



**POLITECHNIKA GDAŃSKA**  
**Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska**  
**Katedra Inżynierii Drogowej**

---

ul. G. Narutowicza 11  
80-233 GDAŃSK

Tel: (0-58) 347 13 47  
Fax: (0-58) 347 10 97

**BADANIE WPŁYWU ZASTOSOWANIA WARSTW BETONU  
ASFALTOWEGO O WYSOKIM MODULE SZTYWNOŚCI  
(AC-WMS) W KONSTRUKCJACH NAWIERZCHNI NA  
SPEKANIA NIESKOTEMPERATUROWE I NA  
ZMNIEJSZENIE POWSTAWANIA DEFORMACJI TRWAŁYCH**

**RAPORT Z PIERWSZEGO ETAPU**

**Opracowano na zlecenie:**

**Generalna Dyrekcja Dróg  
Krajowych i Autostrad  
ul. Żelazna 59  
00-848 WARSZAWA**

**Opracowali:**

**prof. dr hab. inż. Józef Judycki – autor kierujący**

**mgr inż. Mariusz Jaczewski**

**Kierownik Katedry Inżynierii Drogowej – prof. dr hab. inż. Józef Judycki**

**Gdańsk, listopad 2011**



## SPIS TREŚCI

<b>1. WSTĘP .....</b>	<b>4</b>
1.1. PODSTAWA OPRACOWANIA .....	4
1.2. CEL PRACY .....	4
1.3. ZAKRES PRACY .....	4
1.3.1. ZAKRES CAŁEJ KILKUETAPOWEJ PRACY BADAWCZEJ .....	4
1.3.2. ZAKRES I ETAPU PRACY BADAWCZEJ .....	5
<b>2. STUDIA LITERATURY .....</b>	<b>7</b>
2.1. RYS HISTORYCZNY MIESZANEK TYPU AC-WMS (EME1/EME2) .....	7
2.2. WŁAŚCIWOŚCI MIESZANEK TYPU AC-WMS, METODY ICH PROJEKTOWANIA, STOSOWANE MATERIAŁY ORAZ ZASTOSOWANIA W WARUNKACH RZECZYWISTYCH .....	8
2.2.1. FRANCJA .....	8
2.2.1.1. PROCEDURA PROJEKTOWANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH, WG [6] .....	8
2.2.1.2. BADANIA WYKONYWANE NA POSZCZEGÓLNYCH POZIOMACH BADAŃ .....	10
2.2.1.2.1. BADANIE ZAGĘSZCZENIA W ŻYRATORZE .....	10
2.2.1.2.2. BADANIE ODPORNOŚCI NA DZIAŁANIE WODY .....	10
2.2.1.2.3. BADANIE ODPORNOŚCI NA DEFORMACJE TRWAŁE .....	11
2.2.1.2.4. BADANIE MODUŁU SZTYWNOŚCI .....	11
2.2.1.2.5. BADANIE ODPORNOŚCI NA ZMĘCZENIE .....	12
2.2.1.3. NORMA NF P 98-140 [15] .....	12
2.2.1.4. NORMY SERII NF EN 13108-1 [14] .....	15
2.2.1.5. INSTRUKCJA „LPC BITUMINOUS MIXTURES DESIGN GUIDE [6] .....	17
2.2.1.6. CATALOGUE DES STRUCTURES TYPES DE CHAUSSEES NEUVES, EDITION 1998, LCPC, PORADNIKI DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA NAWIERZCHNI [2,3,9] .....	20
2.2.1.7. LE CATALOGUE DES STRUCTURES TYPES DE CHAUSSES, CONSEIL GENERAL DES HAUTS-DE- SEINE [24] .....	21
2.2.1.8. PUBLIKACJE W JĘZYKU ANGIELSKIM .....	22
2.2.1.8.1. ... CORTE, J-F, DEVELOPMENT AND USES OF HARD-GRADE ASPHALT AND OF HIGH-MODULUS ASPHALT MIXES IN FRANCE [4] .....	22
2.2.2. POLSKA .....	24
2.2.2.1. ZESZYT IBDIM NR 63 [25] .....	24
2.2.2.2. ZESZYT IBDIM NR 70 [29] .....	26
2.2.2.3. WT 2 – NAWIERZCHNIE ASFALTOWE 2008 [33] .....	31
2.2.2.4. WT 2 – NAWIERZCHNIE ASFALTOWE NA DROGACH KRAJOWYCH 2010 [34] .....	33
2.2.2.5. WAŻNIEJSZE PUBLIKACJE DOTYCZĄCE BADAŃ ORAZ ZASTOSOWAŃ MIESZANEK BETONU ASFALTOWEGO O WYSOKIM MODULE SZTYWNOŚCI .....	36
2.2.3. WIELKA BRYTANIA .....	38
2.2.4. BELGIA [5,7] .....	39
2.2.5. DANIA [1] .....	40
2.2.6. SZWAJCARIA [18, 19] .....	40
2.2.7. DOŚWIADCZENIA POZAEUROPEJSKIE .....	41
BIBLIOGRAFIA .....	42

# 1. Wstęp

## 1.1. Podstawa opracowania

Opracowanie niniejsze wykonano na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie (GDDKiA w Warszawie) w ramach umowy nr 3096/2011 z dnia 18.11.2011 r., wg harmonogramu dla etapu I.

## 1.2. Cel pracy

Beton asfaltowy o wysokim module sztywności jest coraz częściej stosowany w Polsce. Powstał w latach 80 XX wieku we Francji, gdzie klimat jest bardziej łagodny niż w Polsce. Stosowany jest też w m.in. w Wielkiej Brytanii, kraju o bardziej umiarkowanym klimacie niż w Polsce. Beton asfaltowy o wysokim module sztywności nazywany jest we Francji w skrócie AC-EME (od francuskiej nazwy „Enrobé a Module Éleve”), a w Polsce w skrócie AC-WMS.

Intensywne prace badawcze nad przystosowaniem mieszanek o wysokim module sztywności do warunków lokalnych były prowadzone także w Belgii oraz Danii. Specyfika klimatyczna tych krajów eliminuje problem występowania spękań niskotemperaturowych. Duży nacisk kładzie natomiast na odporność na deformacje trwałe.

Lokalizacja Polski na terenie środkowej Europy warunkuje większy wpływ klimatu kontynentalnego, co uzasadnia obawy z jednej strony o możliwość powstawania spękań niskotemperaturowych w okresie zimowym w nawierzchniach z zastosowaniem betonu asfaltowego o wysokim module sztywności. Z drugiej strony, ze względu na dość wysokie temperatury w okresie letnim, uzasadnione jest zbadanie wpływu tych mieszanek na zmniejszenie powstawania deformacji trwałych.

## 1.3. Zakres pracy

### 1.3.1. Zakres całej kilkuetapowej pracy badawczej

Praca została podzielona na cztery etapy, a w zakres każdego etapu wchodzi:

#### **Etap I (Wykonywany w 2011 roku) - Niniejszy raport jest sprawozdaniem z wykonaniem tego etapu**

1. Prace wstępne. Przegląd literatury dotyczącej zagadnienia.

#### **Etap II (Przewidziany do realizacji w 2012 roku)**

2. Badania cech reologicznych betonu asfaltowego o wysokim module sztywności w warunkach niskich temperatur zimowych. Wyznaczenie parametrów modelu Burgersa. Ocena wpływu rodzaju asfaltu (asfalt zwykły, modyfikowany oraz wielorodzajowy) na uzyskane parametry reologiczne.
3. Badania cech reologicznych betonu asfaltowego o wysokim module sztywności i porównawczo o normalnym module sztywności w warunkach wyższych temperatur przy wykorzystaniu metody pełzania oraz metody

- dynamicznej. Opracowanie metodyki badań. Wyznaczenie parametrów modelu Burgersa, cz. 1
4. Analiza rozciągających naprężeń termicznych powstających w warunkach zimowych w konstrukcji nawierzchni, cz. 1.
  5. Analiza wpływu położenia warstwy o wysokim module sztywności w konstrukcji nawierzchni. Ocena wpływu grubości warstw zwykłych mieszanek mineralno-asfaltowych zlokalizowanych powyżej warstwy o wysokim module sztywności.
  6. Analiza konstrukcji nawierzchni w warunkach wyższych temperatur. Zastosowanie programu opartego o teorię lepko-sprężystości VEROAD, cz. 1
  7. Ocena stanu technicznego odcinków dróg, w których zastosowano beton asfaltowy o wysokim module sztywności. Zebranie informacji o odcinkach, wstępne badania terenowe i laboratoryjne, cz. 1

### **Etap III (przewidziany do realizacji w 2013 roku)**

8. Badania cech reologicznych betonu asfaltowego o wysokim module sztywności i porównawczo o normalnym module sztywności w warunkach wyższych temperatur przy wykorzystaniu metody pełzania oraz metody dynamicznej. Wyznaczenie parametrów modelu Burgersa, cz. 2
9. Analiza konstrukcji nawierzchni w warunkach wyższych temperatur. Zastosowanie programu opartego o teorię lepko-sprężystości VEROAD, cz. 2
10. Analiza rozciągających naprężeń termicznych powstających w warunkach zimowych w konstrukcji nawierzchni, cz. 2
11. Ocena stanu technicznego odcinków dróg, w których zastosowano beton asfaltowy o wysokim module sztywności, przy wykorzystaniu ugięciomierza FWD oraz badań laboratoryjnych próbek odwierconych z analizowanych odcinków.
12. Analiza wpływu ruchu drogowego, klimatu, zastosowanej metody projektowania oraz miejsca wbudowania betonu asfaltowego o wysokim module sztywności na stan techniczny danej drogi, cz. 1.

### **Etap IV (przewidziany do realizacji w 2014 roku)**

13. Analiza wpływu ruchu drogowego, klimatu, zastosowanej metody projektowania oraz miejsca wbudowania betonu asfaltowego o wysokim module sztywności na stan techniczny danej drogi, cz. 2.
14. Ocena stanu technicznego istniejących odcinków dróg, w których zastosowano beton asfaltowy o wysokim module sztywności. Podsumowanie oceny, cz. 3
15. Przygotowanie raportu końcowego, podsumowanie przeprowadzonych badań i analiz.

#### **1.3.2. Zakres I etapu pracy badawczej**

Niniejsze opracowanie składa się z dwóch rozdziałów. Zawiera ono sprawozdanie z prac badawczych wykonanych w 2011 roku.

**Rozdział 1 to wstęp.**

**Rozdział 2 zatytułowany „Studia literatury”** stanowi przegląd literatury polskiej jak i zagranicznej dotyczącej betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC-

WMS). Dokonano przeglądu dokumentów prawnych oraz instrukcji projektowania mieszanek typu AC-WMS dla Polski oraz Francji. Dodatkowo dokonano przeglądu publikacji polskich jak i zagranicznych dotyczących zastosowania i zachowania się mieszanek typu AC-WMS w warunkach laboratoryjnych oraz rzeczywistych na drodze.

Przegląd obejmuje wszystkie ważniejsze polskie publikacje do listopada 2011 roku. W trakcie przyszłej realizacji programu badawczego, przegląd literatury będzie uzupełniany o najnowsze polskie i zagraniczne pozycje literaturowe dotyczące betonu asfaltowego o wysokim module sztywności.

Niniejszy raport jest przejściowy. Dlatego na końcu tego raportu nie podano uogólniających wniosków.

## 2. Studia literatury

### 2.1. Rys historyczny mieszanek typu AC-WMS (EME)

Jak podaje Corte w "Development and Uses of Hard-Grade Asphalt and of High-Modulus Asphalt Mixes in France" [4], pierwsze wzmianki o mieszankach z asfaltami o penetracji poniżej 25 jednostek, pojawiły się w latach 80 poprzedniego wieku. Projektanci chcieli uzyskać materiał o wysokim module sztywności, który pozwoliłby pocenić grubość konstrukcji nawierzchni. Pierwszy materiał, który spełniał te właściwości został opatentowany w 1980 roku pod nazwą GBTHP ("Grave Bitume a Tres Hautes Performances"). Pierwsze zastosowanie nastąpiło w 1981 roku. Stosowano go wówczas przy remontach i wzmocnieniach nawierzchni. Znaczące liczba zastosowań nastąpiła jednak po 1985 roku. Rozwój tej technologii został przyśpieszony kryzysami paliwowymi. Starano się stosować mieszanki z asfaltami o gorszej jakości, które jednakże nadal spełniałyby odpowiednie kryteria dla nawierzchni. Chciano także korzystać z właściwości twardych asfaltów, które pozwalały na zastosowanie materiałów lokalnych o niskich parametrach. Poza remontami chciano je także stosować przy budowie nowych nawierzchni. Podbudowy z mieszanek o wysokim module sztywności początkowo pojawiły się na płatnych autostradach. Wydany w 1994 roku "SCETAUROUTE's Manual of Pavement Design for Motorways" dopuszczał stosowanie ich na podbudowy asfaltowe na podbudowie pomocniczej z niezwiązanego kruszywa oraz jako nawierzchnię asfaltową o pełnej grubości, tj. podbudowę zasadniczą i pomocniczą z mieszanki o wysokim module sztywności. Wydany w 1998 roku francuski katalog projektowania nawierzchni [2] także dopuszczał możliwość stosowania mieszanek typu EME.

Mieszanki o wysokim module sztywności bardzo często łączono z bardzo cienkimi betonami asfaltowymi (VTAC) znanymi we Francji pod nazwą BBTM ("Béton Bitumineux Tres Mince"), aby zredukować ryzyko koleinowania. Mieszanki BBTM stosowano jako warstwę ścieralną. Połączenie to wynikało z właściwości poszczególnych mieszanek:

- Mała zawartość wolnych przestrzeni i wysoki moduł sztywności mieszanek EME zapewniały ochronę dla spodniej konstrukcji nawierzchni i bardzo wysoką odporność na koleinowanie.
- Wysoka tekstura powierzchniowa mieszanki BBTM o nieciąglym szkielecie zapewniała wysoką i długotrwałą odporność antypoślizgową.

Projektowanie mieszanek typu EME opierało się pierwotnie o normę NF P 98-140 „Enrobes hydrocarbonés. Couches d'assises - enrobes a module eleve (EME). Definition - Classification - Caracteristiques - Fabrication - Mise en oeuvre” [15], której ostatnia aktualizacja nastąpiła w 1999 roku. Obecnie projektowanie mieszanek typu EME opiera się o normę europejską NF EN 13108-1 „Melanges bitumineux. Specifications des matériaux. Partie 1 Enrobes bitumineux” [14].

W Polsce pierwsza wzmianka o mieszankach typu WMS ukazała się w opracowaniu mgr inż. Bolesława Majewskiego "Badania zmęczeniowe mieszanek mineralno-bitumicznych na torze próbnym LCPC i w laboratoriach" [12] wydanego w „Nowościach zagranicznej techniki drogowej” nr 122/95. Było ono sporządzone na podstawie artykułu Lionela Tiret-a i Gilberta Caroff-a pt. "Etude de la fatigue des

enrobes bitumineux" z czasopisma Revue Generale des Routes et des Areodromes nr 716, mars 1994. Opracowanie nie zawierało jednakże żadnych wytycznych do projektowania. Przedstawiało jedynie wyniki badań w których jedną z mieszanek było EME.

W Polsce metoda uproszczonego projektowanie została przedstawiona dopiero w 2002 roku w Zeszycie IBDIM serii „I” nr 63 pt. "Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie (ZW-WMS 2002)" [25]. Dokładne wymagania odnośnie projektowania przedstawiono w 2007 roku w Zeszycie IBDIM serii „I” nr 70 pt. "Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie (ZW-WMS 2007)" [29]. Wymagania te oparto o projekt Zeszytu nr 70 z 2006 roku [28]. Kolejne polskie wytyczne do projektowania mieszanek AC-WMS przedstawione zostały w Wymaganiach Technicznych "Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych" WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008 [33]. W chwili obecnej projektowanie betonu asfaltowego o wysokim module sztywności typu AC-WMS opiera się o „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych - WT-2 2010 Wymagania Techniczne. Mieszanki mineralno-asfaltowe” [34]. W porównaniu do wytycznych z 2008 roku nastąpiły zmiany zarówno w stosunku do wymagań materiałowych jak i samych właściwości mieszanek AC-WMS.

