

**Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni
Pracownia Lepiszczy Bitumicznych**

SPRAWOZDANIE CZĘŚCIOWE

Temat TN-251

**Ocena skuteczności dodatku włókien do mieszanek mineralno-asfaltowych
Etap III**

Kierownik Zakładu TN:

prof. dr hab. inż. Dariusz SYBILSKI

Zespół:

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski
mgr inż. Renata Horodecka
mgr inż. Andrzej Wróbel
dr inż. Wojciech Bańkowski
Krzysztof Mirski

Technicy:

Teresa Gawenda
Jadwiga Migdańska
Tomasz Michalski
Dariusz Jasiński

SPIS TREŚCI:

1.	Podstawa pracy	2
2.	Cel pracy.....	2
3.	Program pracy – etap III	2
4.	Opis prac przeprowadzonych w III etapie	2
5.	Metodyka badań (MMA).....	3
5.1.	Zawartość wolnych przestrzeni	3
5.2.	Odporność na działanie wody	3
5.3.	Moduł sztywności - metoda belki czteropunktowo zginanej	4
5.4.	Trwałość zmęczeniowa - metoda belki czteropunktowo zginanej	4
5.5.	Odporność na koleinowanie (mały aparat).....	5
6.	Materiały do badań oraz podstawowe badania materiałów wyjściowych	6
6.1.	Lepiszczka	6
6.2.	Materiały kamienne	7
7.	Mieszanki mineralno-asfaltowe	7
8.	Wyniki badań	8
8.1.	Mieszanka AC8 (80B) wg rec. TN/251/09-3.....	8
8.1.1.	Projekt i podstawowe właściwości – AC8 (80B)	8
8.1.2.	Odporność na koleinowanie - AC8 (80B)	12
8.1.3.	Odporność na zmęczenie - AC8 (80B)	14
8.1.4.	Moduł sztywności - AC8 (80B).....	14
8.1.5.	Wodoodporność - AC8 (80B).....	15
8.2.	Mieszanka ACWMS16 (20/30) wg rec. TN/251/09-4	15
8.2.1.	Projekt i podstawowe właściwości – ACWMS16 (20/30)	15
8.2.2.	Odporność na koleinowanie – ACWMS16 (20/30)	18
8.2.3.	Odporność na zmęczenie - ACWMS16 (20/30).....	18
8.2.4.	Moduł sztywności - ACWMS16 (20/30)	19
8.2.5.	Wodoodporność - ACWMS16 (20/30)	19
8.3.	Pakiet warstw z mieszanek ACWMS16 (20/30) i AC8 (80B)	20
8.3.1.	Odporność na zmęczenie - pakiet warstw	23
8.3.2.	Moduł sztywności - pakiet warstw.....	23
9.	Wstępna ocena wyników	23
9.1.	Właściwości podstawowe AC8 (80B) i ACWMS16 (20/30) wg recept TN/251/09-3 i TN/251/09-4	23
9.2.	Odporność na koleinowanie.....	23
9.3.	Wodoodporność.....	24
9.4.	Trwałość zmęczeniowa i sztywność.....	24
10.	Kontynuacja pracy w dalszym etapie	24

1. Podstawa pracy

Badania wykonano na podstawie umowy nr 2195/2008 (temat TN-251) z dnia 11.08.2008 r. zawartej pomiędzy Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie, a Instytutem Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie.

2. Cel pracy

Celem pracy jest sprawdzenie wpływu dodatku włókien polimerowych na właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych. Wzmacnianie nawierzchni drogowych w dobie nasilającego się transportu samochodowego jest wielkim wyzwaniem dla naukowców i zarządców dróg. Jednym ze sposobów wzmocnienia jest zastosowanie włókien polimerowych, jako zbrojenia mieszanek mineralno-asfaltowych.

Wytrzymałość na rozciąganie włókna wykorzystywana jest do zbrojenia mieszanki mineralno-asfaltowej, zwiększając odporność na pękanie pod cyklicznym obciążeniem, czyli trwałość zmęczeniową mieszanki i nawierzchni drogowej oraz odporność niskotemperaturową. Dodatek włókien zasługuje na szczególną uwagę ze względów ekonomicznych, pozwoli wydłużyć okres eksploatacji nawierzchni drogowej. Rezultaty pracy pozwolą na porównanie właściwości nawierzchni wykonanych w technologii z włóknami i bez włókien mogą być pomocne przy wyborze i zastosowaniu nowych technik przebudowy zniszczonych nawierzchni drogowych.

3. Program pracy – etap III

Program pracy zgodnie z założeniami umowy został podzielony na trzy etapy. W czerwcu 2009 przedstawiono sprawozdanie z etapu II. Niniejsze sprawozdanie dotyczy etapu III, w którym przewidziano kontynuację badań laboratoryjnych, w tym wykonanie projektu recepty do warstwy antyzmęczeniowej oraz badania zmęczeniowe tej warstwy i pakietu warstw.

Poniżej przedstawiono program pracy etapu III.

Etap III

Zadanie 7

Opracowanie składu mieszanki mineralno-asfaltowej drobnoziarnistej z włóknem do warstwy antyzmęczeniowej i wykonanie badań:

- Właściwości objętościowych
- Odporności zmęczeniowej mieszanki antyzmęczeniowej oraz pakietu warstw.

4. Opis prac przeprowadzonych w III etapie

W niniejszym sprawozdaniu przedstawiony został oraz projekt recepty z włóknem przeznaczonej do warstwy antyzmęczeniowej oraz wyniki badań zmęczeniowych.

Jako optymalne rozwiązanie przyjęto do zastosowania beton asfaltowy AC8 z dodatkiem włókna polimerowego. Następnie zostały wykonane płyty dwuwarstwowe (pakiet warstw) w technologii gorące na gorące, z których przygotowano próbki do badań zmęczeniowych. Do drugiej warstwy została wykorzystana mieszanka typu beton asfaltowy o wysokim module sztywności ACWMS16 (20/30). Projekty w.w. mieszanek wykonano zgodnie z nowymi wymaganiami technicznymi WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych 2008.

5. Metodyka badań (MMA)

5.1. Zawartość wolnych przestrzeni

1. Badanie gęstości i gęstości objętościowej metodą B (dawniej gęstości objętościowej i strukturalnej) wykonano wg PN-EN 12697-5 i 6 [1], [2]. Wolną przestrzeń P_p , w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej obliczono wg równania 1:

$$P_p = \frac{\rho - \rho_o}{\rho} \times 100, \% (V/V) \quad \text{Równanie 1}$$

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

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

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

5.2. Odporność na działanie wody

Badanie odporności mieszanki na działanie wody wykonano wg PN-EN 12697-12 [3]. Badanie wytrzymałości na rozciąganie pośrednie przeprowadzono na próbkach o średnicy 100 mm wg PN-EN 12697-23 [4]. Badanie wykonuje się na próbkach suchych i nasączonych wodą, co pozwala na określenie odporności mieszanki na działanie wody. Próbki do badania wytrzymałości na rozciąganie pośrednie zostały zagęszczone ubijakiem Marshalla po 35 uderzeń z każdej ich strony. Po zagęszczeniu próbki pozostawiono w formach na 24 godziny w temperaturze pokojowej, tj. około 20°C. Po wyjęciu z form, próbki suche przechowywane były w temperaturze pokojowej, natomiast próbki mokre przetrzymywano w łaźni wodnej o temperaturze 40°C przez 72 godziny. Dodatkowo w przypadku próbek mokrych zastosowano jeden cykl zamrażania (16 godz. w temp. -18°C). Po tym okresie wszystkie próbki doprowadzono do temperatury badania 15°C, a następnie wykonano badanie wytrzymałości na rozciąganie pośrednie w opisany poniżej sposób.

Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie pośrednie przeprowadzono w temperaturze 15°C. Badanie to polega na ściskaniu próbek $\varnothing 100 \pm 3$ mm, po tworzącej walca z prędkością 50 mm/min., przy czym nacisk jest przekazany przez listwy o szerokości 12 mm i o krzywiznie równej promieniowi próbki.

Wytrzymałość pojedynczej próbki na rozciąganie pośrednie oblicza się wg równania 2:

$$ITS_{S(N)} = \frac{P}{\pi r h} \quad \text{Równanie 2}$$

w którym:

$ITS_{S(N)}$	wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, [kPa]
P	maksymalna siła niszcząca, [kN]
h	wysokość próbki, [cm]

r promień próbki, [cm]

Natomiast odporność na działanie wody (wskaźnik zmiany wytrzymałości) określono na podstawie wzoru 3:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_N}{ITS_S} \quad \text{Równanie 3}$$

w którym:

ITSR wskaźnik zmiany wytrzymałości,
ITS_N wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek mokrych, [kPa]
ITS_S wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek suchych, [kPa]

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

5.3. Moduł sztywności - metoda belki czteropunktowo zginanej

Badanie modułu sztywności przeprowadzono zgodnie z metodą określoną w normie PN-EN 12697-26 [5]. Metoda polega na cyklicznym, czteropunktowym zginaniu próbki belkowej umieszczonym w aparacie zmęczeniowym przy stałej amplitudzie ugięcia. Podczas badania rejestrowana jest siła, ugięcie belki, kąt przesunięcia fazowego, liczba cykli, obliczany jest moduł sztywności oraz naprężenia i odkształcenia rozciągające. Warunki badania modułu sztywności przyjęto następujące:

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

5.4. Trwałość zmęczeniowa - metoda belki czteropunktowo zginanej

Badania zmęczeniowe zostały przeprowadzone wg normy PN-EN 12697-24 [6]. Metoda polega na cyklicznym, czteropunktowym zginaniu próbki belkowej umieszczonym w aparacie zmęczeniowym przy stałej amplitudzie ugięcia. Podczas badania rejestrowana jest siła, ugięcie belki, kąt przesunięcia fazowego, liczba cykli, obliczany jest zespolony moduł sztywności oraz naprężenia i odkształcenia rozciągające. Badanie przeprowadzono w trybie kontrolowanych odkształceń, w temperaturze 10 °C, przy częstotliwości 10 Hz. Celem badania zmęczenia jest określenie trwałości zmęczeniowej danej próbki, następnie wyznaczenie charakterystyki zmęczeniowej mieszanki (tj. zależności pomiędzy odkształceniem w badaniu a uzyskaną trwałością zmęczeniową) i określenie wartości ε₆, która jest parametrem charakteryzującym odporność zmęczeniową mieszanki mineralno-asfaltowej. Charakterystyka zmęczeniowa opisana jest równaniem 4:

Równanie 4

w którym:

N – trwałość zmęczeniowa,

ε – odkształcenie w badaniu zmęczenia,

A, b – parametry regresji liniowej jeżeli wyniki podano jako $(\log \varepsilon, \log N)$.

5.5. Odporność na koleinowanie (mały aparat)

Mały koleinomierz wykorzystywany jest do oceny odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na deformacje trwałe. Badanie przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 12697-22 [7]. Odpowiednio obciążone koło, z gumową oponą, porusza się cyklicznie po próbce z mieszanki mineralno-asfaltowej z określoną prędkością. W komorze utrzymywana jest temperatura 60°C . Próbki poddane badaniom mogą być przygotowane w zagęszczarce walcowej i mieć kształt płyty o wymiarach 260 na 320 mm oraz grubości od 30 do 120 mm, ewentualnie mogą być odwierconymi rdzeniami o średnicy 200 mm. Podczas typowego badania koło dociskane jest do próbki z siłą $700 \pm 10 \text{ N}$, temperatura badania wynosi $60^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, a przyrost koleiny jest stale monitorowany, za pomocą elektromagnetycznego czujnika w 35 punktach z dokładnością do 0,01 mm. Poniżej przedstawiono aparat do koleinowania użyty w poniższych badaniach.



Rysunek 1 Mały koleinomierz w IBDiM

6. Materiały do badań oraz podstawowe badania materiałów wyjściowychLepiszczca

Asfalt modyfikowany MODBIT 80B z firmy LOTOS Asfalt

Asfalt drogowy 20/30 z firmy LOTOS Asfalt

Materiały kamienne - kruszywo

Mączka wapienna

Bazalt 2/5, 5/8, 8/11, 11/16 [mm]

Granit 0/2, [mm]

Inne

Środek adhezyjny, Wetfix BE z firmy Akzo Nobel

Stabilizator, Arbocel

6.1. Lepiszczca

Do wykonania mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowano asfalt drogowy 20/30 oraz asfalt modyfikowany MODBIT 80B z firmy LOTOS Asfalt. W tablicy 1 podane zostały podstawowe właściwości lepiszczy wykorzystanych do wykonania mieszanek mineralno-asfaltowych (AC8 (80B), ACWMS16 (20/30)).

Tablica 1 Podstawowe właściwości lepiszczy

WŁAŚCIWOŚCI	RODZAJ ASFALTU	
	20/30	MODBIT 80B
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	24	54
Temperatura mięknięcia PiK, °C	63,0	68,2
Temperatura łamliwości wg Fraassa, °C	-13	-23

6.2. Materiały kamienne

W tablicy 2 zostały przedstawione analizy sitowe poszczególnych frakcji kruszyw oznaczone w laboratorium IBDiM, które zostały zastosowane do opracowania składów mieszanek mineralno-asfaltowych.

