskotemperaturowe. Badanie pełzania przeprowadza się w temperaturze 0, -10 i -20ºC, na próbkach walcowych o wysokości 38-50 mm i średnicy 141-159 mm. Podczas badania mierzone są osiowe i poprzeczne odkształcenia próbki. Obciążenie powinno być tak dobrane, aby odkształcenia poprzeczne zawierały się w przedziale od 0,00125 do 0,0190 mm. Czas badania wynosi 1000s. Każda próbka poddawana jest następnie w tej samej temperaturze badaniu wytrzymałości na rozciąganie. Uzyskane wyniki pełzania i wytrzymałości na rozciąganie wykorzystuje się do obliczenia współczynnika Poissona i podatności pełzania.

W metodzie MEPDG badanie pełzania i wytrzymałości na rozciąganie są wykorzystywane w prognozowaniu spękań poprzecznych termicznych niezwiązanych z obciążeniem od pojazdów.

Model pękania termicznego jest zaawansowaną wersją metody opracowanej w ramach kontraktu badawczego SHRP A-005. Wielkość propagacji pęknięcia spowodowanego przez określony cykl chłodzenia jest prognozowana przy zastosowaniu prawa Parisa propagacji pęknięcia.

$$\Delta \boldsymbol{C} = \boldsymbol{A}(\Delta \boldsymbol{K})^{\boldsymbol{n}} \qquad \textbf{Równanie 13}$$

w którym:

ΔC = zmiana w głębokości pęknięcia na skutek cyklu chłodzenia,

ΔK = zmiana współczynnika intensywności naprężeń na skutek cyklu chłodzenia,

A, n = parametry pęknięcia mma.

Wyniki doświadczalne wskazują, że właściwe wartości A i n mogą być uzyskane z badania podatności pełzania w rozciąganiu pośrednim i wytrzymałości mma zgodnie z równaniami:

$$A = 10^{k_z \beta_z (4.389 - 2{,}52 Log(E_{HMA} \sigma_m n))} \qquad \textbf{Równanie 14}$$

$$\eta = 0{,}8\left[1 + \frac{1}{m}\right] \qquad \textbf{Równanie 15}$$

w którym:

k_t = współczynnik otrzymany z procesu globalnej kalibracji dla każdego poziomu (Level 1 = 5, Level 2 = 1.5, Level 3 = 3)

E_{HMA} = moduł rozciągania pośredniego mma, psi

σ_m = wytrzymałość mieszanki na rozciąganie, psi

m = wartość m uzyskana z krzywej podatności pełzania w rozciąganiu pośrednim (*indirect tensile creep-compliance curie*) w laboratorium,

β_t = współczynnik lokalny lub współczynnik kalibracji mieszanki

Współczynnik intensywności naprężeń, *K,* został wprowadzony do stosowania w MEPDG poprzez zastosowanie uproszczonego równania opracowanego w analizach metodą elementów skończonych.

$$K = \sigma_{tip}[0{,}45 + 1{,}99(C_0)^{0{,}56}] \qquad \textbf{Równanie 16}$$

w którym:

σ_{tip} = naprężenie na głębokości końca pęknięcia uzyskane w modelu nawierzchni, psi

C_0 = bieżąca długość pęknięcia, ft.

Stopień spękania jest prognozowany przez MEPDG przy zastosowaniu założonej zależności pomiędzy rozkładem prawdopodobieństwa logarytmu głębokości pęknięcia do grubości warstw asfaltowych i procentem spękań. Równanie poniżej przedstawia zależność używaną do określania intensywności spękań termicznych.

$$TC = \beta_{t1} N\left[\frac{1}{\sigma_d} Log(\frac{C_d}{H_{HMA}})\right] \qquad \textbf{Równanie 17}$$

w którym:

TC = zaobserwowana ilość spękań termicznych, ft/mi,

σ_{t1} = współczynnik regresji obliczony w globalnej kalibracji (400),

N(z) = standardowy rozkład normalny określony na głębokości z,

σ_d = odchylenie standardowe logarytmu głębokości pęknięcia w nawierzchni (0,769), cale,

C_d = głębokość pęknięcia, cale

H_{HMA} = grubość warstw asfaltowych, cale.

2.2.2 Opis metody

Badanie przeprowadza się na próbkach walcowych przygotowanych laboratoryjnie lub wycinanych z nawierzchni. Dla każdej temperatury badania należy przygotować po trzy próbki o gładkich i równoległych podstawach o następujących wymiarach:

- wysokość od 38 do 50 mm,
- średnica 150 ±9 mm.

Oprócz podstawowych elementów stanowiska pomiarowego (maszyny wytrzymałościowej) niezbędne są:

- uchwyty do próbki,
- cztery czujniki LVDT6 do pomiaru przemieszczeń pionowych i poziomych,
- zestaw elementów mocujących czujniki LVDT do próbki.

Próbka poddana zostaje ściskaniu stałą siłą przyłożoną prostopadle do osi próbki. Podczas badania mierzone i rejestrowane są osiowe i poprzeczne przemieszczenia próbki. Następnie każda próbka poddawana jest próbie wytrzymałości na rozciąganie. Na podstawie średnich maksymalnych przemieszczeń i wytrzymałości na rozciąganie oblicza się współczynnik Poissona i podatność pełzania.

Unormowane przemieszczenia poziome $\Delta X_{n,i,t}$ i pionowe $\Delta Y_{n,i,t}$ obliczane są wg następujących równań:

$$\Delta X_{n,i,t} = \Delta X_{i,t} \times \frac{b_n}{b_{śr}} \times \frac{D_n}{D_{śr}} \times \frac{P_{śr}}{P_n} \qquad \textbf{Równanie 18}$$

$$\Delta Y_{n,i,t} = \Delta Y_{i,t} \times \frac{b_n}{b_{śr}} \times \frac{D_n}{D_{śr}} \times \frac{P_{śr}}{P_n} \qquad \textbf{Równanie 19}$$

w których:

$\Delta X_{n,i,t}$ – unormowane przemieszczenia poziome dla poszczególnych powierzchni (i=1 do 6) w czasie t (t=0 do t zakończenia),

$\Delta Y_{n,i,t}$ – unormowane przemieszczenia pionowe dla poszczególnych powierzchni (i=1 do 6) w czasie t (t=0 do t zakończenia),

$\Delta X_{i,t}$ – pomierzone przemieszczenia poziome w czasie t,

$\Delta Y_{n,i,t}$ - pomierzone przemieszczenia pionowe dla i-tej powierzchni w czasie t,

$b_{śr}$, $P_{śr}$, $D_{śr}$ – średnie wartości z trzech pomiarów wysokości, średnicy i siły,

b_n, P_n, D_n – wartości wysokości, średnicy i siły dla poszczególnych próbek (n=1,2,3).

Dla każdej z sześciu powierzchni należy ustalić unormowane przemieszczenia poziome ($\Delta X_{a,i}$) i pionowe ($\Delta Y_{a,i}$) po połowie całkowitego czasu trwania badania:

$$\Delta X_{a,i} = \Delta X_{n,i,0.5t} \qquad \textbf{Równanie 20}$$

$$\Delta Y_{a,i} = \Delta Y_{n,i,0.5t} \qquad \textbf{Równanie 21}$$

$\Delta X_{a,i}$, $\Delta Y_{a,i}$ – średnie odkształcenie poziome lub pionowe,

$\Delta X_{n,i,0.5t}$ – unormowane odkształcenie poziome po połowie czasu badania,

$\Delta Y_{n,i,0.5t}$ – unormowane odkształcenie pionowe po połowie czasu badania.

Uzyskane wartości $\Delta X_{a,i}$ i $\Delta Y_{a,i}$ należy uporządkować według wartości rosnących, a następnie odrzucić skrajne wartości. Z pozostałych wartości należy policzyć średnie wyrównane wartości przemieszczeń poziomych i pionowych:

$$\Delta X_w = \frac{\sum_{j=1}^{4} X_{r,j}}{4} \qquad \textbf{Równanie 22}$$

$$\Delta Y_w = \frac{\sum_{j=1}^{4} Y_{r,j}}{4} \qquad \textbf{Równanie 23}$$

$\Delta X_{r,j}$ – wartości $\Delta X_{a,i}$ w porządku rosnącym,

$\Delta Y_{r,j}$ - wartości $\Delta Y_{a,i}$ w porządku rosnącym,

ΔX_w – średnia wyrównana wartość przemieszczeń poziomych,

ΔY_w – średnia wyrównana wartość przemieszczeń pionowych.

Obliczenie średniego wyrównanego przemieszczenia poziomego $\Delta X_{śr,w}$ z układu sześciu pomierzonych przemieszczeń poziomych:

$$\Delta X_{śr,w} = \frac{\sum_{j=2}^{5} \Delta X_{r,j,t}}{4} \qquad \textbf{Równanie 24}$$

$\Delta X_{r,j,t}$ – wartości $\Delta X_{i,t}$ w porządku rosnącym.

Podatność pełzania:

$$D(t) = \frac{\Delta X_{śr,w} \times D_{śr} \times b_{śr}}{P_{śr} \times L} \times C \qquad \textbf{Równanie 25}$$

D(t) – podatność pełzania w czasie t, kPa^{-1},

L=$38x10^{-3}$ m (dla próbek o średnicy 150 mm),

$$C = 0{,}6354 \times (\frac{\Delta X_w}{\Delta Y_w})^{-1} - 0{,}332$$

$$[0{,}704 - 0{,}213 \cdot (\frac{b_{śr}}{D_{śr}})] \le C \le [1{,}566 - 0{,}195 \cdot (\frac{b_{śr}}{D_{śr}})]$$

Równanie 26

Współczynnik Poissona:

$$\nu = -0{,}10 + 1{,}480 \cdot (\frac{\Delta X_w}{\Delta Y_w})^2 - 0{,}778 \cdot (\frac{b_{śr}}{D_{śr}})^2 \cdot (\frac{\Delta X_w}{\Delta Y_w})^2$$

$$0{,}05 \le \nu \le 0{,}50$$

Równanie 27

Warunki badania są następujące:

- temperatura badania: 0, -10, -20°C,
- obciążenie powinno być tak dobrane, aby przemieszczenia poziome zawierały się w przedziale od 0,00125 do 0,019 mm,
- czas badania - 1000s,
- prędkość ściskania w badaniu wytrzymałości – 12,5 mm/min.

2.3 Wyniki badań

2.3.1 Moduł dynamiczny

W tablicach 1-4 przedstawiono wyniki badań modułu dynamicznego (zespolonego) poszczególnych mieszanek mineralno-asfaltowych objętych programem pracy metodą belki czteropunktowo zginanej (4PB) oraz przeliczenie do metody jednoosiowego ściskania (TC).

Na rysunkach 4-7 przedstawiono krzywe wiodące modułu zespolonego mieszanek na podstawie wyników badań metodą 4PB.

Tablica 1. Wyniki badania modułu dynamicznego mieszanki ACWMS 16 20/30

Temperatura 0 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	12342	2122	12524	9,8	27831	8,7	12341	2132
0,5	13813	2097	13972	8,7	31049	7,7	13811	2113
1	14765	2045	14907	7,9	33127	7,0	14766	2049
2	15665	1966	15789	7,2	35087	6,4	15664	1979
5	16950	1856	17051	6,3	37891	5,6	16948	1871
10	17937	1735	18021	5,5	40047	4,9	17938	1727
20	19627	327	19654	1,0	43676	0,9	19651	343
Temperatura 10 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	7150	2082	7447	16,2	16549	14,3	7151	2078
0,5	8494	2165	8765	14,3	19478	12,7	8493	2165
1	9525	2198	9775	13	21722	11,5	9524	2199
2	10516	2195	10742	11,8	23871	10,4	10515	2197
5	11855	2183	12055	10,4	26789	9,2	11857	2176
10	12950	2126	13123	9,3	29162	8,2	12951	2121
20	13909	1478	14474	5,9	32164	5,2	14397	1488
30	16164	1757	16508	5,1	36684	4,5	16443	1467
Temperatura 20 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	2710	1485	3090	28,8	6867	25,5	2708	1489
0,5	3602	1727	3995	25,6	8878	22,7	3603	1726
1	4400	1898	4792	23,4	10649	20,7	4398	1903
2	5272	2048	5656	21,3	12569	18,8	5270	2055
5	6545	2213	6909	18,7	15353	16,5	6544	2215
10	7617	2302	7957	16,8	17682	14,9	7617	2300
20	9661	2012	9870	11,8	21933	10,4	9661	2018
30	11223	3589	11784	17,7	26187	15,7	11226	3583
Temperatura 30 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	888	701	1131	38,3	2513	33,9	888	701
0,5	1260	915	1557	36	3460	31,9	1260	915
1	1619	1103	1959	34,3	4353	30,4	1618	1104
2	2077	1311	2456	32,3	5458	28,6	2076	1312
5	2858	1603	3277	29,3	7282	25,9	2858	1604
10	3584	1824	4022	27	8938	23,9	3584	1826
20	4593	1873	4962	22,3	11027	19,7	4591	1883
30	4963	2341	5491	25,4	12202	22,5	4960	2355