## **2.2. Właściwości mieszanek typu AC-WMS, metody ich projektowania, stosowane materiały oraz zastosowania w warunkach rzeczywistych**

Ogólna idea mieszanek typu AC-WMS w każdym kraju jest praktycznie niezmienna. Polega ona na stosowaniu bardzo twardych asfaltów w ilości około 5 - 6% w stosunku do masy mieszanki. Krzywa uziarnienia jest natomiast zbliżona do wykorzystywanej dla warstwy ścieralnej. Dzięki zastosowaniu twardych asfaltów moduł mieszanki jest dużo wyższy od zwykłego betonu asfaltowego, co powoduje przekazywanie mniejszych naprężeń na niższe warstwy przy zastosowaniu takiej samej grubości.

Jednak same właściwości i metody projektowania sporo się różnią, co zostanie opisane bardziej szczegółowo poniżej.

### **2.2.1. Francja**

#### **2.2.1.1. Procedura projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych we Francji, wg [6]**

Procedury badań typu dla mieszanek mineralno-asfaltowych są określone w odpowiednich normach. Charakterystyka danej mieszanki mineralno-asfaltowej jest oparta w dominującym stopniu na parametrach funkcjonalnych. Dla materiałów typu strukturalnego takie podejście można zaklasyfikować jako podejście „fundamentalne”. Dla pozostałych materiałów opisać je można jako „empiryczne”, pomimo, że występują w nim badania związane z parametrami funkcjonalnymi. Dla mieszanek mineralno-asfaltowych występuje 5 poziomów badań typu.



### **Poziom 0**

Przedstawiony w normie NF 98-150-1 poziom 0 charakteryzuje mieszanki zgodnie z penetracją oraz zawartością użytego w mieszance lepiszcza. Pozostałe badania nie są wykonywane. Poziom 0 jest stosowany dla mieszanek przeznaczonych do obszarów nieobciążonych ruchem.

### **Poziom 1**

Projektowana mieszanka musi spełnić wymagania dotyczące zawartości wolnych przestrzeni w badaniu zagęszczania w żyratorze oraz zapewnić odpowiednią odporność na działanie wody.

Poza obszarami nieobciążonymi ruchem, poziom 1 jest podstawowy dla każdego typu badań mieszanek. W przypadku obszarów o bardzo małym obciążeniu ruchem, wykonanie testów dla poziomu 1 może być wystarczające.

### **Poziom 2**

Poziom 2 zawiera w sobie badania poziomu 1 (zagęszczenie w żyratorze oraz odporność na działanie wody) oraz dodaje test koleinowania lub odporności na deformacje trwałe.

### **Poziom 3**

Poziom 3 zawiera w sobie badania poziomów 1 oraz 2, dodając do charakterystyki badanie modułu sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej.

Badanie modułu sztywności jest wykorzystywane w dużych pracach budowlanych oraz wszędzie tam, gdzie badana warstwa spełnia funkcje strukturalne w nawierzchni drogowej. Wartość modułu sztywności wyznaczona w temperaturze 15°C, przy częstotliwości 10 Hz lub przy czasie obciążenia 0,02 s jest bezpośrednio wykorzystywana do projektowania mechanicznego nawierzchni.

Ze względu na charakterystykę pracy mieszanek mineralno-asfaltowych typu AC-GB klasy 4, AC-BBME oraz AC-EME (mieszanki te posiadają wysoki lub podwyższony moduł sztywności), badanie modułu sztywności musi być koniecznie wykonane. Dla pozostałych mieszanek mineralno-asfaltowych może, lecz nie musi być wykonywane.

### **Poziom 4**

Zawiera w sobie wszystkie badania wykonywane na poziomach 1, 2 oraz 3. Dodatkowo wykonuje się badanie odporności na zmęczenie.

Poziom 4, tak jak poziom 3 badań mieszanek mineralno-asfaltowych, jest ważny w przypadku fundamentalnego (funkcjonalnego) podejścia do projektowania.

Badanie odporności na zmęczenie jest wykonywane w przypadku dużych robót budowlanych oraz wszędzie tam, gdzie warstwa poddawana jest zmęczeniu. Wartość  $\epsilon_6$  wykorzystywana jest bezpośrednio w projektowaniu mechanicznym nawierzchni.

Badanie odporności na zmęczenie jest wymagane w przypadku mieszanek AC-BBME oraz AC-EME (wysoka odporność na zmęczenie). W przypadku pozostałych mieszanek mineralno-asfaltowych może, lecz nie musi być wymagane.

W przypadku niektórych mieszanek mineralno-asfaltowych (np. asfalt porowaty, mieszanki wbudowywane w nawierzchniach lotniskowych) może być wymagane wykonanie dodatkowych badań.

## **2.2.1.2. Badania wykonywane na poszczególnych poziomach badań typu**

### **2.2.1.2.1. Badanie zagęszczenia w żyratorze**

Badanie wykonywane jest w żyratorze w następujących warunkach badania:

- Napężenie pionowe – 0,6 MPa,
- Kąt żyracji - 1° kąt zewnętrzny; 0,82° kąt wewnętrzny,
- Temperatura badania – 130 – 160°C w zależności od typu mieszanki oraz rodzaju zastosowanego asfaltu.

Ilość żyracji do określenia zagęszczenia uzależniona jest od typu mieszanki, natury (pochodzenia) kruszywa oraz grubości i uziarnienia wbudowywanej warstwy.

Cele badania:

- Ułatwia przewidzieć zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej przy wbudowywaniu i zagęszczaniu na miejscu budowy.
- Przy nawierzchniach przeznaczonych do ruchu bardzo ciężkiego służy do określenia makrotekstury.
- Pozwala wstępnie określić i ocenić szybkość przyrostu koleiny. Badanie jest bardzo podatne na „tarcie wewnętrzne” kruszywa, zależne od kształtu ziarn – „angularity” oraz zawartości lepiszcza.
- Pozwala ocenić konsystencję mieszanki w trakcie wbudowywania.

Do oceny zagęszczenia mieszanki mineralno-asfaltowej wykorzystywany jest zakres zawartości wolnych przestrzeni przy określonej liczbie żyracji (N = 10, 80, 100, 120 żyracji).

### **2.2.1.2.2. Badanie odporności na działanie wody**

W tradycyjnej normalizacji francuskiej podstawowym testem odporności na działanie wody był test Durieza (test prostego ściskania). Normalizacja europejska dopuściła stosowanie badania wykorzystującego pośrednie rozciąganie (ITSR).

Oba badania dają odpowiadające sobie wyniki. W podejściu francuskim wybór badania Durieza wynika z dwukrotnie większej powtarzalności niż badania opartego na pośrednim rozciąganiu.

#### **Badanie Durieza**

Badana mieszanka zagęszczana jest w cylindrycznej formie poprzez dwustronne ciśnienie statyczne. Przygotowywane próbki dzieli się na dwie grupy:

- a) Grupa „świadków” nie poddawana kondycjonowaniu temperaturowemu oraz wilgotnościowemu.
- b) Grupa poddawana oddziaływaniu wody, kondycjonowana w temperaturze 18°C.

Każdą z grup poddaje się badaniu na ściskanie proste. Wynik określa się jako stosunek wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych kondycjonowaniu do wytrzymałości na ściskanie próbek suchych („świadców”).

#### **Badanie pośredniego rozciągania**

Cylindryczne próbki wykonuje się w żyratorze lub wycina się rdzenie z zagęszczonych płyt wykonanych z mieszanki mineralno-asfaltowej. Przygotowane próbki dzieli się na dwie grupy:

- a) Grupa „świadców” nie poddawana kondycjonowaniu, przechowywana w temperaturze i wilgotności pokojowej.
- b) Grupa poddawana oddziaływaniu wody kondycjonowana przez 70 godzin w temperaturze 40°C w łaźni wodnej.

Każda z grup poddawana jest badaniu pośredniego rozciągania w temperaturze 15°C. Wynik określa się jako stosunek wytrzymałości na pośrednie rozciąganie próbek poddanych kondycjonowaniu do wytrzymałości próbek suchych („świadców”)

#### **2.2.1.2.3. Badanie odporności na deformacje trwałe**

Przygotowywana jest próbka płytowa o wysokości 5 cm lub 10 cm, w zależności od grubości stosowanej warstwy. Płyta ma wysokość 10 cm, jeżeli warstwa jest grubsza niż 5 cm. Próbka płytowa poddawana jest obciążeniu kołem o następujących parametrach:

- Koło pneumatyczne,
- Częstotliwość obciążenia 1 Hz,
- Przyłożone obciążenie 5 kN,
- Przyłożone naprężenie (ciśnienie koła) 0,6 MPa,
- Temperatura badania 60°C.

Ilość obciążeń kołem dobierana jest w zależności od rodzaju badanego materiału oraz jego klasyfikacji. Wynikiem badania jest głębokość deformacji podana w stosunku do ilości cykli. Wynik podany jest jako wartość procentowa deformacji w stosunku do wysokości próbki płytowej (głębokość deformacji dzielona przez grubość próbki)

#### **2.2.1.2.4. Badanie modułu sztywności**

Moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej badany jest w jednym z dwóch schematów:

- Moduł zespolony na próbkach trapezoidalnych lub równoległościennych w schemacie dwupunktowego zginania wspornikowego belki.
- Moduł w teście jednoosiowego rozciągania na próbkach cylindrycznych lub walcowych.

Podczas badania siła przykładana jest w zakresie małych deformacji, poprzez kontrolowanie czasu lub częstotliwości obciążenia, temperatury badania oraz charakterystyki obciążenia.

Moduł sztywności wyznaczany jest dla każdego badania bazowego. Wykorzystując superpozycję czasowo-temperaturową tworzona jest krzywa przewodnia, zwana

„master curve”, dla zadanej temperatury. Taki sposób opisu modułu sztywności podaje informacje na temat zachowania się badanej mieszanki mineralno-asfaltowej w szerokim zakresie obciążeń lub częstotliwości obciążeń.

Wymaganie dla badania modułu sztywności dotyczy modułu wyznaczonego w temperaturze 15°C przy częstotliwości 10 Hz lub przy czasie obciążenia 0,02 sekundy.

#### 2.2.1.2.5. Badanie odporności na zmęczenie

Badanie wykonuje się na próbkach trapezoidalnych, w zakresie temperatur i częstotliwości obciążenia odpowiednio do zadanego poziomu deformacji. Próbka poddawana jest dwupunktowemu zginaniu wspornikowemu w teście kontrolowanego odkształcenia. Gdy naprężenie zadawane do utrzymywania stałej deformacji zmniejszy się o połowę, próbka jest uznawana za zniszczoną przy odpowiedniej ilości cykli obciążenia.

#### 2.2.1.3. Norma NF P 98-140 [15]

Norma dopuszcza projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności typu EME, o następującym uziarnieniu:

- EME 0/10
- EME 0/14
- EME 0/20

Są dwie klasy wymagań funkcjonalnych: EME1 i EME2.

Minimalne grubości warstwy dla poszczególnych mieszanek podane są w tabelicy 2.1.

Tablica 2.1. Minimalne grubości dla mieszanek EME o danym uziarnieniu

Uziarnienie mieszanki	Grubość warstwy	Minimalna grubość warstwy
EME 0/10	6 – 8	5
EME 0/14	7 – 13	6
EME 0/20	9 - 15	8

#### **Wymagania dotyczące materiałów:**

##### Kruszywa:

Tablica 2.2. Minimalne charakterystyki materiałów mineralnych stosowanych do mieszanki EME, w zależności od miejsca wbudowania.

	Podbudowa zasadnicza	Podbudowa pomocnicza
Wytrzymałość mechaniczna kruszyw grubych (Resistance mecanique des gravillons)	D	E
Charakterystyka produkcji kruszywa grubego (Caracteristiques de fabrication des gravillons)	III	III
Charakterystyka produkcji kruszywa drobnego /piasku/	a	a

(Caracteristiques de fabrication des sables)		
Wskaźnik kształtu kruszyw grubych i drobnych (Angularite des gravillons et des sables)	Jeżeli nie jest określone wymaganie ze względu na badanie odporności na deformacje trwałe, minimalna wartość wskaźnika kształtu powinna wynosić IC30	

Wypełniacz powinien spełniać warunki dla kategorii F1, F2 lub F3 określone przez normę XP P 18-540.

Wymagania dotyczące części drobnych (poniżej 125 µm) w kruszywie drobnym podane są w tablicy 2.3.

Tablica 2.3 – Wymagania dotyczące kruszywa drobnego lub w przypadku jego braku mieszanki kruszyw drobnych.

Wymaganie	Wartość
Wskaźnik wolnych przestrzeni Rigdena (P 18-565)	IVR ≤ 40%
Wskaźnik usztywnienia Pouviur (różnica temperatury pomiędzy badaniem PiK wykonanym dla mastyksu składającego się w 60% z wypełniacza oraz w 40% z asfaltu 50/70 w stosunku do badania PiK wykonanego dla samego asfaltu) (NF T 66-008)	10 °C ≤ ΔTBA ≤ 20°C
Wskaźnik błękitu metylowego (ilość błękitu metylowego wchłonięta przez 1000 g kruszywa drobnego (piasku/wypełniacza) (NF EN 933-9)	MBF ≤ 10

Zawartość minimalna asfaltu wyznaczana jest na podstawie „Module de richesse” K, w zależności od klasy mieszanki typu EME. Wartości przedstawiono w tablicy 2.4.

Tablica 2.4 Minimalne wartości „Module de richesse” (Richness modulus)

Klasa mieszanki o wysokim module sztywności typu 0/10 – 0/14 lub 0/20	EME klasy 1	EME klasy 2
K	2,5	3,4

Richness modulus K (zdefiniowany przez Durieza w 1950 roku) jest to wartość proporcjonalna do typowej grubości błonki lepieszca węglowodorowego otaczającego kruszywo. Jest to parametr powiązany z zawartością asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej według wzoru podanego za [6].

$$TL_{ext} = K \times \alpha^5 \sqrt{\Sigma}$$

gdzie:

$$100\Sigma = 0,25G + 2,3S + 12s + 150f$$

G – zawartość ziarn kruszywa > 6,3mm

S – zawartość ziarn kruszywa 0,250mm ÷ 6,3 mm

s – zawartość ziarn kruszywa 0,063mm ÷ 0,250mm

f – zawartość ziarn kruszywa < 0,063mm

α – współczynnik korekcyjny związany z gęstością kruszywa

$$\alpha = \frac{2,65}{\rho_G}$$

gdzie:

ρ<sub>G</sub> – gęstość kruszywa [g/cm<sup>3</sup>]

Proces projektowania mieszanki oraz badania na poszczególnych stopniach projektowania przedstawiono w punkcie 2.2.1.1.

Właściwości, które musi spełniać mieszanka betonu asfaltowego o wysokim module sztywności EME, podano w tablicy 2.5.