Tablica 2 Analizy sitowe kruszyw

Wymiar oczek sita # [mm]	Mączka wapienna	Mączka wapienna	Granit 0/2 mm	Bazalt 2/5 mm	Bazalt 5/8 mm	Bazalt 8/11 mm	Bazalt 11/16 mm
16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	81,3
8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	68,7	12,9
5,6	0,0	0,0	0,0	1,6	71,9	20,5	0,6
2	0,0	0,0	9,8	94,4	24,3	2,8	0,1
0,125	3,20	2,23	69,5	3,8	0,3	0,9	0,0
0,063	8,90	13,05	13,5	0,1	0,1	0,2	0,1
<0,063	87,90	84,72	7,2	0,1	0,1	0,3	0,1
Łącznie	100	100	100	100	100	100	100

Pozostałe materiały

- Środek adhezyjny, Wetfix BE
- Włókno polimerowe

7. Mieszanki mineralno-asfaltowe

W ramach pracy przewidziano opracowanie składu mieszanki mineralno-asfaltowej antyzmęczeniowej. Niezbędne było również opracowanie składu drugiej mieszanki w celu wykonania próbek stanowiących pakiet warstw odwzorowujący warunki rzeczywistej nawierzchni.

W rezultacie opracowano składy na następujące mieszanki mineralno-asfaltowe:

- **AC8 (80B)** – beton asfaltowy do warstwy antyzmęczeniowej z kruszywem o wymiarze do 8 mm z asfaltem modyfikowanym Modbit 80B,
- **ACWMS16 (20/30)** – beton asfaltowy o wysokim module sztywności z kruszywem o wymiarze do 16 mm z asfaltem 20/30.

Projekty mieszanek mineralno-asfaltowych wykonano wg WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008 [8]. Szczegółowe składy mieszanek mineralno-asfaltowych oraz ich podstawowe parametry, przedstawiono w dalszej części sprawozdania.

8. Wyniki badań

8.1. Mieszanka AC8 (80B) wg rec. TN/251/09-3

8.1.1. Projekt i podstawowe właściwości – AC8 (80B)

Skład mieszanki AC8 został opracowany w laboratorium IBDiM, z wykorzystaniem materiałów własnych tj.: kruszyw, lepiszcza oraz dodatków. Projektowana mieszanka AC8 stanowi beton asfaltowy przeznaczony do warstwy antyzmęceniowej dla ruchu od KR3 do KR6, z asfaltem modyfikowanym Modbit 80B, (wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe [8]).

Recepta nr TN/251/09-3

Beton asfaltowy AC8 (80B) (KR3- KR6)

o uziarnieniu 0/8 mm do wykonania warstwy antyzmęceniowej

A. Informacje ogólne

Przeznaczenie: temat badawczy TN-251, kategoria ruchu KR5-KR6

Podstawa projektu: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

B. Składniki mieszanki

Lp.	Symbol	Rodzaj	
1	Mączka wapienna	wypełniacz	
2	Granit 0/2 mm	kr. dr. gran.	
3	Bazalt 2/5 mm	Grys	
4	Bazalt 5/8 mm	Grys	
5	Asfalt modyfikowany	Modbit 80B z LOTOS Asfalt – Gdańsk	
6	Włókno	Włókno polimerowe (Tofic)	
7	WETFIX BE	Środek adhezyjny	Akzo Nobel

C. Uziarnienie materiałów mineralnych

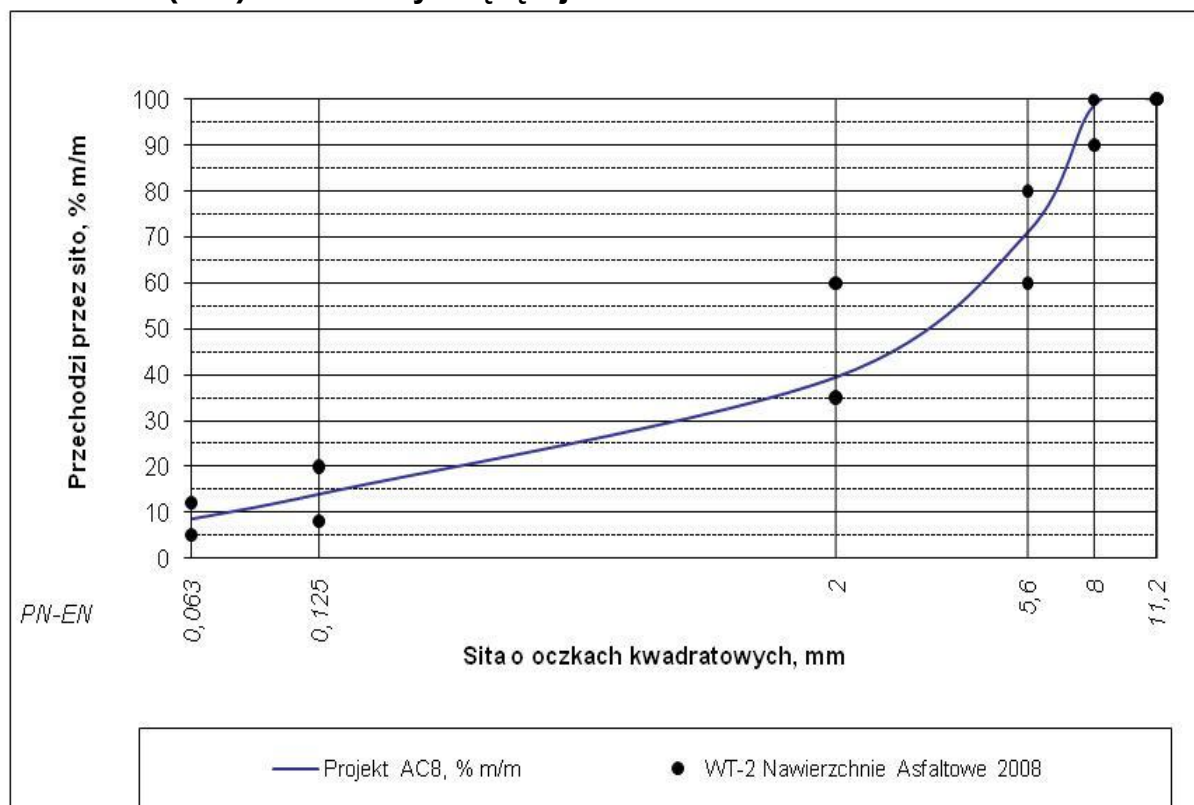
Wymiar oczek sita # [mm]	Mączka wapienna	Granit 0/2 mm	Bazalt 2/5 mm	Bazalt 5/8 mm
16,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11,2	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	3,3
5,6	0,0	0,0	1,6	71,9
2	0,0	9,8	94,4	24,3
0,125	3,20	69,5	3,8	0,3
0,063	8,90	13,5	0,1	0,1
<0,063	87,90	7,2	0,1	0,1
Łącznie	100	100	100	100

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

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna, % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa, % m/m
1	Mączka wapienna	7,0	6,57
2	Granit 0/2 [mm]	35,0	32,83
3	Bazalt 2/5 [mm]	20,0	18,76
4	Bazalt 5/8 [mm]	38,0	35,64
5	Włókno polimerowe	-	0,4
6	Asfalt Modbit 80B	-	5,783
7	WETFIX BE	-	0,017
	Razem	100,0	100,0

W mieszance zastosowano środek adhezyjny: WETFIX BE (0,3 % m/m w stosunku do asfaltu) oraz włókno polimerowe TOFIC (0,4 % m/m w stosunku do mieszanki mineralno-asfaltowej).