Tablica 2. Wyniki badania modułu dynamicznego mieszanki ACWMS 16 25/55-60

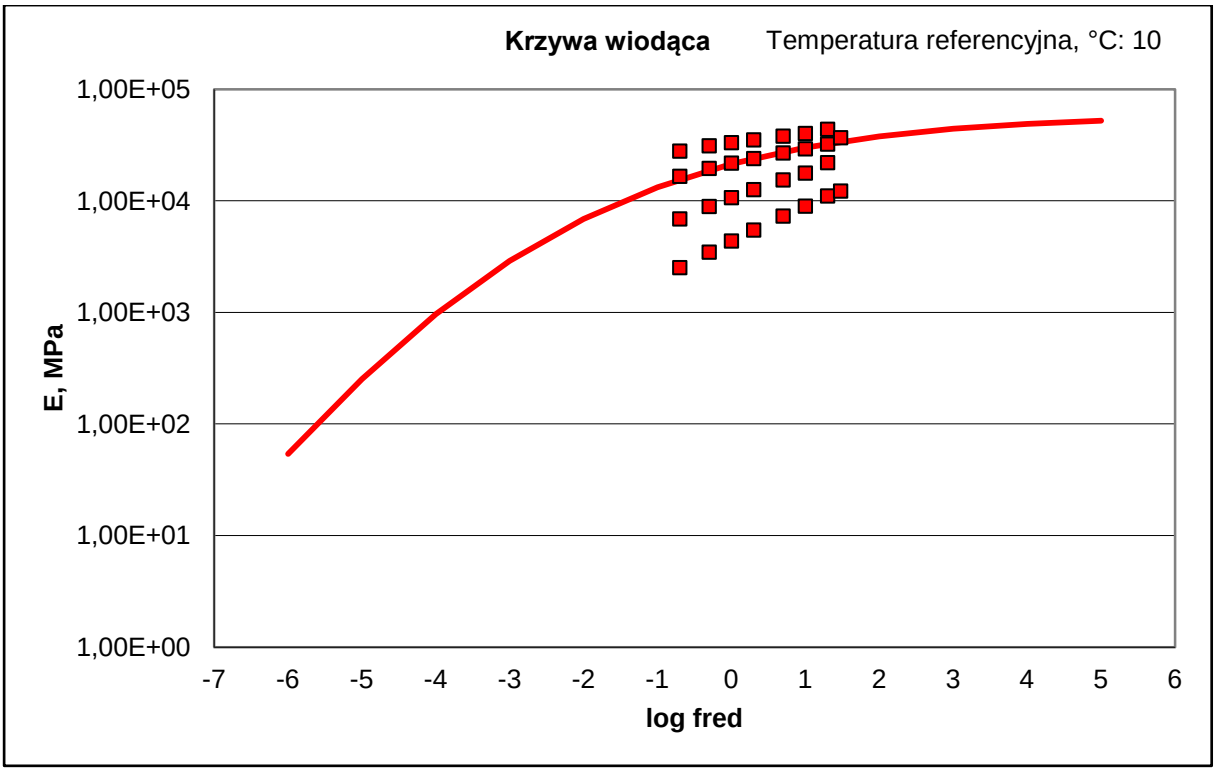
Temperatura 0 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	15768	3449	16141	12,3	35868	10,9	15768	3449
0,5	17148	3379	17478	11,1	38839	9,9	17148	3379
1	18721	3141	18983	9,5	42184	8,4	18721	3141
2	20211	3195	20462	9,0	45472	7,9	20211	3195
5	20600	3057	20826	8,4	46279	7,5	20600	3057
10	21885	2953	22083	7,7	49073	6,8	21885	2953
20	24006	1908	24082	4,5	53515	4,0	24006	1908
30	24238	2435	24360	5,7	54133	5,1	24238	2435
Temperatura 10 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	6753	2477	7193	20,1	15985	17,8	6753	2477
0,5	8498	2734	8927	17,8	19838	15,8	8498	2734
1	9894	2869	10302	16,2	22893	14,3	9894	2869
2	11314	2986	11702	14,8	26004	13,1	11314	2986
5	13259	3090	13614	13,1	30254	11,6	13259	3090
10	14841	3133	15168	11,9	33707	10,5	14841	3133
20	17000	2401	17168	8,0	38152	7,1	17000	2401
30	23574	4384	23978	10,5	53284	9,3	23574	4384
Temperatura 20 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	2121	1531	2616	35,8	5813	31,7	2121	1531
0,5	2925	1947	3514	33,7	7808	29,8	2925	1947
1	3656	2278	4308	31,9	9574	28,3	3656	2278
2	4569	2624	5269	29,9	11709	26,4	4569	2624
5	6022	3061	6755	26,9	15012	23,8	6022	3061
10	7268	3356	8005	24,8	17789	21,9	7268	3356
20	9624	2881	10046	16,7	22325	14,7	9624	2881
30	11020	4349	11847	21,5	26327	19,1	11020	4349
Temperatura 30 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	812	567	990	34,9	2200	30,9	812	567
0,5	1115	771	1355	34,7	3012	30,7	1115	771
1	1422	966	1720	34,2	3821	30,3	1422	966
2	1835	1208	2197	33,4	4883	29,5	1835	1208
5	2564	1583	3014	31,7	6697	28,0	2564	1583
10	3276	1894	3784	30,0	8409	26,6	3276	1894
20	4231	2128	4736	26,7	10525	23,6	4231	2128
30	4766	2514	5388	27,8	11974	24,6	4766	2514

Tablica 3. Wyniki badania modułu dynamicznego mieszanki AC16 W 35/50

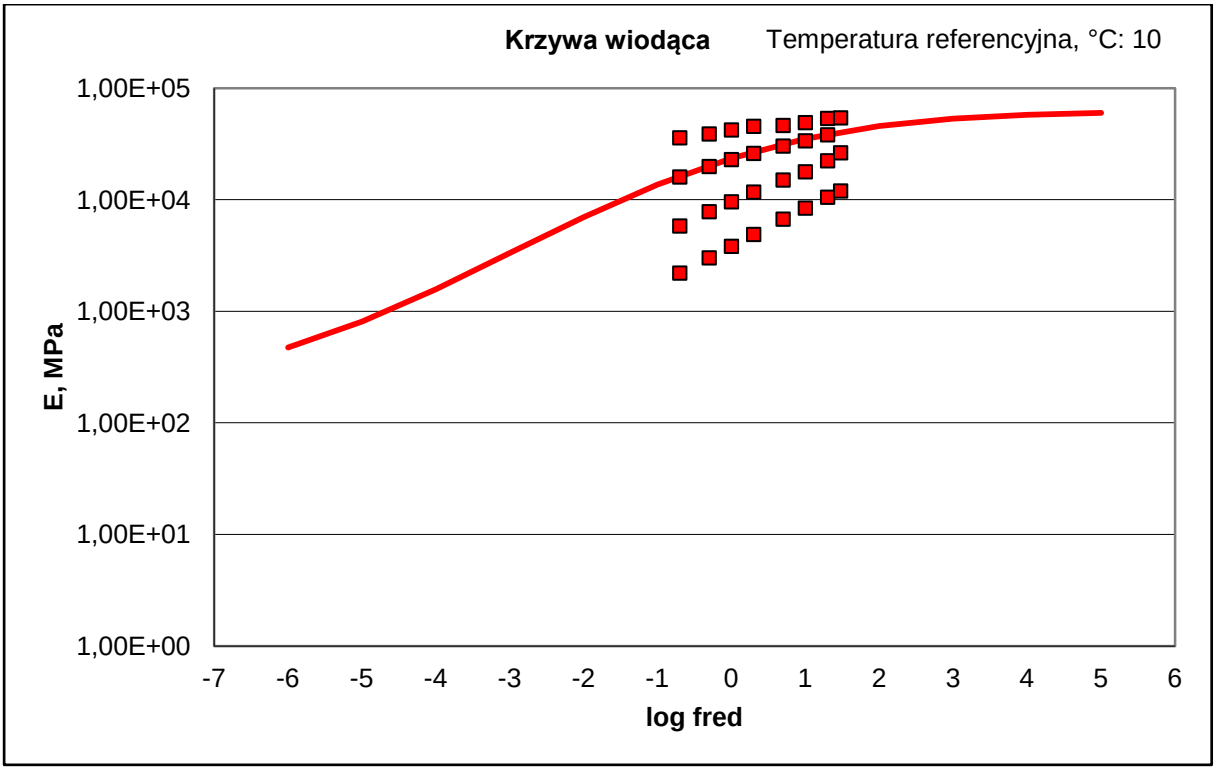
Temperatura 0 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	11533	2632	11830	12,8	26289	11,3	11536	2621
0,5	13277	2609	13531	11,1	30069	9,8	13278	2605
1	14583	2575	14809	10,0	32909	8,8	14584	2572
2	15801	2508	15999	9,0	35553	8,0	15802	2503
5	17439	2408	17604	7,8	39120	6,9	17441	2389
10	18517	2279	18657	7,0	41460	6,2	18518	2274
20	19530	1269	19576	3,5	43502	3,1	19539	1195
Temperatura 10 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	6120	2487	6606	22,1	14680	19,6	6121	2485
0,5	7713	2700	8172	19,3	18160	17,1	7713	2701
1	8992	2814	9422	17,4	20938	15,4	8991	2818
2	10246	2870	10640	15,6	23644	13,8	10248	2861
5	11960	2900	12306	13,6	27347	12,0	11961	2894
10	13364	2873	13669	12,1	30376	10,7	13365	2865
20	15917	1572	16002	5,7	35560	5,0	15923	1589
30	18225	3950	18661	12,4	41469	11,0	18226	4007
Temperatura 20 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	1703	1303	2145	37,4	4767	33,1	1704	1303
0,5	2471	1662	2978	33,9	6618	30,0	2472	1661
1	3196	1945	3741	31,3	8313	27,7	3197	1944
2	4065	2226	4635	28,6	10300	25,3	4069	2219
5	5467	2562	6038	25,1	13418	22,2	5468	2561
10	6686	2778	7240	22,5	16089	19,9	6689	2771
20	8448	2328	8767	15,3	19482	13,5	8456	2313
30	9363	3724	10078	21,6	22396	19,1	9370	3710
Temperatura 30 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	480	442	653	42,7	1451	37,8	480	443
0,5	678	617	917	42,4	2038	37,5	677	618
1	892	797	1197	41,8	2660	37,0	892	798
2	1200	1029	1581	40,6	3513	35,9	1200	1029
5	1768	1397	2253	38,3	5007	33,9	1768	1396
10	2361	1720	2921	36,1	6491	31,9	2360	1721
20	3253	2004	3821	31,6	8491	28,0	3254	2002
30	3470	2299	4162	33,6	9249	29,7	3467	2303

Tablica 4 Wyniki badania modułu dynamicznego mieszanki AC16 P 35/50

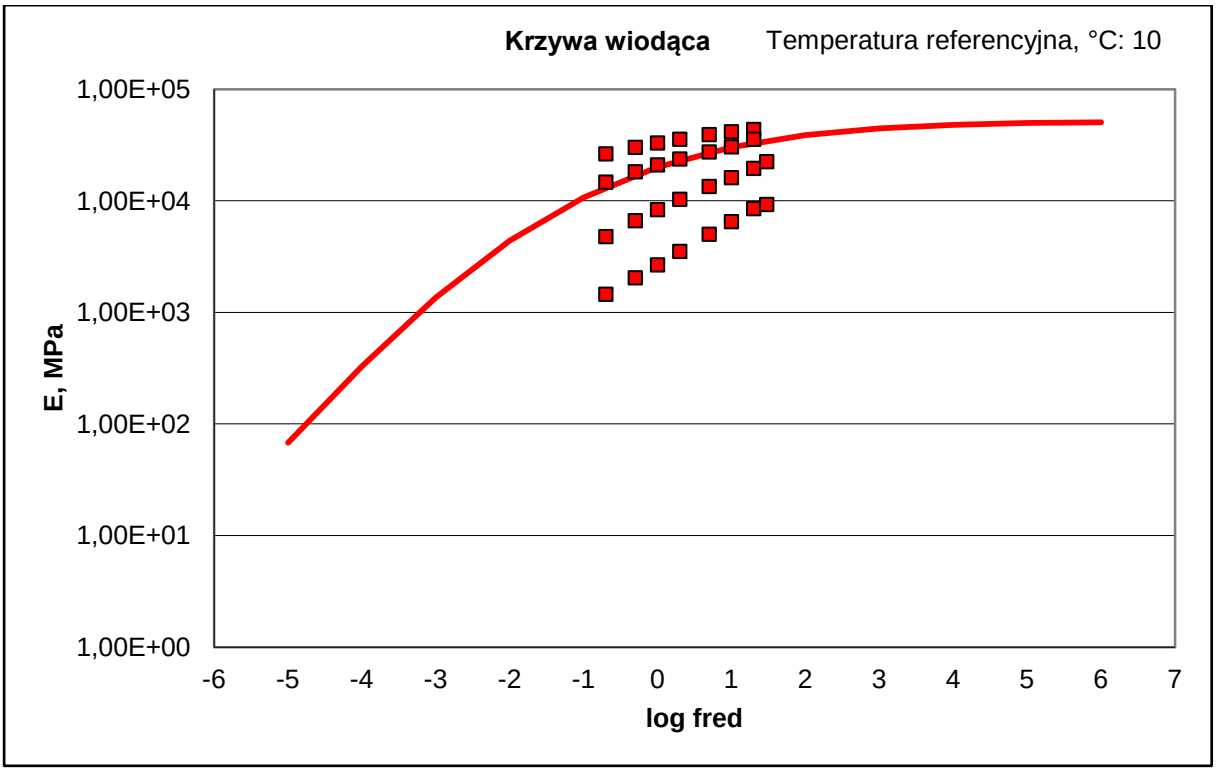
Temperatura 0 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	16446	3147	16745	10,8	37211	9,6	16448	3138
0,5	18577	3070	18829	9,4	41842	8,3	18576	3075
1	20167	3007	20390	8,5	45311	7,5	20166	3014
2	21545	2896	21739	7,7	48309	6,8	21543	2913
5	23418	2736	23577	6,7	52393	5,9	23416	2751
10	24723	2621	24862	6,1	55249	5,4	24721	2642
20	27029	819	27050	1,8	60111	1,6	27037	850
Temperatura 10 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	8433	3097	8984	20,2	19964	17,9	8431	3102
0,5	10446	3314	10960	17,6	24356	15,6	10447	3314
1	12004	3403	12477	15,8	27727	14,0	12006	3397
2	13545	3425	13972	14,2	31049	12,6	13545	3427
5	15631	3430	16003	12,4	35562	11,0	15630	3436
10	17299	3398	17630	11,1	39178	9,8	17300	3394
20	19790	731	19827	2,2	44060	1,9	19812	761
30	24434	5221	24986	12,1	55524	10,7	24431	5238
Temperatura 20 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	2466	1781	3042	35,9	6760	31,8	2464	1784
0,5	3491	2230	4142	32,6	9204	28,8	3489	2232
1	4453	2573	5143	30	11429	26,5	4454	2572
2	5611	2894	6313	27,3	14029	24,2	5610	2895
5	7408	3283	8103	23,9	18007	21,2	7408	3283
10	8943	3519	9610	21,5	21356	19,0	8941	3522
20	11316	3237	11771	16,0	26158	14,2	11315	3245
30	12579	4339	13313	19,0	29584	16,8	12588	4334
Temperatura 30 °C								
Częst.	4PB				TC			
Hz	**E1**	**E2**	**E**	**Kąt**	**E**	**Kąt**	**E1**	**E2**
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
0,2	722	684	995	43,4	2211	38,4	723	684
0,5	1051	975	1433	42,8	3184	37,9	1051	974
1	1390	1257	1874	42,1	4164	37,3	1390	1256
2	1859	1584	2443	40,4	5429	35,8	1860	1583
5	2741	2085	3444	37,2	7653	32,9	2743	2082
10	3616	2489	4390	34,5	9756	30,5	3618	2487
20	4879	2667	5561	28,7	12358	25,4	4878	2671
30	5377	3168	6241	30,5	13869	27,0	5377	3168