Tablica 2.5. Właściwości mieszanek typu EME

Właściwości mieszanek EME 0/10 – 0/14 lub 0/20	Klasa 1	Klasa 2
Badanie zagęszczenia w prasie żyratorowej (NF P 98-252) [%] - przy 80 żyracjach dla EME 0/10 - przy 100 żyracjach dla EME 0/14 - przy 120 żyracjach dla EME 0/20	≤10	≤6
Test Durieza przy 18°C (NF P 98-251-1) Wynik (r (w MPa) po kondycjonowaniu)/(R (w MPa) bez kontycjonowania)	≥ 0,70	≥ 0,75
Badanie koleinowania (NF P 98-253-1) Głębokość koleiny, podana jako procent głębokości w stosunku do grubości próbki płytowej o wysokości 10 cm. Wynik określony po 30 000 cyklach obciążenia w temperaturze 60°C. Właściwość zależna od zawartości wolnych przestrzeni: 7 % do 10 % (klasa 1) 3 % do 6% (klasa 2)	≤ 7,5% -	- ≤ 7,5%
Badanie modułu zespolonego (NF P 98-260-2) Moduł Sztywności [w MPa] wyznaczony w temperaturze 15°C przy 10Hz. Właściwość zależna od wolnych przestrzeni: 7% do 10% (klasa 1) 3% do 6% (klasa 2)	≥ 14 000 -	- ≥14 000
Badanie modułu sztywności w teście jednoosiowego rozciągania (NF P 98-260-1) Właściwość zależna od zawartości wolnych przestrzeni: 7% do 10% (klasa 1) 3% do 6% (klasa 2) Moduł [w MPa] w temperaturze 15°C, 0,02s	≥ 14 000 -	- ≥ 14 000
Badanie odporności na zmęczenie (NF P 98-261-1) Odształcenie przy 10 <sup>6</sup> cyklach, w temperaturze 10°C przy 25 Hz. Właściwość zależna od wolnych przestrzeni: 7% do 10% (klasa 1) 3% do 6% (klasa 2)	≥100μdef -	- ≥130μdef

Wyznaczenie wolnych przestrzeni w próbkach do badań koleinowania, modułu zespolonego, modułu sztywności w rozciąganiu jednoosiowym, odporności na zmęczenie można wykonać metodą promieni gamma (NF P 98-250-5). W przypadku braku możliwości zastosowania tej metody, zawartość wolnych przestrzeni należy wyznaczyć w sposób geometryczny.

Tablica 2.6 Wolna przestrzeń w badaniach in-situ [%] (NF P 98-150 i XP P 98-151) w mieszankach typu EME

EME 0/10 – 0/14 lub 0/20 klasy 1	EME 0/10 – 0/14 lub 0/20 klasy 2
≤10	≤6

#### **Podsumowanie metody:**

- Przedstawiono dwa podstawowe wymagania dotyczące mieszanek EME, które powtarzane będą w kolejnych przepisach:
  - moduł sztywności (15°C, 10Hz; 0,02s) wynoszący  $E \geq 14\,000$  MPa oraz
  - odporność na zmęczenie (10°C, 25 Hz) dla mieszanki typu EME klasy 2 wynoszącą  $\sigma_6 \geq 130$  μstrainów ( $10^{-6}$ ),

- Opis materiałowy (kruszyw) oraz opis badań opiera się w większości na starych normach francuskich. Wersja z 1999 roku zawiera już pewne odniesienia do norm europejskich.
- Nie podano konkretnych krzywych uziarnienia dla mieszanek EME

#### **2.2.1.4. Normy serii NF EN 13108-1 [14]**

Norma NF EN 13108-1 jest normą odpowiadającą polskiej normie PN-EN 13108-1 [20]. Jest to norma klasyfikująca właściwości betonów asfaltowych. Jak podaje nam wprowadzenie do polskiej wersji normy PN-EN 13108-1 [20]: „*Głównym celem normy jest określenie właściwości funkcjonalnych wobec betonu asfaltowego. Jednakże, wzięwszy pod uwagę różnice w wiedzy i doświadczeniu związane ze specyfikacjami funkcjonalnymi do tego typu mieszanki w Europie, nie jest możliwe wybranie jedynie podejścia funkcjonalnego*”. Podane są dwa sposoby określania wymagań: empiryczny z dodatkowymi badaniami opartymi na wynikach badań funkcjonalnych oraz sposób funkcjonalny.

W porównaniu do normy polskiej, norma francuska posiada dodatkowo tabelę z podanymi właściwościami funkcjonalnymi lub empirycznymi dla każdego typu stosowanej mieszanki. Wycinek tabeli z normy NF EN 13108-1 dotyczący mieszanek typu EME klasy 1 i 2 pokazano w tablicy 2.7.

#### **Podsumowanie metody:**

- Pozostawiono dwa podstawowe wymagania dotyczące mieszanek EME, które powtarzane będą w kolejnych przepisach:
  - moduł sztywności (15°C, 10Hz; 0,02s) wynoszący  $E \geq 14\ 000$  MPa oraz
  - odporność na zmęczenie (10°C, 25 Hz) dla mieszanki typu EME klasy 2 wynoszącą  $\varepsilon_6 \geq 130$   $\mu$ strainów ( $10^{-6}$ ),
- Opis materiałowy kruszyw oraz opis badań opiera się w całości na normalizacji europejskiej. Zastąpiono test Durieza testem rozciągania pośredniego. Pozostałe właściwości podporządkowano normalizacji europejskiej.
- Nie podano konkretnych krzywych uziarnienia dla mieszanek EME

Tablica 2.7 Wymagania odnośnie właściwości mieszanek typu EME1/EME2

		Właściwości ogólne								Właściwości funkcjonalne	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	17	18
Podpunkt normy		4.2	5.2.1		5.2.2		5.2.4	5.2.6 tabela 7	5.2.10	5.4.2	5.4.4
Francuskie oznaczenie mieszanki	Europejskie oznaczenie mieszanki	Lepiszczce	Recepta (kompozycja mieszanki w tym zawartość lepiszcza)	Sita	D [mm]	Zawartość wolnych przestrzeni $V_{min} - V_{max}$ (%) (metoda zagęszczania żyratowanego)	Odporność na działanie wody ITSR	Odporność na deformacje trwałe Zawartość wolnych przestrzeni w próbie VI – Vs (metoda zagęszczania żyratowanego: wg NF EN 13108-20 aneks 3)	Temperatura mieszanki	Moduł sztywności minimalnie (MPa) Zawartość wolnych przestrzeni w próbie VI – Vs (metoda zagęszczania żyratowanego: wg NF EN 13108-20 aneks 3)	Odporność na zmęczenie ( $\mu$ def) Zawartość wolnych przestrzeni w próbie VI – Vs (metoda zagęszczania żyratowanego: wg NF EN 13108-20 aneks 3)
EME 1 0/10	EB 10 podbudowa	Typ (przy asfaltach modyfikowanych) zadeklarować klasę	Zadeklarować	Seria podstawowa + seria 2	10 mm	$V_{max 10}$ (80 żyracji)	ITSR <sub>70</sub> (≥70%)	$P_{7,5}$ (≤7,5% - 60°C przy 30 000 cyklach) $V_i=7\% - V_s=10\%$	W zależności od lepiszcza	$S_{min14000}$ (≥14 000 MPa w 15°C, 10Hz lub 0,02s) $V_i = 7\% - V_s=10\%$	$\epsilon_{6-100}$ (≥100.10 <sup>-6</sup> w 10°C, 25Hz) $V_i = 7\% - V_s=10\%$
EME 1 0/14	EB 14 podbudowa	Typ (przy asfaltach modyfikowanych) zadeklarować klasę			14 mm	$V_{max 10}$ (100 żyracji)	ITSR <sub>70</sub> (≥70%)	$P_{7,5}$ (≤7,5% - 60°C przy 30 000 cyklach) $V_i=7\% - V_s=10\%$	W zależności od lepiszcza	$S_{min14000}$ (≥14 000 MPa w 15°C, 10Hz lub 0,02s) $V_i = 7\% - V_s=10\%$	$\epsilon_{6-100}$ (≥100.10 <sup>-6</sup> w 10°C, 25Hz) $V_i = 7\% - V_s=10\%$
EME 1 0/20	EB 20 podbudowa	Typ (przy asfaltach modyfikowanych) zadeklarować klasę			20 mm	$V_{max 10}$ (120 żyracji)	ITSR <sub>70</sub> (≥70%)	$P_{7,5}$ (≤7,5% - 60°C przy 30 000 cyklach) $V_i=7\% - V_s=10\%$	W zależności od lepiszcza	$S_{min14000}$ (≥14 000 MPa w 15°C, 10Hz lub 0,02s) $V_i = 7\% - V_s=10\%$	$\epsilon_{6-100}$ (≥100.10 <sup>-6</sup> w 10°C, 25Hz) $V_i = 7\% - V_s=10\%$
EME 2 0/10	EB 10 podbudowa	Typ (przy asfaltach modyfikowanych) zadeklarować klasę			10 mm	$V_{max 6}$ (80 żyracji)	ITSR <sub>70</sub> (≥70%)	$P_{7,5}$ (≤7,5% - 60°C przy 30 000 cyklach) $V_i=3\% - V_s=6\%$	W zależności od lepiszcza	$S_{min14000}$ (≥14 000 MPa w 15°C, 10Hz lub 0,02s) $V_i = 3\% - V_s=6\%$	$\epsilon_{6-130}$ (≥130.10 <sup>-6</sup> w 10°C, 25Hz) $V_i = 3\% - V_s=6\%$
EME 2 0/14	EB 14 podbudowa	Typ (przy asfaltach modyfikowanych) zadeklarować klasę			14 mm	$V_{max 6}$ (100 żyracji)	ITSR <sub>70</sub> (≥70%)	$P_{7,5}$ (≤7,5% - 60°C przy 30 000 cyklach) $V_i=3\% - V_s=6\%$	W zależności od lepiszcza	$S_{min14000}$ (≥14 000 MPa w 15°C, 10Hz lub 0,02s) $V_i = 3\% - V_s=6\%$	$\epsilon_{6-130}$ (≥130.10 <sup>-6</sup> w 10°C, 25Hz) $V_i = 3\% - V_s=6\%$
EME 2 0/20	EB 20 podbudowa	Typ (przy asfaltach modyfikowanych) zadeklarować klasę			20 mm	$V_{max 6}$ (120 żyracji)	ITSR <sub>70</sub> (≥70%)	$P_{7,5}$ (≤7,5% - 60°C przy 30 000 cyklach) $V_i=3\% - V_s=6\%$	W zależności od lepiszcza	$S_{min14000}$ (≥14 000 MPa w 15°C, 10Hz lub 0,02s) $V_i = 3\% - V_s=6\%$	$\epsilon_{6-130}$ (≥130.10 <sup>-6</sup> w 10°C, 25Hz) $V_i = 3\% - V_s=6\%$



### 2.2.1.5. Wytyczne projektowania „LPC Bituminous Mixtures Design Guide [6]

Więcej praktycznych informacji dotyczących samej recepty mieszanek typu EME podano w wydanych w grudniu 2007 wytycznych projektowania “LPC Bituminous Mixtures Design Guide – The RST Working Group “Design of Bituminous Mixtures”” pod redakcją Jean-Luc Delorme, Chantal de la Roche i Louissette Wendling [6].

#### **Kruszywo:**

Podane zostały wymagania dotyczące kruszywa grubego oparte na normalizacji europejskiej. Przedstawiono je w tablicy 2.8.

Tablica 2.8 Minimalne wymagania dla kruszywa grubego, wg [6]

	Rodzaj kruszywa/ zastosowanie	Badania	Wymagania materiałowe
Typowe charakterystyki kruszywa (wartości minimalne)	Dolna warstwa podbudowy	Rozdrobnienie, odporność na ścieranie	LA <sub>40</sub> M <sub>DE</sub> 35
	Górna warstwa podbudowy	Rozdrobnienie, odporność na ścieranie	LA <sub>30</sub> M <sub>DE</sub> 25
	Kruszywo grube	Kategoria uziarnienia, łuszczenie, zawartość części drobnych	G <sub>C</sub> 85/20; G <sub>25/15</sub> FI <sub>25</sub> f <sub>2</sub>
	Kruszywo drobne lub o uziarnieniu ciągłym	Kategoria uziarnienia, Wskaźnik błękitu metylowego	G <sub>F</sub> 85, G <sub>TC</sub> 10, G <sub>A</sub> 85 MB <sub>F</sub> 10
	Wypełniacz	Sztywność wyznaczona poprzez PiK, Wolne przestrzenie w suchym zagęszczonym wypełniaczu	Δ <sub>R&amp;B</sub> 8/16 V <sub>28/38</sub>

#### **Lepiszczce:**

Do stosowania zalecono twarde asfalty przewidziane przez normę NF EN 13924 w połączeniu z asfaltami o penetracji 10/20 lub 15/25. Rekomendowana charakterystyka asfaltu jest następująca:

- Standardowa penetracja 10 do 25 jednostek [1/10 mm]
- Temperatura mięknięcia według pierścienia i kuli: pomiędzy 62°C a 72°C lub nawet 80°C

Asfalt 20/30 lub inne asfalty (zwłaszcza 35/50) są dopuszczalne z zastosowaniem dodatków (np. naturalnego asfaltu) lub polietylenu. Modyfikacja polimerem służy zwiększeniu wartości  $\epsilon_6$ .

Dodatek włókien nie wywiera dużego wpływu na wartość modułu sztywności.

Załącznik krajowy do normy NF EN 13924 podaje dodatkowe wymagania stawiane poszczególnym asfaltom. Asfalt 10/20 powinien posiadać temperaturę mięknięcia T<sub>PIK</sub> rzędu 60-76°C, natomiast asfalt 15/25 odpowiednio T<sub>PIK</sub> rzędu 55-71°C. Dodatkowo dostawca powinien zadeklarować możliwość zredukowania rozrzutu temperatury mięknięcia wokół punktu centralnego do ±5°C.

W przypadku dodatków w postaci asfaltów naturalnych należy korzystać z wymagań z Załącznika B do normy EN 13108-4. Zdefiniowane są 2 kategorie:

- Wysoka zawartość popiołów w asfalcie naturalnym – penetracja 0-4 jednostek, PiK 93-99°C, rozpuszczalność 52-55%, zawartość pyłów (popiołów) 35-39%, gęstość 1,39-1,42 g/ml.
- Niska zawartość popiołów w asfalcie naturalnym – penetracja 0-1 jednostek, PiK 160-182°C, rozpuszczalność >95%, zawartość pyłów (popiołów) 0-1%, gęstość 1,01-1,09 g/ml.

### **Krzywe uziarnienia:**

Rozkład krzywej uziarnienia ma charakter ciągły. Istnieje możliwość wprowadzenia nieciągłości we frakcjach 4/6 lub 6/10. Zwykle nie ma to większego wpływu na właściwości materiału. Tablice 2.9 i 2.10 pokazują krzywe uziarnienia dla mieszanek EME 0/10, EME 0/14 i EME 0/20.

Tablica 2.9 Początkowe uziarnienie dla AC-EME 0/14 i 0/20

Przechodzi przez sito w mm	0/14 lub 0/20		
	Minimalnie	Typowy zakres Optymalnie	Maksymalnie
6,3	45 (50 dla 0/14)	53	65 (70 dla 0/14)
4	40	47	60
2	25	33	38
0,063	5,4	6,7	7,7

Tablica 2.10 Początkowe uziarnienie dla AC-EME 0/10

Przechodzi przez sito w mm	0/10		
	Minimalnie	Typowy zakres Optymalnie	Maksymalnie
6,3	45	55	65
4		52	
2	28	33	38
0,063	6,3	6,7	7,2

### **Zawartość asfaltu:**

Typowe początkowe zawartości asfaltu w zależności od gęstości mieszanki mineralnej podane zostały w tablicy 2.11.

Tablica 2.11 Typowe początkowe zawartości asfaltu (wartość „richness modulus”)

D [mm]	AC-EME1		AC-EME2	
	10 lub 14	20	10 lub 14	20
Zawartość asfaltu $B_{min}$ przy $\rho=2,65 \text{ g/cm}^3$	4,0	4,0	5,4	5,3
Zawartość asfaltu $B_{min}$ przy $\rho=2,75 \text{ g/cm}^3$	3,9	3,9	5,2	5,1
Typowa wartość „richness modulus” K	2,5		3,4	
Zawartość minimalna asfaltu ze względu na projektowanie funkcjonalne [%]	3,0		3,0	

**Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej o wysokim module sztywności:**

Dla mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności typu EME zostały podane właściwości, które muszą być spełnione dla każdego poziomu projektowania mieszanki.