E. Krzywa uziarnienia i uziarnienie mieszanki mineralnej AC8 (80B) do warstwy wiążącej



Rysunek 2 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej AC8 (80B)

F. Uziarnienie mieszanki mineralnej

Sito #, Mm	Pozostaje na sicie, (%)	Przechodzi przez sito, (%)	Uziarnienie wg WT-2 2008 wobec AC8	
			Dolne	Górne
11,2	-	100,00	100	100
8	1,26	98,74	90	100
5,6	27,64	71,10	60	80
2	31,54	39,56	35	60
0,125	25,42	14,14	8	20
0,063	5,41	8,73	5	12
< 0,063	8,73	-	-	-
	100			

G. Zbadane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej AC8 (80B), o składzie optymalnym dla zawartości asfaltu $A_m=5,8$ % m/m

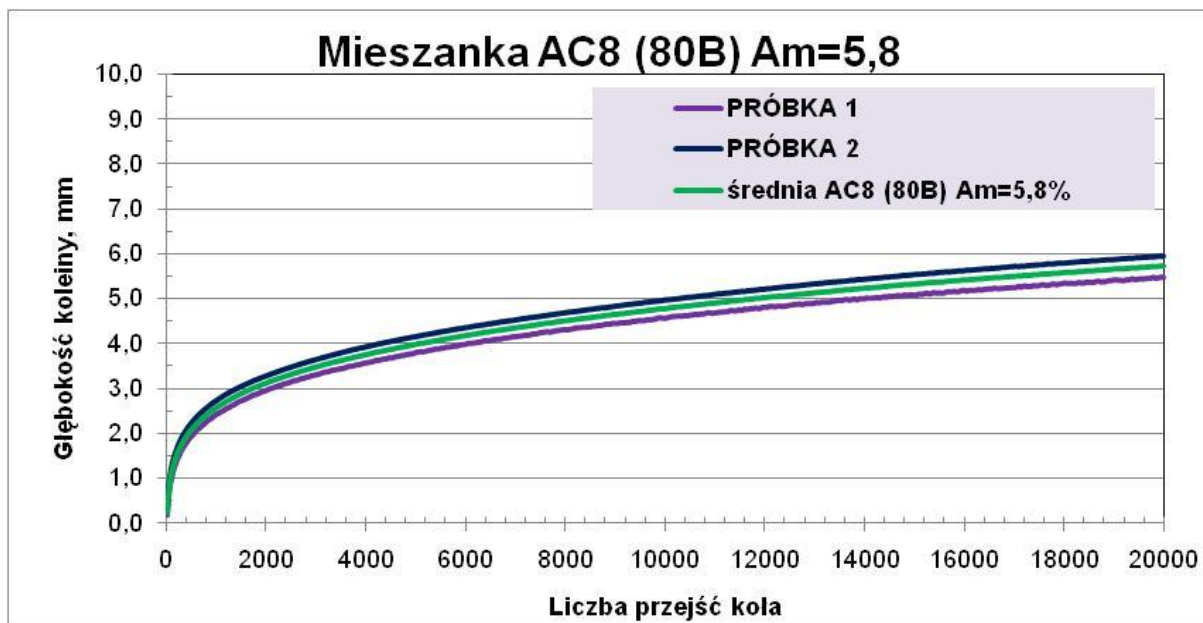
Lp.	Właściwości	Wyniki AC8 (80B) (TN/251/09-3)	Wymagania wg WT-2 2008 wobec KR1-KR2 (KR3-KR4)*
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej, g/cm ³	2,855	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej (dawna gęstość objętościowa), g/cm ³	2,577	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej (dawna gęstość strukturalna), g/cm ³	2,520	-
4	Zawartość wolnych przestrzeni, %v/v	2,2	$V_{min}1,0$ $V_{max}3,0$ ($V_{min}2,0$ $V_{max}4,0$)*
5	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	86,9	$VFB_{min}78$ $VFB_{max}89$
6	Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli)	0,19	($WTS_{AIR} 0,3$)*
		11,0	($PRD_{AIR} 5,0$)*
7	Odporność na działanie wody, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	92,0	$ITSR_{90}$ ($ITSR_{90}$)*

8.1.2. Odporność na koleinowanie - AC8 (80B)

Na rysunku 3 przedstawiono wykres z przebiegu badania koleinowania mieszanki AC8 (80B) przeprowadzone na próbkach przygotowanych w laboratorium IBDiM wg recepty TN/251/09-3.

Tablica 3 Wyniki badania koleinowania – pojedyncze próbki, mieszanka AC8

AC8 (80B) Próbka 1 – Am=5,8%			
Właściwości \ Cykle (przejścia)	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm	3,80	4,56	5,47
PRD, %	7,3	8,8	10,5
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			0,18
AC8 (80B) Próbka 2 – Am=5,8%			
Właściwości \ Cykle (przejścia)	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm	4,16	4,98	5,96
PRD, %	8,0	9,6	11,5
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			0,20

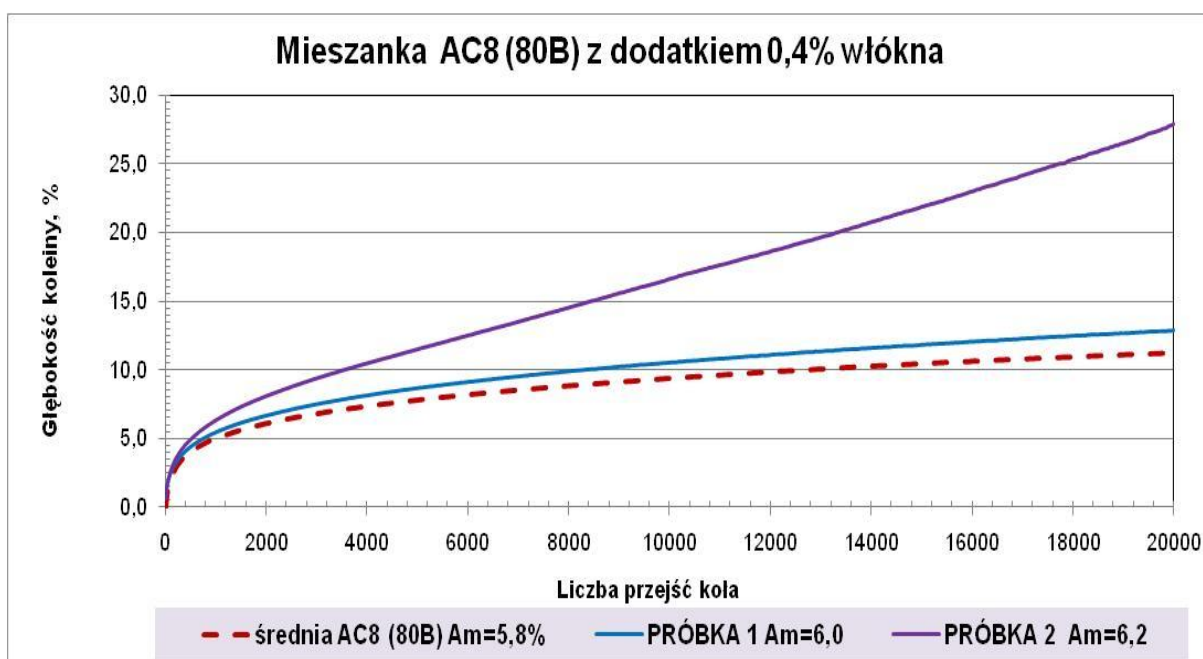


Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli, % (mm/mm)) AC8 (80B) (wys. próbek 52 mm)			
Właściwości \ Cykle (przejścia)	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm	3,98	4,77	5,72
PRD, %	7,7	9,2	11,0
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			0,19