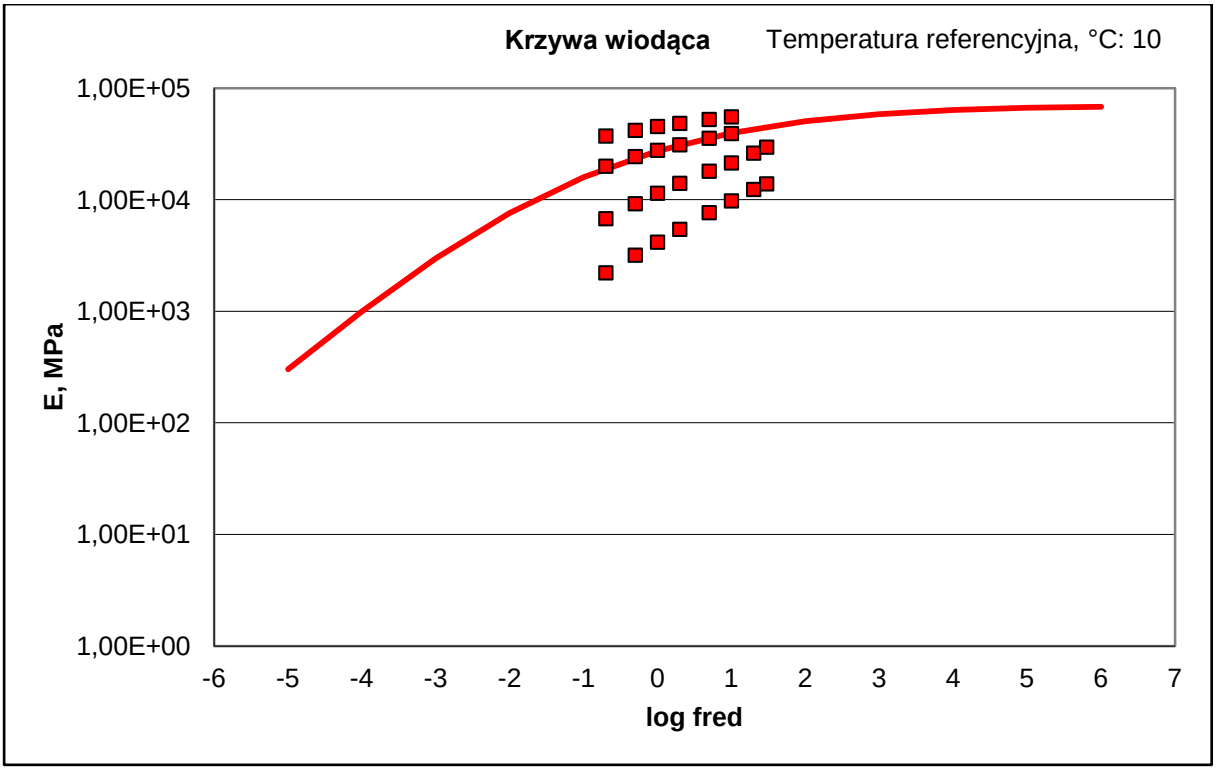
Rysunek 4 Krzywa wiodąca modułu sztywności mieszanki ACWMS16 20/30



Rysunek 5 Krzywa wiodąca modułu sztywności mieszanki ACWMS16 25/55-60



Rysunek 6 Krzywa wiodąca modułu sztywności mieszanki AC16 W 35/50



Rysunek 7 Krzywa wiodąca modułu sztywności mieszanki AC16 P 35/50

2.3.2 Pełzanie (Creep Test)

Badania w trakcie realizacji

3 Mieszanki związane hydraulicznie spoiwami stosowane w podbudowach i ulepszonym podłożu drogowym

3.1 Wstęp

Wymiarowanie mechanistyczne nawierzchni drogowych opiera się na właściwościach sprężystych warstw drogowych. We wszystkich przyjmowanych modelach obliczeniowych uwzględnia się moduły sprężystości *E* warstw konstrukcji drogowej. W niniejszej części pracy wykonano badania mieszanek związanych hydraulicznie (HBM) (ang. hydraulically bound mixtures) metodą pośredniego rozciągania (rozłupywania) wg PN EN 12697-26 [7], z dostosowaniem jej do specyficznych właściwości mieszanek związanych hydraulicznie. Specyficzne właściwości to: duża sztywność, kruchość oraz wysoka wartość modułu sprężystości, nawet przy małej wytrzymałości na ściskanie (R_c). Prace badawcze [Marrani, Lancieri][8] wykazali, że odkształcenie badawcze (dla mieszanek związanych cementem), powinno być mniejsze niż 0,005%, jakie stosuje się w przypadku badań mieszanek asfaltowych. Wynika to z większej sztywności i kruchości mieszanek związanych hydraulicznie. Badania przeprowadzono stosując obciążenie F=0.3F_{max} (F_{max}–siła niszcząca) wywołujące odkształcenie od 0,001 do 0,002%, powtarzane w 5 cyklach obciążeniowych określając sztywność sprężystą (resilient modulus). Badania przeprowadzono dla typowych materiałów związanych hydraulicznie stosowanych w konstrukcjach drogowych w Polsce w celu porównania wyników z zależnościami podanymi w podręczniku MEPDG (tablica 5).

Tablica 5. Typowe materiały związane hydraulicznie

Materiał	Zależności do obliczania modułu	Metoda badania
Beton chudy i kruszywo stabilizowane cementem	$E = 57000\ (f_c)^{0.5}$	AASHTO T22
Porowata stabilizacja cementem kruszywa	Przyjąć poziom wyjściowy 3	Brak
Mieszanka popiół lotny cement-wapno	$E = 500 + q_u$	ASTM C 593
Grunt stabilizowany cementem	$E = 1200\ (q_u)$	ASTM D 1633
Grunt stabilizowany wapnem	$M_r = 0.124(q_u)+9.98$	ASTM D 5102

E i M_r w psi, wytrzymałość na ściskanie bez skrępowania bocznego (f'_c lub q_u) w psi

Badania mają zweryfikować zależności amerykańskie $E=f(R_c)$, czy można zależności te bezpośrednio stosować w poziomach 2 i 3 w stosunku do polskich materiałów. Zależności amerykańskie przeliczano na jednostki stosowane w Europie.

3.2 Program badań - założenia

Moduły sprężystości oraz wytrzymałości na rozciąganie zaplanowano zbadać metodą pośredniego rozciągania na próbkach o wymiarach Ø=100mm i $h\cong$60mm zagęszczonych metodą Proctora o energii 0.6 MJ/m^3 według [9], po ich całkowitym związaniu i nasyceniu wodą zgodnie z [10]. Badania wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono według [11] na próbkach o wymiarach Ø=100mm i h=120mm.

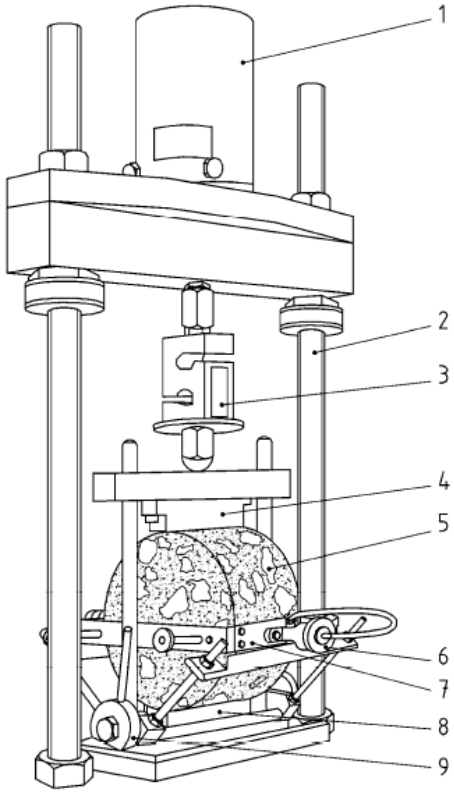
Przyjęty program i założenia do badań mieszanek HBM:

- Chudy beton i kruszywo stabilizowane cementem

  - Mieszanki o wytrzymałościach R_c=5÷10 MPa
- Grunt stabilizowany cementem
  - Mieszanki o klasach wytrzymałościowych R_c: 1.5, 2.5 i 5.0 MPa
  - Mieszanki na gruntach piaszczystych drobnoziarnistych (piaski drobne, pylaste, gliniaste, pyły, gliny)
- Grunt stabilizowany wapnem
  - Mieszanki na gruntach spoistych o wytrzymałości R_c= 0.2÷0.5 MPa
- Mieszanki popiołowe z cementem
  - Mieszanki o wytrzymałościach R_c do 5 MPa

Zakres badań:

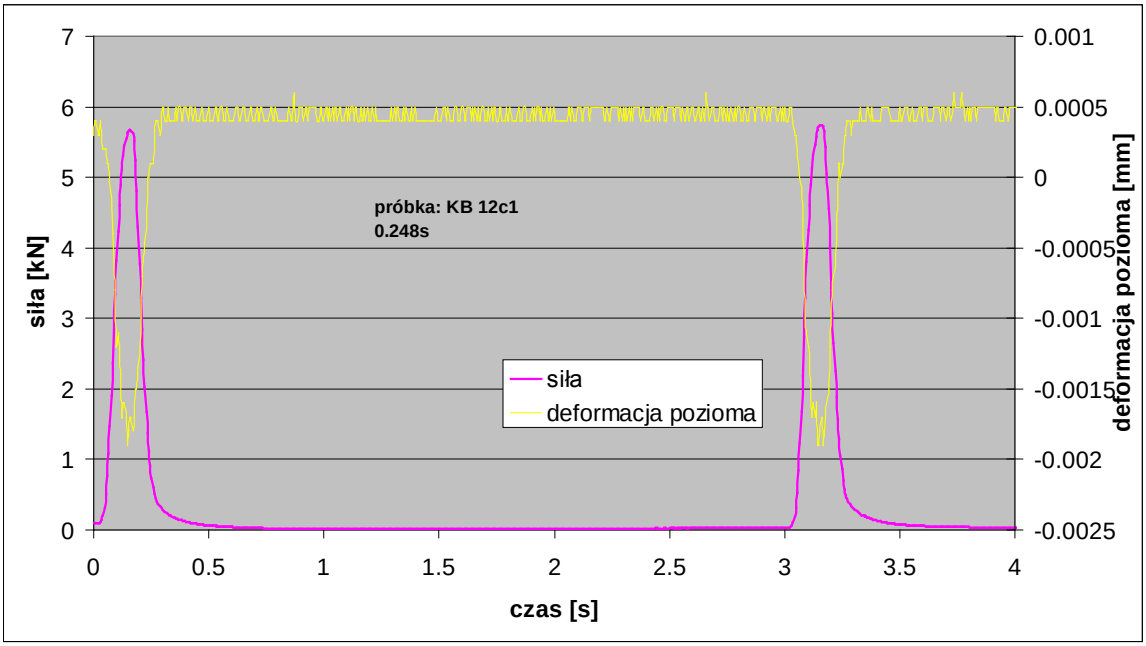
- uziarnienie gruntu,
- określenie max. gęstości objętościowej wg Proctora i wilgotności optymalnej,
- przygotowanie próbek o różnej zawartości spoiw,
- badania związanych próbek – wytrzymałość na ściskanie R_c i moduł sprężystości E.



1. Siłownik
2. Stalowa rama obciążająca
3. Czujnik siły
4. Górny uchwyt obciążający
5. Próbka
6. Nastawa LVDT
7. Rama do montowania LVDT
8. Dolny uchwyt obciążający
9. Zacisk do osiowania LVDT

Rysunek 8. Schemat urządzenia badawczego do określania modułu E

Przykładowy wykres pulsu siły i odkształcenia (deformacji poziomej) przedstawiono na rys. 9.