Tablica 2.12 Wymagania dotyczące badań w zależności od poziomu badań

Poziom projektowania Wymagania dotyczące badania	Rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej o wysokim module sztywności typu EME					
	EME1			EME2		
	0/10	0/14	0/20	0/10	0/14	0/20
<b>Poziom 1</b>						
Badanie zagęszczenia w prasie żyratorowej [%] - przy 80 żyracjach dla EME 0/10 - przy 100 żyracjach dla EME 0/14 - przy 120 żyracjach dla EME 0/20	<10 $V_{max10}$	<10 $V_{max10}$	-	<6 $V_{max6}$	<6 $V_{max6}$	<6 $V_{max6}$
Odporność na działanie wody (I/C) ITSR (%)	ITSR <sub>70</sub>	ITSR <sub>70</sub>	-	ITSR <sub>70</sub>	ITSR <sub>70</sub>	ITSR <sub>70</sub>
<b>Poziom 2</b>						
Badanie koleinowania Głębokość koleiny, podana jako procent głębokości w stosunku do grubości próbki płytowej o wysokości 10 cm. Wynik określony po 30 000 cyklach obciążenia w temperaturze 60°C. Próbkę badawczą powinny zawierać następującą zawartość wolnych przestrzeni: 7 % do 10 % (klasa 1) 3 % do 6% (klasa 2)	$P_{7,5}$ $\leq 7,5\%$	$P_{7,5}$ $\leq 7,5\%$	-	$P_{7,5}$ $\leq 7,5\%$	$P_{7,5}$ $\leq 7,5\%$	$P_{7,5}$ $\leq 7,5\%$
<b>Poziom 3</b>						
Badanie modułu sztywności Moduł Sztywności [w MPa] wyznaczony w temperaturze 15°C przy 10Hz lub 0,02s. Próbkę badawczą o grubości 12 cm powinny zawierać następującą zawartość wolnych przestrzeni: 7% do 10% (klasa 1) 3% do 6% (klasa 2)	14000 $S_{14000}$	14000 $S_{14000}$	-	14000 $S_{14000}$	14000 $S_{14000}$	14000 $S_{14000}$
<b>Poziom 4</b>						
Badanie odporności na zmęczenie Załącznik A – dwupunktowa belka trapezowa obciążana wspornikowo. Odształcenie przy 10 <sup>6</sup> cyklach, w temperaturze 10°C przy 25 Hz. Próbkę badawczą o grubości 12 cm powinny zawierać następującą zawartość wolnych przestrzeni: 7% do 10% (klasa 1) 3% do 6% (klasa 2)	$\epsilon_{6-100}$	$\epsilon_{6-100}$	-	$\epsilon_{6-130}$	$\epsilon_{6-130}$	$\epsilon_{6-130}$

**2.2.1.6. Francuski „Katalog typowych konstrukcji nowych nawierzchni”  
Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves, Edition 1998,  
LCPC, SETRA oraz poradniki dotyczące projektowania nawierzchni  
[2,3,9]**

W katalogu [2] oraz w poradnikach [3,9] podano założenia materiałowe dotyczące mieszanek typu EME1/EME2 projektowanych w oparciu o normę NF P 98-140 stosowane do projektowania nawierzchni metodami mechanistycznymi. Założenia na podstawie [2,3,9] przedstawiono w tabelicy 2.13.

Tablica 2.13. Założenia materiałowe wykorzystywane do projektowania nawierzchni z zastosowaniem mieszanek typu EME1/EME2

L.p.	Mieszanka	$\epsilon_6$ [ $\mu\text{def}$ ]	-1/b	SN	Sh [cm]	$k_c$	E [MPa] (10°C)	E [MPa] ( $\theta=15^\circ\text{C}$ )	Zawartość wolnej przeźrzeni [%]	„Richness modulus”	Zawartość asfaltu [%] (dla $\rho=2,65\text{g/cm}^3$ )
1	Beton asfaltowy o wysokim module sztywności klasy 1 (EME1)	100	5	0,3	1-2,5	1,0	17000	14000	$\leq 10$	2,5	4,2
2	Beton asfaltowy o wysokim module sztywności klasy 2 (EME2)	130	5	0,25	1-2,5	1,0	17000	14000	$\leq 6$	3,4	5,6

gdzie:

- $\epsilon_6$  – odkształcenie rozciągające, przy którym z 50% prawdopodobieństwem zachodzi zniszczenie próbki przy zginaniu po  $10^6$  cyklach, w zadanej temperaturze ekwiwalentnej ( $\theta_{eq}$ ) oraz dla zadanej częstotliwości (f)
- b – nachylenie krzywej zmęczeniowej materiału w układzie  $\log \epsilon - \log N$
- SN – odchylenie standardowe liczby cykli (w skali logarytmicznej), prowadzących do zniszczenia przez zmęczenie materiału
- Sh – odchylenie standardowe grubości nawierzchni
- $k_c$  – współczynnik dostosowujący wyniki obliczeń do rzeczywistego zachowania danego materiału na drodze.
- E (10°C) – Moduł sprężystości Young’a w temperaturze 10°C (wykorzystywane w kryterium zmęczeniowym dotyczącą warstw asfaltowych)
- E ( $\theta=15^\circ\text{C}$ ) – Moduł sprężystości Young’a w temperaturze ekwiwalentnej  $\theta$  (we Francji temperatura ekwiwalentna wynosi 15°C)

W tabelicy 2.14 przedstawiono wpływ temperatury na moduł sztywności betonu asfaltowego o wysokim module sztywności typu EME.

Tablica 2.14 Orientacyjne wartości wpływu temperatury na moduł sztywności betonów asfaltowych typu EME, za [3,9]

Moduł sztywności przy 10 Hz [MPa]						
Temperatura (°C)	- 10	0	10	20	30	40
EME klasy 1 i 2	30 000	24 000	17 000	11 000	6 000	3 000

Katalog francuski z 1998 roku zawiera dwie karty z typowymi konstrukcjami z wykorzystaniem betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstw podbudowy zasadniczej. Konstrukcje te oznaczone są numerami 3 (VRNS) i 3 (VRS) oraz symbolem EME2/EME2.

Rozwiązania katalogowe zawierają wyłącznie mieszankę EME2 (klasy 2). Grubości warstw podbudowy z EME 2 zawierają się w przedziale od 10 do 19 cm dla sieci drogowej niestrukturalnej (VRNS; okres obliczeniowy 20 lat, ruch od TC4 do TC7) oraz od 14 do 26 cm dla sieci drogowej strukturalnej (VRS, okres obliczeniowy 30 lat, ruch od TC4 do TC8). W zdecydowanej liczbie przypadków podbudowy z EME2 układane są w dwóch warstwach. Minimalna grubość warstwy EME2 wynosi 6 cm, a maksymalna 13 cm

Na podbudowach typu EME2/EME2 spoczywają warstwy powierzchniowe, złożone z warstwy ścieralnej i warstwy wiążącej. Grubość pakietu warstw powierzchniowych zawiera się w przedziale od 2,5 do 10 cm, w zależności od ruchu oraz stosowanych materiałów. Katalog dopuszcza następujące konstrukcje pakietu warstw powierzchniowych:

- 2,5 cm BBTM i 6 cm BBSG lub BBME (ruch TC6 do TC8)
- 4 cm BBDr i 6 cm BBSG lub BBME (ruch TC6 do TC8)
- 4 cm BBMa i 4 cm BBM (ruch TC6 do TC8)
- 2,5 cm BBTM (ruch TC4 do TC5)
- 4 cm BBDr (ruch TC4 do TC5)

#### **2.2.1.7. Katalog konstrukcji nawierzchni departamentu Hauts de Seine (Le catalogue des structures types de chaussées, Conseil general des Hauts-de-Seine) [24]**

Katalog ten jest jednym z licznych Katalogów Typowych Nawierzchni wydawanym przez departamenty francuskie.

Parametry materiałowe oraz wymagania odnośnie mieszanek EME2 opracowano na podstawie normy NF P 98-140. Wymagania dotyczące kruszyw dostosowano do lokalnych klas obciążenia ruchem.

Odstępstwem od centralnego Katalogu Francuskiego [2] jest zastosowanie mieszanek EME2 w konstrukcjach kompozytowych (odpowiadają polskim nawierzchniom typu półsztywnego). Warstwy asfaltowe o konstrukcji 2,5 cm BBTM (z asfaltem modyfikowanym), 4 cm BBM (z asfaltem modyfikowanym) i 10 cm EME2 położone są na warstwie kruszywa związanego spoiwem hydraulicznym klasy G3 o grubości od 22 do 29 cm. Konstrukcja ta jest stosowana do dróg o największym obciążeniu ruchem.

W przypadku konstrukcji podatnych grubość warstw z mieszanek EME2 zawiera się w przedziale od 14 do 20 cm. Warstwy powierzchniowe występują w 3 schematach:

- 2,5 cm BBTM i 4 cm BBM (obie warstwy wykonane z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych)
- 2,5 cm BBTM i 4 cm BBM (obie warstwy wykonane z zastosowaniem asfaltów zwykłych)

- 4 cm BBM (warstwa wykonana z zastosowaniem asfaltu zwykłego)
- Konstrukcje podatne z zastosowaniem mieszanek EME2 nie są podane dla najcięższej kategorii obciążenia ruchem)

## 2.2.1.8. Publikacje w języku angielskim

### 2.2.1.8.1. Corte, J-F, Development and Uses of Hard-Grade Asphalt and of High-Modulus Asphalt Mixes in France [4]

W publikacji przedstawiono parametry mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności w oparciu o stare normy francuskie typu NF P 98-140 z niewielkimi różnicami.

Podana została inna forma wzoru służącego do wyznaczania zawartości asfaltu na podstawie „richness modulus”

$$K = \frac{TL}{\alpha^5 \sqrt{\Sigma}}$$

gdzie:

$$100\Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f$$

G – zawartość ziarn > 6,3mm

S – zawartość ziarn 0,315 mm ÷ 6,3 mm

s – zawartość ziarn 0,08 mm ÷ 0,315 mm

f – zawartość ziarn < 0,08 mm

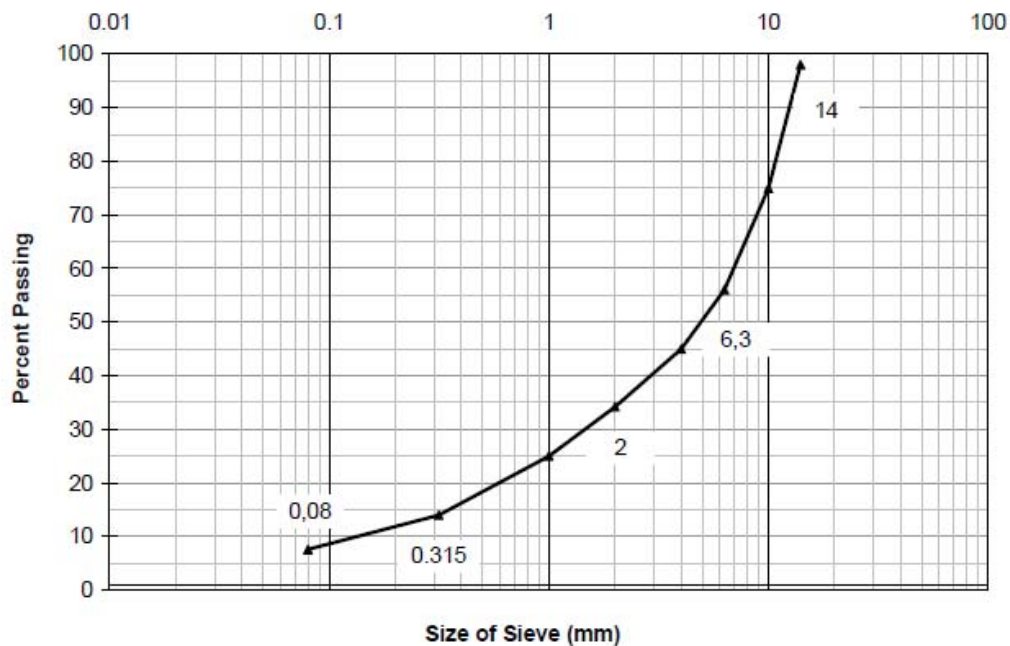
Wyznaczona na podstawie wzoru minimalna zawartość asfaltu wynosi dla mieszanki typu EME2 5,7% (m/m).

Dodatkowo, Corte przedstawia w sekcji dotyczącej projektowania mieszanek typową krzywą uziarnienia dla mieszanki 0/14. Krzywą przedstawia rysunek 2.1.

Pozostałe wymagane właściwości określone na podstawie badań posiadają progi podane przez normę NF P 98-140.

Wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzone przez Corte pokazują lepsze właściwości funkcjonalne mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem asfaltów twardych, w porównaniu do mieszanki GB2 tradycyjnie stosowanej do podbudów drogowych we Francji.

W badaniach na odcinku próbnym z zastosowaniem asfaltów twardych zauważono spękania po wystąpieniu pierwszej zimy (minimalna zaobserwowana temperatura wynosiła od -10 do -13°C). Jednakże, na szczególną uwagę zasługuje fakt, że zastosowano tu asfalt bardzo twardy (penetracja w 25°C wynosiła 5÷10 jednostek, temperatura PiK wynosiła 88°C, moduł sztywności mieszanki w 15°C wynosił 21 600 MPa). Takich asfaltów do mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności nie stosuje się nawet we Francji.



Rysunek 2.1. Typowa krzywa uziarnienia mieszanki HMAC 0/14 z zawartością asfaltu 6,2% (m/m)

Na szczególną uwagę zasługują wnioski z analiz odcinków rzeczywistych. Corte przywołuje informacje o 47 odcinkach dróg z zastosowaniem mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności podane przez SETRE w 1997 roku. Obserwacje dotyczą dróg o wieku od 2 do 14 lat. Wnioski wynikające z analizy są następujące:

- Dla nawierzchni o wieku pomiędzy 2 a 6 lat, zauważono brak lub bardzo niewielką degradację,
- Dla nawierzchni o wieku pomiędzy 6 a 10 lat, wystąpiły spękania warstw asfaltowych w stopniu małym lub średnim
- Dla nawierzchni najstarszych, występowały spękania o stopniu średnim, jednak nie wymagały one natychmiastowych zabiegów naprawczych.
- Zachowanie mieszanek w terenie nie wykazało podatności na spękania niskotemperaturowe lub spękania termiczne.

Nie przedstawiono żadnych informacji dotyczących deformacji trwałych na rozpatrywanych odcinkach.

#### **Podsumowanie:**

- Nawierzchnie z zastosowaniem warstw z mieszanek typu EME2 pozwalają zmniejszyć grubość nawierzchni drogowej o ok 25-30%.
- Badania laboratoryjne wykazują dużo lepsze właściwości funkcjonalne mieszanek z zastosowaniem asfaltów twardych (10/15,15/25) w porównaniu do tradycyjnych mieszanek mineralno-asfaltowych stosowanych do podbudów.
- Odcinki rzeczywiste (47 odcinków dróg o wieku pomiędzy 2 a 14 lat) nie wykazały nadmiernych zniszczeń podczas okresu eksploatacji (ilość spękań od małej do średniej, nie wymagające jednak znacznych zabiegów utrzymaniowych, brak informacji o nadmiernych deformacjach trwałych)

- Odcinki rzeczywiste nie wykazały podatności na spękania niskotemperaturowe oraz na spękania termiczne (brak informacji o dokładnym położeniu odcinków)
- Szczególną uwagę w przypadku spękań termicznych należy zwrócić uwagę w przypadku warstw ścieralnych i wiążących wykonanych z betonu asfaltowego typu BBME (warstwy wierzchnie o wysokim module sztywności)
- Właściwości niskotemperaturowe nawierzchni zależą w dużym stopniu od sposobu wytworzenia asfaltu

## 2.2.2. Polska

### 2.2.2.1. Zeszyt IBDiM nr 63 [25]

W Polsce pierwsze prace badawcze nad zastosowaniem mieszanek o wysokim module sztywności rozpoczęły się na przełomie lat 90 tych i 2000 w IBDiM w Warszawie. Zaowocowało to wydaniem pierwszej polskiej instrukcji (Zeszyt 63 IBDiM, 2002) do projektowania i wbudowania tego typu mieszanek o nazwie beton asfaltowy o wysokim module sztywności (BAWMS) w 2002 roku. Mieszanki tego typu pojawiały się w dokumentacjach technicznych nowoprojektowanych inwestycjach drogowych, lecz nie było publikacji dokumentujących zastosowania tych mieszanek.