Rysunek 3 Przebieg i wyniki badania koleinowania mieszanki AC8 (80B)

Tablica 4 Zestawienie wyników koleinowania przy uwzględnieniu różnej zawartości lepiszcza

AC8 (80B) Próbka 1 – Am=6,2			
Cykle (przejścia) Właściwości	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm	4,43	5,38	6,57
PRD, %	8,52	10,35	12,6
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			0,24
AC8 (80B) Próbka 2 – Am=6,0			
Cykle (przejścia) Właściwości	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm	5,86	8,47	14,22
PRD, %	11,27	16,29	27,3
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			1,15
AC8 (80B) Próbki 1, 2 – Am=5,8%			
Cykle (przejścia) Właściwości	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm	3,98	4,77	5,72
PRD, %	7,7	9,2	11,0
WTS(d10000-d5000), [mm/1000 cykli]			0,19

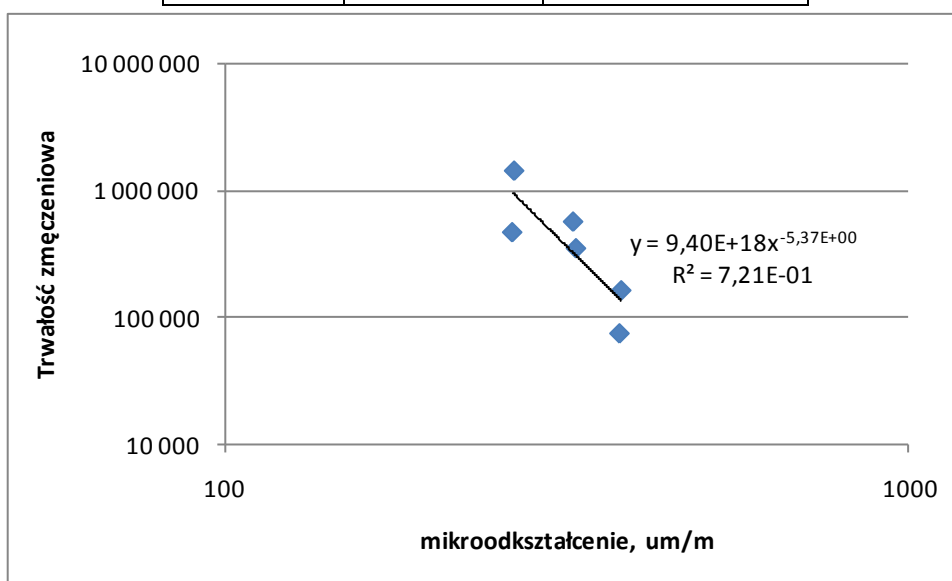
**Rysunek 4** Przebieg i wyniki badania koleinowania mieszanki AC8 (80B) z różnymi zawartościami lepiszcza

8.1.3. Odporność na zmęczenie - AC8 (80B)

W ramach realizacji etapu III przeprowadzono badania zmęczeniowe metodą belki czteropunktowo zginanej w temperaturze 10°C na mieszance z włóknem (antyzmęczeniowej). Wyniki badań przedstawiono w tablicy 5 i na rysunku 5. Badania w trakcie realizacji.

Tablica 5 Wyniki badań zmęczenia mieszanki AC8 (80B)

próbka	ε , $\mu\text{m/m}$	N
1a	323	566814
1b	265	1419229
2a	377	75602
2b	379	164203
3a	326	350508



Rysunek 5 Charakterystyka zmęczeniowa mieszanki AC8 (80B)

8.1.4. Moduł sztywności - AC8 (80B)

W ramach realizacji etapu III przeprowadzono badania modułu sztywności metodą belki czteropunktowo zginanej w temperaturze 10°C w wybranych częstotliwościach na mieszance z włóknem. Wyniki badań przedstawiono w tablicy 6. Badania w trakcie realizacji.

Tablica 6 Wyniki badania modułu sztywności mieszanki AC8 (80B), [MPa]

Częstotliwość Próbka	1 Hz	2 Hz	5 Hz	8 Hz	10 Hz
1a	6503	7532	9038	9850	10239
1b	6178	7235	8801	9647	10065
2a	6742	7871	9451	10291	10718
2b	9866	8124	9674	10518	10917
3a	6377	7382	8890	9705	10097
3b	6808	7820	9308	10107	10464
średnia	7079	7661	9193	10020	10417

8.1.5. Wodoodporność - AC8 (80B)

Badania wodoodporności przeprowadzono na mieszance z włóknem dla zawartości lepiszcza (Modbit 80B) równej 5,8% oraz 6,0%. Wyniki badań przedstawiono w tablicy 7.

Tablica 7 Zestawienie wyników badań wodoodporności – mieszanka AC8 (80B)

Mieszanka	ITS _N [kPa]	ITS _s [Kpa]	ITSR [%]
AC8 (80B) Am=5,8%	2062	2242	92,0
AC8 (80B) Am=6,0%	2023	2108	96,0

8.2. Mieszanka ACWMS16 (20/30) wg rec. TN/251/09-4**8.2.1. Projekt i podstawowe właściwości – ACWMS16 (20/30)**

Skład mieszanki ACWMS16 został opracowany w laboratorium IBDiM, z materiałów własnych tj.: kruszyw, lepiszcza oraz dodatków. Projektowana mieszanka ACWMS16 stanowi beton asfaltowy o wysokim module sztywności dla ruchu od KR3 do KR6, z asfaltem 20/30, opracowany wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe [8]). Szczegóły projektu zawiera recepta nr TN/251/09-4.

Recepta nr TN/251/09-4

Beton asfaltowy o wysokim module sztywności

ACWMS16 (20/30) (KR3- KR6)

o uziarnieniu 0/16 mm do wykonania warstwy wiążącej

I. Informacje ogólne

Przeznaczenie: temat badawczy TN-251, kategoria ruchu KR5-KR6

Podstawa projektu: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

II. Składniki mieszanki

Lp.	Symbol	Rodzaj	
1	Mączka wapienna	wypełniacz	
2	Granit 0/2 mm	kr. dr. gran.	
3	Bazalt 2/5 mm	Grys	
4	Bazalt 5/8 mm	Grys	
5	Bazalt 8/11 mm	Grys	
6	Bazalt 11/16 mm	Grys	
7	Asfalt 20/30	asfalt drogowy z LOTOS Asfalt – Gdańsk	
8	WETFIX BE	Środek adhezyjny	Akzo Nobel

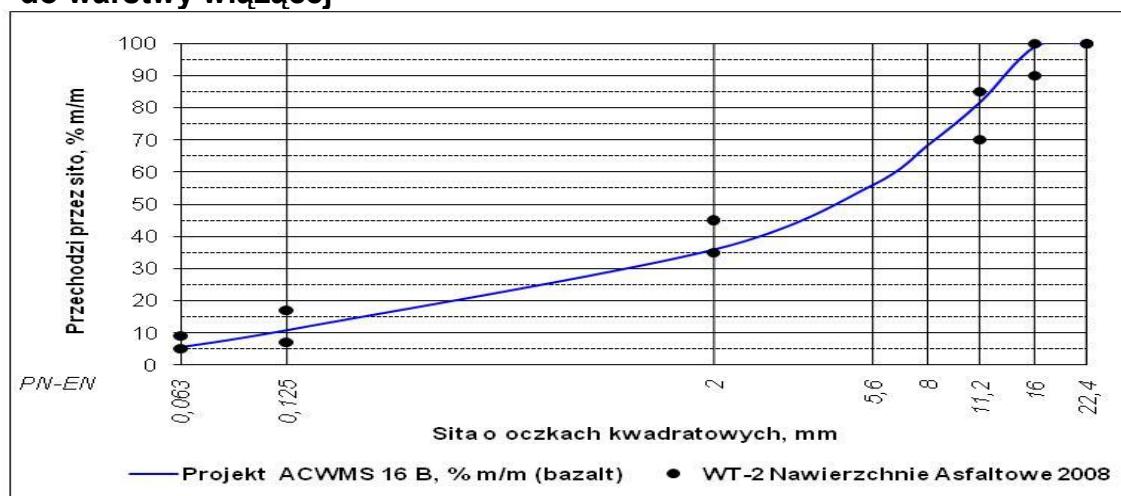
III. Uziarnienie materiałów mineralnych

Wymiar oczek sita # [mm]	Mączka wapienna	Granit 0/2 mm	Bazalt 2/5 mm	Bazalt 5/8 mm	Bazalt 8/11 mm	Bazalt 11/16 mm
16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	81,3
8	0,0	0,0	0,0	3,3	68,7	12,9
5,6	0,0	0,0	1,6	71,9	20,5	0,6
2	0,0	9,8	94,4	24,3	2,8	0,1
0,125	2,23	69,5	3,8	0,3	0,9	0,0
0,063	13,05	13,5	0,1	0,1	0,2	0,1
<0,063	84,72	7,2	0,1	0,1	0,3	0,1
Łącznie	100	100	100	100	100	100

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

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna, % m/m	Mieszanka mineralno- asfaltowa, % m/m
1	Mączka wapienna	3,5	3,34
2	Granit 0/2 [mm]	35,0	33,43
3	Bazalt 2/5 [mm]	14,0	13,37
4	Bazalt 5/8 [mm]	12,5	11,94
5	Bazalt 8/11 [mm]	15,0	14,32
6	Bazalt 11/16 [mm]	20,0	19,10
7	Asfalt 20/30	-	4,49
8	WETFIX BE	-	0,01
	Razem	100,0	100,0

V. Krzywa uziarnienia i uziarnienie mieszanki mineralnej ACWMS16 (20/30) do warstwy wiążącej



Rysunek 6 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej ACWMS16 (20/30) do warstwy wiążącej

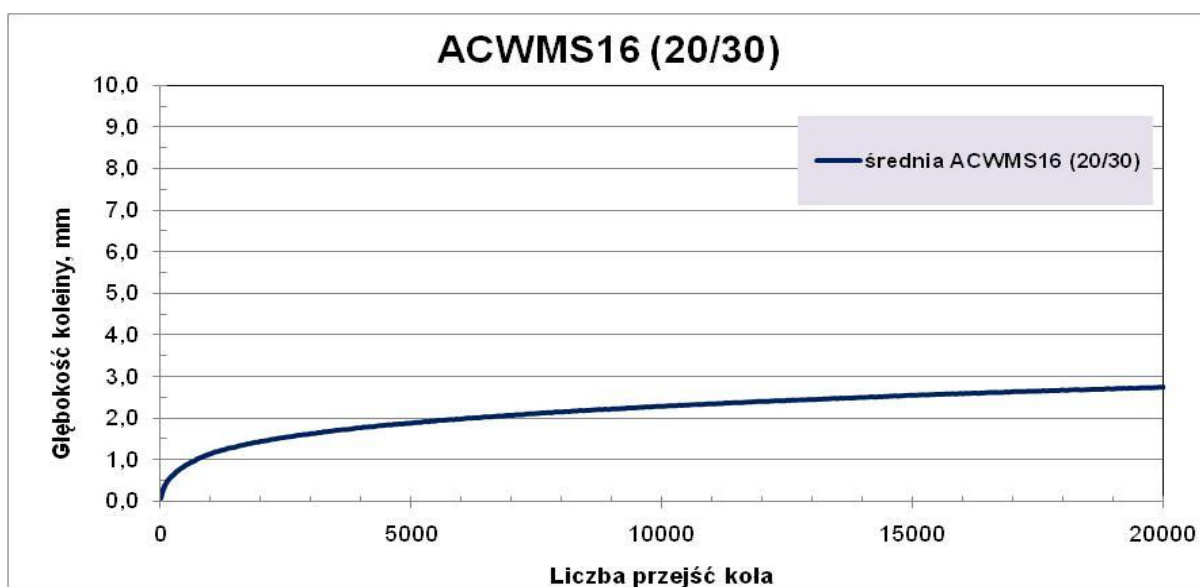
VI. Uziarnienie mieszanki mineralnej

Sito #, Mm	Pozostaje na sicie, (%)	Przechodzi przez sito, (%)	Uziarnienie wg WT-2 2008 wobec ACWMS 16	
			Dolne	Górne
22,4	-	100,0	100	100
16	0,98	99,0	90	100
11,2	17,25	81,77	70	85
8	13,29	68,48	-	-
5,6	12,41	56,07	-	-
2	20,12	35,95	35	45
0,125	25,11	10,84	7	17
0,063	5,26	5,58	5	9
< 0,063	5,58	-	-	-
	100			

VII. Zbadane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej ACWMS16 (20/30), o składzie optymalnym dla zawartości asfaltu $A_m=4,5$ % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania wg WT-2 2008
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej, g/cm ³	2,877	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,656	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,569	-
4	Zawartość wolnych przestrzeni, %v/v	3,3	$V_{min}2,0$ $V_{max}4,0$
5	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	77,81	
6	Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli)	0,10	$WTS_{AIR} 0,1$
		2,9	$PRD_{AIR} 3,0$
7	Odporność na działanie wody, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	85,9	$ITSR_{80}$
8	Trwałość zmęczeniowa, $\mu m/m$	144	ϵ_{6-130}
9	Sztywność, MPa	17802	$S_{min14000}$

8.2.2. Odporność na koleinowanie – ACWMS16 (20/30)



Odporność na deformację trwałą (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli, % (mm/mm)) ACWMS16 (20/30) (wys. próbek 99 mm)			
Cykle (przejścia)	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Właściwości			
Głębokość koleiny, mm	1,94	2,35	2,83
PRD, %	2,0	2,4	2,9
WTS _(d10000-d5000) , [mm/1000 cykli]			0,10

Rysunek 7 Przebieg i wyniki badania koleinowania w małym aparacie
mieszanka ACWMS16 (20/30)

8.2.3. Odporność na zmęczenie - ACWMS16 (20/30)

W tablicach 8-9 przedstawiono wyniki badania zmęczenia mieszanki ACWMS16.

Tablica 8 Wyniki badań zmęczenia mieszanki ACWMS16 (20/30)

próbka	ϵ , $\mu\text{m/m}$	N
B1	175	176 801
B2	139	1 383 815
B4	174	221 202
B5	225	72 501
B6	146	1 373 032
B7	149	588 014
B8	228	30 401
B9	180	292 107
B10	224	55 601
B12	180	341 807
B14	147	685 516
B15	145	1 153 826
B16	226	50 501
B17	181	190 104

Tablica 9 Wyniki badań zmęczenia mieszanki ACWMS16 (20/30)

p=95%	ε_6	144	$\mu\text{m/m}$
	$\varepsilon_6(\text{max})$	152	$\mu\text{m/m}$
	$\varepsilon_6(\text{min})$	137	$\mu\text{m/m}$
	R^2	0,94	

8.2.4. Moduł sztywności - ACWMS16 (20/30)

W tablicy 10 przedstawiono wyniki badań modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki ACWMS16 (20/30).

Tablica 10 Moduł sztywności i kąt przesunięcia fazowego, 10°C, 10Hz

Mieszanka Próbka	ACWMS16 (20/30)	
	MPa	°
1	18044	10,4
2	19322	9,7
3	20031	10,1
4	18048	9,7
5	17101	10,1
6	17059	9,4
7	14683	12,5
8	17135	9,7
9	18671	9,6
10	17071	10,0
11	18073	9,2
12	18080	9,8
13	18398	8,5
14	17508	9,5
ŚREDNIA	17802	9,9
ODCH.ST.	1256	0,9

8.2.5. Wodoodporność - ACWMS16 (20/30)

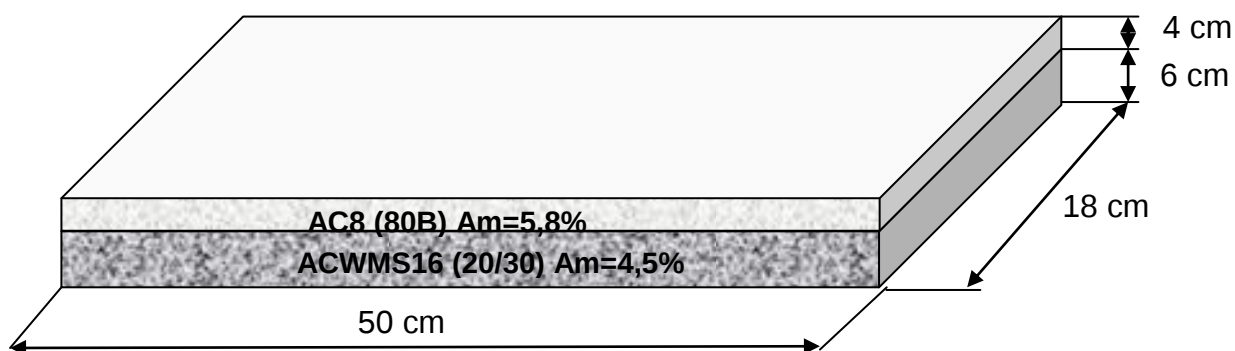
Wyniki wskaźnika odporności na działanie wody ITSR przedstawiono w tablicy 11. Odporność na działanie wody określono na próbkach przechowywanych w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie wykonano w temperaturze 15°C.

Tablica 11 Wyniki odporności na działanie wody - mieszanka ACWMS16 (20/30)

Stan próbek	Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, kPa		ITSR, %
	ITS _S	ITS _N	
ACWMS16 (20/30)			
Próbki suche	3745,5	-	85,9
Próbki pielęgnowane	-	3216,8	

8.3. Pakiet warstw z mieszanki ACWMS16 (20/30) i AC8 (80B)

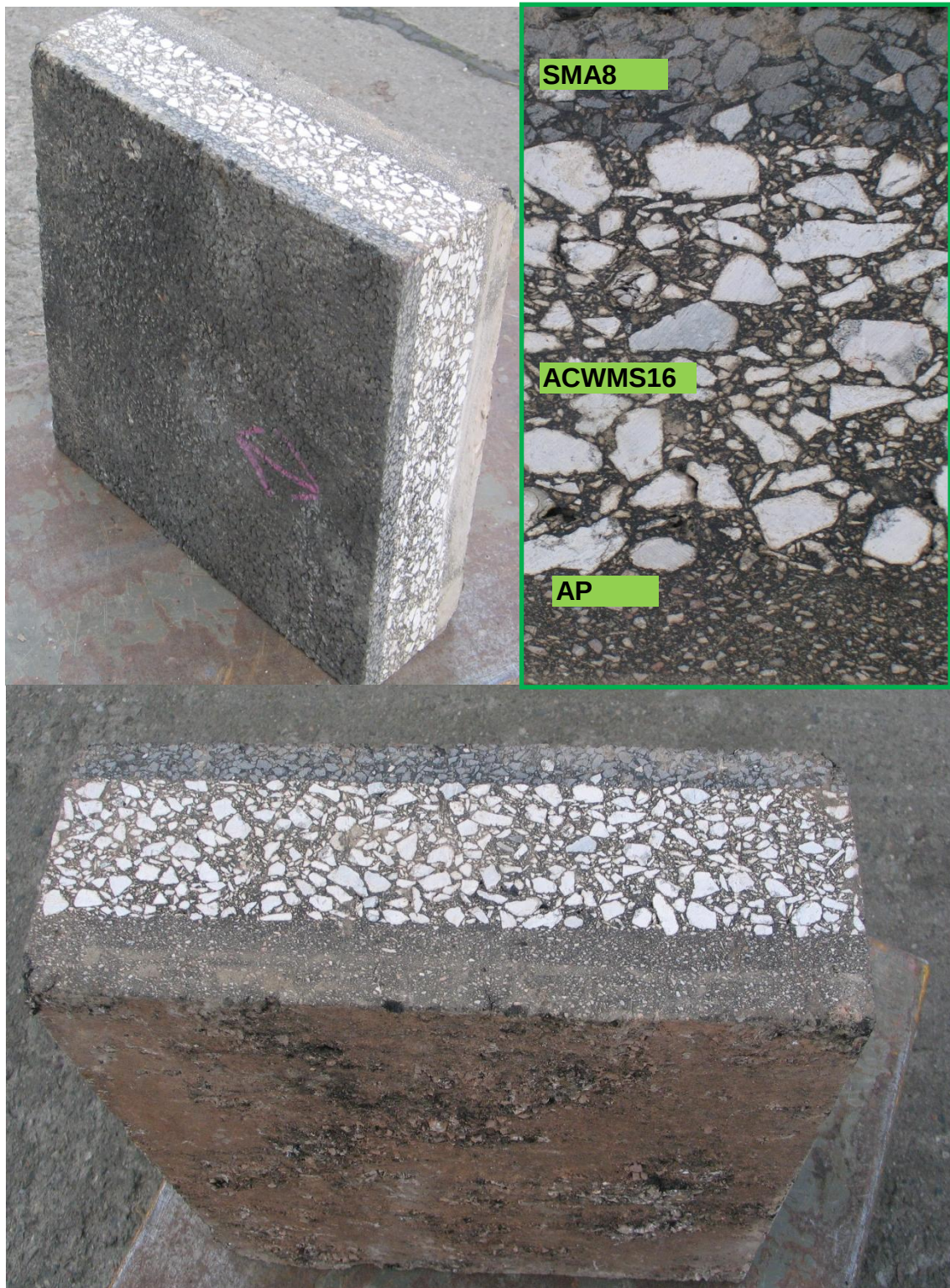
W laboratorium IBDiM przygotowano płyty (Rys 7) stanowiące pakiet warstw składający się z 4 cm mieszanki AC8 (80B) i 60cm mieszanki ACWMS16 (20/30) symulujący warunki pracy w rzeczywistej nawierzchni. Płyty o wymiarach 50x18x10cm, przygotowano w technologii „gorące na gorące”. Następnie z płyt wycięto próbki (belecзки) do badań zmęczeniowych o wymiarach 38x6,3x5cm (Rys. 8).



Rysunek 8 Płyta stanowiąca pakiet warstw z mieszanki AC8 i ACWMS16



Rysunek 9 Fotografia belek wyciętych z pakietu warstw



Rysunek 10 Fotografia pakietu warstw z zastosowaniem warstwy antyzmęczeniowej z asfaltu piaskowego w włóknie

8.3.1. Odporność na zmęczenie - pakiet warstw

W ramach realizacji etapu III przeprowadzono badania zmęczeniowe metodą belki czteropunktowo zginanej w temperaturze 10°C na mieszance AC8 (80B) antyzmęczeniowej z włóknem, jak również sprawdzono zmęczenie pakietu składającego się z warstwy antyzmęczeniowej i warstwy betonu o wysokim module sztywności ACWMS16 (20/30). Badania w trakcie realizacji.

8.3.2. Moduł sztywności - pakiet warstw

W ramach realizacji etapu III przeprowadzono badania modułu sztywności metodą belki czteropunktowo zginanej w temperaturze 10°C w wybranych częstotliwościach na mieszance antyzmęczeniowej z włóknem i próbkach składającej się z dwóch warstw tj. AC8 i ACWMS16. Badania w trakcie realizacji.

9. Wstępna ocena wyników

9.1. Właściwości podstawowe AC8 (80B) i ACWMS16 (20/30) wg recept TN/251/09-3 i TN/251/09-4

W tablicy 12 zestawiono wyniki badań mieszanki z włóknem AC8 i mieszanki AC WMS 16.

Tablica 12 Zbiorcze zestawienie wyników badań AC8 i ACWMS 16

Właściwość \ Mieszanka	Jednostka	AC8 (80B)	ACWMS 16 (20/30)
Asfalt		80B	20/30
Zawartość asfaltu	% m/m	5,8	4,5
Zawartość wolnych przestrzeni	% v/v	2,2	3,3
Odporność na koleinowanie, WTS_{AIR}	mm/1000 cykli	0,19	0,1
Odporność na koleinowanie, WTS_{AIR}	%	11	2,9
Wodoodporność ITSR	%	92	85,9
Zmęczenie, ϵ_6	$\mu m/m$	261	144
Sztywność	MPa	10417	17802
Kąt przesunięcia fazowego	°	16,4	9,9

9.2. Odporność na koleinowanie

Wg WT-2 dla mieszanki AC8 dla ruchu KR1-KR2 nie przewidziano wymagań odnośnie odporności na koleinowanie, natomiast dla ruchu KR3-4 przewidziano wymaganie $WTS_{AIR} < 0,3$, $WTS_{AIR} < 5,0$. Badania koleinowania wykonane na próbkach z mieszanki antyzmęczeniowej wykazały odporność na koleinowanie $WTS=0,19$ co spełnia postawione w WT-2 (wobec KR3-4), jednak odnotowana procentowa głębokość koleiny PRD jest zbyt wysoka w odniesieniu do wymagań tj. PRD=11).

9.3. Wodoodporność

Mieszanka AC8 z dodatkiem włókna spełniła wymaganie (ITSR >90%) wodoodporności wg WT-2 jak dla betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej i wynosiła ITSR = 92%.

9.4. Trwałość zmęczeniowa i sztywność

Mieszanka AC WMS 16 spełniła wymagania w zakresie odporności zmęczeniowej i sztywności. Mieszanka AC8 charakteryzuje się bardzo wysoką trwałością zmęczeniową (niemal dwukrotnie wyższą niż AC WMS 16), przy jednocześnie mniejszym module sztywności i większym udziale fazy lepkiej modułu (większy kąt przesunięcia fazowego).

10. Kontynuacja pracy w dalszym etapie

W dalszym etapie pracy przeprowadzona zostanie szczegółowa analiza wyników, uzupełnione zostaną konieczne badania oraz opracowane zostanie sprawozdanie końcowe z pracy.

Literatura:

- 1 PN-EN 12697-5 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 5: Oznaczanie gęstości
- 2 PN-EN 12697-6 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej
- 3 PN-EN 12697-12, Mieszanki mineralno-asfaltowe –Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 12: Określenie wrażliwości próbek asfaltowych na działanie wody
- 4 PN-EN 12697-23, Mieszanki mineralno-asfaltowe –Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 23: Określenie pośredniej wytrzymałości na rozciąganie próbek asfaltowych
- 5 PN-EN 12697-26, Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 26: Sztywność
- 6 PN-EN 12697-24, Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 24: Odporność na zmęczenie
- 7 PN-EN 12697-22, Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 22: Koleinowanie
- 8 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych WT-2 – Nawierzchnie asfaltowe – 2008, IBDiM Warszawa 2008