Rysunek 9. Wykres siły pionowej i deformacji poziomej w funkcji czasu.

3.3 Próbki do badań

Zbadano następujące rodzaje mieszanek:

- Chudy beton: pospółka + 12 % cement
- Chudy beton: pospółka + 8 % cement
- Less + 3% cement
- Less + 5% cement
- Less+7% cement
- Piasek wiślany+3% cement
- Piasek wiślany+5% cement
- Piasek wiślany +7% cement
- Popiół lotny + 3% cement
- Popiół lotny + 5% cement
- Popiół lotny + 7% cement
- Pospółka + 3% cement
- Pospółka + 5% cement
- Pospółka + 7% cement
- Mieszanka popiołowo-piaskowa 50/50% + 3% cement
- Mieszanka popiołowo-piaskowa 50/50% + 5% cement
- Mieszanka popiołowo-piaskowa 50/50% + 7% cement
- Pył piaszczysty + 3% cement
- Pył piaszczysty + 5% cement
- Pył piaszczysty + 7% cement

Mieszanki ze spoiwem projektowano wg WT-5 [10] w ten sposób, że suma wszystkich „suchych” składników w mieszance wynosiła 100%. Ilość wody była dobierana tak, aby uzyskać wilgotność optymalną Proctora. Próbki były poddane 28 dniowej (14 dni w warunkach wilgotnych i 14 dni moczenia w wodzie).

TN 253 Zadanie 11-1: Przeprowadzenie badań weryfikujących przyjęte metody zastępcze charakterystyki materiałów, część 1

Dla każdego gruntu określono skład granulometryczny, wilgotność optymalną oraz maksymalną gęstość objętościową. Wyniki badań przedstawiono w dalszej części opracowania.

3.4 Wyniki badań

3.4.1 Wyniki badań próbek gruntu

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW - LABORATORIUM GEOTECHNIKI
03-302 Warszawa, ul. Instytutowa 1, tel. 22 39 00 168, fax. 22 814 53 16

KARTA BADANIA
ANALIZA SITOWA / PN-B-04481:1988 pkt. 4.1

NR ZLECENIA / UMOWY	MEPDG
NR PRÓBKI	
OPIS PRÓBKI	pospółka do chudego betonu
WPIB	TG-1/A-6; TG-1/A-7; TG-1/A-13
BADANIE WYKONAŁ	Bartosz Sobkowicz
KONTROLA BIEŻĄCA	
DATA BADANIA	

Wymiar oczka sita	Masa pozostałości na sicie			zawartość na sicie	suma zawartości
	mi	Δ mi	Σ mi		
[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
40	0.00	0.000	0.000	0.00	0
25	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
10	138.60	0.046	138.646	9.24	9.24
2	394.20	0.131	394.331	26.29	35.53
1	259.90	0.087	259.987	17.33	52.86
0.5	286.30	0.095	286.395	19.09	71.96
0.25	237.80	0.079	237.879	15.86	87.82
0.1	109.70	0.037	109.737	7.32	95.13
0.075	13.00	0.004	13.004	0.87	96.00
<0,075	60.00	0.020	60.020	4.00	100.00
suma	1499.5	0.500	1500.000	100.00	

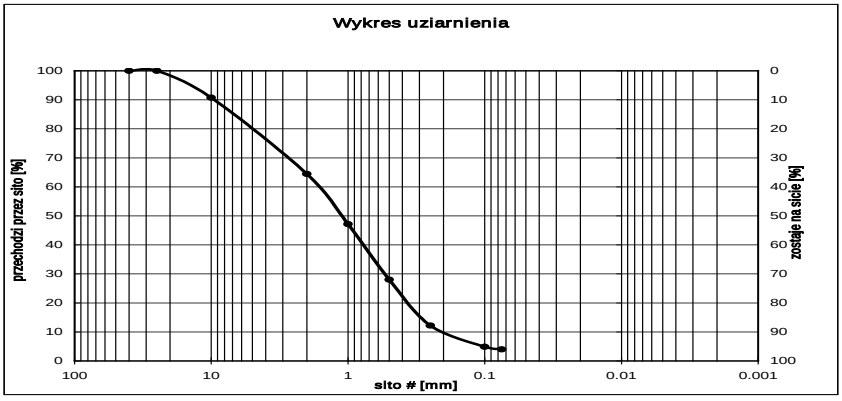
OZNACZENIE STRAT MASY

masa gruntu wziętego do analizy [Ms]	1500.00
masa gruntu po przesianiu [Σ Mi]	1499.5
straty masowe [Sm = Ms- Σ Mi]	0.50
straty względne [Sw = Sm / Ms]*100	0.033
STRATY DOPUSZCZALNE	
WZGLĘDNE	Sw dop = 0.5 %
0.033 %	0.5%

NIEPEWNOŚĆ BADANIA Wynik + / - (0,17+0,0028 wyniku)

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW - LABORATORIUM GEOTECHNIKI
03-302 Warszawa, ul. Instytutowa 1, tel. 22 39 00 168, fax. 22 814 53 16

KARTA BADANIA
ANALIZA SITOWA / PN-B-04481:1988 pkt. 4.1



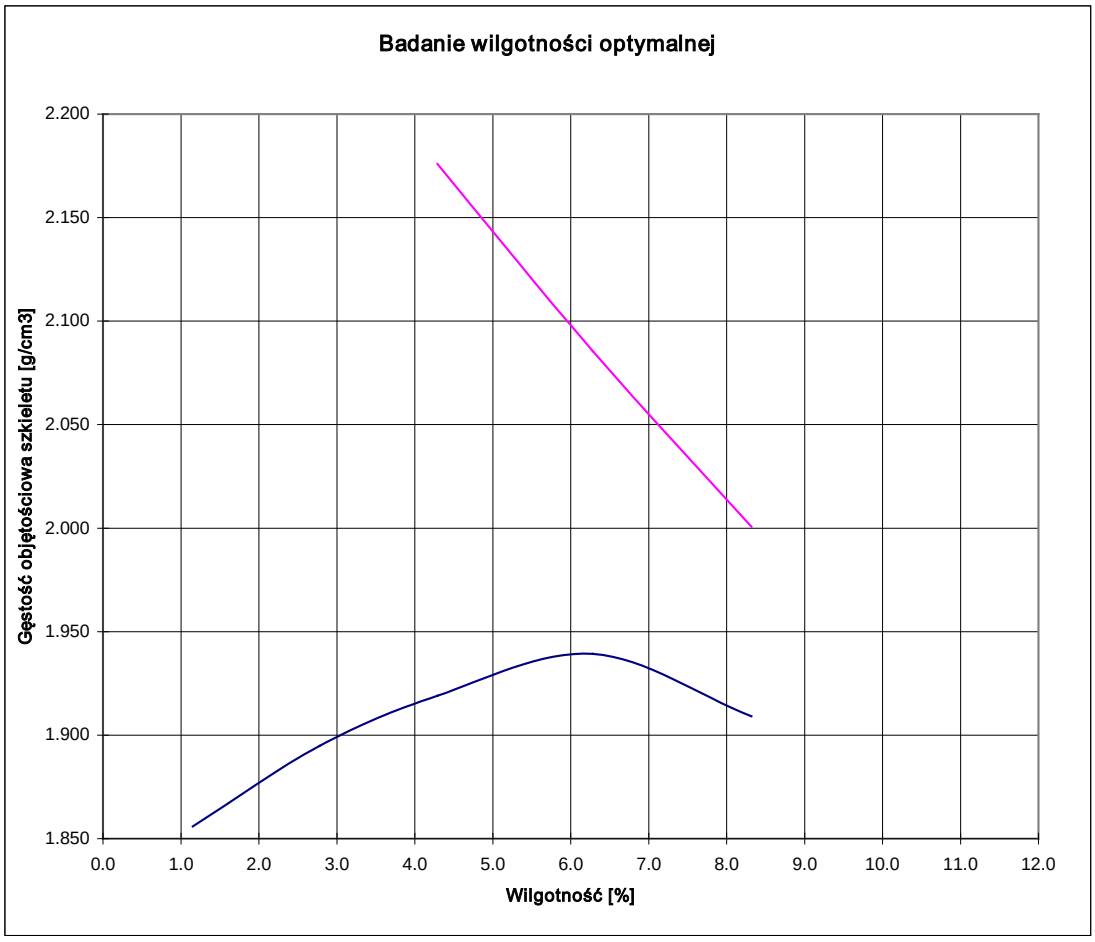
RODZAJ GRUNTU	analiza makroskopowa	
	analiza sitowa	pospółka

Pospółka do wykonania do chudego betonu z dodatkiem 8 i 12% cementu

KARTA BADANIA str. 2/2

BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ w opt I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO ds

PN - 88 / B - 04481, pkt.8



WYNIK BADANIA

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = 6,2 %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..1,939. g/cm3

NIEPEWNOŚĆ POMIARU Wynik +/- 0,68

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW - LABORATORIUM GEOTECHNIKI
03-302 Warszawa, ul. Instytutowa 1, tel. 22 39 00 168, fax. 22 814 53 16

KARTA BADANIA
ANALIZA SITOWA / PN-B-04481:1988 pkt. 4.1

NR ZLECENIA / UMOWY	MEPDG
NR PRÓBKI	
OPIS PRÓBKI	pospółka do stabilizacji
WPIB	TG-1/A-6; TG-1/A-7; TG-1/A-13
BADANIE WYKONAŁ	Bartosz Sobkowicz
KONTROLA BIEŻĄCA	
DATA BADANIA	

Wymiar oczka sita	Masa pozostałości na sicie			zawartość na sicie	suma zawartości
	mi	Δ mi	Σ mi		
[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
40	0.00	0.000	0.000	0.00	0
25	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
10	58.70	0.003	58.703	2.94	2.94
2	183.50	0.009	183.509	9.18	12.11
1	193.10	0.010	193.110	9.66	21.77
0.5	428.60	0.021	428.621	21.43	43.20
0.25	668.50	0.033	668.533	33.43	76.62
0.1	364.10	0.018	364.118	18.21	94.83
0.075	35.00	0.002	35.002	1.75	96.58
<0,075	68.40	0.003	68.403	3.42	100.00
suma	1999.9	0.100	2000.000	100.00	

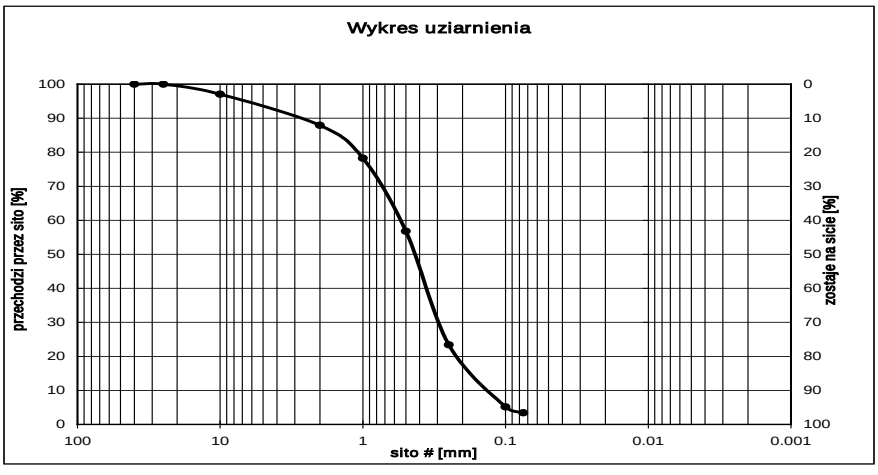
OZNACZENIE STRAT MASY

masa gruntu wziętego do analizy [Ms]	2000.00
masa gruntu po przesianiu [Σ Mi]	1999.9
straty masowe [Sm = Ms- Σ Mi]	0.10
straty względne [Sw = Sm / Ms]*100	0.005
STRATY DOPUSZCZALNE	
WZGLĘDNE	Sw dop = 0.5 %
0.005 %	0.5%

NIEPEWNOŚĆ BADANIA Wynik + / - (0,17+0,0028 wyniku)

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW - LABORATORIUM GEOTECHNIKI
03-302 Warszawa, ul. Instytutowa 1, tel. 22 39 00 168, fax. 22 814 53 16