Wymagania dotyczące materiałów stosowanych do mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności według zeszytu IBDiM nr I-63 podano w tablicy 2.15.

Tablica 2.15 Wymagania dotyczące materiałów do mieszanek mineralno-asfaltowych typu BAWMS, za [25]

Zastosowanie	Materiał	Wymagania
Warstwa wiążąca	Asfalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asfalt wielorodzajowy (multigrade) według Aprobaty Technicznej,</li> <li>• Polimeroasfalt DE 30 lub DP 30 według TWT-PAD-97</li> <li>• Inny asfalt specjalny według Aprobaty Technicznej</li> </ul>
	Kruszywo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piasek łamany, kruszywo drobne granulowane oraz grysy klasy I lub II według PN-B-11112:1996</li> <li>• Grysy z żużla stalowniczego klasy A lub B według PN-B-11115:1998 oraz Aprobaty Technicznej</li> <li>• Grysy z żużla pomiedziowego według Aprobaty Technicznej</li> </ul>
	Wypełniacz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wypełniacz wapienny według PN-S-96504:1961</li> </ul>
Podbudowa asfaltowa	Asfalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asfalt wielorodzajowy (multigrade) według Aprobaty Technicznej,</li> <li>• Polimeroasfalt DE 30 lub DP 30 według TWT-PAD-97</li> <li>• Inny asfalt specjalny według Aprobaty Technicznej</li> </ul>
	Kruszywo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piasek łamany, kruszywo drobne granulowane, kruszywo łamane (w tym grysy) klasy I lub klasy II według PN-S-11112:1996</li> <li>• Grysy z żużla stalowniczego klasy A lub B według PN-B-11115:1998 oraz Aprobaty Technicznej</li> <li>• Grysy z żużla pomiedziowego według Aprobaty Technicznej</li> </ul>
	Wypełniacz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wypełniacz wapienny według PN-S-96504:1961</li> </ul>

Mieszankę betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (BA WMS) do warstwy wiążącej oraz warstwy podbudowy projektowano się metodą laboratoryjną według PN-S-96025:2000 pod względem uziarnienia jak do warstwy ścieralnej (załącznik E, tablica E.2) oraz wymagań podanych w tablicy 2.16. Krzywe graniczne uziarnienia według Zeszytu IBDiM nr I-63 przedstawione są w tablicy 2.17.



Tablica 2.16. Wymagania dla BA WMS dla warstwy wiążącej i warstwy podbudowy, za [25]

Właściwość	Metoda Badania	Jednostki	BA WMS w/wiążąca	BA WMS w/podbudowy
Zawartość wolnej przestrzeni w próbkach Marshalla zagęszczanych 75 uderzeniami na stronę	PN-S-96025:2000	% (v/v)	3-5	3-5
Zawartość wolnej przestrzeni w warstwie [%]	PN-S-96025:2000	W (v/v)	≤6	≤6
Odporność na koleinowanie w 60°C po 30000 cyklach	Duży koleinomierz (LCPC)	%	≤5	≤8
Moduł sztywności pełzania pod obciążeniem statycznym w 40°C	Według Zeszytu 48 seria „I”, IBDiM	MPa	≥20	≥22
Moduł zespolony w 10°C, 10Hz	Belka 4-punktowo zginana	MPa	≥12000	≥14000
Odporność na zmęczenie: odkształcenie $\epsilon_6$ po $10^6$ cyklach obciążeń w 10°C, 10Hz	Belka 4-punktowo zginana		≥100 $10^{-6}$	≥130 $10^{-6}$

Tablica 2.17 Krzywe graniczne uziarnienia dla mieszanek mineralno-asfaltowych typu BA WMS 0/12,8; BA WMS 0/16; BA WMS 0/20, według tablicy E.2. z normy PN-S-96025:2000.

Wymiar oczek sit # w mm	Rzędne krzywych granicznych w zależności od ruchu					
	Od KR 3 do KR 6					
	Od 0 mm do 20,0 mm		Od 0 mm do 16,0 mm		Od 0 mm do 12,8 mm	
	od	do	od	do	od	do
1	8	9	12	13	14	15
Przechodzi przez:						
25,0	100	100				
20,0	88	100	100	100		
16,0	78	100	90	100	100	100
12,8	68	85	80	100	87	100
9,6	59	74	70	88	73	100
8,0	54	67	63	80	66	89
6,3	48	60	55	70	57	75
4,0	39	50	44	58	47	60
2,0	29	38	30	42	35	48
Zawartość ziarn > 2,0 mm	62	71	58	70	52	65
0,85	20	28	18	28	25	36
0,42	13	20	12	20	18	27
0,30	10	17	10	18	16	23
0,18	7	12	8	15	12	17
0,15	6	11	7	14	11	15
0,075	5	7	6	9	7	9

Typowa konstrukcja drogi przedstawiona w Zeszycie IBDiM I-63 była następująca:  
**Warstwa ściernalna** – grubości od 1,5 do 3 cm z mieszanki według ZW-CWG-95; zaleca się stosowanie mieszanek MNU lub SMA z elastomeroasfaltem.

**Warstwa wiążąca** – grubości od 6 do 10 cm według projektu z mieszanki BA WMS 0/12,8 mm, BA WMS 0/16 mm lub BA WMS 0/20 mm z asfaltem specjalnym, wykonana w technologii na gorąco.

**Podbudowa asfaltowa** – grubości według projektu z mieszanki BA WMS 0/16 mm lub BA WMS 0/20 mm z asfaltem specjalnym, wykonana w technologii na gorąco.

**Podbudowa pomocnicza** – według Katalogu KTKNPP 1997.

**Podłoże gruntowe** – według Katalogu KTKNPP 1997.

**Złącza i połączenia międzywarstwowe** – według PN-S-96025:2000 i Zeszytu IBDiM I-63.

### 2.2.2.2. Zeszyt IBDiM nr 70 [29]

Zeszyt ten ukazał się w 2007 roku, czyli w okresie przejściowym wprowadzania norm typu PN-EN w Polsce. Spowodowane to było sporym zainteresowaniem producentów oraz dość znacznymi zmianami w samych właściwościach, które miała spełniać mieszanka. W zeszycie tym dostępne są dwa podejścia do projektowania mieszanek. Pierwsze jest rozwinięciem metody z Zeszytu IBDiM nr 63. Krzywe uziarnienia oraz warunki, które musi spełniać kruszywo opierają się na normie PN-S-96025:2000. Drugie podejście wykorzystuje natomiast już właściwości kruszywa, które zostały podane w Wytycznych Technicznych WT1.

Wymagania dotyczące materiałów stosowanych do mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności według Zeszytu IBDiM nr I-70 podano w tablicach 2.18, 2.19, 2.20, 2.21 oraz 2.22.

Tablica 2.18 Wymagania dotyczące asfaltów do mieszanek mineralno-asfaltowych typu BAWMS wg. Zeszytu IBDiM nr 70

Materiał	Wymagania
Asfalt	<ul style="list-style-type: none"><li>• Asfalt 20/30 według PN-EN 12591:2004</li><li>• Asfalt wielorodzajowy (multigrade) według Aprobaty Technicznej,</li><li>• Polimeroasfalt DE 30 lub DP 30 według TWT-PAD-2003 (Zeszyt IBDiM I-65)</li><li>• Inny asfalt specjalny według Aprobaty Technicznej</li></ul>

Tablica 2.19 Wymagania dotyczące kruszyw oraz wypełniacza do mieszanek mineralno-asfaltowych typu BAWMS oparte o normy typu PN-B oraz PN-S

Materiał	Wymagania
Kruszywo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Piasek naturalny i łamany, gatunek 1,2, według PN-B-11113:1996,</li><li>• Kruszywo łamane zwykłe i granulowane z surowca skalnego oraz sztucznego, gatunek 1,2, według PN-B-11112:1996, klasa I, II</li><li>• Grys z naturalnie rozdrobnionego surowca skalnego i żwir kruszony, klasa I, II, gatunek 1,2, według PN-S-96025:2000, załącznik G</li><li>• Grysy z żużla stalowniczego klasa A lub B według PN-B-11115:1998 oraz Aprobaty Technicznej</li><li>• Grysy z żużla pomiedziowego według Aprobaty Technicznej</li><li>• Wypełniacz wapienny według PN-S-96504:1961</li></ul>

Tablica 2.20 Wymagania dotyczące kruszywa grubego (naturalnego i/lub sztucznego) do mieszanek mineralno-asfaltowych typu BAWMS oparte o normę typu PN-EN 13043:2004 i WT Kruszywa MMA PU – 2006, za [29]

Punkt normy PN-EN 13043:2004 i WT Kruszywa MMA PU - 2006	Właściwości kruszywa	Wymagania	
		KR 3 - 4	KR 5 - 6
4.1.3	Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria co najmniej:	$G_{C90/20}$	$G_{C90/20}$
4.1.3.1	Tolerancja uziarnienia; odchylenia nie większe niż wg kategorii:	$G_{20/15}$	$G_{20/15}$
4.1.4	Zawartość pyłów wg PN-EN 933-1; kategoria nie wyższa niż:	$f_2$	
4.1.6	Kształt kruszywa wg PN-EN 933-3 lub PN 933-4; kategoria nie wyższa niż:	$SI_{40}(FI_{40})$	$SI_{30}(FI_{30})$
4.1.7	Procentowa zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej i łamanej wg PN-EN 933-5; kategoria co najmniej:	$C_{90/1}$	$C_{90/1}$
4.2.2	Odporność kruszywa na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2, rozdział 5; kategoria nie wyższa niż:	$LA_{40}$	$LA_{40}$
4.2.7.1	Gęstość ziaren wg PN-EN 1097-6, rozdział 7,8 lub 9	Deklarowana przez producenta	
4.2.8	Gęstość nasypowa wg PN-EN 1097-3	Deklarowana przez producenta	
4.2.9.1	Nasiąkliwość wg PN-EN 1097-6, załącznik B; kategoria nie wyższa niż:	$W_{cm}0,5^a$	
4.2.9.2	Mrozoodporność wg PN-EN 1367-1, kategoria nie wyższa niż:	$F_4$	
4.2.12	„Zgorzel słoneczna” bazaltu wg PN-EN 1367-3	$SB_{LA}$	
4.3.2	Właściwości chemiczne – uproszczony opis petrograficzny wg PN-EN 932-3	Deklarowana przez producenta	
4.3.3	Grube zanieczyszczenia lekkie, wg PN-EN 1744-1 p.14.2; kategoria nie wyższa niż:	$m_{LPC}0,1$	
4.3.4.1	Rozpad krzemianowy w żużlu wielkopieczowym chłodzonym powietrzem wg PN-EN 1744-1 p.19.1	Wymagana odporność	
4.3.4.2	Rozpad żelazowy żużla wielkopieczowego chłodzonego powietrzem wg PN-EN 1744-1 p.19.2	Wymagana odporność	
4.3.4.3	Stołość objętości kruszywa z żużla stalowniczego wg PN-EN 1744-1 p.19.3; kategoria nie wyższa:	$V_{6,5}$	

a – jeśli nasiąkliwość jest większa, to kryterium oceny przydatności jest badanie mrozoodporności wg p. 4.2.9.2.

Tablica 2.21 Wymagania dotyczące kruszywa drobnego i/lub o ciągłym uziarnieniu (naturalnego i/lub sztucznego) do mieszanek mineralno-asfaltowych typu BAWMS oparte o normę typu PN-EN 13043:2004 i WT Kruszywa MMA PU – 2006, za [29]

Punkt normy PN-EN 13043:2004 i WT Kruszywa MMA PU - 2006	Właściwości kruszywa	Wymagania	
		KR 3-4	KR 5-6
4.1.3	Uziarnienie wg PN-EN 933-1; wymagana kategoria:	$G_{F85}$ i $G_{A85}$	
4.1.3.2	Tolerancje uziarnienia; odchylenia nie większe niż wg kategorii:	$G_{TC}20$	$G_{TC}20$
4.1.4	Zawartość pyłów wg PN-EN 933-1, kategoria nie wyższa niż:	$f_{16}$	
4.1.5	Jakość pyłów wg PN-EN 933-9; kategoria nie wyższa od:	$MB_F10$	
4.1.8	Kanciastość kruszywa drobnego wg PN-EN 933-6,	$E_{CS}30$	$E_{CS}30$

	rozdział 8; kategoria nie wyższa niż:	
4.2.7.1	Gęstość ziaren wg PN-EN 1097-6, rozdział 7,8 lub 9:	Deklarowana przez producenta
4.3.3	Grube zanieczyszczenia lekkie, wg PN-EN 1744-1 p.14.2; kategoria nie wyższa niż:	m <sub>LPC0,1</sub>

Tablica 2.22 Wymagania dotyczące wypełniacza do mieszanek mineralno-asfaltowych typu BAWMS oparte o normę typu PN-EN 13043:2004 i WT Kruszywa MMA PU – 2006, za [29]

Punkt normy PN-EN 13043:2004 i WT Kruszywa MMA PU - 2006	Właściwości wypełniacza	Wymagania wobec wypełniacza
5.2.1	Uziarnienie wg PN-EN 933-10:	Zgodne z tablicą 24
5.2.2	Jakość pyłów wg PN-EN 933-9; kategoria nie wyższa niż:	MB <sub>F</sub> 10
5.3.1	Zawartość wody wg PN-EN 1097-5, nie wyższa od:	1
5.3.2	Gęstość ziaren wg EN 1097-7	Deklarowana przez producenta
5.3.3.1	Wolne przestrzenie w suchym zagęszczonym wypełniaczu wg PN-EN 1097-4; wymagana kategoria:	V <sub>28/45</sub>
5.3.3.2	Przyrost temperatury mięknięcia wg PN-EN 12179-1; wymagana kategoria:	Δ <sub>R&amp;B</sub> 8/25
5.4.1	Rozpuszczalność w wodzie wg PN-EN 1744-1, kategoria nie wyższa niż:	WS <sub>10</sub>
5.4.3	Zawartość CaCO <sub>3</sub> w wypełniaczu wapiennym wg PN-EN 196-21; kategoria, co najmniej:	CC <sub>70</sub>
5.4.4	Zawartość wodorotlenku wapnia w wypełniaczu mieszanym; kategoria:	K <sub>a</sub> 10, K <sub>a</sub> Deklarowana
5.5.2	„Liczba asfaltowa” wg EN 13179-2	BN <sub>Deklarowana</sub>

Mieszanekę betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (BA WMS) do warstwy wiążącej oraz warstwy podbudowy projektuje się:

- a) Metodą laboratoryjną według PN-S-96025:2000 pod względem uziarnienia jak do warstwy ścieralnej (załącznik E, tablica E.2) oraz wymagań podanych w tablicy 6 w Zeszycie IBDiM I-70. Krzywe graniczne uziarnienia podano w tablicy 2.17. Wymagania dotyczące mieszanki BA WMS podano w tablicy 2.24.
- b) Metodą laboratoryjną dla nowego uziarnienia kruszyw WT Kruszywa MMA PU – 2006, według tablicy 5 i pozostałych wymagań tablicy 6 w Zeszycie IBDiM I-70. Wymagania dotyczące krzywych granicznych podano w tablicy 2.23. Wymagania dotyczące mieszanki BA WMS podano w tablicy 2.24.

Tablica 2.23 Rzędne krzywych granicznych uziarnienia betonu asfaltowego o wysokim module sztywności BAWMS do warstwy wiążącej lub podbudowy oraz orientacyjna zawartość lepiszcza asfaltowego, KR3-6; wg. Tablicy 5 w Zeszycie IBDiM I-70

Właściwość	BAWMS11		BAWMS16	
	Od	Do	Od	do
Wymiar sita #, mm				
Przechodzi przez:				
22,4	-	-	100	-
16	100	-	90	100
11,2	90	100	70	85
8	70	85	-	-
2	40	50	35	45
0,125	7	17	7	17
0,063	5	9	5	9
Zawartość asfaltu w mieszance, % m/m	5,0	6,5	4,8	6,2

Tablica 2.24. Zalecane właściwości betonu asfaltowego o wysokim module sztywności BA WMS do warstwy wiążącej lub podbudowy i warstwy nawierzchni, wg. tablicy 6 w Zeszycie IBDiM I-70

Właściwość	Metoda Badania	Wymaganie
Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach laboratoryjnych (próbki Marshalla zagęszczane 75 uderzeń/stronę), % v/v	Zeszyt „I”-64, Arkusz 09	1,0-4,0
Zawartość wolnych przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralnej, % v/v		12-18
Wypełnienie wolnych przestrzeni w próbkach laboratoryjnych, %	Zeszyt „I”-64, Arkusz 10	74-90
Odporność na koleinowanie <sup>1)</sup> Warunki badania: temperatura 60°C, 30000 cykli, próbka laboratoryjna o grubości 10 cm, względna głębokość koleiny, %	PN-EN 12697-22:2006 Duży aparat	≤5
Zespolony moduł sztywności <sup>1)</sup> Warunki badania: temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz, MPa	PN-EN 12697-26:2006 metoda 4PB-PR	≥14000
Moduł sztywności (próbki Marshalla zagęszczane 75 uderzeń/stronę) Warunki badania: temperatura 10°C, MPa	PN- EN 12697-26:2006 metoda IT-CY	Rejestrować wynik <sup>4)</sup>
Odporność na zmęczenie <sup>1), 2)</sup> Warunki badania: temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz, odkształcenie $\epsilon_6$ , $10^{-6}$ m/m	PN-EN 12697-26:2006 metoda 4PB-PR	≥130
Wodoodporność: wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie (ITSR) <sup>1), 3)</sup> , %	PN-EN 12697-12:2006	≥80
Grubość warstwy technologicznej, cm		
BAWMS11		6,0-10,0
BAWMS12,8		6,0-12,0
BAWMS16		8,0-14,0
BAWMS20		8,0-14,0
Wskaźnik zagęszczenia warstwy, %	Zeszyt „I”-64, Arkusz 08	≥98
Zawartość wolnych przestrzeni w warstwie, % v/v	Zeszyt „I”-64, Arkusz 09	1,0-5,0

**Uwagi:**

- 1) Badanie zalecane tylko na etapie projektowania składu mieszanki i próby technologicznej.
- 2) Odkształcenie, przy którym trwałość zmęczeniowa (liczba obciążeń, po której zespolony moduł sztywności zmniejszy się do 50% wartości początkowej) wynosi 1 milion cykli, pod obciążeniem cyklicznym sinusoidalnym w temperaturze 10°C, z częstotliwością obciążenia 10 Hz, minimalna liczba próbek wynosi 6 dla jednego odkształcenia.

- 3) Próbki Marshalla zagęszczane 25 uderzeń/stronę.  
4) Tylko sprawdzenie, wynik należy zanotować, będzie on stanowił wynik odniesienia dla badania podczas kontroli produkcyjnej.

Typowa konstrukcja drogi przedstawiona w Zeszycie IBDiM I-63 jest następująca:

**Warstwa ścieralna** – o grubości mniejszej niż 3,5 cm (zalecane 2,5 cm) z mieszanki SMA lub MNU. Zaleca się stosowanie mieszanek MNU lub SMA z elastomeroasfaltem i stabilizatorem lepiszcza.

**Warstwa wiążąca** – o grubości od 6 do 10 cm według projektu z mieszanki BAWMS. Nie należy projektować warstwy wiążącej ze zwykłego betonu asfaltowego na warstwie z BAWMS.

**Podbudowa asfaltowa** – o grubości według projektu z mieszanki BAWMS.

**Podbudowa pomocnicza** – według Katalogu KTKNPP 1997. Wymagane jest szczególnie dobre wykonanie podbudowy pomocniczej. Nawierzchnie z warstwami BAWMS zaleca się projektować i budować z podbudową pomocniczą związaną spoiwem hydraulicznym. Wówczas zaleca się stosować rozwiązania technologiczne zabezpieczające przed spękaniami odbitymi.

**Podłoże gruntowe** – według Katalogu KTKNPP 1997. Podłoże gruntowe powinno być dobrze zagęszczone, gwarantując uzyskanie: wskaźnika zagęszczenia  $I_s \geq 1,03$ , wtórnego modułu odkształcenia  $E_2 \geq 120$  MPa. Górna warstwa podłoża gruntowego powinna spełniać dodatkowe warunki według Katalogu KTKNPP 1997, p. 5.3.

**Złącza i połączenia międzywarstwowe** – według Zeszytu IBDiM I-70.

W Zeszycie IBDiM I-70 przedstawiono tablice typowych konstrukcji nawierzchni asfaltowych WMS ustalone dla ruchu obliczeniowego 20 i 30 letniego. Przedstawiono 4 typy konstrukcji o podbudowach wykonanych z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie, kruszywa stabilizowanego spoiwem hydraulicznym, chudego betonu oraz konstrukcję z podbudową asfaltową wykonaną z BAWMS posadowioną bezpośrednio na ulepszonym podłożu G1.

Konstrukcje z podbudową z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie, kruszywa stabilizowanego spoiwem hydraulicznym oraz dla podbudowy asfaltowej na pełną grubość dla okresu obliczeniowego 20 lat są od 8 – 20% cieńsze w stosunku do przedstawionych w Katalogu KTKNPP 1997 [10]. Na uwagę zasługuje fakt, że w przypadku konstrukcji z podbudową z chudego betonu, w porównaniu do Katalogu KTKNPP 1997 nie występuje redukcja grubości warstw asfaltowych, a w przypadku kategorii ruchu KR 4 grubość warstw bitumicznych jest zwiększana o 2 cm.

### **Zmiany w Zeszycie IBDiM I-70 w porównaniu do poprzednich zasad projektowania (Zeszyt IBDiM I-63) mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności:**

- Uzupełniono przedstawioną w Zeszycie IBDiM I-63 laboratoryjną metodę projektowania BAWMS, w oparciu o normę PN-S-96025:2000
- Wprowadzono metodę projektowania opartą o nową klasyfikację kruszyw. Podano krzywe graniczne w Zeszycie.
- Uaktualniono przywołane normy dotyczące metodyki badań według norm europejskich typu PN-EN
- Dopuszczono do stosowania asfalt 20/30.

- Określono minimalne oraz maksymalne zawartości asfaltów dla mieszanek BAWMS11 oraz BAWMS16 (projektowanych w oparciu o klasyfikację kruszyw wg norm PN-EN).
- Ujednolicono wymagania odnośnie właściwości betonów asfaltowych o wysokim module sztywności dla warstw wiążących oraz podbudów.
- Zmieniono wymaganie dotyczące zawartości wolnych przestrzeni w mieszance z „3,0 ÷ 5,0” na 1,0 ÷ 4,0 %.
- Uszczegółowiono wymagania dotyczące: podbudów pomocniczych, podłoża gruntowego oraz połączeń międzywarstwowych.
- Przedstawiono zestaw tablic z typowymi konstrukcjami dla czterech różnych rodzajów podbudów dla okresu obliczeniowego 20 oraz 30 lat.

### 2.2.2.3. WT 2 – Nawierzchnie asfaltowe 2008 [33]

Wytyczne techniczne, których projekt został przedstawiony już w roku 2008, doczekały się zatwierdzenia przez Ministra dopiero na wiosnę 2009 roku. Projektowanie mieszanek oparte jest już całkowicie o normy europejskie typu PN-EN. Zmieniono także samo nazewnictwo. Nazwę BAWMS przemianowano na AC WMS. Zrezygnowano także z projektowania składu mineralnego w oparciu o krzywe uziarnienia betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej wg PN- S-96025:2000. Całe projektowanie odbywa się w sposób funkcjonalny, więc wymaga dość zaawansowanego zaplecza laboratoryjnego. W stosunku zaś do samych właściwości nastąpiły niewielkie korekty w stosunku do Zeszytu IBDiM nr 70.

Wymagania dotyczące materiałów stosowanych do mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności według WT 2 – Nawierzchnie asfaltowe 2008 podano w tablicy 2.25.

Tablica 2.25 Wymagania dotyczące materiałów do mieszanek mineralno-asfaltowych typu AC WMS, wg. [33]

Materiał	Wymagania
Asfalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20/30</li> <li>• 15/25</li> <li>• 10/20</li> <li>• PMB 10/40-65</li> <li>• Inne asfalty nienormowe według Aprobat Technicznych</li> </ul>
Kruszywa mineralne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tablice 1.1, 1.2, 1.3 według WT1 – Kruszywa 2008, Część 2</li> </ul>

W stosunku do wymagań dla kruszyw podanych w WT Kruszywa MMA PU – 2006 (Tablice 2.20, 2.21 i 2.22 niniejszego opracowania) wystąpiła jedna zmiana. Dotyczy ona kształtu kruszywa grubego wg PN-EN 933-3 lub PN 933-4. W przypadku KR3 ÷ KR4 zaostrożono wymagania do  $SI_{30}$  ( $FI_{30}$ ). Pozostałe wymagania dotyczące kruszyw grubych, kruszyw drobnych oraz wypełniacza pozostawiono bez zmian.

Zalecane uziarnienie mieszanki jest identyczne jak w przypadku Zeszytu IBDiM nr I-70. Uziarnienie przedstawiono w tablicy 2.26. Zmieniono natomiast zalecaną zawartość lepiszcza. Zależna jest ona od gęstości mieszanki mineralnej. Wartość minimalna w tabeli jest podana dla gęstości równej  $\rho=2,650 \text{ Mg/m}^3$ . By uzyskać

wartość minimalną dla innej gęstości, należy wartość  $B_{\min}$  przemnożyć przez współczynnik  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{2,650}{Pd}$$

$Pd$  – gęstość mieszanki mineralnej

Tablica 2.26. Uziarnienie mieszanki mineralnej oraz zawartość lepiszcza do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS do warstwy podbudowy lub wiążącej, KR3-6 wg. [33]

Właściwość	AC WMS 11		AC WMS 16	
	Od	Do	Od	Do
Wymiar sita #, mm				
Przechodzi przez:				
22,4			100	
16	100		90	100
11,2	90	100	70	85
8	70	85		
2	40	50	35	45
0,125	7	17	7	17
0,063	5	9	5	9
Zawartość lepiszcza (patrz równanie powyżej)	$B_{\min 4,8}$		$B_{\min 4,8}$	

Mieszankę betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS) projektuje się w oparciu o uziarnienie mieszanki mineralnej podanej w tablicy 2.26. Mieszanka musi spełniać wymagania podane w tablicy 2.27.

Tablica 2.27. Wymagane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy lub wiążącej, KR3-6, wg. [33]

Właściwość	Warunki zagęszczenia wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Wymiar mieszanki	
			AC WMS 11	AC WMS 16
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.3, ubijanie, 2 × 75 uderzeń	PN-EN 12697-8, p. 4	$V_{\min 2,0}$ $V_{\max 4}$	$V_{\min 2,0}$ $V_{\max 4}$
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 × 25 uderzeń	PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	ITSR <sub>80</sub>	ITSR <sub>80</sub>
Odporność na deformacje trwałe	C.1.20, wałowanie, P98-P100	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 60°C, 10000 cykli	WTS <sub>AIR0,10</sub> PRD <sub>AIR3,0</sub>	WTS <sub>AIR0,10</sub> PRD <sub>AIR3,0</sub>
Sztywność	C.1.20, wałowanie, P98-P100	PN-EN 12697-26, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	$S_{\min 14000}$	$S_{\min 14000}$
Odporność na zmęczenie, kategoria nie niższa niż	C.1.20, wałowanie, P98-P100	PN-EN 12697-24, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	$\epsilon_{6-130}$	$\epsilon_{6-130}$



**Zmiany w WT 2 – Nawierzchnie asfaltowe 2008 w porównaniu do poprzednich zasad projektowania (Zeszyt IBDiM I-70) mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności:**

- Projektowanie mieszanki betonu asfaltowego o wysokim module sztywności oparte jest w całości o normalizację europejską typu PN-EN.
- Zrezygnowano całkowicie z przedstawionej w Zeszycie IBDiM I-63 laboratoryjnej metody projektowania BAWMS w oparciu o normę PN-S-96025:2000.
- Dopuszczono do stosowania asfalty 10/20 oraz 15/25; zrezygnowano ze stosowania asfaltu wielorodzajowego (multigrade).
- Zmiana nazewnictwa mieszanki z BAWMS na AC WMS.
- Przedstawiono identyczne uziarnienie mieszanek mineralnych jak w Zeszycie IBDiM I-70, tablica 5, zmieniając określenie zawartości asfaltu (zmniejszenie minimalnej zawartości asfaltu w mieszance AC WMS11 z 5,0 do 4,8 % (m/m) oraz rezygnację z podawania maksymalnej zawartości asfaltu).
- Zmieniono następujące wymagania które musi spełniać mieszanka betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS:
  - Ograniczono zawartość wolnych przestrzeni z 1,0 ÷ 4,0 % do 2,0 ÷ 4,0%.
  - Zmieniono warunki oraz wymagania odnośnie badania odporności na deformacje trwałe (zamieniono duży koleinomierz na mały koleinomierz; zmieniono ilość cykli obciążenia; zmieniono kryterium oceny badania z głębokości koleiny [%] wynoszącej ≤5% na głębokość koleiny po badaniu  $PRD_{Air3,0}$  oraz prędkość przyrostu koleiny  $WTS_{Air0,10}$ )

**2.2.2.4. WT 2 – Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych 2010 [34]**

W 2010 roku rozpoczęły się prace weryfikacyjne dokumentu WT-2, którego robocze wersje są publikowane na stronach GDDKiA. Obecnie obowiązującą wersją przepisów jest WT-2 2010.

W porównaniu do poprzednich przepisów WT 2 z roku 2008 zmieniły się zarówno wymagania materiałowe, uziarnienia mieszanej, jak i wymagania które musi spełnić sama mieszanka mineralno-asfaltowa.

Wymagania dotyczące materiałów stosowanych do mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności według WT 2 – Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych podano w tablicy 2.28.

Tablica 2.28 Wymagania dotyczące materiałów do mieszanek mineralno-asfaltowych typu AC WMS, wg. [34]

Materiał	Wymagania
Asfalt	<ul style="list-style-type: none"><li>• 20/30</li><li>• PMB 10/40-65</li><li>• PMB 25/55-60</li><li>• Inne asfalty nienormowe według Aprobat Technicznych</li></ul> Zalecana temperatura łamliwości lepiszcza nie mniej niż -5°C
Kruszywa mineralne	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tablice 4, 5, 6, 6a, 7 WT-1 Kruszywa 2010</li></ul>

W porównaniu do WT-1 Kruszywa 2008 wystąpiły dość istotne zmiany z opisie Kruszyw mineralnych:

- W stosunku do kruszyw grubych obniżono wymagane kategorie.
- Wymagania dotyczące kruszyw drobnych oraz kruszyw o ciągłym uziarnieniu rozbito na trzy tablice. Wymagania pozostają na zbliżonym poziomie
- Wymagania dotyczące wypełniacza pozostały bez większych zmian.