KARTA BADANIA
ANALIZA SITOWA / PN-B-04481:1988 pkt. 4.1



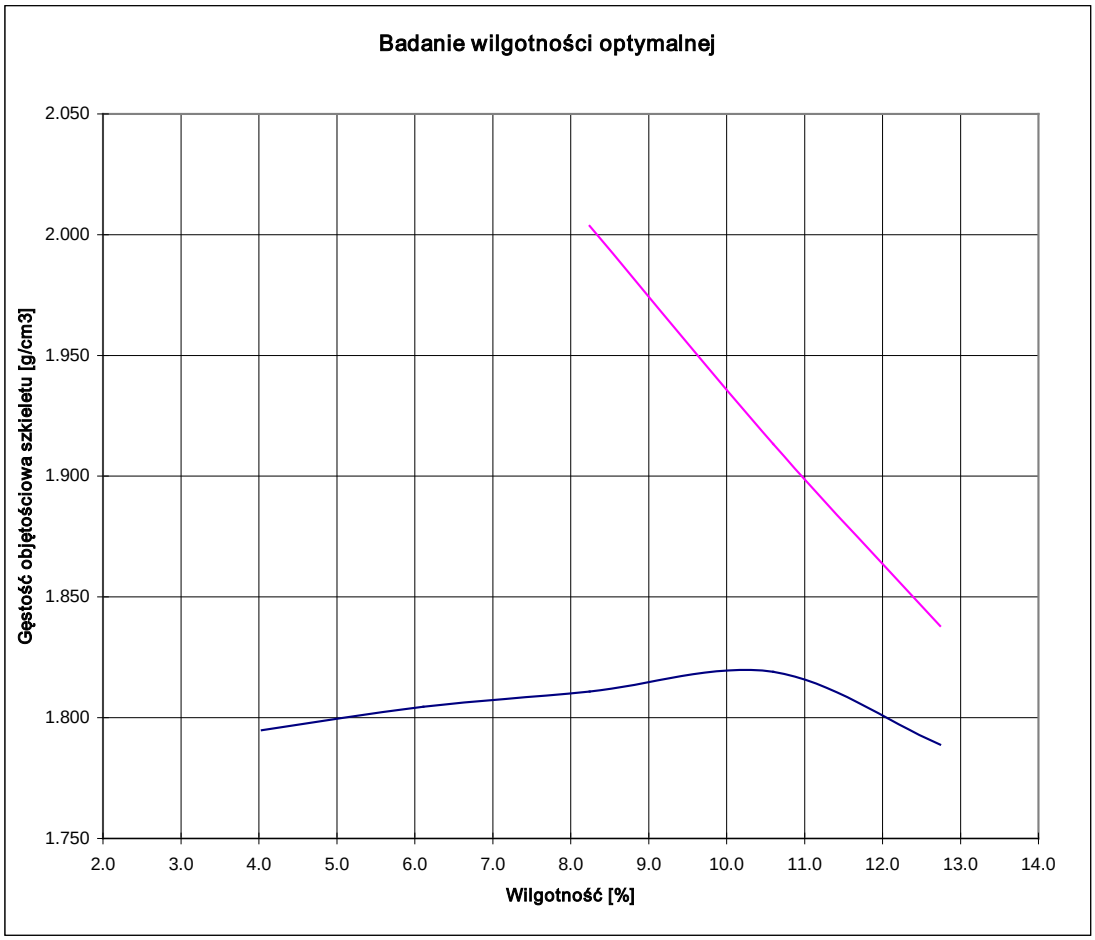
RODZAJ GRUNTU	analiza makroskopowa	
	analiza sitowa	pospółka

Pospółka do wykonania stabilizacji cementem z dodatkiem 3, 5 i 7 %

KARTA BADANIA str. 2/2

BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ w opt I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO ds

PN - 88 / B - 04481, pkt.8



WYNIK BADANIA

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = 10,5 %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..1,820 g/cm3

NIEPEWNOŚĆ POMIARU Wynik +/- 0,68

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW - LABORATORIUM GEOTECHNIKI
03-302 Warszawa, ul. Instytutowa 1, tel. 22 39 00 168, fax. 22 814 53 16

KARTA BADANIA
ANALIZA SITOWA / PN-B-04481:1988 pkt. 4.1

NR ZLECENIA / UMOWY	MEPDG
NR PRÓBKI	
OPIS PRÓBKI	piasek wiślany
WPIB	TG-1/A-6; TG-1/A-7; TG-1/A-13
BADANIE WYKONAŁ	Bartosz Sobkowicz
KONTROLA BIEŻĄCA	
DATA BADANIA	

Wymiar oczka sita	Masa pozostałości na sicie			zawartość na sicie	suma zawartości
	mi	Δ mi	Σ mi		
[mm]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]
40	0.00	0.000	0.000	0.00	0
25	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
10	20.40	0.012	20.412	4.08	4.08
2	20.40	0.012	20.412	4.08	8.16
1	37.30	0.022	37.322	7.46	15.63
0.5	103.60	0.062	103.662	20.73	36.36
0.25	205.90	0.124	206.024	41.20	77.57
0.1	87.60	0.053	87.653	17.53	95.10
0.075	7.20	0.004	7.204	1.44	96.54
<0,075	17.30	0.010	17.310	3.46	100.00
suma	499.7	0.300	500.000	100.00	

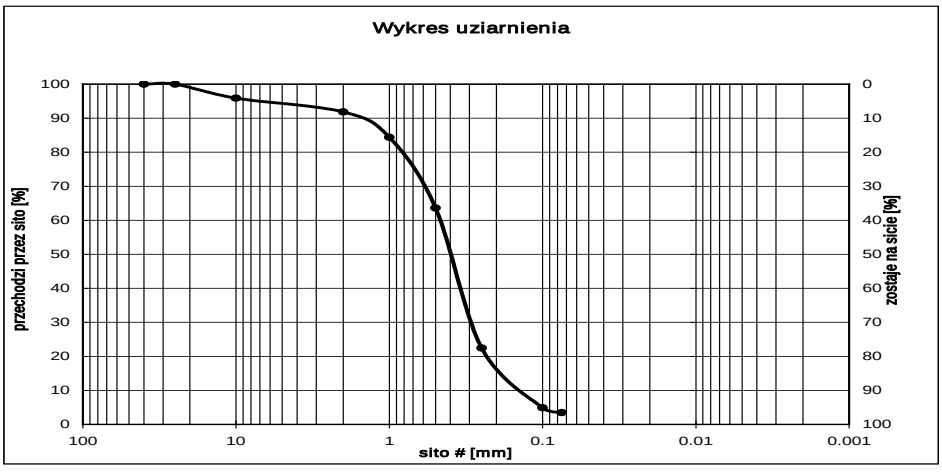
OZNACZENIE STRAT MASY

masa gruntu wziętego do analizy [Ms]	500.00
masa gruntu po przesianiu [Σ Mi]	499.7
straty masowe [Sm = Ms- Σ Mi]	0.30
straty względne [Sw = Sm / Ms]*100	0.060
STRATY DOPUSZCZALNE	
WZGLĘDNE	Sw dop = 0.5 %
0.060 %	0.5%

NIEPEWNOŚĆ BADANIA Wynik + / - (0,17+0,0028 wyniku)

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW - LABORATORIUM GEOTECHNIKI
03-302 Warszawa, ul. Instytutowa 1, tel. 22 39 00 168, fax. 22 814 53 16

KARTA BADANIA
ANALIZA SITOWA / PN-B-04481:1988 pkt. 4.1



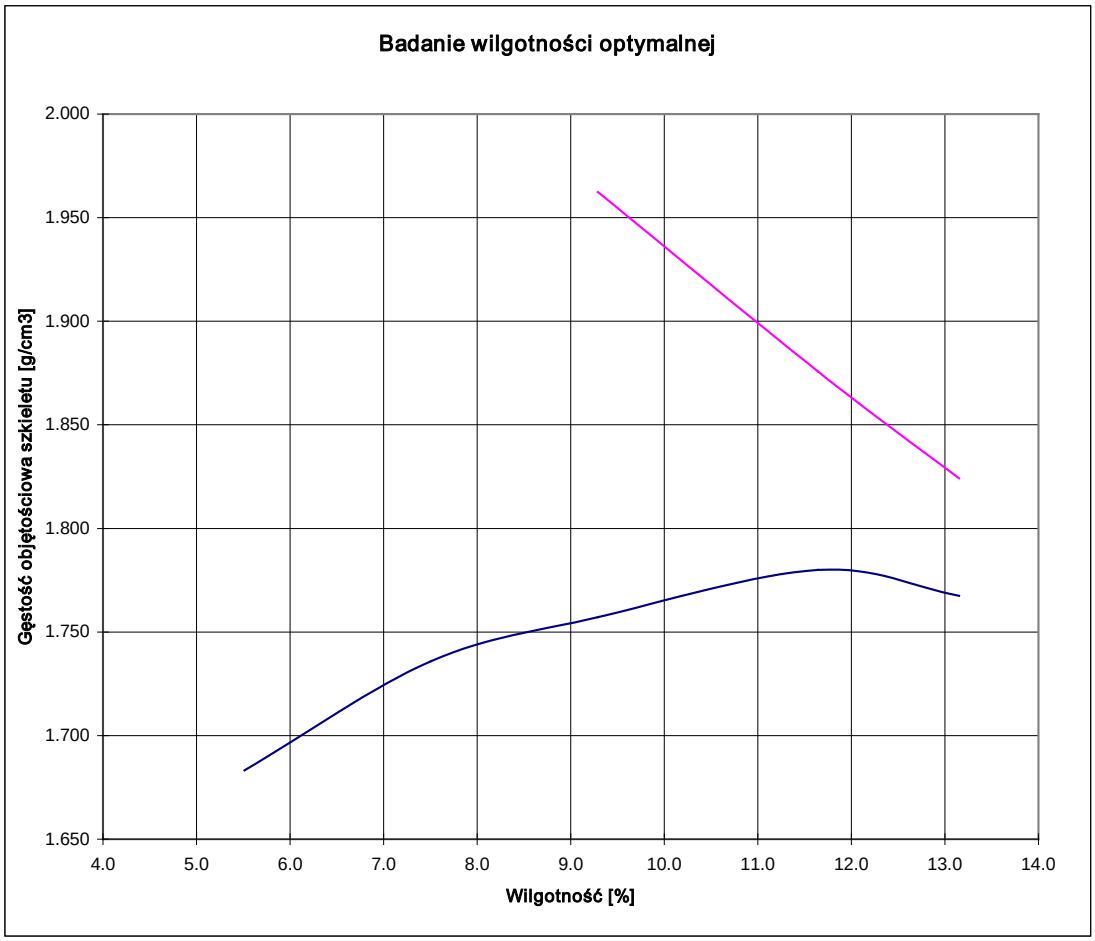
RODZAJ GRUNTU	analiza makroskopowa	
	analiza sitowa	piasek średni

Piasek wiślany do stabilizacji cementem z dodatkiem 3, 5 i 7%

KARTA BADANIA str. 2/2

BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ w opt I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO ds

PN - 88 / B - 04481, pkt.8



WYNIK BADANIA

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = .11,6 %

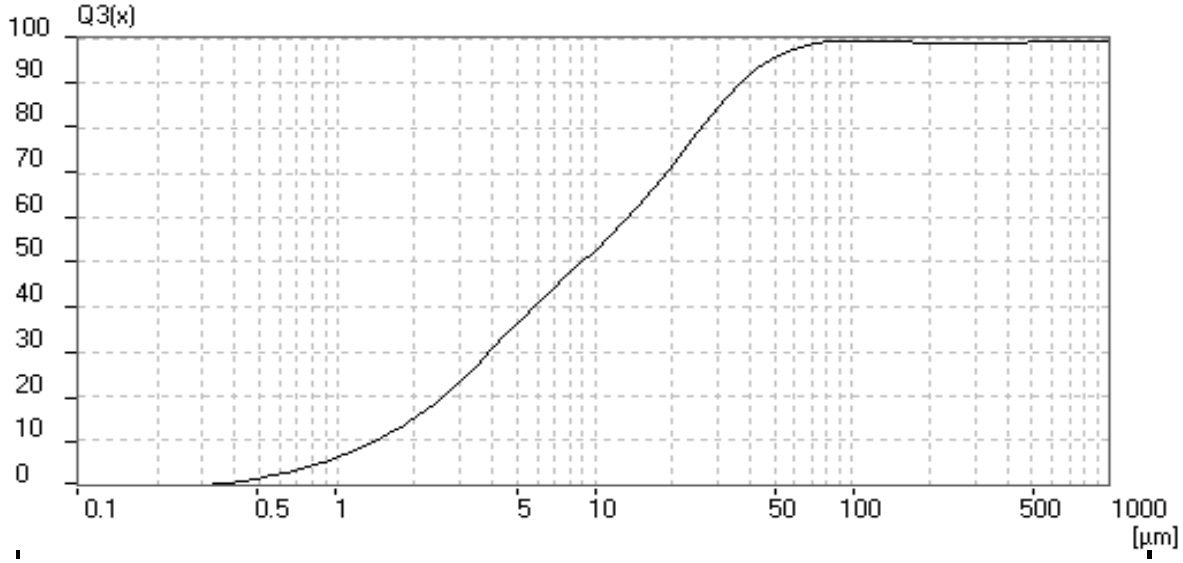
MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..1,780. g/cm3

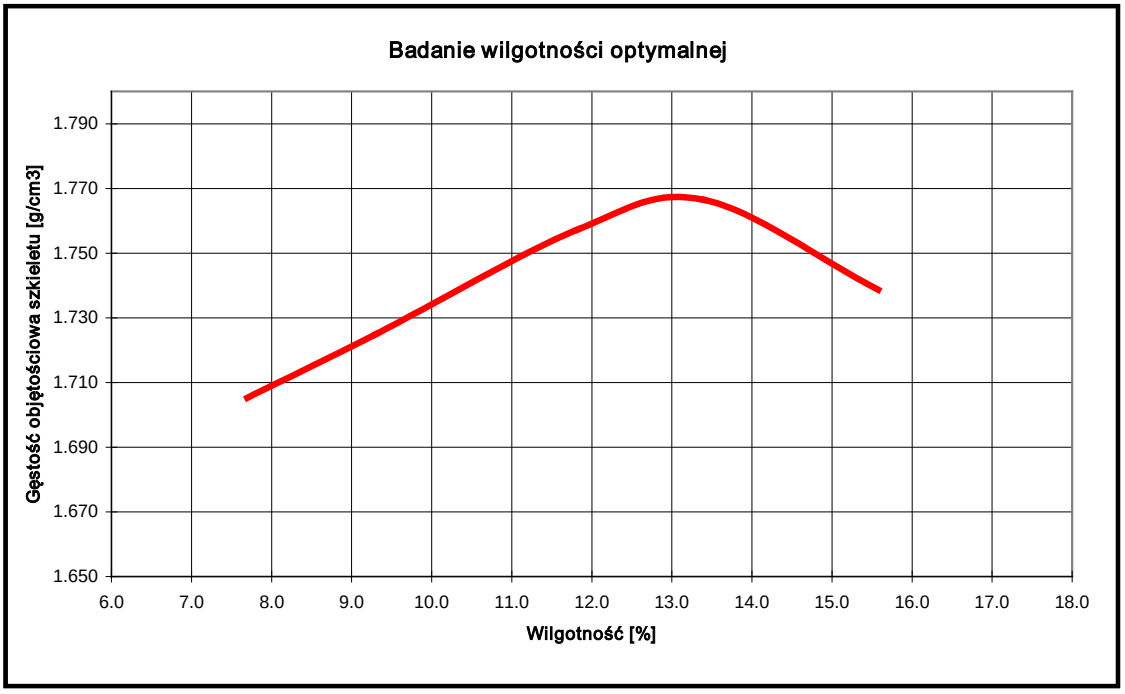
NIEPEWNOŚĆ POMIARU Wynik + / - 0,68

TN 253 Zadanie 11-1: Przeprowadzenie badań weryfikujących przyjęte metody zastępcze charakterystyki materiałów, część 1