Zalecane uziarnienie mieszanki jest znacząco zmienione w stosunku do WT-2 z 2008 roku i przedstawione zostało w tablicy 2.29. Wymagania dotyczące minimalnej zawartości asfaltu pozostawiono bez zmian.

Tablica 2.29 Uziarnienie mieszanki mineralnej oraz zawartość lepiszcza do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS do warstwy podbudowy lub wiążącej, KR3-6, wg. [34]

Właściwość	AC WMS 16 KR 3 ÷ 6		AC WMS 22 KR 3 ÷ 6	
	Od	Do	Od	Do
Wymiar sita #, mm Przechodzi przez:				
31,5			100	
22,4	100		90	100
16	90	100		
11,2	70	85		
2	10	50	10	50
0,063	2	12	2	11
Zawartość lepiszcza (patrz równanie powyżej)	$B_{\min 4,8}$		$B_{\min 4,8}$	

W porównaniu do poprzednich przepisów uziarnienie mieszanki rozszerzono znacząco zakresy na sitach 2 mm oraz 0,063 mm. Zrezygnowano także z podawania zakresów na sicie 0,125 mm.

Mieszankę betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS) projektuje się w oparciu o uziarnienie mieszanki mineralnej podanej w tablicy 2.29. Mieszanka musi spełniać wymagania podane w tablicy 2.30.

Tablica 2.30. Wymagane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy lub wiążącej, KR3-6, wg. [34]

Właściwość	Warunki zagęszczenia wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Wymiar mieszanki	
			AC WMS 16	AC WMS 22
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.3, ubijanie, 2 × 75 uderzeń	PN-EN 12697-8, p. 4	$V_{\min 2,0}$ $V_{\max 4}$	$V_{\min 2,0}$ $V_{\max 4}$
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 × 25 uderzeń	PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C, badanie w 25°C	ITSR <sub>80</sub>	ITSR <sub>80</sub>
Odporność na deformacje	C.1.20, wałowanie,	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN	WTS <sub>AIR0,15</sub> PRD <sub>AIR</sub> Deklarowane	WTS <sub>AIR0,15</sub> PRD <sub>AIR</sub> Deklarowane

trwałe	P <sub>98</sub> -P <sub>100</sub>	13108-20, D.1.6, 60°C, 10000 cykli		
Sztywność klasa 1	C.1.20, wałowanie, P <sub>98</sub> -P <sub>100</sub>	PN-EN 12697-26, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	S <sub>min14000</sub>	S <sub>min14000</sub>
Sztywność klasa 2	C.1.20, wałowanie, P <sub>98</sub> -P <sub>100</sub>	PN-EN 12697-26, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	S <sub>min16000</sub>	S <sub>min16000</sub>
Odporność na zmęczenie, kategoria nie niższa niż	C.1.20, wałowanie, P <sub>98</sub> -P <sub>100</sub>	PN-EN 12697-24, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstotliwość 10Hz	ε <sub>6-130</sub>	ε <sub>6-130</sub>

**Zmiany w WT 2 – Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych 2010 w porównaniu do poprzednich zasad projektowania (WT 2 2008) mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności:**

- Zmiany w zalecanych do stosowania asfaltach (zrezygnowano z asfaltów typowych dla Francji 10/20 oraz 15/25, dodano asfalt modyfikowany PMB 25/55-60)
- Zmieniono wymagania dotyczące kruszywa mineralnego stosowanego do mieszanek AC WMS (zmniejszono wymagania dotyczące kruszywa grubego, uszczegółowiono wymagania dotyczące kruszyw drobnych oraz kruszyw o ciągłym uziarnieniu)
- Zmieniono znacząco uziarnienia zalecanych mieszanek oraz zakresy na poszczególnych sitach.
- Zmieniono wymagania dotyczące odporności na deformacje trwałe (zrezygnowano z określenia głębokości koleiny PRD<sub>Air</sub> [%] po badaniu; zmniejszono wymagania dotyczące prędkości przyrostu koleiny WTS<sub>Air</sub> z WTS<sub>Air0,10</sub> na WTS<sub>Air0,15</sub>).
- Dodano dodatkową klasę (klasę 2) sztywności o module sztywności S<sub>min16000</sub>. Brak informacji w jakich sytuacjach stosować klasę 1 sztywności, a w jakich klasę 2.

### **2.2.2.5. Ważniejsze publikacje polskie dotyczące badań oraz zastosowań mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności**

W literaturze polskiej nie pojawiło dotychczas zbyt wiele publikacji dotyczących zastosowania mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC-WMS).

#### **Opracowanie mgr inż. Bolesława Majewskiego "Badania zmęczeniowe mieszanek mineralno-bitumicznych na torze próbnym LCPC i w laboratoriach" [12,13]**

Pierwszą publikacją sygnalizującą technologie mieszanek typu EME jest przedstawione w 1995 roku w „Nowościach zagranicznej techniki drogowej” nr 122/195 opracowanie mgr inż. Bolesława Majewskiego "Badania zmęczeniowe mieszanek mineralno-bitumicznych na torze próbnym LCPC i w laboratoriach". Zostało ono przygotowane na podstawie artykułu Lionela Tiret-a i Gilberta Caroff-a pt. "Etude de la fatigue des enrobes bitumineux" z czasopisma Revue Generale des Routes et des Areodromes nr 716, mars 1994. Przedstawiało ono analizy 4 konstrukcji nawierzchni, z których jedna była wykonana z zastosowaniem mieszanki typu EME. Dokonano analizy teoretycznej trwałości zadanych konstrukcji przy pomocy modeli mechanistycznych, wykonano badania laboratoryjne oraz badania na torze próbnym LCPC w dwóch porach roku. Wyniki z badań w dużej skali jakie uzyskano były dość ciekawe. Mieszanka typu EME pracowała lepiej od zwykłych mieszanek podczas niskich temperatur. Jednak podczas pory ciepłej zauważono bardzo szybkie narastanie zniszczeń nawierzchni – spękania podłużne oraz liczne spękania poprzeczne, a także zwiększone przyrosty odkształcenia nawierzchni oraz ugięcia.

Wnioski jakie podano przedstawiały się następująco:

- Mieszanka typu EME wykazuje wyraźnie opóźniony początek spękań w stosunku do typowych mieszanek mineralno - asfaltowych w warstwach o podobnych grubościach.
- Narastanie stopnia spękania po rozpoczęciu procesu niszczenia w mieszankach typu EME jest wyraźnie szybsze.

#### **Publikacje zespołu pod kierownictwem profesora Sybilskiego dotyczące zagadnień mieszanek AC-WMS.**

Następne publikacje dotyczące zagadnienia betonu asfaltowego o wysokim module sztywności wiązały się z wdrożeniem technologii i weryfikacją zaleceń dla konstrukcji o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie do warunków polskich na przełomie lat 90 tych oraz 2000. Zespół pod kierownictwem profesora Sybilskiego opublikował 4 publikacje dotyczące zagadnień mieszanek AC-WMS.

Pierwsze dwie dotyczą zastosowania kruszyw lokalnych w mieszankach AC WMS (nazywanych ówczesznie BAWMS). Są to „Beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS z kruszywami lokalnymi”, Drogi i Mosty nr 4/2007 [31] oraz „Stosowanie kruszyw lokalnych i sztucznych w betonie asfaltowym o wysokim module sztywności”, Polskie Drogi nr 9/2007 [32]. Przedstawiają one wyniki badań z zastosowaniem kruszyw pozaklasowych lub o niższych klasach. Zaprojektowano 5 mieszanek BAWMS16 z kruszywami: bazaltowym, wapiennym, granitowym, łamanym z otoczków oraz z żużla stalowniczego. Zastosowano asfalt 20/30 o

zawartości od 4,6 % do 5,5 % (m/m). Mieszanki zaprojektowano według Zeszytu IBDiM I-70 opierając się o metodę laboratoryjną opartą o PN-S-96025:2000. Dla wszystkich mieszanek uzyskano wymagane właściwości. Najgorsze wyniki uzyskano dla betonu asfaltowego z zastosowaniem kruszywa bazaltowego. Przy większej zawartości asfaltu (i mniejszej zawartości wolnych przestrzeni) badana mieszanka uległa nadmiernym deformacjom trwałym (nawet trzykrotnie większym od pozostałych rozpatrywanych mieszanek). Przy mniejszej zawartości asfaltu nie spełniła natomiast wymagań związanych z trwałością zmęczeniową. Pozostałe mieszanki spełniły zadane wymagania.

Dwa kolejne są podsumowaniem dotychczasowych prac Instytutu Badawczego Dróg i Mostów nad wdrażaniem technologii betonów asfaltowych o wysokim module sztywności w Polsce. Są to „Prace badawcze laboratoryjne i w pełnej skali nad zastosowaniem betonu asfaltowego o wysokim module sztywności w nawierzchni drogowej”, Drogi i mosty nr 1-2/2011 [35] oraz „Beton asfaltowy o wysokim module w Polsce”, Drogownictwo nr 7-8/2011 [36]. Publikacje są relacją z badań prowadzonych przez IBDiM w ramach tworzenia kolejnych wytycznych dotyczących projektowania mieszanek AC WMS, począwszy od Zeszytu I-63, opartego w dużej mierze o wymagania francuskiej według NF P 98-140, kończąc na opublikowanych w roku 2010 „Wytycznych technicznych WT2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych” [34]. Opisano:

- Badania na odcinkach doświadczalnych, w tym badania wykonane z zastosowaniem symulatora pojazdów ciężkich HSV.
- Prace laboratoryjne nad mieszankami betonu asfaltowego o wysokim module sztywności, w tym prace o zastosowaniu kruszyw lokalnych, wspomniane wcześniej.
- Prace analityczne przy propozycji typowych konstrukcji nawierzchni z AC WMS.

Obliczenia dotyczące typowych konstrukcji nawierzchni z AC WMS dokonano metodami mechanistycznymi. Wykorzystano następujące kryteria zmęczeniowe:

- dla warstw bitumicznych – kryterium Instytutu Asfaltowego
- dla warstw związanych spoiwem hydraulicznym – kryterium Dempsey’a
- dla deformacji podłoża gruntowego – kryterium Instytutu Asfaltowego.

Wyniki obliczeń zostały przedstawione w Zeszycie IBDiM I-70.

### **Inne publikacje polskie**

Mieszanki betonu asfaltowego o wysokim module sztywności pojawiały się w literaturze polskiej kilkakrotnie jako opis konkretnych zastosowań. Warto wspomnieć są (podane chronologicznie):

- Sybilski D., „Długowieczne nawierzchnie asfaltowe w świecie i w Polsce”, Drogownictwo nr 3, 2004 rok [26] – przedstawiono zastosowanie mieszanek BAWMS (wg. Zeszytu IBDiM I-63) w koncepcji nawierzchni długowiecznych. Dołączono wyniki obliczeń modelowania nawierzchni przy pomocy programu Veroad.
- Sybilski D., Jezierska D., Maliszewski M., „Szybka naprawa nawierzchni ulic Warszawy”, Drogownictwo nr 2, 2007 rok [30] – przedstawiono wykorzystanie mieszanek typu AC WMS do remontów nawierzchni. Proponowany układ nowych warstw asfaltowych składa się z warstwy AC WMS o grubości 9 cm warstwy SMA o grubości 3 cm. Dodatkowo w miejscach spękań podbudowy zastosowano siatkę z włókien szklanych. Publikacja przedstawia prognozy

trwałości nawierzchni oraz podsumowanie oceny wizualnej po roku eksploatacji remontowanych nawierzchni.

- Pszczoła M., „Wykorzystanie asfaltu 20/30 do mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności”, Magazyn Autostrady nr 7, 2011 rok [21] – przedstawiono badania asfaltów 20/30 oraz 35/50 dostarczonych przez firmę Lotos S.A oraz zastosowanie ich do warstw AC WMS przy przebudowach dróg w Gdańsku (al. Grunwaldzka, ul. Podwale Przedmiejskie).

### **Raporty z prac badawczych**

Bardziej szczegółowe informacje na temat badań przedstawionych w przedstawionych wyżej publikacjach i przepisach, opisane zostały w sprawozdaniach z programów badawczych dla GDDP oraz GDDKiA. Udostępnione na stronie internetowej sprawozdania dotyczą zastosowania kruszyw lokalnych do mieszanek BAWMS oraz projektu zeszytu IBDiM I-70 z roku 2006 (Projekt ten zawiera inne krzywe uziarnienia oraz wymagania dla mieszanek BAWMS, niż opublikowany w roku 2007 Zeszyt IBDiM I-70 ZW-WMS-2007). Do innych raportów autorzy nie mieli dostępu.

### **2.2.3. Wielka Brytania**

Nowe mieszanki o wysokim module sztywności EME szybko zostały zastosowane w nawierzchniach testowych w innych krajach europejskich takich, jak: Holandia, Belgia, Szwajcaria, Wielka Brytania i Polska w końcu lat 90-tych. Bardzo dobrze udokumentowaną historię wprowadzenia do stosowania mieszanek o wysokim module sztywności posiadają Brytyjczycy [8]. Na początku lat 90-tych w Wielkiej Brytanii w standardowo stosowanych mieszankach do warstw podbudowy i warstw wiążących takich jak DBM (dense bitumen macadam), HDM (heavy duty macadam) zastosowano twardszy asfalt i osiągnięto właściwości mieszanki zbliżone do stosowanych we Francji mieszanek EME. Zaczęto budować konstrukcję nawierzchni z wykorzystaniem nowych materiałów nazywanych już HMB (high modulus base), których moduł sztywności był do 4 razy wyższy niż standardowo stosowane DBM, dzięki czemu możliwa była redukcja grubości konstrukcji. Jednak po 4 latach eksploatacji w różnych konstrukcjach nawierzchni dokonano oceny materiału i stwierdzono spadek sztywności podbudów z HMB (która po 7 latach eksploatacji mogłaby obniżyć się o 60%). Szerokie badania wykonane pod kierunkiem Nunna z TRL [17] określiły przyczyny powstałych defektów (między innymi: za grube uziarnienie mieszanki mineralnej, za mało lepiszcza, za dużo wolnych przestrzeni), jak i określiły kierunki zmian w wymaganiach technicznych. Mieszanką spełniającą nowe wymagania okazała się francuska EME2, którą po 10 latach od pierwszego zastosowania mieszanki o wysokim module w Wielkiej Brytanii wprowadzono do oficjalnego stosowania w tym kraju (uwzględniono w MCHW1, czyli specyfikacjach technicznych), jak i wprowadzono do najnowszej metody projektowania konstrukcji nawierzchni w Wielkiej Brytanii. Jednak stosowanie mieszanki EME2 w Wielkiej Brytanii wymusiło przygotowanie oddzielnych specyfikacji, które bardzo ściśle odwzorowują francuskie specyfikacje pod względem materiałowym i metodyki badań.

W metodzie projektowania konstrukcji nawierzchni mieszanki o wysokim module sztywności typu EME2 mogą być stosowane w warstwie wiążącej i podbudowie. Jednak ich zastosowanie wymusza wysoką nośność ulepszanego podłoża Klasy 3 i

4 - nośność: 200 i 400 MPa oraz warunkowo Klasy 2 (>100 MPa), lecz nośność podłoża gruntowego dla Klasy 2 podczas budowy w tym przypadku musi być większa od 120 MPa.

Według metody projektowej obowiązującej w UK dzięki zastosowaniu mieszanki typu EME2 w warstwie podbudowy i wiążącej możliwa jest redukcja całkowitej grubości warstw asfaltowych o około 20%.

#### **2.2.4. Belgia [5,7]**

Doświadczenia belgijskie zostały zaprezentowane w 2008 roku na konferencji Euroasphalt & Eurobitume Congress 2008 w Kopenhadze. W dwóch wystąpieniach przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych nad mieszankami typu EME2 oraz wyniki z badań odcinka doświadczalnego o długości 1,64km wybudowanego w 2006 roku na autostradzie E19 (Bruksela – Antwerpia).

Zaprojektowano 7 mieszanek typu EME z czterema różnymi asfaltami o zawartości 5,5% (dwa użyte asfalty odpowiadały parametrom asfaltu 15/25, a inne dwa użyte asfalty parametrom asfaltu 20/30). Zaprojektowane mieszanki opierały się na 2 szkieletach mineralnych (z kruszywa łamanego – typowe uziarnienie mieszanki EME2 oraz ze zwiększoną zawartością piasku). Kruszywem zastosowanym do mieszanek był wapień. W dwóch sekcjach dodano do mieszanek 25% destruktu asfaltowego. Dodatkowo zaprojektowano 2 specyficzne mieszanki: podatną na koleinowanie (szkielet piaskowy, zwiększona zawartość asfaltu – 6,1%) oraz podatną na spękania (szkielet skalisty, zmniejszona zawartość asfaltu – 4,9%). Do porównania został wykorzystany zwykły beton asfaltowy 0/20 z asfaltem 50/70 o zawartości 4,6%.

Wszystkie mieszanki zostały poddane badaniom wykorzystywanym w projektowaniu mieszanek typu EME2 (zagęszczalność w prasie żyratorowej, odporność na działanie wody, odporność na deformacje trwałe, moduł sztywności, odporność na zmęczenie). Dodatkowo zostało wykonane badanie modułu sztywności w 30°C aby określić właściwości wysokotemperaturowe mieszanek typu EME. Nie wszystkie mieszanki spełniły wymogi francuskie dotyczące sztywności oraz odporności na deformacje trwałe. Wartości te były jednak wyższe niż w przypadku mieszanki referencyjnej. W przypadku modułu sztywności wartości były wyższe o ok 50% od mieszanki referencyjnej ze zwykłego betonu asfaltowego.

Mieszanki zaprojektowane oraz zbadane w laboratorium wbudowano w 2006 roku na autostradzie E19 w Belgii w formie remontu drogi. Przyjęto 9 cm warstw EME2 oraz 3 cm warstwy ścieralnej z SMA6,3. Monitorowanie stanu odcinków próbnych opierało się na wykonywaniu oceny wizualnej stanu nawierzchni, oceny równości podłużnej oraz pomiaru deformacji trwałych. Pomiar wykonywano co pół roku. W kwietniu 2007 roku pomiar deformacji trwałych wykazał mniejsze koleiny na odcinkach z zastosowaniem mieszanek typu EME niż na zwykłym betonie asfaltowym. Deformacje były od 0,5 do 3 razy mniejsze w stosunku do mieszanki referencyjnej. Co ciekawe, mieszanka „podatna na koleinowanie” według badań laboratoryjnych nie wykazała największej deformacji trwałej wśród mieszanek typu EME.

Przy projektowaniu mieszanek typu EME w Belgii nie rozpatruje się w ogóle problemu spękań niskotemperaturowych.

### 2.2.5. Dania [1]

Doświadczenia duńskie odbiegają całkowicie od doświadczeń innych krajów europejskich. Ze względu na brak łamanych kruszyw kamiennych Duńczycy opracowali swoją odmianę betonu asfaltowego o wysokim module sztywności opartą o duńską mieszankę GAB II. Szkielet mineralny o uziarnieniu do 32 mm składał się w dużej części z piasku (~65%) oraz filtru z kruszywa aluwialnego. Nie mamy informacji o tym w jakim stopniu kruszywo aluwialne (pochodzące z kopalni żwirów i pospótek) było przekruszone. Do mieszanki GAB II o wysokim module sztywności zastosowano asfalt o penetracji 20/30 w ilości 4,8%. Wyniki badań wykonywanych przy projektowaniu funkcjonalnym mieszanek typu EME nie spełniały wymagań francuskich, w żadnym z podstawowych testów: sztywności, odporności na deformacje trwałe oraz odporności na zmęczenie. Były one jednak zdecydowanie lepsze (dwukrotnie większy moduł sztywności, ok. 25% większa odporność na zmęczenie) od typowych mieszanek typu GAB II. Rezultaty uznano za zadowalające i zdecydowano o budowie odcinka doświadczalnego z zastosowaniem mieszanki GAB II o zwiększonym module sztywności oraz porównawczego ze zwykłą mieszanką GAB II. Konstrukcja z zastosowaniem mieszanki GAB II o zwiększonym module sztywności była cieńsza o ok 15-20%. Nie przedstawiono wyników oceny odcinka próbnego.

### 2.2.6. Szwajcaria [18, 19]

Projektowanie konstrukcji dróg w Szwajcarii opiera się na rezultatach AASHTO. W 2004 roku przedstawiono wyniki rozległych badań i analiz dotyczących właściwości mieszanek typu EME1/EME2 w porównaniu do typowej szwajcarskiej podbudowy z mieszanki HMT 22s. W początkowym etapie przeprowadzono badania laboratoryjne, takie jak zagęszczenie w żyratorze, odporność na deformacje trwałe w dużym koleinomierzu, odporność na zmęczenie oraz badania modułu sztywności na belkach trapezowych. Badania te wykonano dla obu mieszanek o wysokim module sztywności EME1 i EME2 i dla mieszanki referencyjnej z betonu asfaltowego. Przeprowadzono analizy obliczeniowe trwałości nawierzchni przy pomocy kryteriów francuskich [2, 3, 9]. W analizach stosowano typowe wartości podane w metodzie francuskiej oraz wartości uzyskane z własnych badań laboratoryjnych. Analizy trwałości nawierzchni wykazały możliwość zredukowania o ok 30% grubości warstwy podbudowy bitumicznej przy zastosowaniu mieszanki EME2 w stosunku do mieszanki HMT 22s. W przypadku stosowania mieszanek typu EME1 redukcja wynosiła jedynie około 10%. Wyniki obliczeń posłużyły do wyznaczenia grubości konstrukcji wykorzystywanych na torze doświadczalnym.

Badania na torze doświadczalnym przeprowadzono w dwóch schematach obciążenia:

- Obciążające koło porusza się z możliwością przemieszczeń bocznych,
- Obciążające koło porusza się po jednym torze bez przemieszczeń bocznych.

Obciążenie koła wynosiło 5,75 tony, temperatura badania 50°C).

Grubość odcinków testowych były następujące:



- 3 cm warstwy ścieralnej / 11 cm warstwy EME1
- 3 cm warstwy ścieralnej / 14 cm warstwy HMT 22s
- 3 cm warstwy ścieralnej / 7 cm warstwy EME2.

Wyniki badań potwierdziły wysoką odporność mieszanki EME1 na deformacje trwałe. Po badaniu w próbkach wyciętych z nawierzchni nie zaobserwowano deformacji trwałych lub były one znikome. Całość deformacji pojawiła się w warstwie ścieralnej. W przypadku odcinka z mieszanką EME2 zaobserwowano niewielkie różnice w porównaniu do mieszanki referencyjnej HMT 22s. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że grubość warstwy mieszanki EME2 była cieńsza o ok 20-30%.

W badaniach przeprowadzanych w 2004 roku nie rozpatrywano problemu niskich temperatur.

### 2.2.7. Doświadczenia pozaeuropejskie

Technologia mieszank betonów asfaltowych o wysokim module sztywności w ostatnich latach znajduje zastosowanie także w krajach azjatyckich oraz w Ameryce południowej. Jako, że klimat tych obszarów znacząco różni się od naszego, nie przedstawiono szczegółowo doświadczeń poszczególnych krajów.

Badania prowadzone są w następujących krajach:

- Korea Południowa [11] rok 2005/2006 – prowadzono badania studyjne, laboratoryjne oraz na torze doświadczalnym mieszank typu EME w oparciu o doświadczenia francuskie oraz angielskie.
- Brazylia [21] rok 2008 – prowadzono badania studyjne, laboratoryjne oraz na torze doświadczalnym mieszank typu EME w oparciu o doświadczenia francuskie (NF P 98-140)
- Chiny [37] rok 2010 – przeprowadzono prace studyjne oraz laboratoryjne przed budową drogi w Algierii, realizowaną przez firmy chińskie. Projektowanie mieszank były prowadzone w oparciu:
  - o doświadczenia francuskie z mieszankami EME, dostosowane do warunków chińskich
  - o doświadczenia amerykańskie z metodą Superpave oraz
  - o doświadczenia z nawierzchniami długowiecznymi.

Najtwardszym rozpatrywanym asfaltem jest asfalt o penetracji **30/50**.

Praktycznie żaden z przedstawionych w tym opracowaniu krajów, poza Francją, nie stosuje asfaltów o penetracji mniejszej od 15/25. Dominuje stosowanie asfaltów o penetracji 20/30 lub większej.

Wszystkie kraje wykazują dużo lepsze właściwości mieszank betonów asfaltowych o wysokim module sztywności w porównaniu z konwencjonalnym betonem asfaltowym

Tylko jeden kraj – Chiny [37] - rozpatrywał poza Francją [4] właściwości niskotemperaturowe.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Carbonneau X. et al., *High Modulus GAB II: A Danish Experiment*, Euroasphalt & Eurobitume Congress 2008 - Destination Copenhagen, Copenhagen, 2008
- [2] *Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves*, Edition 1998, SETRA, LCPC
- [3] *Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussées*, Guide Technique, LCPC, Setra, Décembre 1994
- [4] Corté J.-F., *Development and Uses of Hard-Grade Asphalt and of High-Modulus Asphalt Mixes in France*, Transportation Research Circular, Number 503, December 2001,
- [5] De Backer C., Glorie L., Reynaert R., *Test Section in High-Modulus Asphalt: A Comparative Experiment with Ten Variants*, Euroasphalt & Eurobitume Congress 2008 - Destination Copenhagen, Copenhagen, 2008
- [6] Delorme J.-L., de la Roche C., Wendling L., *LPC Bituminous Mixtures Design Guide*, The RST Working Group "Design of Bituminous Mixtures" LCPC, December 2007
- [7] De Visscher J., Vansteenkiste S., Vanelstraete A., *Test Section in High-Modulus Asphalt: Mix Design and Laboratory Performance Testing*, Euroasphalt & Eurobitume Congress 2008 - Destination Copenhagen, Copenhagen, 2008
- [8] Elliott R., *Implementing High Modulus Asphalt Technology In the UK*, Scott Wilson, 2008
- [9] *French Design Manual for Pavement Structures*, Guide technique, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme, LCPC, SETRA, May 1997,
- [10] *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*, IBDiM, GDDKiA, Warszawa, 1997
- [11] Lee H.J., Lee H.J., Park H.M., *Performance Evaluation of High Modulus Asphalt Mixtures for Long Life Asphalt Pavements*, Construction and Building Materials 21, 2007
- [12] Majewski Bolesław "Badania zmęczeniowe mieszanek mineralno-bitumicznych na torze próbnym LCPC i w laboratoriach", *Nowości zagranicznej techniki drogowej*, cz. 1, nr 122, 1995
- [13] Majewski B. "Badania zmęczeniowe mieszanek mineralno-bitumicznych na torze próbnym LCPC i w laboratoriach", *Nowości zagranicznej techniki drogowej*, cz. 2, nr 123, 1995
- [14] NF EN 13108-1 février 2007 *Melanges bitumineux. Specifications des matériaux. Partie 1 Enrobes bitumineux*,
- [15] NF P 98-140 novembre 1999 *Enrobes hydrocarbonés. Couches d'assises - enrobes a module eleve (EME). Definition - Classification - Caracteristiques - Fabrication - Mise en oeuvre*,
- [16] Nicholls J.C. et al., *Monitoring the Introduction of Enrobe a Module Eleve Class 2 onto UK Roads*, Euroasphalt & Eurobitume Congress 2008 - Destination Copenhagen, Copenhagen, 2008,
- [17] Nunn M.E., Smith T., *Road Trials of high modulus base for heavily trafficked roads*, TRL Project Report PR231, 1997
- [18] Perret J., Ould-Henia M., Dumont A.-G., *High modulus pavement design using accelerated loading testing (ALT)*, 3<sup>rd</sup> Euroasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004, Vienna, 2004
- [19] Perret J., Dumont A.-G., Turtschy J.-C., *Assessment of resistance to rutting of high modulus bituminous mixtures using full-scale accelerated loading tests*, 3<sup>rd</sup> Euroasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004, Vienna, 2004
- [20] PN-EN 13108-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania. Część 1: Beton asfaltowy, 2006
- [21] Pszczoła M., Wykorzystanie asfaltu 20/30 do mieszanek mineralno-asfaltowych o wysokim module sztywności, *Magazyn Autostrady* 7/2011,
- [22] Rhode L. et al., *Using APT and laboratory testing to evaluate the performance of high modulus asphalt concrete for base courses in Brasil*, APT '08. Third International Conference, Madrid, Spain, 2008,
- [23] Snaders P.J., Nunn M., *The application of Enrobe a Module Eleve in flexible pavements*, TRL Report TRL636

- [24] *Structures types de Chaussées – Catalogue*, Edition 2002, Conseil general des Hauts-de-Seine,
- [25] Sybilski D., *Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie (ZW-WMS 2002)*, IBDiM, Seria „I” zeszyt 63, Warszawa 2002
- [26] Sybilski D., *Długowieczne nawierzchnie asfaltowe w świecie i w Polsce*, *Drogownictwo* 3/2004,
- [27] Sybilski D. i in., *Zalecenia materiałowe i technologiczne nawierzchni asfaltowych o zwiększonej trwałości (ZMT-NAZT 2006) (Projekt wersja 4)*, Warszawa 2006 (opublikowany na stronie <http://gddkia.gov.pl/pl/a/3435/prace-naukowo-badawcze-zrealizowane-w-latach-2000-2009>),
- [28] Sybilski D., Bańkowski W., Mularzuk R., *Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie (ZW-WMS 2006)*, IBDiM, Seria „I” zeszyt 70, wydanie II uzupełnione, Warszawa 2006 (opublikowany na stronie <http://gddkia.gov.pl/pl/a/3435/prace-naukowo-badawcze-zrealizowane-w-latach-2000-2009>),
- [29] Sybilski D., Bańkowski W., Mularzuk R., *Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie (ZW-WMS 2007)*, IBDiM, Seria „I” zeszyt 70, wydanie II uzupełnione, Warszawa 2007,
- [30] Sybilski D., Jezierska D., Maliszewski M., *Szybka naprawa nawierzchni ulic Warszawy*, *Drogownictwo* 2/2007,
- [31] Sybilski D., Mularzuk R., Bańkowski W., Maliszewska D., Maliszewski M., *Beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS z kruszywami lokalnymi*, *Drogi i Mosty*, nr 4, 2007
- [32] Sybilski D., Mularzuk R., Bańkowski W., Maliszewska D., Maliszewski M., *Stosowanie kruszyw lokalnych i sztucznych w betonie asfaltowym o wysokim module sztywności*, *Polskie Drogi* 9/2007,
- [33] Sybilski D. i in., *Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych*, IBDiM, WT-2 *Nawierzchnie asfaltowe rekomendowane przez Ministra Infrastruktury*, Warszawa 2008,
- [34] Sybilski D. i in., *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych*, IBDiM, WT-2 2010 *Mieszanki mineralno-asfaltowe rekomendowane przez Ministra Infrastruktury*, Warszawa 2010, (opublikowany na stronie <http://www.gddkia.gov.pl/pl/1118/dokumenty-techniczne>),
- [35] Sybilski D., Bańkowski W., *Prace badawcze laboratoryjne i w pełnej skali nad zastosowaniem betonu asfaltowego o wysokim module sztywności w nawierzchni drogowej*, *Drogi i Mosty*, nr 1-2, 2011r.,
- [36] Sybilski D., Bańkowski W., *Beton asfaltowy o wysokim module w Polsce*, *Drogownictwo* 7-8/2011,
- [37] Yu J., *Comparison of Hot-Mix Asphalt Technology among French, US and China*, *International Workshop on Energy and Environment in the Development of Sustainable Asphalt Pavements, China*, 2010,