Próbka: less

% przechodzący przez sito [sita podane w µm]											
0,5	**1**	**2**	**5**	**10**	**45**	**50**	**90**	**100**	**315**	**500**	**1000**
1,73	*6,13*	15,14	36,42	52,60	94,33	96,30	99,75	99,76	-	-	100

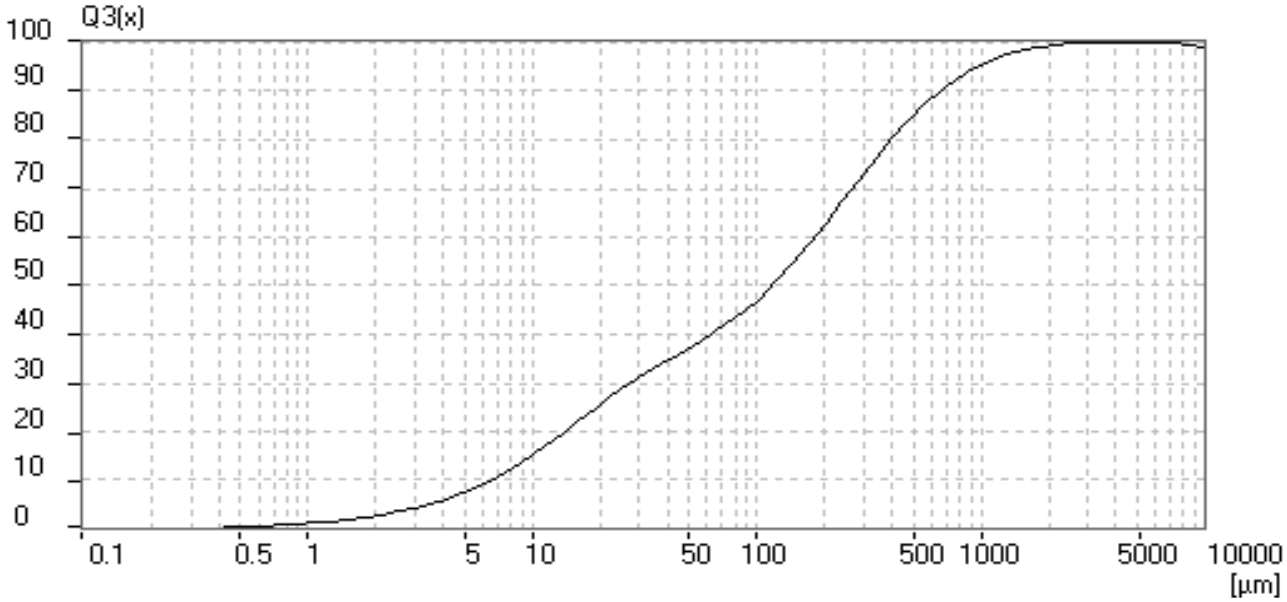




WYNIK BADANIA
WILGOTNOSC OPTYMALNA = 13,2 %
MAKSYMALNA GĘSTOSC OBJĘTOSCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = 1,768 g/cm3
NIEPEWNOSC POMIARU Wynik + / - 0,68

Wyniki przesiewu próbki popiół lotny 50% i piasek wiślany 50 %

% przechodzący przez sito [sita podane w **µm**]													
0,5	**1**	**2**	**5**	**10**	**45**	**50**	**90**	**100**	**315**	**500**	**1000**	**2000**	**10000**
0,23	*0,92*	2,54	7,51	14,91	36,07	36,53	45,20	46,71	74,45	84,85	95,38	99,07	100

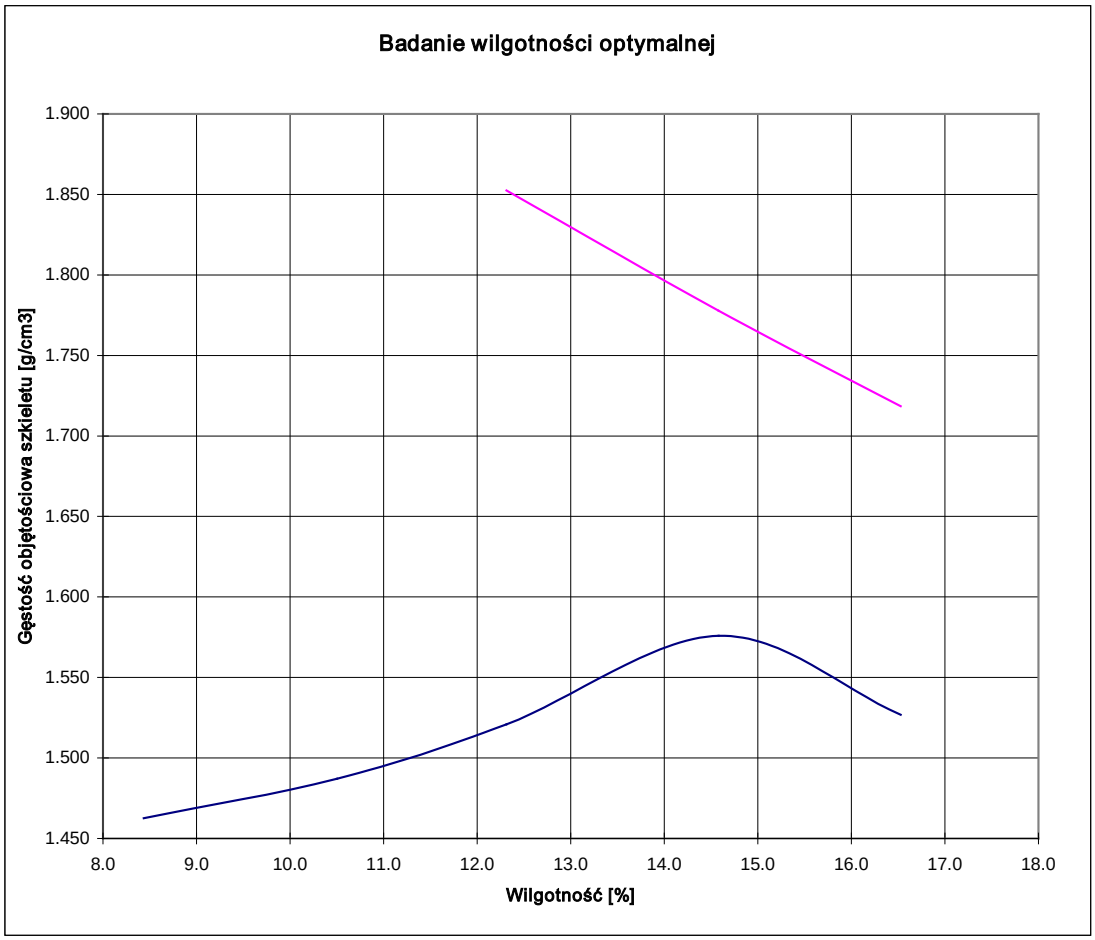


Popiół lotny 50% i piasek wiślany 50 % do stabilizacji cementem 3, 5 i 7%.

KARTA BADANIA str. 2/2

BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ w opt I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO ds

PN - 88 / B - 04481, pkt.8



WYNIK BADANIA

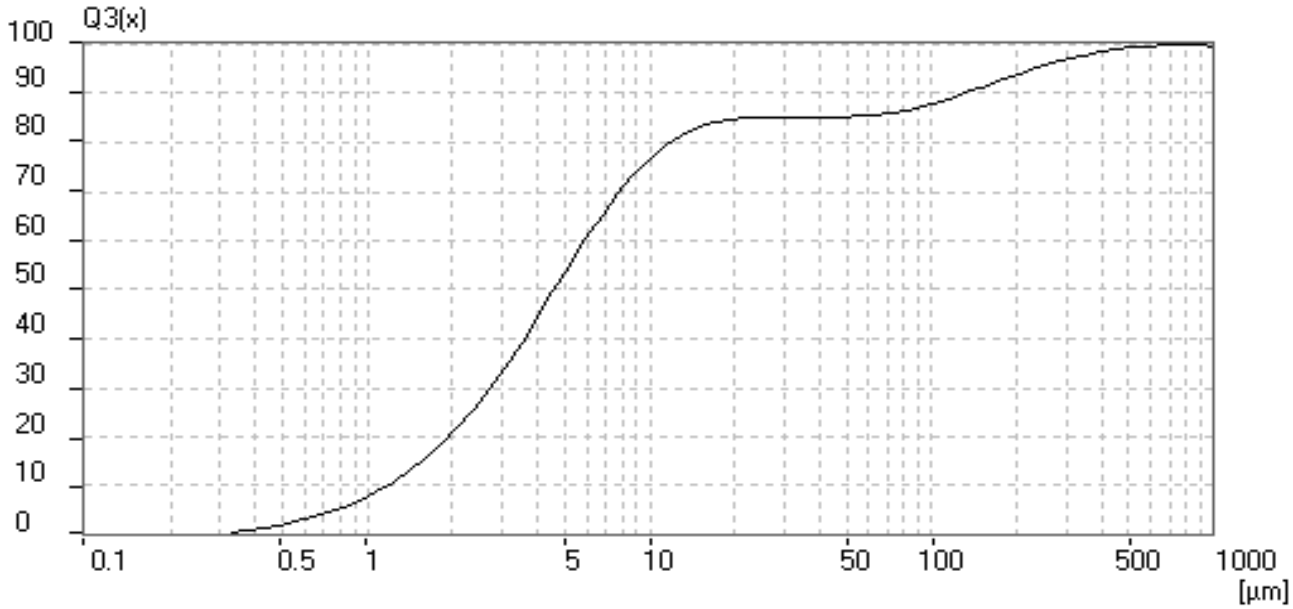
WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = .14,6 %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..1,576. g/cm3

NIEPEWNOŚĆ POMIARU Wynik + / - 0,68

Wyniki przesiewu próbki: popiół lotny z E.C. Siekierki

% przechodzący przez sito [sita podane w **µm**]											
0,5	**1**	**2**	**5**	**10**	**45**	**50**	**90**	**100**	**315**	**500**	**1000**
1,73	*7,63*	20,58	53,29	76,53	85,08	85,13	87,39	87,86	97,34	99,42	100

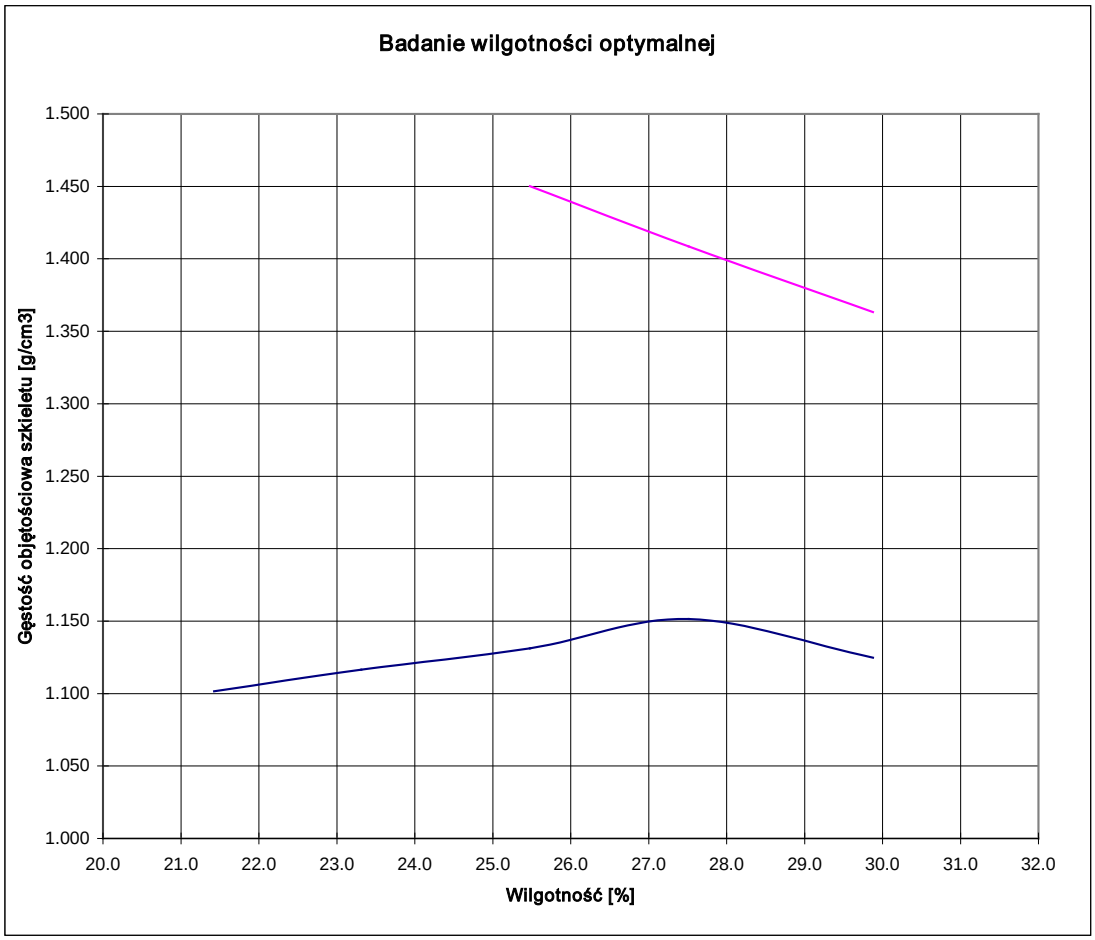


Popiół lotny z E.C. Siekierki

KARTA BADANIA str. 2/2

BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ w opt I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO ds

PN - 88 / B - 04481, pkt.8



WYNIK BADANIA

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = .27,5 %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..1,151. g/cm3

NIEPEWNOŚĆ POMIARU Wynik + / - 0,68

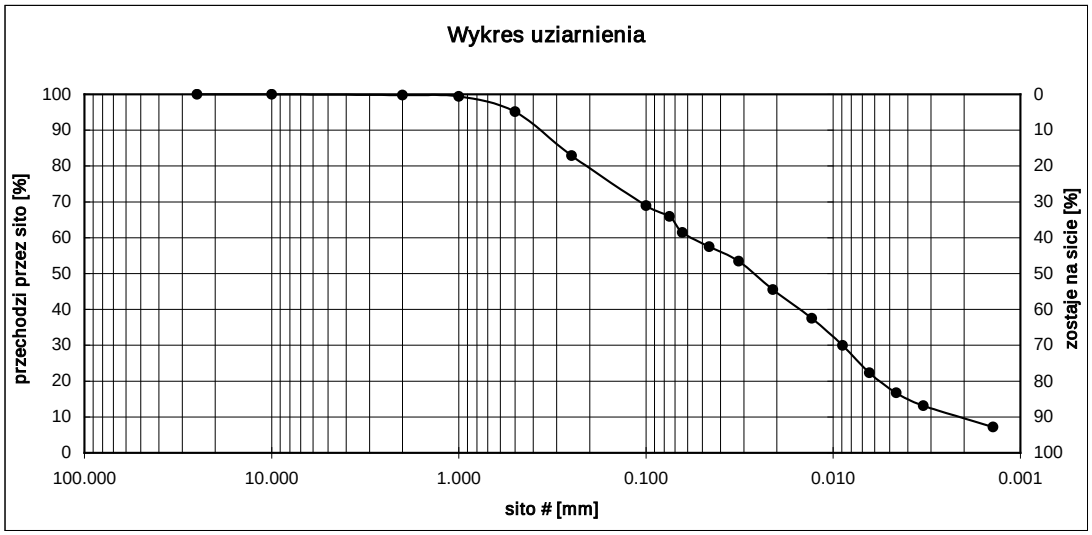
Pył piaszczysty do stabilizacji cementem z dodatkiem 3, 5 i 7%

BADANIE GRUNTU wg PN-88/B-04481

UZIARNIENIE			
WYMIAR OCZKA (mm)	ZOSTAJE NA SICIE (g)	ZOSTAJE NA SICIE (%)	SUMA (%)
25			0.00
10			0.00
2			0.20
1			0.60
0.5			4.85
0.25			17.13
0.1			31.06
0.075			34.06
0.064			38.55
0.046			42.54
0.032			46.53
0.021			54.51
0.013			62.49
0.0089			70.07
0.0064			77.66
0.0046			83.24
0.0033			86.83
0.0014			92.82
SUMA			

WŁAŚCIWOŚCI GRUNTU		
ZAWARTOŚĆ (nazwa)	FRAKCJI	SUMA (%)
KAMIENISTA	>40 mm	0
ŻWIROWA	40-2 mm	0
PIASKOWA	2-0.05 mm	42
PYŁOWA	0.05-0.002 mm	50
IŁOWA	< 0.002	8
Wskaźnik nośności Pęcznienie liniowe	$w_{noś}$ % w %	
WSKAŹNIK RÓŻNOZIARNIST.	U	
WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA	Wopt	
MAX. GĘSTOŚĆ OBJĘT.SZKIELETU	ρds	
GRANICA PLASTYCZNOŚCI	Wp	
GRANICA PŁYNNOŚCI	Wl	
WILGOTNOŚĆ NATURALNA	W_n	

Rodaj gruntu	pył piaszczysty	WYKONAŁ :	DATA	PODPIS
		tech. Piotr Żuławnik		
Opis próbki	materiał do stabilizacji cementem CEM 42,5 R			

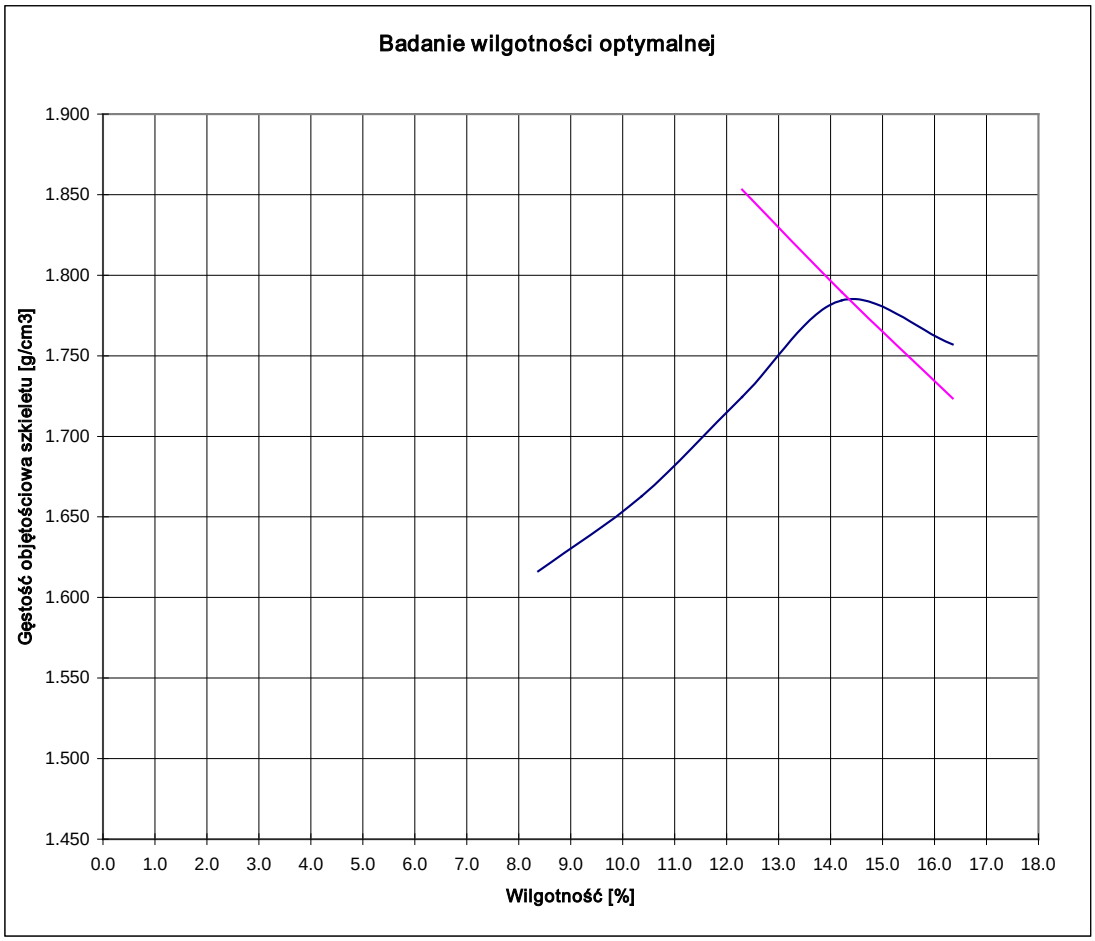


Pył piaszczysty do stabilizacji cementem z dodatkiem 3, 5 i 7%

KARTA BADANIA str. 2/2

BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ w opt I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO ds

PN - 88 / B - 04481, pkt.8



WYNIK BADANIA

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = 14,0 %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..1,762.. g/cm3

NIEPEWNOŚĆ POMIARU Wynik +/- 0,68

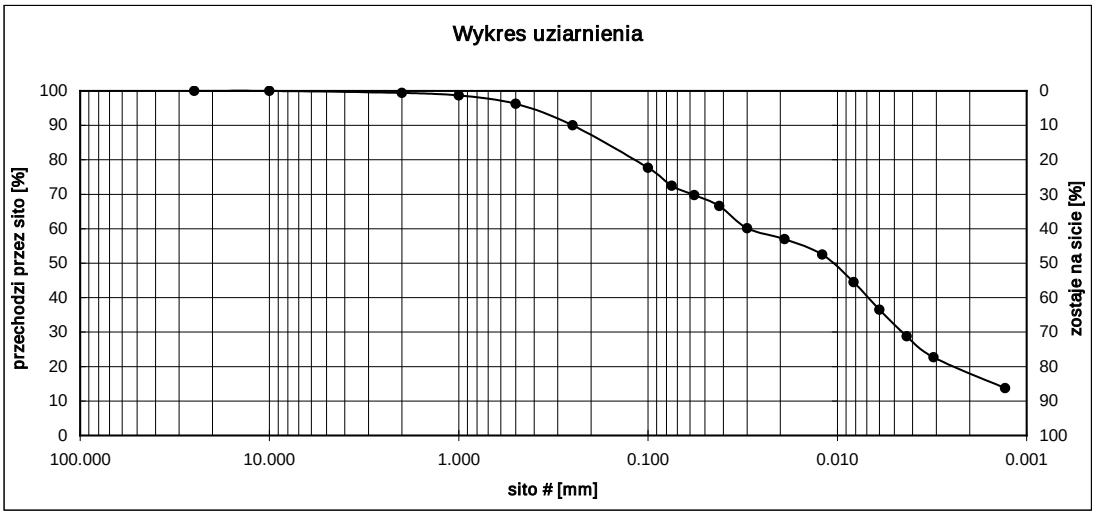
Glina do stabilizacji wapnem

. BA D A N I E G R U N T U wg PN-88/B-04481

U Z I A R N I E N I E			
WYMIAR OCZKA (mm)	ZOSTAJE NA SICIE (g)	ZOSTAJE NA SICIE (%)	SUMA (%)
25			0.00
10			0.00
2			0.60
1			1.34
0.5			3.78
0.25			9.96
0.1			22.34
0.075			27.52
0.057			30.24
0.042			33.44
0.030			39.84
0.019			43.04
0.012			47.52
0.0082			55.52
0.0060			63.52
0.0043			71.20
0.0031			77.28
0.0013			86.24
SUMA			

W Ł A Ś C I W O Ś C I G R U N T U		
ZAWARTOŚĆ (nazwa)	FRAKCJI	SUMA (%)
KAMIENISTA	>40 mm	0
ŻWIROWA	40-2 mm	1
PIASKOWA	2-0.05 mm	33
PYŁOWA	0.05-0.002 mm	50
IŁOWA	< 0.002	16
Wskaźnik nośności	$w_{noś}$ %	
Pęcznienie liniowe	w %	
WSKAŹNIK RÓŻNOZIARNIST.	U	
WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA	Wopt	
MAX. GĘSTOŚĆ OBJĘT.SZKIELETU	ρds	
GRANICA PLASTYCZNOŚCI	Wp	
GRANICA PŁYNNOŚCI	Wl	
WILGOTNOŚĆ NATURALNA	W_n	

Rodaj gruntu	glina	WYKONAŁ :	DATA	PODPIS
		tech. Piotr Żuławnik		
Opis próbki	materiał do stabilizacji wapnem hydratyzowanym			

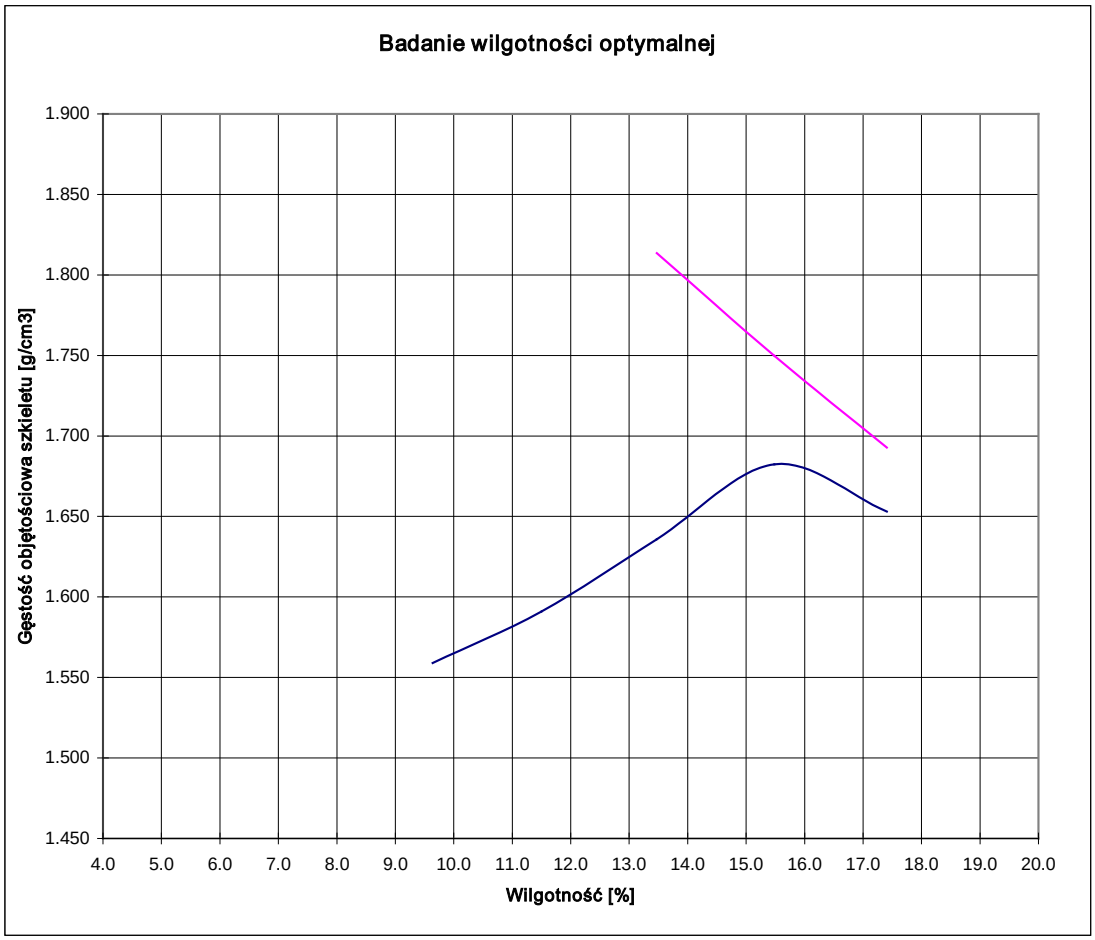


Glina do stabilizacji wapnem

KARTA BADANIA str. 2/2

BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ w opt I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO ds

PN - 88 / B - 04481, pkt.8



WYNIK BADANIA

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = 15,5 %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..1,682.. g/cm3

NIEPEWNOŚĆ POMIARU Wynik +/- 0,68

3.4.2 Wyniki badań mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym

W tablicy 6 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie mieszanek gruntu związanych spoiwami hydraulicznymi.

Tablica 6. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach twardnienia próbek Ø 100 mm różnych gruntów z dodatkiem cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R

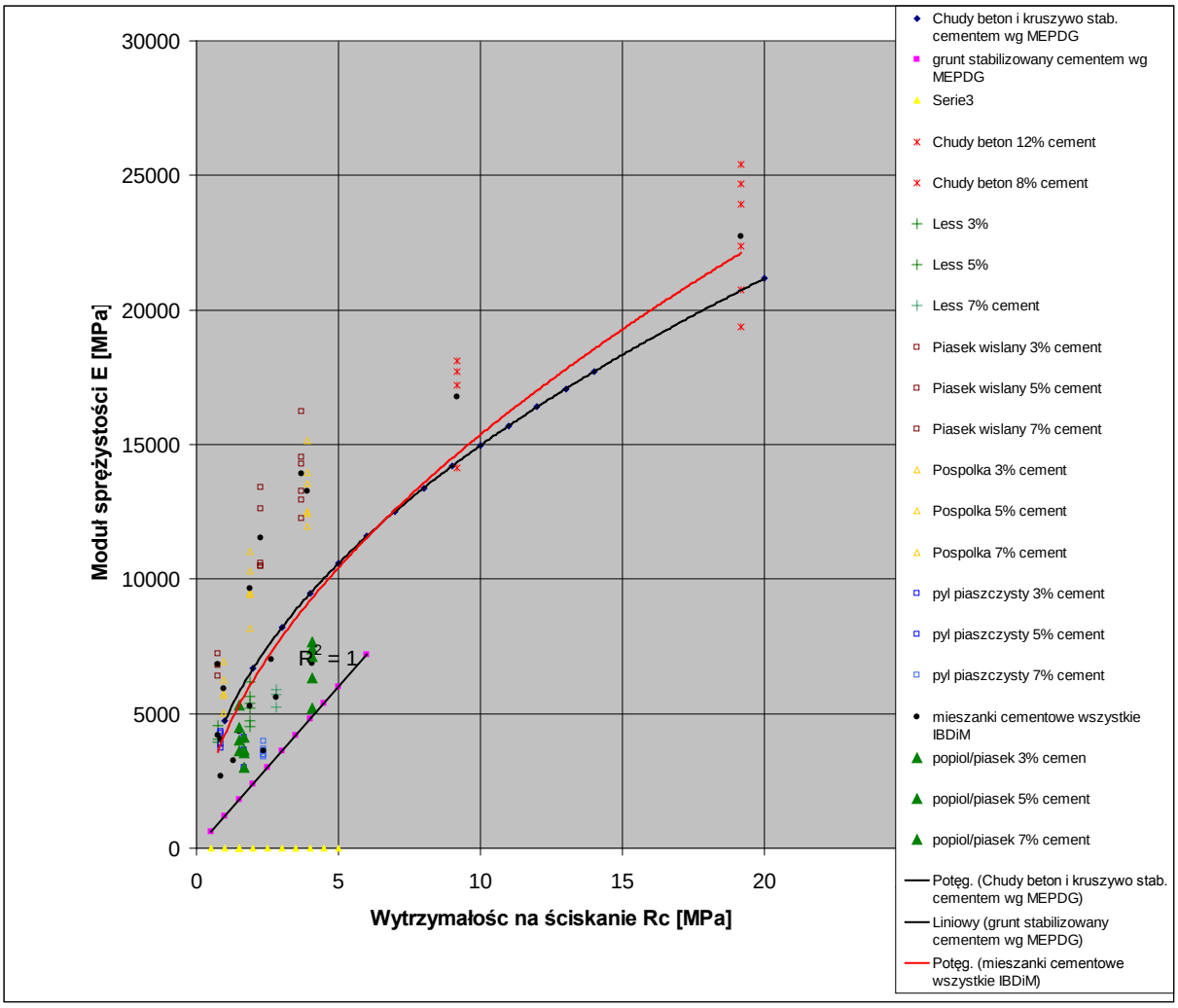
Skład mieszanki		Wytrzymałość po 28 dniach R^{m}_{28} w MPA	Wynik średni w MPA
Grunt	Cement CEM I 42,4R		
[Chudy beton] 100 % pospółka	8 %	1- 8.42 2- 9.36 3- 9.80	9.19
	12 %	1-19.41 2- 19.19 3- 18.93	19.18
100 % pospółka	3 %	1-1.05 2- 0.84 3- 0.97	0.95
	5 %	1-1.77 2- 1.88 3- 1.99	1.88
	7 %	1-3.58 2- 4.10 3- 4.08	3.92
100 % piasek wiślany	3 %	1-0.89 2- 0.62 3- 0.72	0.74
	5 %	1-2.20 2- 2.28 3- 2.34	2.27
	7 %	1-3.63 2- 3.62 3- 3.87	3.71
100 % pył piaszczysty	3 %	1-0.79 2- 0.87 3- 0.88	0.85
	5 %	1-1.62 2- 1.66 3- 1.76	1.68
	7 %	1-2.30 2- 2.39 3- 2.41	2.37
100 % less	3 %	1-0.76 2- 0.74 3- 0.76	0.75
	5 %	1-1.97 2- 1.81 3- 1.87	1.88

	7 %	1-3.01 2- 2.79 3- 2.62	2.81
Popiół lotny z EC Siekierek	3 %	1- 0.84 2- 0.88 3- 0.84	0.85
	5 %	1- 1.24 2- 1.32 3- 1.36	1.31
	7 %	1- 1.64 2- 1.76 3- 1.72	1.71
Popiół lotny z EC Siekierek 50 % + piasek średni 50 %	3 %	1- 1.80 2- 1.34 3- 1.40	1.51
	5 %	1- 2.90 2- 2.40 3- 2.60	2.63
	7 %	1- 4.00 2- 3.84 3- 4.44	4.09
Glina	2 %	1- 0.24 2- 0.26 3- 0.24	0.25
	4 %	1- 0.31 2- 0.31 3- 0.29	0.30
	6 %	1- 0.33 2- 0.32 3- 0.35	0.33

Tablica 7 Zestawienie wyników badań

Opis próbki	Rc MPa	Fmax kN	Rt MPa	E MPa	Eśr MPa	odchyłka od średniej Eśr %	E miarodajny MPa
Chudy beton pospółka + 12 % cement	19.18	13.9	1.5				
				20732		8.86	
				23913		-5.12	
				19387	22748	14.77	22748
				25402		-11.67	
				24673		-8.46	
				22379		1.62	
Chudy beton pospółka + 8 % cement	9.19	7.52	0.8				
				17205	16783	-2.52	16783
				18095		-7.82	
				14123		15.85	
				17708		-5.51	
Less + 3% cement	0.75	1.26	0.1				
				5600		-22.88	
				4549		0.18	
				3944	4557	13.46	4176
				5709		-25.27	
				3507		23.05	
				4035		11.46	
Less + 5% cement	1.88	2.72	0.3				
		1.44	0.2				
				5400		-2.21	
				4523		14.39	
				6171	5283	-16.81	5283
				4742		10.24	
				5211		1.36	
				5651		-6.97	
Less+7% cement	2.81	2.91	0.3				
				4767		24.12	
				8036		-27.91	
				5227	6283	16.80	5616
				5713		9.06	
				5909		5.95	
				8043		-28.02	
Piasek wiślany+3% cement	0.74	1.16	0.1	7225		2.33	
				6807	7397	7.98	6814
				9148		-23.67	
				6409		13.36	
Piasek wiślany+5% cement	2.27	3.41	0.4	12612		-9.53	
				10595		7.99	
				10469	11515	9.08	11515
				13397		-16.35	
				10500		8.81	
Piasek wiślany +7% cement	3.71	3.85	0.4	13275		4.61	
				12270		11.83	
				14266	13917	-2.51	13917
				16214		-16.51	
				14522		-4.35	
				12953		6.92	
Popiół lotny + 3% cement	0.85	0.66	0.1	2065		22.56	
				2529		5.16	
				2713	2667	-1.74	2677
				3225		-20.95	
				2597		2.61	
				2870		-7.63	
Popiół lotny + 5% cement	1.31	0.78	0.1	3610		-6.92	
				3269		3.18	
				3029	3376	10.29	3260
				3130		7.30	
				4791		-41.90	
				2429		28.06	
Popiół lotny + 7% cement	1.71	1.58	0.2	4307		-13.41	
				4468		-17.64	
				2591		31.78	
				2971	3798	21.77	4002
				4187		-10.25	
				4811		-26.68	
				3404		10.37	
				3644		4.05	

Pospółka + 3% cement	0.95	0.66	0.1	5012		19.86	
				5746		8.12	
				6933		-10.86	
				4079	6254	34.78	5921
				10092		-61.37	
				5666		9.40	
				6249		0.08	
Pospółka + 5% cement	1.88	2.04	0.2	9449		1.98	
				8154		15.41	
				9493	9640	1.52	9640
				9436		2.11	
				10292		-6.77	
				11013		-14.25	
Pospółka + 7% cement	3.92	6.15	0.7	12508		5.67	
				11965		9.77	
				13561	13260	-2.27	13260
				12433		6.24	
				13934		-5.08	
				15158		-14.32	
Mieszanka popiołowo-piaskowa 50/50% + 3% cement	1.51	1.22	0.1	5308		-18.25	
				6276		-39.81	
				4019	4489	10.47	4355
				4492		-0.07	
				3600		19.80	
				3238		27.87	
Mieszanka popiołowo-piaskowa 50/50% + 5% cement	2.63	3.06	0.3	7417		-5.42	
				7011		0.35	
				6608	7036	6.08	7012
				8902		-26.52	
				5241		25.51	
Mieszanka popiołowo-piaskowa 50/50% + 7% cement	4.09	3.73	0.4	7106		-3.69	
				7423		-8.32	
				7649	6853	-11.62	6853
				7419		-8.26	
				6323		7.73	
				5197		24.16	
Pył piaszczysty + 3% cement	0.85			3507		20.07	
				3867		11.86	
				5344		-21.80	
				4339	4387	1.10	4050
				3721		15.19	
				5662		-29.05	
				4272		2.63	
Pył piaszczysty + 5% cement	1.68	1.2	0.1	2983		17.49	
				3658		-1.18	
				4553	3615	-25.94	3574
				3544		1.97	
				4109		-13.65	
				2845		21.31	
Pył piaszczysty + 7% cement	2.37	1.41	0.2	3482		3.39	
				3984		-10.54	
				3699	3604	-2.64	3604
				3395		5.80	
				3608		-0.11	
				3456		4.11	



Rysunek 10. Zbiorcze przedstawienie graficzne zależności MEPDG oraz uzyskanych wyników IBDiM wraz z rozrzutem wyników

4 Bibliografia

1 Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA)
2 Standard Method of Test for Determining the Creep Compliance and Strength of Hot-Mix Asphalt (HMA) Using the Indirect Tensile Test Device
3 PN-EN 12697-26:2012 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 26: Sztywność
4 Weryfikacja zależności między wartościami modułu sztywności uzyskanego różnymi metodami laboratoryjnymi według PN-EN 12697-26
5 Strategic Highway Research Program
6 LVDT - (ang. Linear Variable Differential Transformer) jest to czujnik przemieszczeń liniowych transformatorowy o układzie różnicowym z przesuwanym rdzeniem
7 PN-EN 12697-26 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 26: Sztywność
8. A. Marrani, F. Lancieri (2009) Performance of cement stabilized recycled crushed concrete.

9 PN-EN 13286-2– Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 2: Metody określania gęstości i zawartości wody - Zagęszczanie metodą Proctora
10 Praca zbiorowa WYMAGANIA TECHNICZNE Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym; WT 5, IBDiM 2010
11 PN-EN 13286-41 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 41: Metoda oznaczania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym