



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA

BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH Z DODATKIEM WŁÓKIEN FORTA FI

RAPORT KOŃCOWY

Opracowano na zlecenie:

**Wegarten Construction Sp. z o.o.
ul. Jugosłowska 15A/45
03-984 Warszawa**

Opracowali:

dr inż. Piotr Jaskuła – Kierownik Zespołu Budowy Dróg

dr inż. Marcin Stienss

mgr inż. Cezary Szydłowski

Gdańsk, październik 2015

BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH Z DODATKIEM WŁÓKIEŃ FORTA FI

1.	PODSTAWA OPRACOWANIA	5
2.	CEL PRAC	5
3.	ZAKRES PRAC	5
4.	MATERIAŁY DO BADAŃ	6
4.1.	WŁÓKNA	6
4.2.	MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE DO BADAŃ PEŁNYCH	7
4.2.1.	<i>Beton asfaltowy AC 11 S</i>	8
4.2.2.	<i>Beton asfaltowy AC 16 W</i>	10
4.3.	MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE DO ROZSZERZONYCH BADAN ODPORNOŚCI NA KOLEINOWANIE	13
5.	PRZYGOTOWANIE PRÓBEK	13
5.1.	MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE WYTWARZANE W LABORATORIUM	13
5.2.	MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE WYTWARZANE W WMB	15
6.	MODUŁ SZTYWNOŚCI I WYTRZYMAŁOŚĆ NA POŚREDNIE ROZCIĄGANIE	16
6.1.	METODYKA BADAŃ MODUŁU SZTYWNOŚCI SPRĘŻYSTEJ	16
6.2.	METODYKA BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI NA POŚREDNIE ROZCIĄGANIE	17
6.3.	WYNIKI BADAŃ	18
6.4.	ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ	28
7.	ODPORNOŚĆ MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH NA DZIAŁANIE WODY I MROZU	29
7.1.	METODYKA BADAŃ	29
7.2.	WYNIKI BADAŃ	30
7.3.	ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ	34
8.	ODPORNOŚĆ NA DEFORMACJE TRWAŁE	35
8.1.	METODYKA BADAŃ	35
8.2.	WYNIKI BADAŃ	35
8.2.1.	<i>Wyniki badań podstawowych</i>	35
8.2.2.	<i>Wyniki badań rozszerzonych</i>	37
8.3.	ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ	39
9.	ODPORNOŚĆ NA SPĘKANIA NISKOTEMPERATUROWE	40
9.1.	METODA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ	40
9.1.1.	<i>Metodyka badań</i>	40
9.1.2.	<i>Wyniki badań</i>	43
9.1.3.	<i>Analiza wyników badań</i>	49
9.2.	ODPORNOŚĆ NA SPĘKANIA NISKOTEMPERATUROWE – METODA MECHANIKI PĘKANIA	50
9.2.1.	<i>Przygotowanie próbek</i>	50
9.2.2.	<i>Metodyka badań odporności na pękanie</i>	50
9.2.3.	<i>Wyniki badań odporności na pękanie</i>	53
9.2.4.	<i>Analiza wyników badań</i>	59
10.	BADANIE MODUŁU DYNAMICZNEGO W AMPT/SPT	60
10.1.	METODYKA BADAŃ MODUŁU DYNAMICZNEGO	60
10.2.	WYNIKI BADAŃ MODUŁU DYNAMICZNEGO	61
10.3.	ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ MODUŁU DYNAMICZNEGO	63
11.	WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ	64
	ZAŁĄCZNIK 1. SZCZEGÓŁOWE WYNIKI BADAŃ ODPORNOŚCI NA PĘKANIE	66
	ZAŁĄCZNIK 2. RECEPTY ZASTOSOWANE W ROZSZERZONYCH BADANIACH ODPORNOŚCI NA DEFORMACJE TRWAŁE	71

BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH Z DODATKIEM WŁÓKIEN FORTA FI

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawę opracowania stanowi umowa nr WILiŚ/F/031499/002/2015 z dnia 23.06.2015 r., zawarta z firmą Wegarten Construction Sp. z o.o. na wykonanie badań mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien FORTA-FI.

2. CEL PRAC

Celem badań jest określenie wpływu zastosowania włókien FORTA-FI na wybrane parametry mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych do warstw wiążących i ścieralnych. Program badań został określony pod kątem wychwycenia ewentualnych różnic pomiędzy mieszankami bez włókien, a mieszankami z włóknami i obejmował sprawdzenie parametrów odpowiedzialnych za zachowanie się nawierzchni zarówno w wysokich, jak i niskich temperaturach. Ponadto dla wybranych rodzajów badań sprawdzono wpływ różnych sposobów dozowania włókien do mieszanki.

Niniejsze opracowanie jest raportem końcowym, przedstawiającym otrzymane wyniki badań oraz ich analizę.

3. ZAKRES PRAC

Zakres prac obejmował przeprowadzenie następujących badań:

1. Ocenę modułów sztywności sprężystej i wytrzymałości na pośrednie rozciąganie w temperaturach odpowiednio 0°C, +13°C i +25°C oraz -20°C, 0°C, +20°C.
2. Ocenę odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody według normy PN-EN 12697-12¹ i procedury opisanej w dokumencie WT-2:2014²,
3. Ocenę odporności na deformacje trwałe według normy PN-EN 12697-22³, metoda B w powietrzu,
4. Ocenę odporności na spękania niskotemperaturowe według metody zginania belek prostopadłościennych ze stałą prędkością, opracowanej na Politechnice Gdańskiej oraz wykonano badania odporności na spękania niskotemperaturowe według metody mechaniki pęknięcia.

Dodatkowym elementem badań było sprawdzenie wpływu sposobu dozowania włókien w trakcie wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej. Wpływ ten określano poprzez porównanie wyników wybranych badań otrzymanych dla próbek mieszanki

¹ PN-EN 12697-12: 2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 12: Określenie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę.

² Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2:2014 – część I, Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania Techniczne.

³ PN-EN 12697-22:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 22: Koleinowanie.

wytworzonej z zalecanym przez producenta sposobem dozowania włókien tj. do mieszanki mineralnej, przed dodaniem asfaltu z wynikami osiągniętymi przez mieszankę, do której włókna dozowano już po dodaniu asfaltu do mieszanki mineralnej.

Ponadto dodatkowym elementem prac badawczych były również rozszerzone badania odporności na deformacje trwałe mieszanek z dodatkiem włókien Forta-FI. Przeprowadzono weryfikację dodatkowych czterech recept mieszanek mineralno-asfaltowych stosowanych aktualnie przez wykonawców robót drogowych. W przypadku dwóch recept (do warstwy ścieralnej i do warstwy wiążącej) weryfikacji dokonano na próbkach zagęszczonych w laboratorium z mieszanki wytworzonej na Wytwórni Mas Bitumicznych oraz z mieszanki wytworzonej i zagęszczonej w laboratorium. Dwie kolejne recepty (do warstwy ścieralnej i do warstwy wiążącej) sprawdzono na próbkach z mieszanki wytworzonej i zagęszczonej w laboratorium.

4. MATERIAŁY DO BADAŃ

4.1. Włókna

Zamawiający dostarczył do badań włókna zbrojące do mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco, oznaczone jako FORTA-FI[®] HMA[™].

Produkt FORTA-FI stanowi mieszankę aramidowo-poliolifenowych włókien zbrojących, które przeznaczone są do stosowania jako zbrojenie rozproszone w mieszankach mineralno-asfaltowych wbudowywanych w konstrukcje nawierzchni drogowych.

Włókna FORTA-FI produkowane są w trzech odmianach: HMA, WMA oraz PAT. Każda z odmian przeznaczona jest do innego typu mieszanki mineralno-asfaltowej. Wykorzystywane w niniejszych badaniach włókna FORTA-FI HMA przeznaczone są do tradycyjnych mieszanek mineralno-asfaltowych, których temperatura produkcji i wbudowania zawiera się w przedziale od 121 do 190°C. Odmiana FORTA-FI WMA przeznaczona jest do mieszanek o obniżonej temperaturze produkcji, zaś FORTA-FI PAT do mieszanek mineralno-asfaltowych na zimno, do szybkich napraw ubytków w nawierzchni. Długość włókien w każdej odmianie wynosi 19 mm.

Zgodnie z zaleceniami Producenta dozowanie włókien wynosi 0,5 kg na jedną tonę mieszanki mineralno-asfaltowej. Włókna dozuje się na sucho, tzn. dodaje się je do gorącej mieszanki mineralnej znajdującej się w mieszalniku wytwórni, przed zadozowaniem asfaltu.

W niniejszych badaniach stosowano zalecany przez producenta sposób dozowania włókien, tj. przed dodaniem do mieszanki mineralnej asfaltu. Dodatkowo, w celu określenia wpływu sposobu dozowania włókien na parametry mieszanki, dla wybranych rodzajów badań wykonano dodatkowe próbki, do których włókna

dodawano systemem odmiennym, tj. po zadozowaniu asfaltu do mieszanki mineralnej i wstępnym otoczeniu ziaren kruszywa lepiszczem.

4.2. Mieszanki mineralno-asfaltowe do badań pełnych

Podczas projektowania składu mieszanek mineralnych betonów asfaltowych oraz dobierania ilości lepiszcza posłużono się wymaganiami zawartymi w dokumencie WT:2-2014⁴. W badaniach pełnych zastosowano następujące rodzaje mieszanek mineralno-asfaltowych:

- beton asfaltowy do warstwy ścieralnej AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70 dla ruchu KR3÷4,
- beton asfaltowy do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50 dla ruchu KR3÷7,
- beton asfaltowy do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60 dla ruchu KR3÷7.

Betony asfaltowe do warstwy wiążącej z asfaltem drogowym 35/50 oraz z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60 posiadały ten sam skład mieszanki mineralnej. Pierwotna recepta została zaprojektowana z asfaltem modyfikowanym. Wariant z asfaltem niemodyfikowanym polegał na zamianie jedynie rodzaju asfaltu, przy zachowaniu proporcji objętościowych składników.

Wszystkie mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzano w warunkach laboratoryjnych. Podczas wytwarzania dodawano do nich włókna zbrojące. Mieszanki z dodatkiem włókien FORTA-FI oznaczono skrótem FF. Mieszankami porównawczymi były mieszanki wyprodukowane z tymi samymi asfaltami, ale bez dodatku włókien zbrojących.

Podczas badań mieszanki mineralno-asfaltowe produkowane były na dwa sposoby – do celów badań wstępnych mieszanie odbywało się ręcznie, w misach, natomiast na potrzeby badań właściwych mieszanie odbywało się mechanicznie, w mieszarce laboratoryjnej. W przypadku obu sposobów mieszania nie zaobserwowano utrudnień w otaczaniu kruszywa przez asfalt. Nie było również konieczności wydłużania procesu mieszania z uwagi na dodatek włókien. Można było zaobserwować, że w przypadku wszystkich betonów asfaltowych dodatek włókien powodował mniejszą segregację składników mieszanki, mastyks w lepszym stopniu spajał kruszywo grube.

Z uwagi na charakter prowadzonych badań mających określić wpływ dodatku włókien na parametry mieszanek mineralno-asfaltowych zdecydowano o nie wprowadzaniu do składu badanych betonów asfaltowych środka adhezyjnego, aby jego obecność nie wpływała na uzyskiwane wyniki.

⁴ WT:2-2014 Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania Techniczne

W tabelicy 4.0 zestawiono podstawowe właściwości asfaltów stosowanych w badanych betonach asfaltowych.

Tablica 4.0. Właściwości asfaltów stosowanych w badaniach mieszanek mineralno-asfaltowych

Właściwości asfaltu			
Penetracja w 25°C, 0,1 mm, wg PN-EN 1426	35/50	50/70	25/55-60
Penetracja w 25°C, 0,1 mm, wg PN-EN 1426	48	63	28
Temperatura mięknięcia PiK, °C, wg PN-EN 1427	53	47	62
Lepkość dynamiczna, Pa·s, wg PN-EN 12596 w temperaturze:			
• 60°C	659,333	238,795	nb
• 90°C	15,935	7,413	66,622
• 135°C	0,635	0,406	1,616
• 160°C	nb	nb	0,452
Właściwości asfaltu po starzeniu TFOT			
Penetracja w 25°C, 0,1 mm, wg PN-EN 1426, po TFOT	45	61	26
Temperatura mięknięcia PiK, °C, wg PN-EN 1427, po TFOT	57	51	68

4.2.1. Beton asfaltowy AC 11 S

Rodzaj i uziarnienie wykorzystanych składników mineralnych w mieszance betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej AC 11S przedstawiono w tabelicy 4.1. Procentowy udział poszczególnych frakcji w zaprojektowanej mieszance mineralnej pokazano w tabelicy 4.2., zaś jej uziarnienie przedstawiono w tabelicy 4.3. i na rysunku 4.1. Podstawowe parametry mieszanki mineralno-asfaltowej przedstawiono w tabelicy 4.4.

Tablica 4.1. Uziarnienie składników mineralnych zastosowanych w mieszance betonu asfaltowego AC 11 S

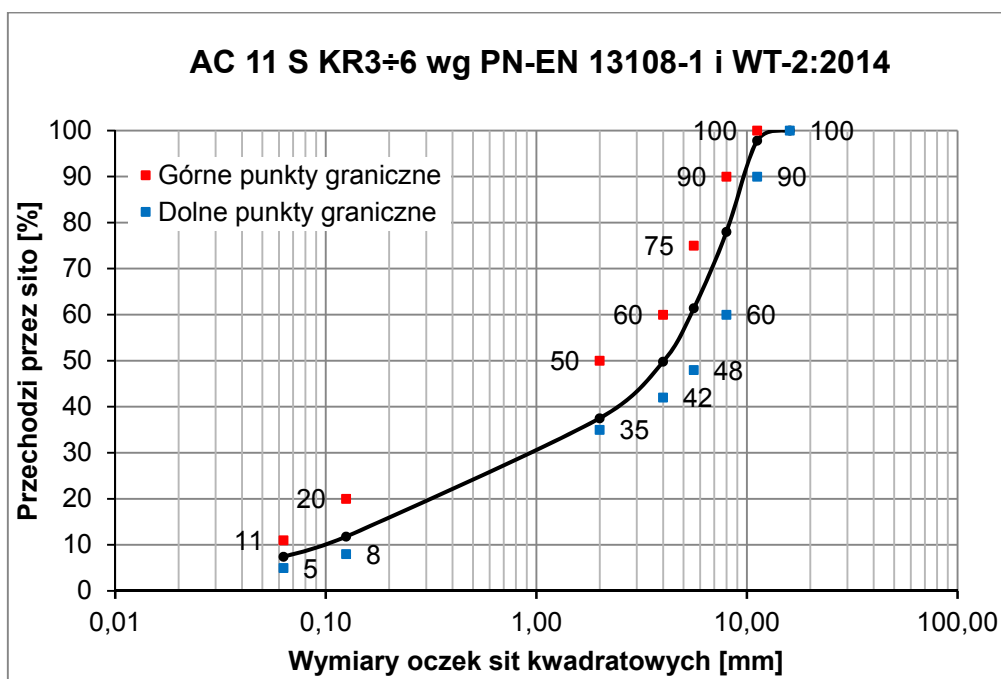
Wymiar sita #[mm]	Kruszywo grube 8/11	Kruszywo grube 5/8	Kruszywo grube 2/5	Kruszywo drobne łamane 0/2	Wypełniacz
22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11,2	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	76,3	4,6	0,0	0,0	0,0
5,6	11,6	80,4	6,9	0,0	0,0
2	0,9	11,2	79,1	12,7	0,0
0,125	0,7	2,4	12,4	73,7	3,4
0,063	0,5	0,4	0,7	9,8	16,1
<0,063	1,0	1,0	0,9	3,8	80,5
Pochodzenie materiału	Nordkam Eikefet	Nordkam Eikefet	Nordkam Eikefet	Yeoman Glensanda	Lafarge Wapienno
Skala	Granit	Granit	Granit	Granit	Wapień

Tablica 4.3. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej AC 11 S

Lp.	Materiały	Pochodzenie materiału:	Mieszanka mineralna: [%]	Mieszanka mineralno-asfaltowa: [%]
1	Kruszywo grube 8/11 (grys)	Nordkam, Eikefet	25,0	23,6
2	Kruszywo grube 5/8 (grys)	Nordkam, Eikefet	15,0	14,2
3	Kruszywo grube 2/5 (grys)	Nordkam, Eikefet	23,0	21,7
4	Kruszywo drobne łamane 0/2 (piasek)	Yeoman, Glensanda	30,0	28,3
5	Kruszywo wypełniające (wypełniacz)	Lafarge, Wapienno	7,0	6,6
6	Asfalt 50/70	Lotos Asfalt	X	5,6

Tablica 4.4. Uziarnienie mieszanki mineralnej betonu asfaltowego AC 11 S

Sito # [mm]	Przesiew [%]	Wymagania wg PN-EN 13108-1:2008 i WT-2:2014 dla ruchu KR3÷6	
		Wymagania minimalne	Wymagania maksymalne
16,0	100,0	100	-
11,2	97,8	90	100
8,0	78,0	60	90
5,6	61,4	48	75
4,0	49,8	42	60
2,0	37,5	35	50
0,125	11,8	8	20
0,063	7,4	5	11



Rysunek 4.1. Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej betonu asfaltowego AC 11 S

Tablica 4.5. Podstawowe parametry betonu asfaltowego AC 11 S do warstwy ścieralnej

Cecha	AC 11 S 50/70	AC 11 S 50/70 FF
Zawartość asfaltu, %	5,6	5,6
Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla, %	2,6	2,8
Zawartość wolnych przestrzeni wypełnionych lepiszczem VFB [%]	83,4	82,8
Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej VMA [%]	15,9	16,0

4.2.2. Beton asfaltowy AC 16 W

Rodzaj i uziarnienie wykorzystanych składników mineralnych w mieszance betonu asfaltowego do warstwy wiążącej AC 16W przedstawiono w tablicy 4.6. Procentowy udział poszczególnych frakcji w zaprojektowanej mieszance mineralnej pokazano w tablicy 4.7., zaś jej uziarnienie przedstawiono w tablicy 4.8. i na rysunku 4.2. Podstawowe parametry mieszanki mineralno-asfaltowej betonu asfaltowego do warstwy wiążącej przedstawiono w tablicy 4.9.

Tablica 4.6. Uziarnienie składników mineralnych zastosowanych w mieszance betonu asfaltowego AC 16 W

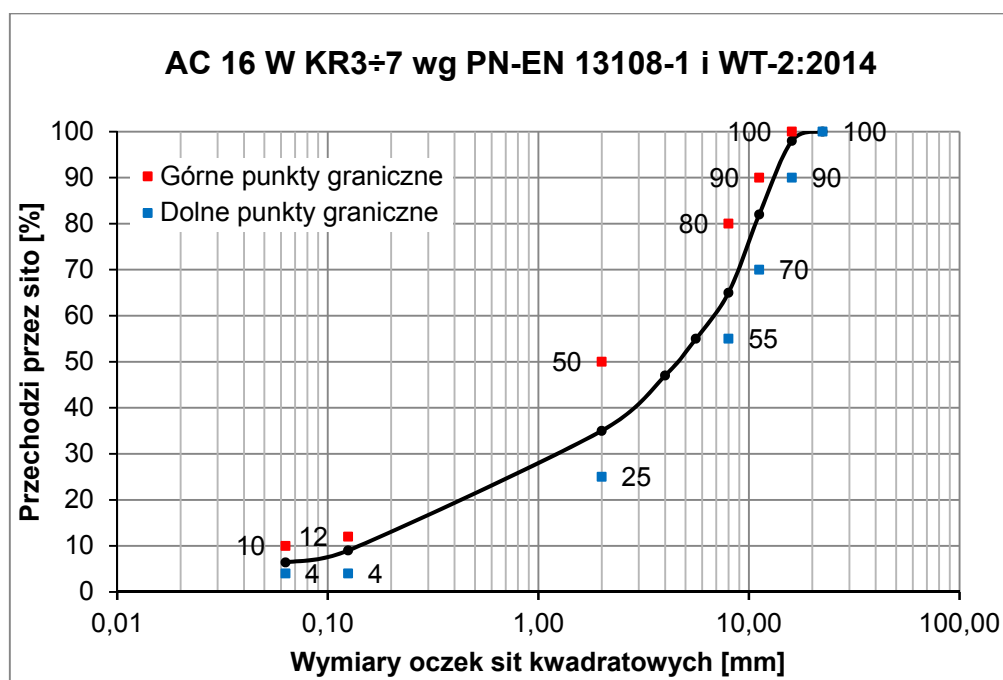
Wymiar sита #[mm]	Kruszywo grube 8/16	Kruszywo grube 8/16	Kruszywo grube 2/8	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu łamane 0/5	Kruszywo drobne łamane 0/2	Wypełniacz
22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	6,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11,2	42,0	42,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	39,0	41,0	8,0	0,0	0,0	0,0
5,6	11,0	9,0	32,0	1,0	0,0	0,0
2	1,0	2,0	56,0	32,0	4,0	0,0
0,125	0,0	0,0	3,0	48,0	88,0	3,0
0,063	0,0	0,2	0,1	4,1	4,8	12,3
<0,063	1,0	0,8	0,9	14,9	3,2	84,7
Pochodzenie materiału	Cemex Mirowo	KG Gniewków	KG Gniewków	Lafarge Wapienno	Kruszywa Polskie Rybaki	Lafarge Wapienno
Skala	Granit	Granit	Granit	Wapień	Granit	Wapień

Tablica 4.7. Skład mieszanki mineralno-asfaltowej AC 16 W

Lp.	Materiały	Pochodzenie materiału:	Mieszanka mineralna: [%]	Mieszanka mineralno-asfaltowa: [%]
1	Kruszywo grube 8/16 (grys)	Cemex Mirowo	15,0	14,3
2	Kruszywo grube 8/16 (grys)	KG Gniewków	23,0	21,9
3	Kruszywo grube 2/8 (grys)	KG Gniewków	20,0	19,1
4	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu łamane 0/5	Lafarge Wapienno	22,0	21,0
5	Kruszywo drobne łamane 0/2	Kruszywa Polskie Rybaki	15,0	14,3
6	Kruszywo wypełniające	Lafarge, Wapienno	5,0	4,8
7	Asfalt 35/50 lub 25/55-60	Lotos Asphalt	XXXX	4,6

Tablica 4.8. Uziarnienie mieszanki mineralnej betonu asfaltowego AC 16 W

Sito # [mm]	Przesiew [%]	Wymagania wg PN-EN 13108-1:2008 i WT-2:2014	
		Wymagania minimalne	Wymagania maksymalne
31,5	100	-	-
22,4	100	100	-
16,0	98	90	100
11,2	82	70	90
8,0	65	55	80
2,0	35	25	50
0,125	9	4	12
0,063	6,4	4	10



Rysunek 4.2. Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej betonu asfaltowego AC 16 W

Tablica 4.9. Podstawowe parametry betonu asfaltowego do warstwy wiążącej AC 16 W

Cecha	AC 16 W 35/50	AC 16 W 35/50 FF	AC 16 W PmB 25/55- 60	AC 16 W PmB 25/55- 60 FF
Zawartość asfaltu, %	4,6	4,6	4,6	4,6
Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla, %	5,5	6,2	6,8	7,0
Zawartość wolnych przestrzeni wypełnionych lepisczem VFB [%]	65,8	62,6	60,5	59,7
Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej VMA [%]	16,0	16,7	17,1	17,3

4.3. Mieszanki mineralno-asfaltowe do rozszerzonych badań odporności na koleinowanie

Z uwagi na potrzebę rozpoznania wpływu dodatku włókien Forta FI na odporność na deformacje trwałe na większej liczbie mieszanek mineralno-asfaltowych badania w tym zakresie rozszerzono o weryfikację wpływu włókien w receptach mma aktualnie stosowanych przez firmy wykonawcze. W badaniach rozszerzonych zastosowano następujące rodzaje mieszanek mineralno-asfaltowych:

- beton asfaltowy do warstwy ścieralnej AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70, recepta nr 104/15/WAW-01, Producent 1,
- beton asfaltowy do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50, recepta nr 35/13/WAW-01, Producent 1,
- beton asfaltowy do warstwy ścieralnej AC 11 S 50/70, recepta nr 52/NOW/12, Producent 2 (oryginalnie recepta zaprojektowana z asfaltem modyfikowanym PmB 45/80-55, na potrzeby raportu zamieniono asfalt na drogowy 50/70 w stosunku 1:1),
- beton asfaltowy do warstwy wiążącej AC 16 W 35/50, recepta nr 615, Producent 3.

Wymienione recepty wykorzystane do badań przedstawiono w załączniku 2.

W przypadku obu betonów asfaltowych wykonanych według recept z firmy Skanska, próbki poddano badaniom w dwóch przypadkach:

- próbki zagęszczone w Laboratorium Politechniki Gdańskiej z powtórnie rozgrzanej mieszanki pochodzącej z zarobu próbnego wykonanego w WMB firmy Skanska,
- próbki zagęszczone w Laboratorium Politechniki Gdańskiej z mieszanki przygotowanej laboratoryjnie z materiałów dostarczonych przez firmę Skanska.

5. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK

5.1. Mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane w laboratorium

Zgodnie z zaleceniami producenta włókna dodawano do gorącego kruszywa w ilości 0,05% do mieszanki mineralno-asfaltowej (0,5 kg do 1 tony mieszanki mineralno-asfaltowej), przed dozowaniem asfaltu. Z tego powodu proces mieszania podzielony był na dwa etapy. W pierwszej kolejności mieszano rozgrzaną mieszankę mineralną z włóknami, następnie dozowano asfalt i powtórnie mieszano całą mieszankę mineralno-asfaltową.

Ponadto w celu sprawdzenia wpływu sposobu dozowania włókien dla wybranych badań wykonano dodatkowe próbki, gdzie włókna dodawano w sposób odmienny: w pierwszej kolejności do rozgrzanej mieszanki mineralnej dodawano asfalt i mieszano. Do tak wstępnie otoczonej mieszanki mineralno-asfaltowej dodawano włókna i powtórnie całość mieszano.

Mieszanki mineralno-asfaltowe do badań zostały przygotowane w mieszarce mechanicznej zgodnie z normą PN-EN 12697-35⁵. Przed zagęszczaniem mieszanka mineralno-asfaltowa została poddana procesowi kondycjonowania krótkoterminowego (starzenia krótkoterminowego) według procedury opisanej w załączniku 2 do dokumentu WT-2:2014 polegającej na przetrzymywaniu luźnej mieszanki mineralno-asfaltowej w temperaturze 135°C przez okres dwóch godzin, a następnie przez jedną godzinę w temperaturze wymaganej podczas zagęszczania próbek.

W programie badawczym występowały cztery różne sposoby zagęszczania próbek:

- Próbki do określenia zawartości wolnej przestrzeni na etapie przygotowywania recept mieszanek – ubijanie wg PN-EN 12697-30⁶, 2 x 75 uderzeń,
- Próbki do określenia modułu sztywności, wytrzymałości na pośrednie rozciąganie oraz do badań odporności na spękania niskotemperaturowe metodą mechaniki pęknięcia – zagęszczanie w prasie żyratorowej wg PN-EN 12697-31⁷, P₉₈÷P₁₀₀,
- Próbki do określenia wrażliwości na działanie wody – ubijanie wg PN-EN 12697-30⁶, 2 x 35 uderzeń,
- Próbki do określenia odporności na koleinowanie oraz odporności na spękania niskotemperaturowe metodą Politechniki Gdańskiej – wałowanie wg PN-EN 12697-33⁸, P₉₈÷P₁₀₀.

Zgodnie z dokumentem WT-2:2014 próbki do badań laboratoryjnych zagęszczano w temperaturze 135°C ± 5°C w przypadku próbek betonów asfaltowych z asfaltami drogowymi 35/50 i 50/70 oraz 145°C ± 5°C w przypadku próbek betonu asfaltowego z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60.

W obu przypadkach mieszania nie zaobserwowano utrudnień w otaczaniu kruszywa przez asfalt, ani zagęszczaniu. Nie było również konieczności wydłużania procesu mieszania z uwagi na dodatek włókien. Można było zaobserwować, że w przypadku wszystkich betonów asfaltowych dodatek włókien powodował mniejszą segregację składników mieszanki, mastyks w lepszym stopniu spajał kruszywo grube.

⁵ PN-EN 12697-35+A1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 35: Mieszanie laboratoryjne.

⁶ PN-EN 12697-30:2012 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 30: Przygotowanie próbek zagęszczonych przez ubijanie.

⁷ PN-EN 12697-31:2005 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 31: Próbki przygotowane w prasie żyratorowej

⁸ PN-EN 12697-33+A1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 33: Przygotowanie próbek zagęszczanych urządzeniem wałującym.

5.2. Mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane w WMB

Na potrzeby rozszerzonych badań odporności na koleinowanie dostarczono dwie mieszanki mineralno-asfaltowe wyprodukowane w WMB. Próbkę zagęszczano przez wałowanie według PN-EN 12697-33, P₉₈÷P₁₀₀. Dla dostarczonych mieszanek przyjęto gęstość objętościową próbek Marshalla uzyskaną podczas badań kontrolnych na wytwórni, która została przekazana wraz z próbkami materiału.

Przyjęto odpowiednio:

- dla betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70, recepta nr 104/15/WAW-01, Producent 1: gęstość objętościowa próbek Marshalla 2390 kg/m³,
- dla betonu asfaltowego do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50, recepta nr 35/13/WAW-01, Producent 1: gęstość objętościowa próbek Marshalla 2400 kg/m³.

Próbki zostały zagęszczone z powtórnie rozgrzanej mieszanki mineralno-asfaltowej.

W przypadku wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych w Laboratorium Politechniki Gdańskiej w oparciu o powyższe recepty, do zagęszczania próbek w formach prostopadłościennych zastosowano jednakową gęstość objętościową, to znaczy zaczerpniętą z przekazanych wyników badań kontrolnych na wytwórni.

6. MODUŁ SZTYWNOŚCI I WYTRZYMAŁOŚĆ NA POŚREDNIE ROZCIĄGANIE

6.1. Metodyka badań modułu sztywności sprężystej

Badanie modułu sztywności wykonano w urządzeniu NAT w schemacie IT-CY zgodnie z załącznikiem C normy PN-EN 12697-26⁹. Badanie modułu sztywności zostało wykonane w schemacie pośredniego rozciągania z siłą pionową przyłożoną wzdłuż pobocznicy próbki walcowej. Schemat zamocowania próbki przed badaniem przedstawionego na rysunku 6.1.



Rys. 6.1. Schemat zamocowania próbki przed badaniem modułu w schemacie IT-CY

Obciążenie przykładane jest do próbki w sposób impulsowy. Czas przyrostu obciążenia wynosi 120 ± 4 ms, a czas trwania jednego cyklu 3 s. Wielkość impulsu jest wyznaczana przez program na podstawie 10 cykli kondycjonujących przeprowadzonych dla poziomej deformacji próbki. Badanie zostało przeprowadzone w teście kontrolowanego odkształcenia przy odkształceniu poziomym $5 \mu\text{m}$.

Badanie wykonuje się w dwóch prostopadłych płaszczyznach, poddając próbkę 5 impulsom obciążenia dla każdej płaszczyzny. Na podstawie pomiarów 5 impulsów siły wyznacza się moduł sztywności próbki według wzoru:

$$S_m = \frac{F \times (\nu + 0,27)}{(z \times h)}$$

gdzie:

S_m – moduł sztywności, MPa,

F – maksymalna wartość siły przyłożonej pionowo, N,

⁹ PN-EN 12697-26:2012 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 26: Sztywność

- v – współczynnik Poissona, (-)
- z – amplituda poziomej deformacji uzyskana podczas cyklu obciążenia, mm,
- h – średnia grubość próbki, mm.

Wynikiem badania jest średnia wartość modułu sztywności zmierzonego w dwóch prostopadłych płaszczyznach. Badanie modułu sztywności przeprowadzono w trzech temperaturach: 0, 13 i 25°C

6.2. Metodyka badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie

Badania wytrzymałości na pośrednie rozciąganie wykonywano na tych samych próbkach, na których było wykonane wcześniej badanie modułu sztywności sprężystej metodą pośredniego rozciągania (próbki Marshalla). Badanie to wykonywano w prasie ze stałym przemieszczeniem wynoszącym 50 mm/min. Obciążenie było przekazywane przez przekładki o szerokości 12 mm i krzywiznie o promieniu 50,5 mm. W badaniu określano siłę niszczącą próbek i na tej podstawie określano naprężenia niszczące, czyli wytrzymałość na pośrednie rozciąganie. Badanie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie wykonano według normy PN-EN 12697-23¹⁰.

Widok próbki przed badaniem wytrzymałości na pośrednie rozciąganie został przedstawiony na rysunku 6.2.



Rys. 6.2. Próбка przed badaniem wytrzymałości na pośrednie rozciąganie

¹⁰ PN-EN 12697-23:2009 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 23: Oznaczanie wytrzymałości mieszanki mineralno-asfaltowej na rozciąganie pośrednie.

Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie określano na podstawie następującej zależności:

$$R = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times h}$$

gdzie:

- R – wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, MPa,
- P – siła niszcząca, kN,
- D – średnica próbki, m,
- h – wysokość próbki, m.

Badanie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie przeprowadzono w trzech temperaturach: -20, 0 i 20°C

Zarówno w badaniu modułu sztywności, jak i wytrzymałości na pośrednie rozciąganie badano 3 próbki każdej mieszanki mineralno-asfaltowej w każdej temperaturze.

6.3. Wyniki badań

Wyniki badań modułu sztywności przedstawiono w tablicach 6.1, 6.2 i 6.3. Średnie wyniki badań modułu sztywności sprężystej przedstawiono w tablicy 6.4 i na rysunku 6.3, 6.4 i 6.5. Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie przedstawiono w tablicy 6.5, 6.6 i 6.7, zestawienie wartości średnich w tablicy 6.8. i na rysunku 6.6, 6.7 i 6.8.

Tablica 6.1. Wyniki badań modułu sztywności sprężystej betonu asfaltowego
AC 11 S 50/70

	nr	temperatura [°C]	średni moduł próbki [MPa]	średni moduł sztywności [MPa]	odchylenie standardowe [MPa]	wskaźnik zmienności [%]
AC 11 S 50/70 FF	440/1	0	15800	15546	2299	14,8
	440/2		17707			
	440/3		13131			
	440/4	13	7389	7484	91	1,2
	440/5		7571			
	440/6		7492			
	440/7	25	3089	3055	29	1,0
	440/8		3037			
	440/9		3040			
AC 11 S 50/70	441/1	0	12807	13669	1206	8,8
	441/2		13152			
	441/3		15047			
	441/4	13	8269	7777	443	5,7
	441/5		7655			
	441/6		7409			
	441/7	25	2784	2904	127	4,4
	441/8		3036			
	441/9		2893			

Tablica 6.2. Wyniki badań modułu sztywności sprężystej betonu asfaltowego
AC 16 W 35/50

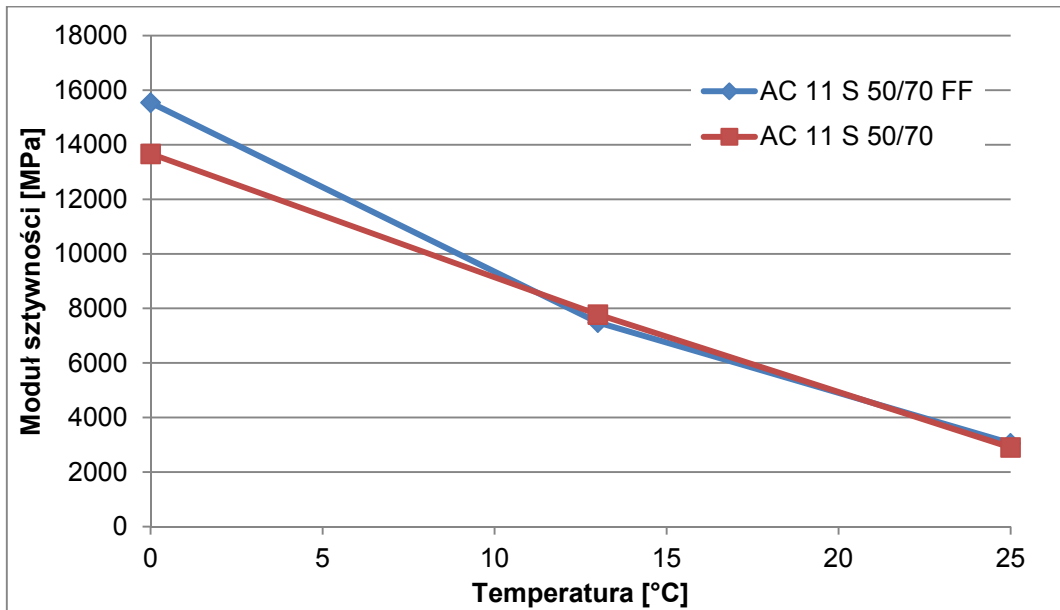
	nr	temperatura [°C]	średni moduł próbki [MPa]	średni moduł sztywności [MPa]	odchylenie standardowe [MPa]	wskaźnik zmienności [%]
AC 16 W 35/50 FF	436/1	0	15012	13772	1142	8,3
	436/2		12762			
	436/3		13543			
	436/4	13	9338	10249	1195	11,7
	436/5		9807			
	436/6		11602			
	436/7	25	4968	4739	202	4,3
	436/8		4664			
	436/9		4585			
AC 16 W 35/50	437/1	0	15164	15708	472	3,0
	437/2		15970			
	437/3		15991			
	437/4	13	10790	10405	411	3,9
	437/5		10455			
	437/6		9972			
	437/7	25	5854	5896	249	4,2
	437/8		6164			
	437/9		5671			

Tablica 6.3. Wyniki badań modułu sztywności sprężystej betonu asfaltowego
AC 16 W PmB 25/55-60

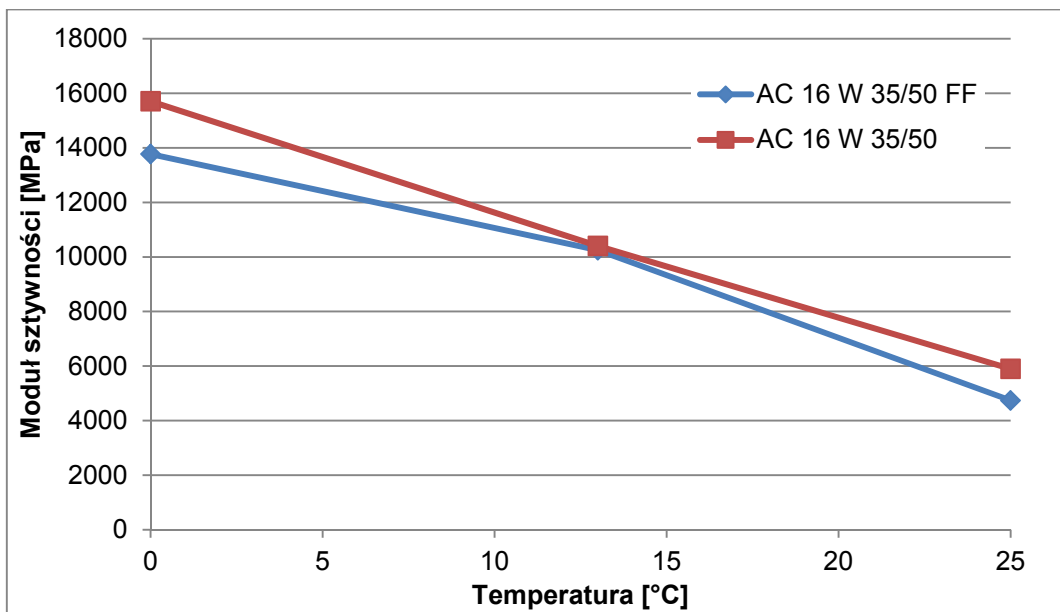
	nr	temperatura [°C]	średni moduł próbki [MPa]	średni moduł sztywności [MPa]	odchylenie standardowe [MPa]	wskaźnik zmienności [%]
AC 16 W 25/55-60 FF	438/1	0	12277	13336	2015	15,1
	438/2		15660			
	438/3		12071			
	438/4	13	9613	9054	864	9,5
	438/5		9489			
	438/6		8059			
	438/7	25	4925	5180	229	4,4
	438/8		5252			
	438/9		5365			
AC 16 W 25/55-60	439/1	0	14809	15015	616	4,1
	439/2		14528			
	439/3		15707			
	439/4	13	9429	9422	36	0,4
	439/5		9454			
	439/6		9383			
	439/7	25	5181	4945	321	6,5
	439/8		5075			
	439/9		4580			

Tablica 6.4. Zestawienie wyników badań modułu sztywności sprężystej

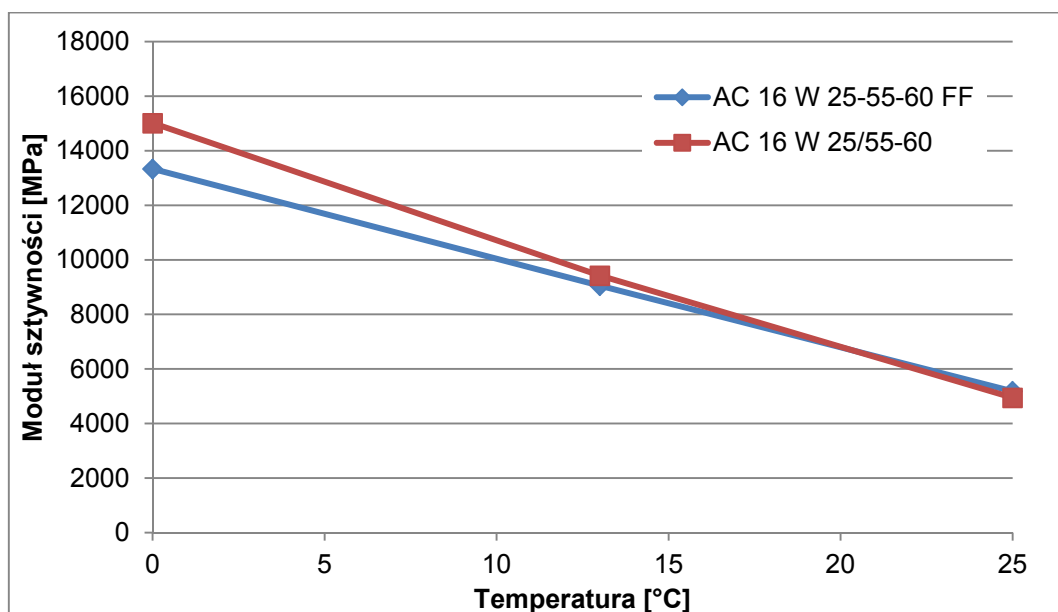
	Moduł sztywności sprężystej [MPa] w temperaturze [°C]		
	0	13	25
AC 11 S 50/70 FF	15 546	7 484	3 055
AC 11 S 50/70	13 669	7 777	2 904
AC 16 W 35/50 FF	13 772	10 249	4 739
AC 16 W 35/50	15 708	10 405	5 896
AC 16 W PmB 25-55-60 FF	13 336	9 054	5 180
AC 16 W PmB 25/55-60	15 015	9 422	4 945



Rysunek 6.3. Wyniki badań modułu sztywności sprężystej betonu asfaltowego AC 11 S 50/70



Rysunek 6.4. Wyniki badań modułu sztywności sprężystej betonu asfaltowego AC 16 W 35/50



Rysunek 6.5. Wyniki badań modułu sztywności sprężystej betonu asfaltowego AC 16 W PmB 25/55-60

Tablica 6.5. Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonu asfaltowego AC 11 S 50/70

	nr	temperatura [°C]	wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [MPa]	średnia wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [MPa]	odchylenie standardowe [MPa]	wskaźnik zmienności [%]
AC 11 S 50/70 FF	440/1	-20	4,39	4,58	0,26	5,6
	440/2		4,87			
	440/3		4,49			
	440/4	0	5,04	4,85	0,17	3,4
	440/5		4,78			
	440/6		4,73			
	440/7	20	1,98	1,90	0,07	3,9
	440/8		1,84			
	440/9		1,88			
AC 11 S 50/70	441/1	-20	4,80	4,63	0,54	11,6
	441/2		5,07			
	441/3		4,03			
	441/4	0	4,76	4,88	0,13	2,7
	441/5		5,02			
	441/6		4,87			
	441/7	20	1,79	1,83	0,05	2,5
	441/8		1,88			
	441/9		1,84			

Tablica 6.6. Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonu asfaltowego AC 16 W 35/50

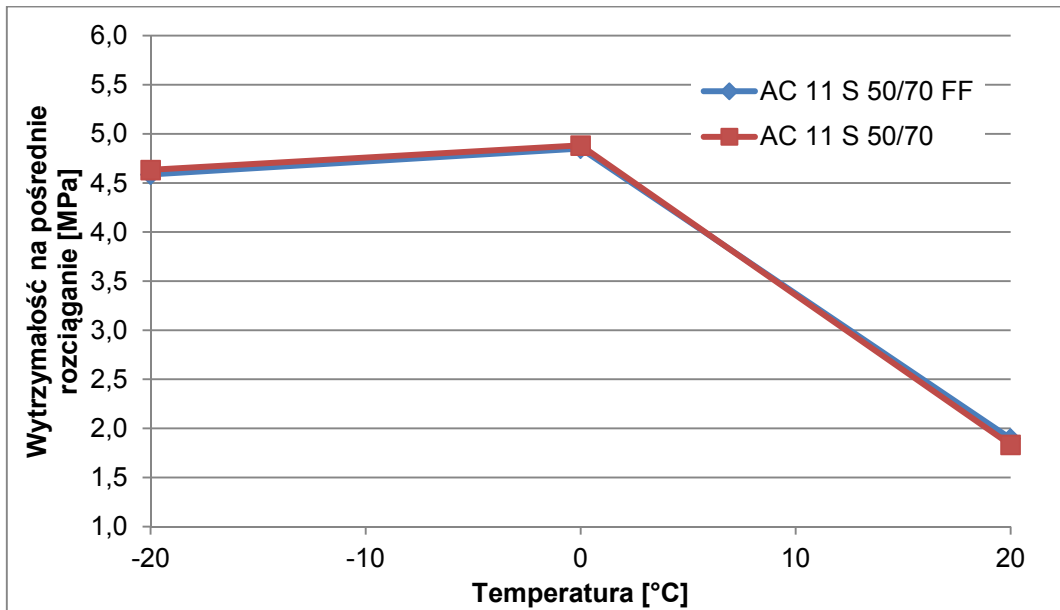
	nr	temperatura [°C]	wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [MPa]	średnia wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [MPa]	odchylenie standardowe [MPa]	wskaźnik zmienności [%]
AC 16 W 35/50 FF	436/1	-20	3,77	3,77	0,02	0,6
	436/2		3,75			
	436/3		3,79			
	436/4	0	3,32	3,51	0,17	4,9
	436/5		3,54			
	436/6		3,66			
	436/7	20	1,99	1,93	0,11	5,9
	436/8		2,00			
	436/9		1,80			
AC 16 W 35/50	437/1	-20	3,40	3,75	0,43	11,4
	437/2		3,63			
	437/3		4,23			
	437/4	0	4,09	4,06	0,02	0,6
	437/5		4,04			
	437/6		4,06			
	437/7	20	2,35	2,28	0,10	4,2
	437/8		2,32			
	437/9		2,17			

Tablica 6.7. Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonu asfaltowego AC 16 W PmB 25/55-60

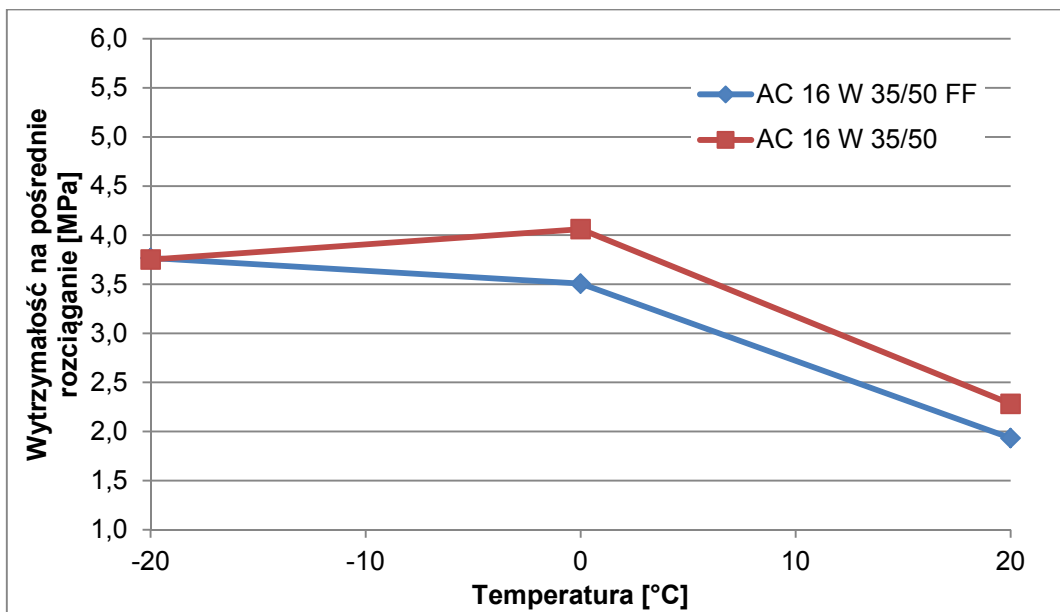
	nr	temperatura [°C]	wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [MPa]	średnia wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [MPa]	odchylenie standardowe [MPa]	wskaźnik zmienności [%]
AC 16 W 25/55-60 FF	438/1	-20	3,98	4,01	0,26	6,4
	438/2		3,77			
	438/3		4,28			
	438/4	0	3,65	3,73	0,08	2,1
	438/5		3,81			
	438/6		3,75			
	438/7	20	2,13	2,01	0,11	5,3
	438/8		1,97			
	438/9		1,93			
AC 16 W 25/55-60	439/1	-20	4,56	4,58	0,01	0,3
	439/2		4,59			
	439/3		4,58			
	439/4	0	4,01	4,05	0,09	2,1
	439/5		3,98			
	439/6		4,14			
	439/7	20	1,98	1,90	0,07	3,9
	439/8		1,83			
	439/9		1,89			

Tablica 6.8. Zestawienie wyników badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie

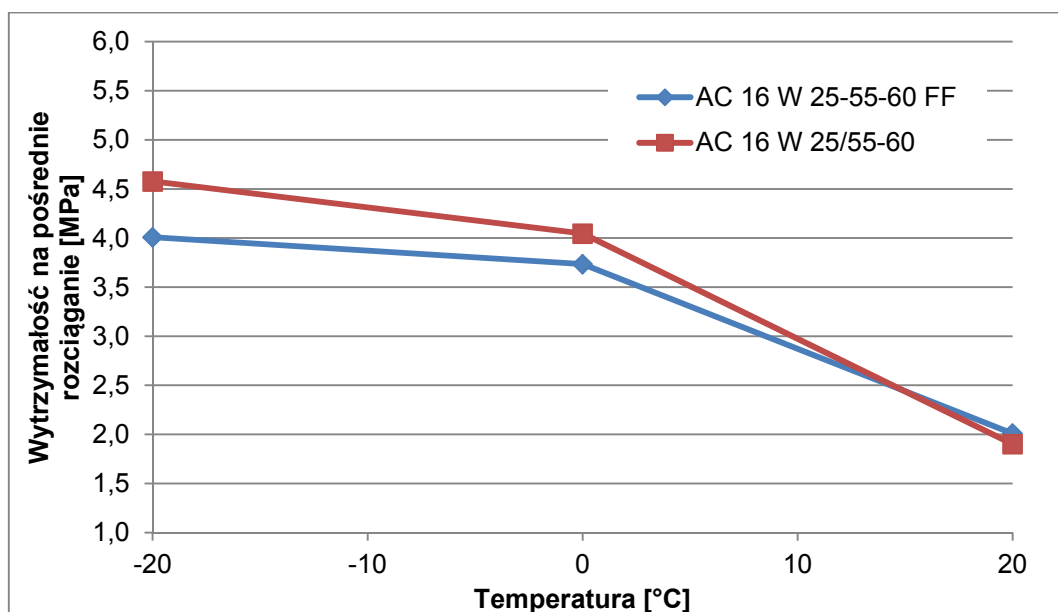
	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [MPa] w temperaturze [°C]		
	-20	0	+20
AC 11 S 50/70 FF	4,58	4,85	1,90
AC 11 S 50/70	4,63	4,88	1,83
AC 16 W 35/50 FF	3,77	3,51	1,93
AC 16 W 35/50	3,75	4,06	2,28
AC 16 W PmB 25-55-60 FF	4,01	3,73	2,01
AC 16 W PmB 25/55-60	4,58	4,05	1,90



Rysunek 6.6. Wyniki badań wytrzymałości na pośrodkie rozciąganie betonu asfaltowego AC 11 S 50/70



Rysunek 6.7. Wyniki badań wytrzymałości na pośrodkie rozciąganie betonu asfaltowego AC 16 W 35/50

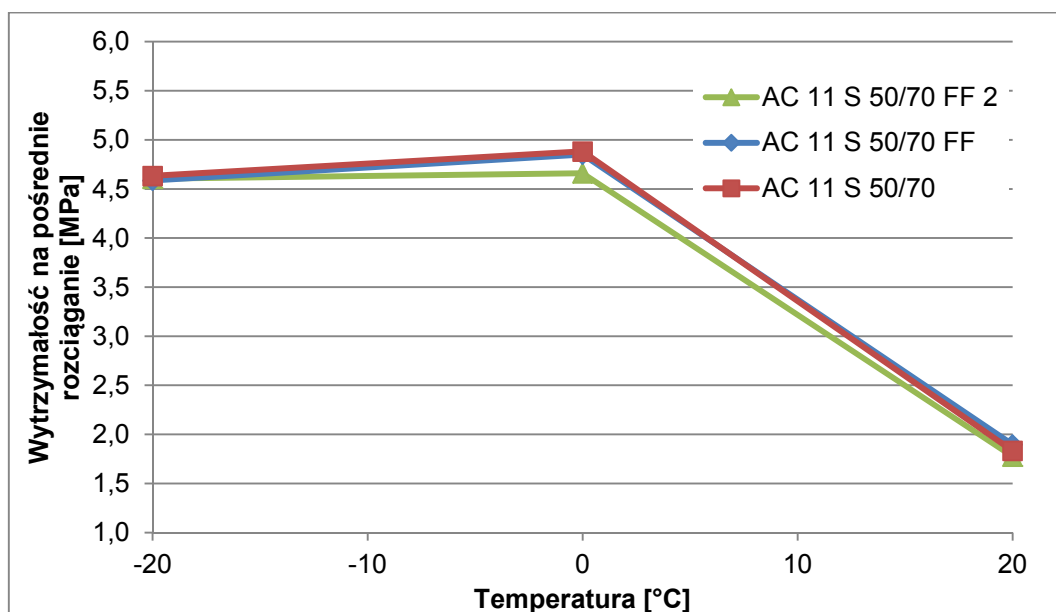


Rysunek 6.8. Wyniki badań wytrzymałości na pośrodkowe rozciąganie betonu asfaltowego AC 16 W PmB 25/55-60

W przypadku wytrzymałości na pośrodkowe rozciąganie przeprowadzono dodatkowe sprawdzenie wpływu metody dozowania włókien na otrzymane wyniki. Dla mieszanki AC 11 S wykonano dodatkowe próbki, w których dodatek włókien następował po wstępnym wymieszaniu kruszywa z asfaltem. Wyniki dodatkowych badań pokazano w tabelicy 6.9 oraz na rysunku 6.9.

Tablica 6.9. Wyniki badań wytrzymałości na pośrodkowe rozciąganie betonu asfaltowego AC 11 S 50/70

	nr	temperatura [°C]	wytrzymałość na pośrodkowe rozciąganie [MPa]	średnia wytrzymałość na pośrodkowe rozciąganie [MPa]	odchylenie standardowe [MPa]	wskaźnik zmienności [%]
AC 11 S 50/70 FF-2	503/1	-20	4,26	4,60	0,58	12,5
	503/2		5,27			
	503/3		4,28			
	503/4	0	4,46	4,66	0,17	3,7
	503/5		4,78			
	503/6		4,73			
	503/7	20	1,78	1,78	0,01	0,5
	503/8		1,76			
	503/9		1,78			



Rysunek 6.9. Wyniki badań wytrzymałości na pośrodkie rozciąganie betonu asfaltowego AC 11 S 50/70

6.4. Analiza wyników badań

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

1. Dodatek włókien nie wpłynął istotnie na wartości modułów sztywności sprężystej wszystkich badanych betonów asfaltowych. Zdecydowanie w temperaturach dodatnich betony asfaltowe zarówno z dodatkiem, jak i bez włókien osiągają zbliżone wyniki. Nieznaczne różnice można zaobserwować w temperaturze 0°C, jednak różnice te mieszczą się w 15% zakresie. W przypadku warstwy ścieralnej włókna usztywniły beton asfaltowy co nie jest pożądane, a w przypadku warstwy wiążącej włókna obniżyły sztywność, co jest efektem pozytywnym.
2. Dodatek włókien nie wpłynął istotnie na wartości wytrzymałości na pośrodkie rozciąganie wszystkich badanych betonów asfaltowych, a w szczególności w przypadku warstwy ścieralnej, gdzie wartości wytrzymałości są prawie identyczne dla mieszanki z włóknami i mieszanki bez włókien. Zdecydowanie w temperaturach dodatnich betony asfaltowe z dodatkiem, jak i bez włókien osiągają zbliżone wartości wytrzymałości na pośrodkie rozciąganie. Nieznaczne różnice można zaobserwować w temperaturze 0°C i -20°C, jednakże są to różnice mieszczące się w zakresie do 10%. W przypadku warstwy wiążącej włókna obniżyły nieco wytrzymałość betonów asfaltowych, przy czym wykonana analiza istotności różnic wskazała, że różnice te nie są istotne ze statystycznego punktu widzenia.
3. Wykonane badania wskazują, że w przypadku modułów sztywności i wytrzymałości na pośrodkie rozciąganie nie stwierdzono wpływu dodatku włókien na betony asfaltowe.

4. Przeprowadzone dodatkowe badania wytrzymałości na pośrednie rozciąganie na próbkach betonu asfaltowego AC 11S, które wytwarzano w sposób odmienny od zaleceń producenta (tj. włókna dodawano do mieszanki po zadozowaniu asfaltu) pokazały, że w tym przypadku nie zanotowano wpływu innego sposobu dozowania włókien na badany parametr. Odnotowano nieco niższe wartości wytrzymałości na pośrednie rozciąganie w temperaturze 0°C, jednakże różnica ta nie jest istotna ze statystycznego punktu widzenia. W temperaturach -20 i +20°C wytrzymałości były praktycznie takie same, jak dla normalnego dozowania.

7. ODPORNOŚĆ MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH NA DZIAŁANIE WODY I MROZU

7.1. Metodyka badań

Badanie odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody i mrozu wykonano w oparciu o normę: PN-EN 12697-12¹¹ z doprecyzowaniem w oparciu o instrukcję badawczą w załączniku 1 do WT-2 2014.

Do określenia odporności na działanie wody i mrozu przygotowywano dziesięć próbek cylindrycznych. Zestaw wszystkich próbek podzielono na dwie równe części, po 5 próbek o zbliżonych średnich wysokościach i gęstościach objętościowych.

Jedna z części (5 próbek „mokrych”) poddana została kondycjonowaniu według instrukcji zawartej w WT-2:2014 podczas gdy druga (5 próbek „suchych”) stanowiła grupę kontrolną przechowywaną w temperaturze +20±5°C.

Pierwszym etapem kondycjonowania próbek z zestawu „mokrego” było ich nasycenie wodą w temperaturze 20°C w komorze próżniowej. Następnie tak przygotowane próbki były przetrzymywane przez 72 godziny w kąpeli wodnej o temperaturze 40°C. Po wyjęciu z wody i owinięciu folią zostały włożone do torebek foliowych zawierających 10 ml wody, które następnie zostały umieszczone w komorze chłodniczej o temperaturze -18°C na okres 16 godzin. Po okresie mrożenia próbki zostały umieszczone ponownie w kąpeli wodnej o temperaturze 25°C na okres 24 godzin.

Badanie odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody i mrozu wykonuje się na podstawie badania wytrzymałości na pośrednie rozciąganie próbek kontrolnych, z „zestawu suchego” oraz próbek poddanych oddziaływaniu wody i

¹¹ PN-EN 12697-12: 2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 12: Określenie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę.

mrozu, „zestawu mokrego”. Badanie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie wykonano według normy PN-EN 12697-23¹².

Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie określono w temperaturze $+25\pm 2^{\circ}\text{C}$.

7.2. Wyniki badań

Wyniki badań wrażliwości na działanie wody betonów asfaltowych przedstawiono w tablicach od 7.1 do 7.3 oraz zestawiono w tablicy 7.4 oraz na rysunku 7.1 i 7.2.

Tablica 7.1. Wyniki badań wrażliwości betonów asfaltowych AC 11 S 50/70 na działanie wody, wykonanych wg metody PN-EN12697-12 i procedury opisanej w dokumencie WT-2:2014, temperatura badania $+25^{\circ}\text{C}$

		Nr	Zawartość wolnej przestrzeni [%]	Stopień nasycenia [%]	Siła niszcząca [kN]	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [kPa]	Średnia wytrzymałość [kPa]	ITSR [%]
AC 11 S 50/70 FF	zestaw suchy	411/1	3,0	-	12,1	1 228	1206	99,8
		411/2	3,3	-	11,6	1 170		
		411/3	3,4	-	11,9	1 187		
		411/4	3,2	-	12,1	1 212		
		411/5	3,2	-	12,3	1 232		
	zestaw mokry	411/6	3,0	58	11,8	1 187	1204	
		411/7	3,1	56	11,9	1 192		
		411/8	3,1	56	11,9	1 202		
		411/9	3,2	60	11,5	1 159		
		411/10	3,1	59	12,6	1 279		
AC 11 S 50/70	zestaw suchy	412/1	3,0	-	11,9	1 198	1148	90,9
		412/2	3,2	-	11,5	1 148		
		412/3	2,8	-	11,2	1 124		
		412/4	3,0	-	11,3	1 099		
		412/5	3,4	-	11,7	1 172		
	zestaw mokry	412/6	3,0	56	10,7	1 073	1043	
		412/7	3,0	62	10,1	1 012		
		412/8	3,2	59	10,3	1 026		
		412/9	3,2	63	10,3	1 030		
		412/10	3,1	56	10,7	1 076		

¹² PN-EN 12697-23:2009 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 23: Oznaczanie wytrzymałości mieszanki mineralno-asfaltowej na rozciąganie pośrednie.

Tablica 7.2. Wyniki badań wrażliwości betonów asfaltowych AC 16 W 35/50 na działanie wody, wykonanych wg metody PN-EN12697-12 i procedury opisanej w dokumencie WT-2:2014, temperatura badania +25°C

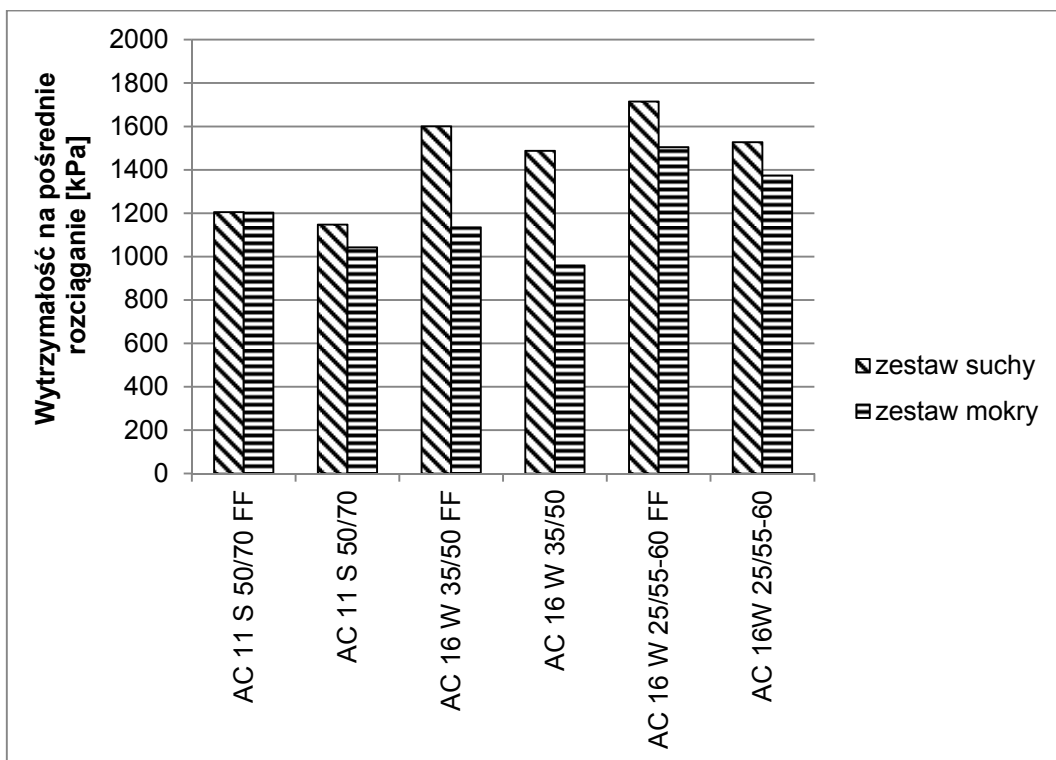
		Nr	Zawartość wolnej przestrzeni [%]	Stopień nasycenia [%]	Siła niszcząca [kN]	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [kPa]	Średnia wytrzymałość [kPa]	ITSR [%]
AC 16 W 35/50 FF	zestaw suchy	405/1	6,1	-	17,1	1 638	1601	70,9
		405/2	6,3	-	16,3	1 571		
		405/3	6,1	-	16,9	1 634		
		405/4	6,5	-	16,3	1 563		
		405/5	6,5	-	16,6	1 600		
	zestaw mokry	405/6	6,3	84	12,2	1 183	1135	
		405/7	6,4	80	12,1	1 149		
		405/8	6,7	62	9,6	906		
		405/9	6,7	80	11,9	1 149		
		405/10	6,6	61	13,3	1 290		
AC 16 W 35/50	zestaw suchy	406/1	7,2	-	16,4	1 558	1489	64,5
		406/2	7,5	-	15,4	1 444		
		406/3	7,4	-	14,3	1 352		
		406/4	7,0	-	16,8	1 604		
		406/5	6,9	-	15,5	1 485		
	zestaw mokry	406/6	7,3	84	11,3	1 067	960	
		406/7	7,3	60	9,5	907		
		406/8	7,3	74	11,3	1 066		
		406/9	7,4	68	8,4	792		
		406/10	7,7	84	10,2	966		

Tablica 7.3. Wyniki badań wrażliwości betonów asfaltowych AC 16 W 25/55-60 na działanie wody, wykonanych wg metody PN-EN12697-12 i procedury opisanej w dokumencie WT-2:2014, temperatura badania +25°C

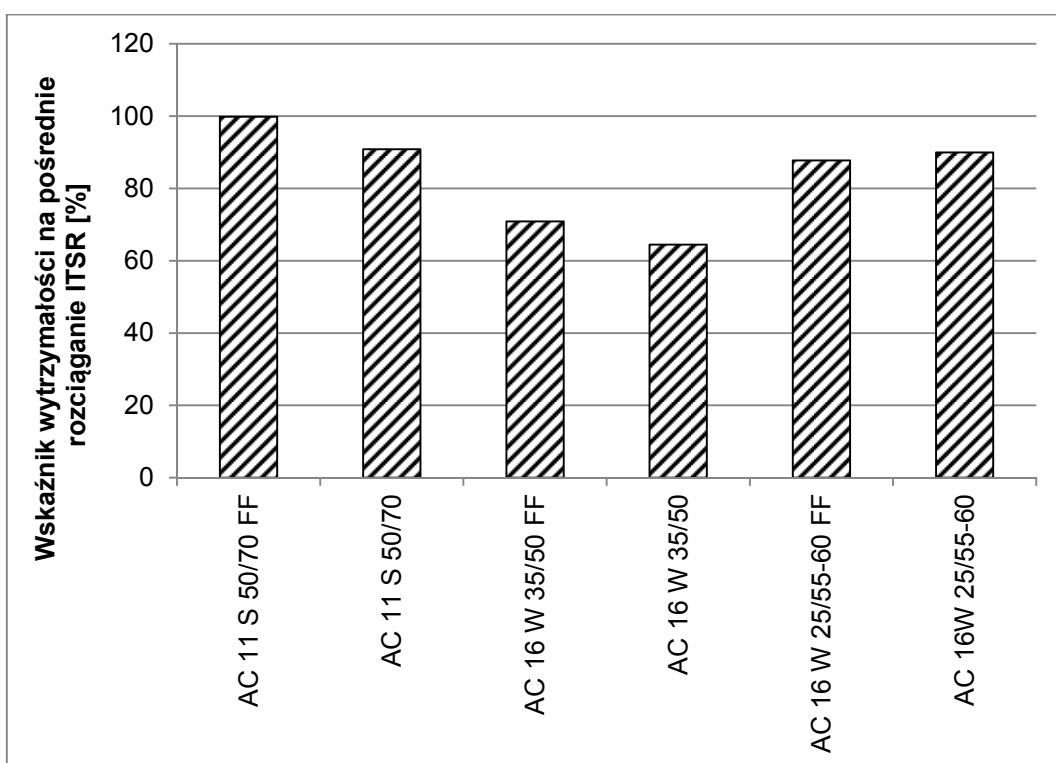
		Nr	Zawartość wolnej przestrzeni [%]	Stopień nasycenia [%]	Siła niszcząca [kN]	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [kPa]	Średnia wytrzymałość [kPa]	ITSR [%]
AC 16 W PmB 25/55-60 FF	zestaw suchy	409/1	6,5	-	17,9	1 721	1715	87,8
		409/2	6,6	-	17,4	1 664		
		409/3	6,5	-	17,9	1 708		
		409/4	6,5	-	18,3	1 750		
		409/5	6,5	-	18,0	1 733		
	zestaw mokry	409/6	6,4	87	15,8	1 501	1505	
		409/7	6,7	87	15,6	1 458		
		409/8	6,4	83	16,1	1 534		
		409/9	6,8	77	16,5	1 577		
		409/10	6,2	80	15,4	1 457		
AC 16 W PmB 25/55-60	zestaw suchy	410/1	7,5	-	15,6	1 471	1528	89,9
		410/2	7,7	-	15,8	1 488		
		410/3	7,5	-	16,2	1 548		
		410/4	7,7	-	16,7	1 579		
		410/5	8,0	-	16,6	1 556		
	zestaw mokry	410/6	7,6	84	14,9	1 422	1375	
		410/7	7,8	82	13,8	1 310		
		410/8	7,6	83	15,8	1 481		
		410/9	8,2	82	14,3	1 347		
		410/10	8,3	87	14,0	1 313		

Tablica 7.4. Zestawienie wyników badań odporności na działanie wody

Mieszanka mineralno-asfaltowa	ITSR [%]
AC 11 S 50/70 FF	100
AC 11 S 50/70	91
AC 16 W 35/50 FF	71
AC 16 W 35/50	64
AC 16 W 25/55-60 FF	88
AC 16W 25/55-60	90



Rysunek 7.1. Zestawienie wyników badań wrażliwości betonów asfaltowych na działanie wody wg metody PN-EN12697-12 i WT-2:2014, wytrzymałość na pośrodknie rozciąganie



Rysunek 7.2. Zestawienie wyników badań wrażliwości betonów asfaltowych na działanie wody wg metody PN-EN12697-12 i WT-2:2014, wskaźnik wytrzymałości ITSR

7.3. Analiza wyników badań

Na podstawie przeprowadzonych badań odporności na działanie wody i mrozu można stwierdzić, że:

1. Wykonane badania odporności na działanie wody i mrozu zostały przeprowadzone według restrykcyjnej procedury kondycjonowania zawartej w WT-2:2014. Beton asfaltowy do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50 nie osiągnął wymaganej przez dokument WT-2:2014 dla tego typu mieszanki wartości wskaźnika ITSR równej 80%, zarówno z włóknami, jak i bez. W przypadku wprowadzenia do składu mieszanki środka adhezyjnego wskaźnik ITSR byłby najpewniej wyższy. Z uwagi na fakt, że głównym celem programu badań było określenie wpływu zastosowania włókien na wybrane parametry betonów asfaltowych, nieosiągnięcie zakładanego w wymaganiach WT-2:2014 wskaźnika ITSR nie ma wpływu na formułowanie wniosków.
2. Dodatek włókien FORTA-FI w każdym rodzaju mieszanki powodował zwiększenie bezwzględnej wartości wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, zarówno dla próbek referencyjnych, jak i dla próbek poddanych cyklowi kondycjonującym. Wzrost ten wynosił od ok. 5% w przypadku próbek betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70 z tzw. zestawu suchego do ok. 18% w przypadku próbek betonu asfaltowego do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50.
3. W przypadku mieszanek betonu asfaltowego AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70 oraz AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50 dodatek włókien FORTA-FI spowodował wzrost wartości wskaźnika ITSR. W przypadku betonu asfaltowego AC 16 W z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60 wskaźnik ITSR mieszanki z dodatkiem włókien FORTA-FI był nieznacznie (2,1%) niższy, niż wskaźnik ITSR mieszanki referencyjnej bez włókien. Należy jednak pamiętać, że wskaźnik ITSR opisuje stopień, o ile zmienia się wartość wytrzymałości na pośrednie rozciąganie po poddaniu próbek niszczącemu działaniu cykli kondycjonowania, nie dotyczy zaś bezpośrednio wartości bezwzględnych. Tymczasem warto podkreślić, że bezwzględna wytrzymałość na pośrednie rozciąganie mieszanki AC 16 W z asfaltem 25/55-60 i włóknami FORTA-FI, która została poddana niszczącym cyklom kondycjonowania, była praktycznie na takim samym poziomie, jak wytrzymałość mieszanki bez włókien, która nie była poddana kondycjonowaniu.
4. W badaniu odporności na działanie wody i mrozu wytrzymałość na pośrednie rozciąganie próbek zawierających włókna FORTA-FI była zawsze większa, od próbek tych samych mieszanek nie zawierających włókien. Trend taki nie wystąpił natomiast przy bezpośrednich badaniach wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, których wyniki opisano w punkcie 6. Wpływ na to mogło mieć różne zagęszczenie próbek wykorzystywanych w poszczególnych badaniach. Do badań pośredniego rozciągania opisanego w punkcie 6 próbki

zagęszczano w prasie żyratorowej do osiągnięcia 100% wskaźnika zagęszczenia. Tymczasem do badań odporności na działanie wody i mrozu próbki zagęszczano w ubijakach Marshalla, stosując po 35 uderzeń ubijaka na jedną stronę próbki. Odpowiada to osiągnięciu wskaźnika zagęszczenia na poziomie ok. 98%. Wskazywałoby to, że zwiększony, pozytywny wpływ zastosowania włókien zbrojących uwidacznia się w przypadku mniejszego zagęszczenia mieszanki mineralno-asfaltowej, czyli niedogęszczenia. Podczas zagęszczania warstw asfaltowych na drodze najczęściej otrzymuje się wskaźniki zagęszczenia rzędu 98-99%. W takich przypadkach pozytywny wpływ dodatku włókien będzie bardziej widoczny.

8. ODPORNOŚĆ NA DEFORMACJE TRWAŁE

8.1. Metodyka badań

Badanie odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe wykonano w oparciu o normę PN-EN 12697-22¹³, w małym koleinomierzu, według metody B, w powietrzu. Temperatura badania wynosiła +60°C. Próbki były przygotowywane i zagęszczane sukcesywnie, w taki sposób, aby uzyskać jednakowy czas pomiędzy zagęszczaniem a badaniem próbek, wynoszący 4 dni.

Odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe była oceniana na podstawie proporcjonalnej głębokości koleiny oraz nachylenia wykresu koleinowania.

8.2. Wyniki badań

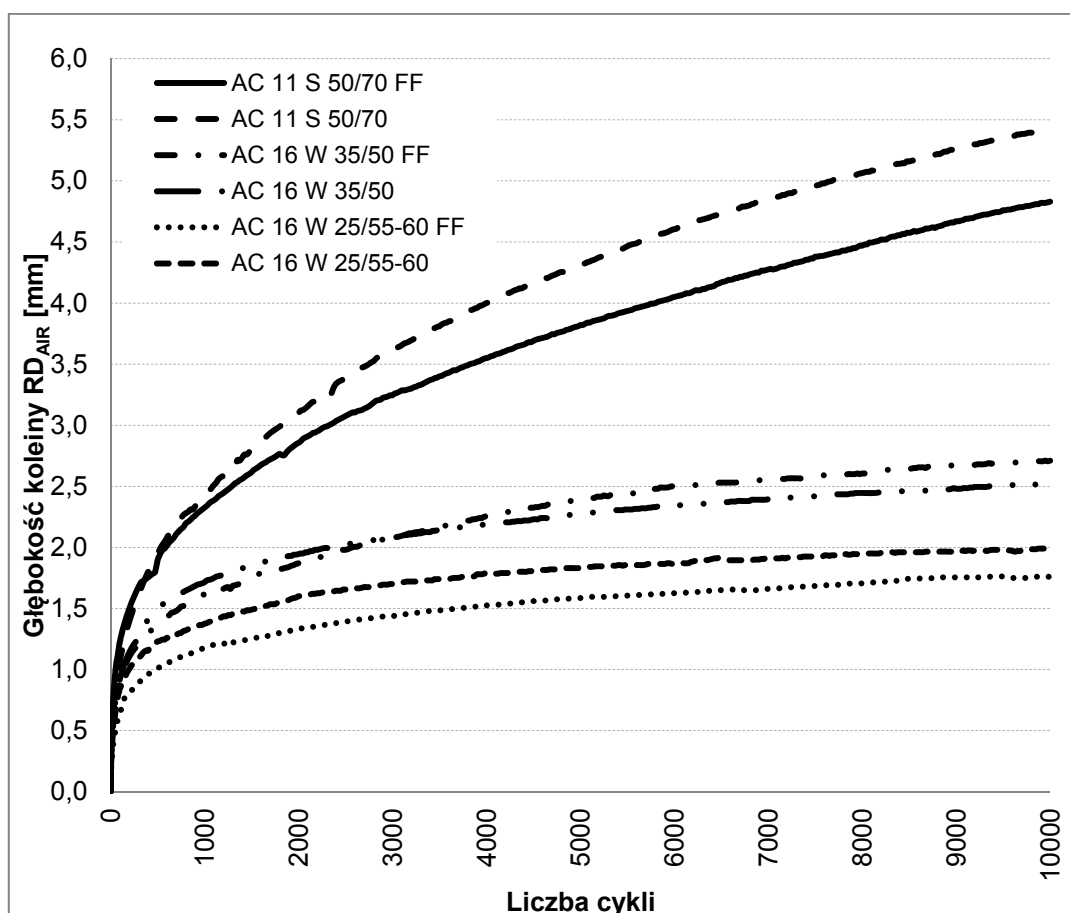
8.2.1. Wyniki badań podstawowych

Wyniki badań podstawowych odporności na koleinowanie betonów asfaltowych przedstawiono w tabelicy 8.1. Na rysunku 8.1 pokazano głębokość koleiny w zależności od ilości cykli przejść koła.

¹³ PN-EN 12697-22:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 22: Koleinowanie.

Tablica 8.1. Zestawienie wyników podstawowych badań odporności na koleinowanie betonów asfaltowych, wykonanych wg metody PN-EN12697-22, metoda B w powietrzu

Nr próbki	Rodzaj mieszanki	Proporcjonalna głębokość koleiny PRD _{AIR} [%]	Średnia proporcjonalna głębokość koleiny PRD _{AIR} [%]	Prędkość przyrostu koleiny WTS _{AIR} [mm/10 ³ cykli]	Średnia prędkość przyrostu koleiny WTS _{AIR} [mm/10 ³ cykli]
411/1	AC 11 S 50/70 FF	12,0	12,1	0,21	0,20
411/2		12,3		0,19	
412/1	AC 11 S 50/70	12,3	13,6	0,21	0,23
412/2		15,0		0,24	
405/1	AC 16 W 35/50 FF	5,0	4,5	0,07	0,07
405/2		4,0		0,06	
406/1	AC 16 W 35/50	4,3	4,3	0,06	0,05
406/2		4,2		0,04	
409/1	AC 16 W 25/55-60 FF	3,0	2,9	0,04	0,04
409/2		2,8		0,03	
410/1	AC 16 W 25/55-60	3,0	3,3	0,03	0,03
410/2		3,7		0,03	



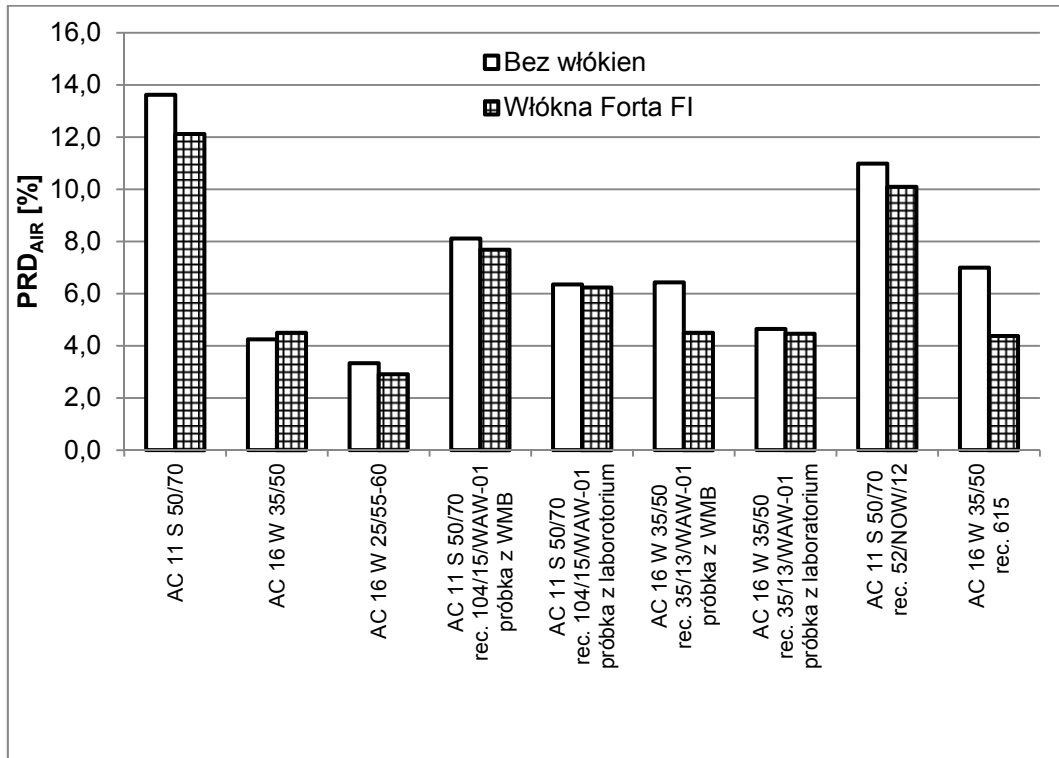
Rysunek 8.1. Odporność na koleinowanie wg metody PN-EN12697-22, głębokość koleiny RD_{AIR}

8.2.2. Wyniki badań rozszerzonych

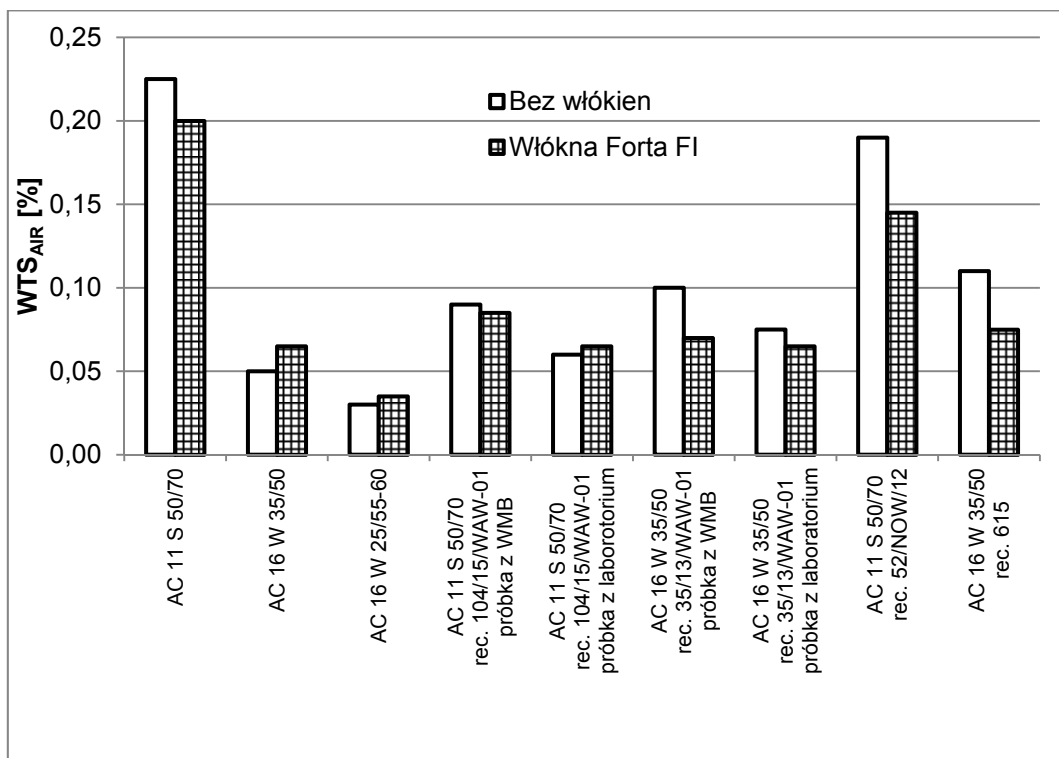
Wyniki badań rozszerzonych odporności na koleinowanie betonów asfaltowych przedstawiono w tabelicy 8.2. Na rysunku 8.2 pokazano proporcjonalną głębokość koleiny, natomiast na rysunku 8.3. prędkość przyrostu koleiny dla wszystkich badanych batonów asfaltowych.

Tablica 8.2. Zestawienie wyników rozszerzonych badań odporności na koleinowanie betonów asfaltowych, wykonanych wg metody PN-EN12697-22, metoda B w powietrzu

Nr próbki	Rodzaj mieszanki	Proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} [%]	Średnia proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} [%]	Prędkość przyrostu koleiny WTS_{AIR} [mm/10 ³ cykli]	Średnia prędkość przyrostu koleiny WTS_{AIR} [mm/10 ³ cykli]
663/1	AC 11 S 50/70 FF rec. 104/15/WAW-01 próbka z WMB	7,9	7,7	0,09	0,09
663/2		7,5		0,08	
662/1	AC 11 S 50/70 rec. 104/15/WAW-01 próbka z WMB	7,9	8,1	0,09	0,09
662/2		8,3		0,09	
697/1	AC 11 S 50/70 FF rec. 104/15/WAW-01 próbka z laboratorium	5,9	6,2	0,07	0,07
697/2		6,6		0,06	
692/1	AC 11 S 50/70 rec. 104/15/WAW-01 próbka z laboratorium	6,2	6,4	0,06	0,06
692/2		6,6		0,06	
665/1	AC 16 W 35/50 FF rec. 35/13/WAW-01 próbka z WMB	5,0	4,5	0,08	0,07
665/2		4,0		0,06	
664/1	AC 16 W 35/50 rec. 35/13/WAW-01 próbka z WMB	5,0	6,4	0,09	0,10
664/2		7,9		0,11	
711/1	AC 16 W 35/50 FF rec. 35/13/WAW-01 próbka z laboratorium	4,7	4,5	0,07	0,07
711/2		4,3		0,06	
712/1	AC 16 W 35/50 rec. 35/13/WAW-01 próbka z laboratorium	4,7	4,7	0,09	0,08
712/2		4,6		0,06	
724/1	AC 11 S 50/70 FF rec. 52/NOW/12 próbka z laboratorium	9,2	10,1	0,15	0,15
724/2		11,0		0,14	
725/1	AC 11 S 50/70 rec. 52/NOW/12 próbka z laboratorium	10,7	11,0	0,19	0,19
725/2		11,3		0,19	
732/1	AC 16 W 35/50 FF rec. 615 próbka z laboratorium	4,6	4,4	0,08	0,08
732/2		4,2		0,07	
615/1	AC 16 W 35/50 rec. 615 próbka z laboratorium	6,5	7,0	0,10	0,11
615/2		7,5		0,12	



Rysunek 8.2. Odporność na koleinowanie wg metody PN-EN12697-22, proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR}



Rysunek 8.3. Odporność na koleinowanie wg metody PN-EN12697-22, prędkość przyrostu koleiny WTS_{AIR}

8.3. Analiza wyników badań

Na podstawie przeprowadzonych podstawowych badań odporności na deformacje trwałe można stwierdzić, że:

1. Poprawę odporności na deformacje trwałe odnotowano w przypadku mieszanki betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70 oraz mieszanki betonu asfaltowego do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem modyfikowanym PmB 25-55/60.
2. W przypadku betonu asfaltowego AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50 wyniki mieszanki z włóknami były nieco niższe, niż dla mieszanki bez włókien.
3. Uzyskane różnice pomiędzy poszczególnymi wszystkimi badanymi mieszankami są jednak bardzo małe i niewystarczające, aby stwierdzić jednoznaczny wpływ dodatku włókien na odporność na deformacje trwałe.

Przeprowadzone badania rozszerzone, na większej ilości rodzajów mieszanek, pozwalają sformułować dodatkowe spostrzeżenia:

1. W pięciu przypadkach na sześć dodatkowo przebadanych próbek mieszanek mineralno-asfaltowych dodatek włókien spowodował polepszenie charakterystyk odpowiedzialnych za odporność na deformacje trwałe, tj. zmniejszenie proporcjonalnej głębokości koleiny oraz zmniejszenie prędkości przyrostu koleiny. Praktyczny brak wpływu włókien wykryto tylko w jednym przypadku, tj. dla jednego rodzaju próbek mieszanek betonu asfaltowego AC 11 S do warstwy ścieralnej, które wytworzono i zagęszczono w laboratorium.
2. Nie stwierdzono wyraźnej zależności pomiędzy wielkością wpływu dodatku włókien, a rodzajem mieszanki mineralno-asfaltowej, tj. czy badano mieszankę do warstwy ścieralnej, czy wiążącej. Można przyjąć, że dla trzech przypadków (warstwa wiążąca AC 16 W 35/50 wg rec. 35/13/WAW-01 wytworzona w WMB i zagęszczana w laboratorium, warstwa ścieralna AC 11 S 50/70 wg rec. 52/NOW/12 wytworzona i zagęszczona w laboratorium, warstwa wiążąca AC 16 W 35/50 wg rec. 615 wytworzona i zagęszczona w laboratorium) wpływ ten był wyraźny. Dla pozostałych trzech przypadków wpływ dodatku włókien Forta-Fi był niewielki.
3. Uzyskane wyniki pokazują, że dodatek włókien Forta-Fi generalnie poprawia odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie, a na pewno jej nie pogarsza. Efektywność zastosowania włókien w tym zakresie jest jednak różna. Zagadnienie to należy uznać za wymagające dalszych badań (może w innym schemacie) w celu dokładniejszego wyjaśnienia zjawiska.

9. ODPORNOŚĆ NA SPĘKANIA NISKOTEMPERATUROWE

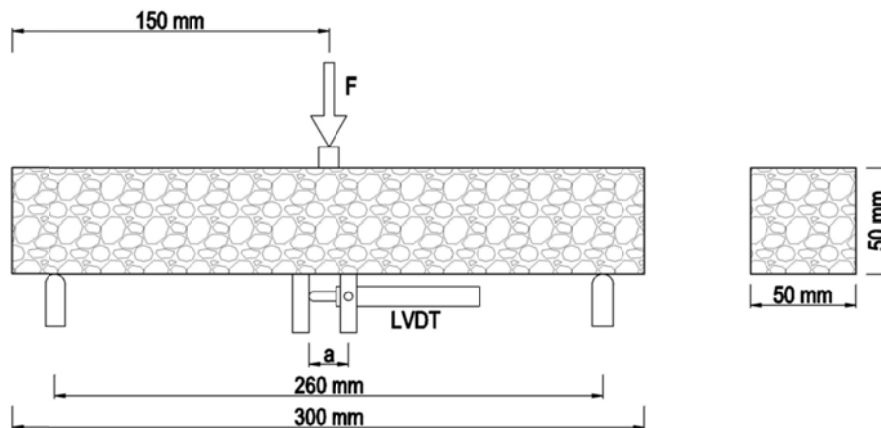
9.1. Metoda Politechniki Gdańskiej

9.1.1. Metodyka badań

Badanie odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na spękania niskotemperaturowe przeprowadzono według metody opracowanej na Politechnice Gdańskiej przez Judyckiego¹⁴. Na podstawie badań określono:

- moduły sztywności przy zginaniu,
- odkształcenie graniczne przy zginaniu,
- wytrzymałość na zginanie,
- wskaźnik usztywnienia.

Badanie polega na zginaniu belki wolnopodpartej, o wymiarach 300x50x50 mm, obciążonej siłą skupioną w środku rozpiętości, w prasie ze stałym przesuwem tłoka wynoszącym 1,25 mm/min. Rejestruje się zależność pomiędzy przykładaną siłą a wywoływanym odkształceniem próbki. Schemat urządzenia wykorzystanego do badań przedstawiono na rysunku 9.1 i 9.2.



Rysunek 9.1. Schemat badania zginania i sposób mocowania czujnika

¹⁴ Judycki J. Bending test of asphaltic mixtures under statical loading. Fourth International RILEM Symposium, Mechanical Tests for Bituminous Mixes, Characterization, Design and Quality Control. Budapest; 1990. p. 207–27.



Rysunek 9.2. Próbką podczas badania odporności na spękania niskotemperaturowe

Przebieg badania jest następujący:

1. Próbkę przed badaniem kondycjonuje się w temperaturze badania (-20°C lub +10°C) przez minimum 18 godzin.
2. Próbkę umieszcza się na specjalnej podporze i obciąża siłą skupioną w połowie rozpiętości belki.
3. Przemieszczenie tłoka wynosi 1,25 mm/minutę.
4. Podczas badania rejestrowane jest odkształcenie na spodzie próbki przy pomocy czujnika indukcyjnego LVDT oraz równolegle rejestrowana jest przykładana siła. Dane są rejestrowane automatycznie co 0,125 s.
5. Badanie uznaje się za zakończone w chwili zniszczenia belki (temperatura -20°C) lub w momencie uzyskania maksymalnej wartości siły (temperatura +10°C).

W każdej serii badano po pięć próbek. Wynik końcowy jest średnią z pięciu pomiarów.

Odształcenie graniczne i wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu określa się z następujących zależności:

$$\varepsilon_{\text{gran}} = \frac{p_{\text{max}}}{e} \times \frac{c}{c+a}$$

$$R_{\text{rz}} = \frac{3 \times F_{\text{max}} \times l}{2 \times b \times h^2}$$

gdzie:

$\varepsilon_{\text{gran}}$ - średnie odkształcenie występujące na spodzie belki na odcinku bazy pomiarowej o długości e ,

- ρ_{\max} - przemieszczenia czujnika LVDT, przy maksymalnej sile F_{\max} spowodowane zginaniem belki [mm],
 e - długość bazy pomiarowej – osiowa odległość pomiędzy płytkami bazowymi, [mm],
 a - odległość od spodu belki do osi czujnika LVDT [mm],
 c - połowa wysokości belki [mm],
 R_{rz} - wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa],
 F_{\max} - siła niszcząca [kN],
 H - wysokość belki [mm],
 L - rozpiętość belki między podporami [mm],
 B - szerokość belki [mm],
 σ - naprężenia występujące na spodzie belki w środku jej rozpiętości [MPa].

Moduł sztywności podczas zginania belek określono w oparciu o wykresy zależności naprężenia od odkształcenia. Wartości odkształceń określono na podstawie pomiarów przemieszczeń czujnika umieszczonego na spodzie belki. Wartości naprężeń określono na podstawie wartości siły oraz wymiarów geometrycznych belki. Moduł sztywności wyznaczono z następującej zależności:

$$S = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

gdzie:

- S - moduł sztywności,
 $\Delta\varepsilon$ - przyrost odkształcenia,
 $\Delta\sigma$ - przyrost naprężenia.

Ocena badanych betonów asfaltowych przeprowadzona została w oparciu o odkształcenie graniczne, wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, moduł sztywności oraz dodatkowo wprowadzony wskaźnik usztywnienia zdefiniowany następująco:

$$W_{ue} = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

gdzie:

- W_{ue} - wskaźnik usztywnienia,
 ΔS - zmiana modułu sztywności przy zginaniu w różnych temperaturach (+10° i -20°C),
 ΔT - różnica temperatur (pomiędzy +10°C i -20°C).

Na podstawie wskaźnika usztywnienia można ocenić zachowywanie się betonu asfaltowego w miarę oziębiania mieszanki.

Brak jest jakichkolwiek kryteriów oceniających odporność mieszanek na spękania niskotemperaturowe. Można jedynie stwierdzić, że bardziej korzystne cechy w niskich temperaturach ma taka mieszanka mineralno-asfaltowa, która:

1. Ma większą wytrzymałość na pośrednie rozciąganie R_{rz} w niskich temperaturach, ponieważ może przenieść większe naprężenia termiczne,
2. Ma wyższe odkształcenia graniczne ε_{gran} w niskich temperaturach, ponieważ jest mniej krucha, jest bardziej podatna i zachowuje największą odkształcalność,
3. Ma mniejszy moduł sztywności S w niskich temperaturach, ponieważ naprężenia termiczne są wprost proporcjonalne do wielkości tego modułu,
4. Ma mniejszy wskaźnik usztywnienia W_u , ponieważ jest najmniej wrażliwa termicznie.

9.1.2. Wyniki badań

Wyniki badań odporności na spękania w niskiej temperaturze betonów asfaltowych podano w tablicy od 9.1 do 9.6 oraz na rysunkach , 9.3, 9.4, 9.5 oraz 9.6.

Tablica 9.1. Zestawienie wyników odporności na spękania niskotemperaturowe, AC 11 S 50/70 FF

	Temperatura badania [°C]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu R_{rz} [MPa]			Odkształcenie graniczne ϵ_{gran} [‰]			Moduł sztywności przy zginaniu S [GPa]			Wskaźnik usztywnienia W_{ue} [-]
		próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	
AC 11 S 50/70 FF	-20	8,57	8,36	0,272	0,89	0,74	0,126	9,73	11,54	1,793	0,38
		8,42			-			-			
		7,89			0,61			13,88			
		8,53			0,79			10,66			
		8,40			0,68			11,91			
	10	-	2,88	0,080	-	12,41	1,404	-	0,23	0,026	
		2,93			11,53			0,25			
		2,77			11,93			0,23			
		2,94			11,68			0,25			
		2,87			14,50			0,19			

\bar{X} - wartość średnia

S - odchylenie standardowe

Tablica 9.2. Zestawienie wyników odporności na spękania niskotemperaturowe, AC 11 S 50/70

	Temperatura badania [°C]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu R_{rz} [MPa]			Odkształcenie graniczne ϵ_{gran} [‰]			Moduł sztywności przy zginaniu S [GPa]			Wskaźnik usztywnienia W_{ue} [-]
		próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	
AC 11 S 50/70	-20	7,74	8,10	0,303	0,66	0,68	0,032	12,11	12,50	0,415	0,41
		7,92			0,65			12,45			
		8,32			0,69			12,36			
		8,05			-			-			
		8,49			0,72			13,09			
	10	3,16	3,23	0,054	11,63	12,25	1,195	0,26	0,26	0,022	
		3,23			10,73			0,30			
		3,32			13,96			0,23			
		3,24			12,53			0,25			
		3,23			12,40			0,26			

\bar{X} - wartość średnia

S - odchylenie standardowe

Tablica 9.3. Zestawienie wyników odporności na spękania niskotemperaturowe, AC 16 W 35/50 FF

	Temperatura badania [°C]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu R_{rz} [MPa]			Odształcenie graniczne ϵ_{gran} [‰]			Moduł sztywności przy zginaniu S [GPa]			Wskaźnik usztywnienia W_{ue} [-]
		próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	
AC 16 W 35/50 FF	-20	6,18	6,32	0,158	0,58	0,52	0,065	10,70	12,10	1,363	0,38
		6,19			0,49			12,31			
		-			-			-			
		6,46			0,56			11,49			
		6,46			0,44			13,89			
	10	4,80	4,63	0,352	6,53	5,75	0,750	0,72	0,81	0,110	
		4,20			5,12			0,81			
		4,67			4,90			0,94			
		5,10			5,72			0,88			
		4,39			6,47			0,68			

\bar{X} - wartość średnia

S - odchylenie standardowe

Tablica 9.4. Zestawienie wyników odporności na spękania niskotemperaturowe, AC 16 W 35/50

	Temperatura badania [°C]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu R_{rz} [MPa]			Odształcenie graniczne ϵ_{gran} [‰]			Moduł sztywności przy zginaniu S [GPa]			Wskaźnik usztywnienia W_{ue} [-]
		próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	
AC 16 W 35/50	-20	-	6,29	0,196	-	0,47	0,048	-	13,74	0,899	0,43
		6,48			0,45			14,61			
		6,42			0,53			13,23			
		6,08			0,48			12,75			
		6,16			0,42			14,39			
	10	4,61	4,53	0,182	5,08	5,54	0,502	0,89	0,81	0,068	
		4,70			5,91			0,79			
		4,25			4,97			0,84			
		4,44			6,12			0,71			
		4,63			5,61			0,81			

\bar{X} - wartość średnia

S - odchylenie standardowe

Tablica 9.5. Zestawienie wyników odporności na spękania niskotemperaturowe, AC 16 W 25/55-60 FF

	Temperatura badania [°C]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu R _{rz} [MPa]			Odkształcenie graniczne ε _{gran} [‰]			Moduł sztywności przy zginaniu S [GPa]			Wskaźnik usztywnienia W _{ue} [-]
		próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	
AC 16 W 25/55-60 FF	-20	7,18	7,00	0,545	0,81	0,71	0,100	9,12	10,16	1,917	0,31
		6,37			0,72			8,97			
		7,42			0,61			12,37			
		6,48			-			-			
		7,56			-			-			
	10	4,21	4,63	0,243	3,57	4,46	0,786	1,15	0,84	0,357	
		4,63			5,38			0,84			
		4,75			3,79			0,23			
		4,81			5,08			0,93			
		4,74			4,51			1,03			

\bar{X} - wartość średnia

S - odchylenie standardowe

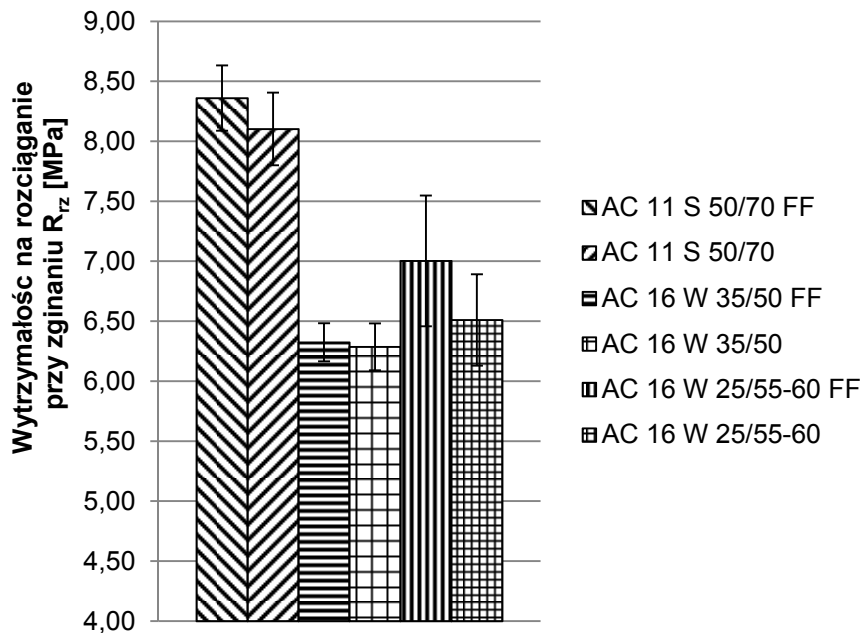
Tablica 9.6. Zestawienie wyników odporności na spękania niskotemperaturowe, AC 16 W 25/55-60

	Temperatura badania [°C]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu R _{rz} [MPa]			Odkształcenie graniczne ε _{gran} [‰]			Moduł sztywności przy zginaniu S [GPa]			Wskaźnik usztywnienia W _{ue} [-]
		próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	próbka	\bar{X}	S	
AC 16 W 25/55-60	-20	6,03	6,51	0,381	0,65	0,66	0,093	9,35	10,02	1,336	0,30
		6,50			0,57			11,62			
		6,74			0,78			8,41			
		6,28			0,58			11,17			
		7,01			0,73			9,56			
	10	-	4,57	0,236	-	4,90	0,724	-	0,93	0,145	
		4,44			4,15			1,04			
		4,74			4,75			0,98			
		4,31			5,89			0,72			
		4,80			4,81			0,98			

\bar{X} - wartość średnia

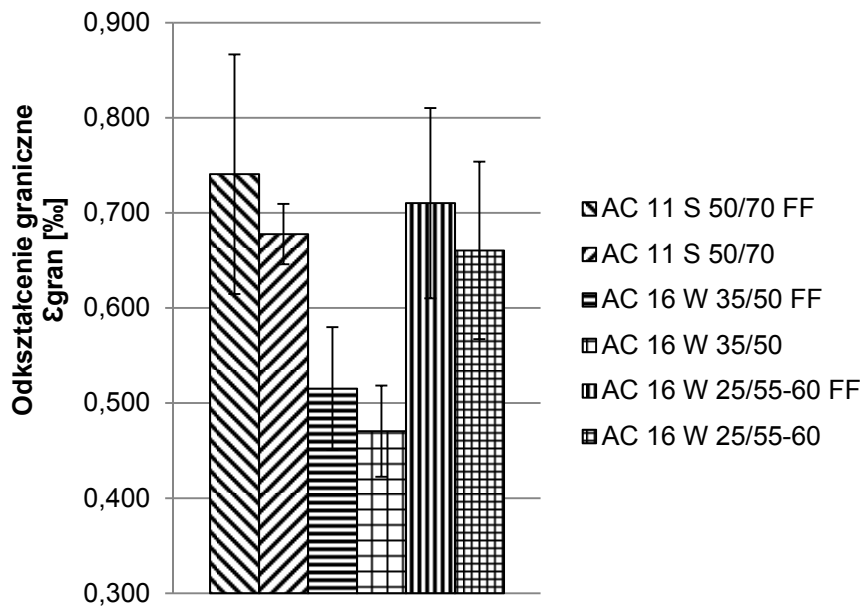
S - odchylenie standardowe

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu,
-20°C

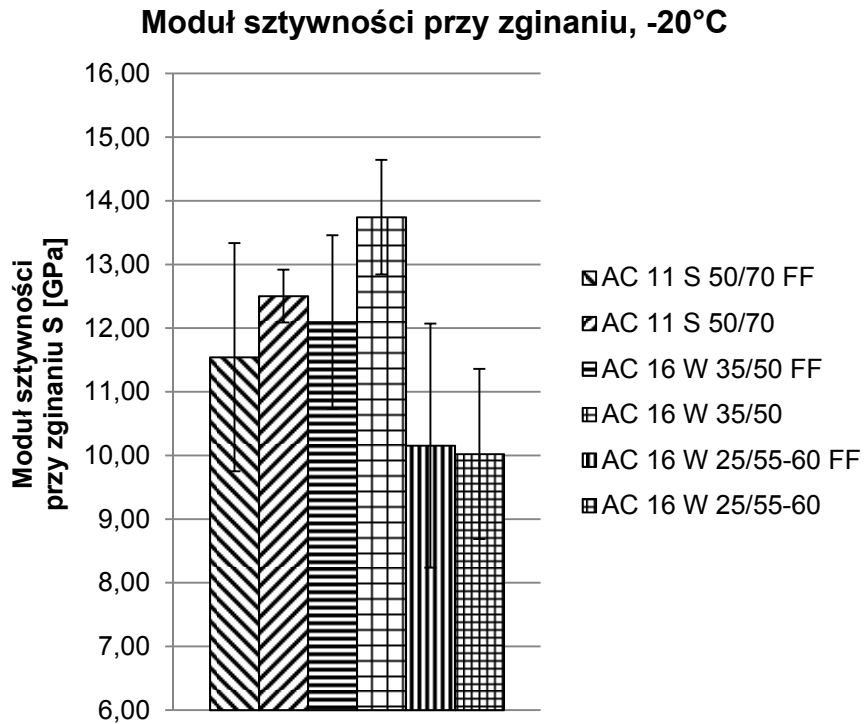


Rysunek 9.3. Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu

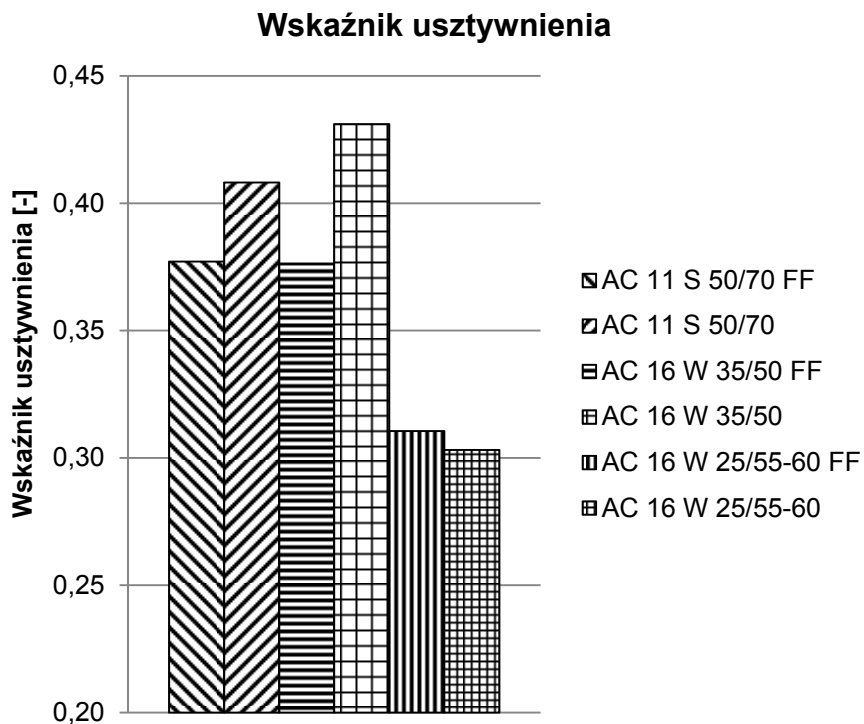
Odkształcenie graniczne,
-20°C



Rysunek 9.4. Odkształcenie graniczne przy zginaniu



Rysunek 9.5. Moduł sztywności przy zginaniu



Rysunek 9.6. Wskaźnik usztywnienia

9.1.3. Analiza wyników badań

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

1. Dodatek włókien do mieszanek mineralno-asfaltowych wpłynął pozytywnie na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, dla każdej mieszanki parametr ten uległ zwiększeniu, przy czym wzrost ten był największy dla mieszanki betonu asfaltowego AC 16 W z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60, następnie dla betonu asfaltowego AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70, zaś najmniejszy dla betonu asfaltowego AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50.
2. Pozytywny wpływ włókien uwidocznił się również w przypadku odkształcenia granicznego, które dla mieszanek z włóknami było zawsze większe, niż dla mieszanek referencyjnych bez włókien. Wzrost odkształcenia granicznego był w miarę równy dla wszystkich betonów asfaltowych.
3. Moduł sztywności przy zginaniu dla mieszanek z włóknami był niższy w przypadku betonu asfaltowego AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70 oraz AC 16 W z asfaltem 35/50. Moduł sztywności betonu asfaltowego AC 16 W z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60 był nieznacznie wyższy dla próbek z włóknami.
4. Dodatek włókien spowodował spadek wskaźnika usztywnienia dla mieszanek betonu asfaltowego AC 11 S z asfaltem drogowym 50/70 oraz AC 16 W z asfaltem drogowym 35/50, co jest pozytywnym zjawiskiem pod względem odporności na spękania niskotemperaturowe. Wskaźnik usztywnienia dla betonu asfaltowego AC 16 W z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60 był nieznacznie wyższy dla próbek z włóknami.
5. Dodatek włókien do mieszanki warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem 35/50 w pewnym stopniu pozytywnie wpłynął na te parametry, jednakże nie w takim stopniu, aby zbliżyły się one do wyników osiąganych przez mieszankę AC 16 W z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60, nawet bez dodatku włókien. Oznacza to, że beton asfaltowy z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60 nawet bez włókien istotnie był bardziej odporny na spękania niskotemperaturowe niż beton asfaltowych z asfaltem drogowym 35/50 nawet z dodatkiem włókien.

9.2. ODPORNOŚĆ NA SPĘKANIA NISKOTEMPERATUROWE – METODA MECHANIKI PĘKANIA

Badania odporności na pękanie wykonano w oparciu o założenia normy PN-EN 12697-44¹⁵. Jako, że jest to badanie dotychczas niestosowane w Polsce, metodykę opisaną w normie zmodyfikowano o doświadczenia opisywane w literaturze^{16,17}. Norma PN-EN bazuje na wyznaczaniu odporności na pękania K_{IC} mieszanek mineralno-asfaltowych w oparciu o maksymalną siłę zarejestrowaną podczas zginania próbki. Na potrzeby niniejszego raportu, w celu dokładniejszej klasyfikacji badanych mieszanek pod kątem odporności na pękanie wyznaczono dodatkowo krytyczną wartość całki J , która charakteryzuje prędkość uwalniania energii odkształcenia.

9.2.1. Przygotowanie próbek

Badanie wykonywano zginając próbki półwałcowe (ang. SCB – semi circular bending) o średnicy $150\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$, wysokości $75\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$ i grubości $50\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$, które zostały wycięte z zagęszczonych w prasie żyrotorowej próbek o średnicy 150 mm i wysokości 105 mm . Z każdej cylindrycznej próbki bazowej wycięto cztery półwałcowe próbki badawcze. W celu inicjacji spękania na spodzie każdej próbki wykonano nacięcia o głębokości 10 mm , 20 mm , 30 mm oraz szerokości 2 mm .

9.2.2. Metodyka badań odporności na pękanie

Badania odporności na pękanie mieszanek mineralno-asfaltowych przeprowadzono w prasie o stałej prędkości przesuwu tłoka, wyposażonej w czujnik do pomiaru przemieszczeń pionowych oraz w komorę termostatyczną do utrzymywania zadanej temperatury badania.

Badania przeprowadzono na próbkach półwałcowych, zginanych w schemacie belki trzypunktowej, wolnopodpartej (SCB).

Badanie odporności na pękanie charakteryzuje zachowanie się mieszanki mineralno-asfaltowej podczas propagacji spękania. Z tego względu próbki przed badaniem zostały nacięte w połowie rozpiętości, w strefie rozciąganej.

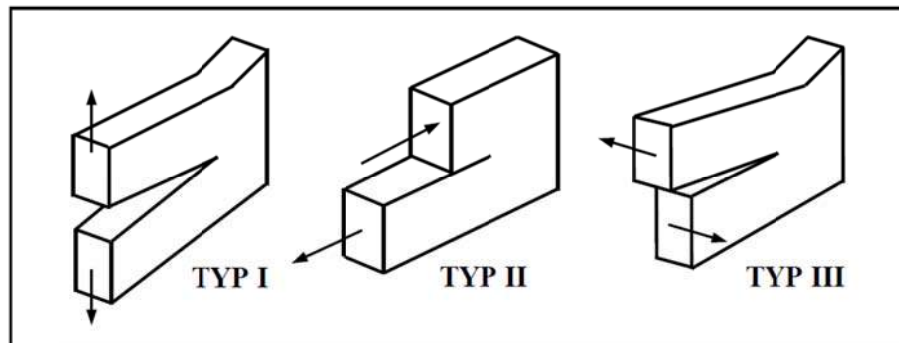
W przypadku wystąpienia mikropęknięcia w warstwie wykonanej z mieszanki mineralno-asfaltowej siły działające na warstwę mogą obciążać pęknięcie w trzech

¹⁵ PN-EN 12697-44:2010 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 44: Propagacja pęknięcia w badaniu zginania próbki półwałcowej.

¹⁶ Mostafa A. Elseifi, Louay N. Mohammad, Hao Ying, Samuel Cooper III, Modeling and evaluation of the cracking resistance of asphalt mixtures using the semi-circular bending test at intermediate temperatures, Road Materials and Pavement Design, Vol. 13, No. S1, June 2012, 124–139

¹⁷ X.-J. Li & M.O. Marasteanu, Using Semi Circular Bending Test to Evaluate Low Temperature Fracture Resistance for Asphalt Concrete, Experimental Mechanics 2010, 50:867–876

schematach. Możliwe typy obciążenia ciała ze szczeliną rozpatrywane w teorii mechaniki pęknięcia przedstawiono na rysunku 10.1.



Rysunek 10.1. Typy obciążenia szczeliny¹⁸

Z punktu widzenia pracy warstw asfaltowych nawierzchni najbardziej interesujący jest typ I, w którym naprężenia działają prostopadle do płaszczyzny pęknięcia. W sytuacji krytycznej, w której naprężenia osiągają wartość krytyczną dochodzi do nagłego i niekontrolowanego rozprzestrzeniania się spęknięcia w nawierzchni. Na podstawie krytycznych naprężeń (krytycznych sił) oraz odkształcenia w momencie ich wystąpienia wyznaczono parametry charakteryzujące odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na pęknięcie:

- krytyczny współczynnik intensywności naprężeń, K_{IC} , zwany odpornością na pęknięcie,
- krytyczną wartość całki J, J_C , charakteryzującą prędkość uwalniania energii.

Odporność na pęknięcie wyznaczono ze wzoru¹⁹:

$$K_I = \sigma_0 Y_I \sqrt{\pi a}$$

w którym a jest głębokością nacięcia, σ_0 naprężeniem maksymalnym podczas badania a Y_I to znormalizowany współczynnik intensywności naprężeń w typie I obciążenia szczeliny.

Naprężenia maksymalne podczas zginania próbki obliczono z zależności:

$$\sigma_0 = \frac{F}{2rB}$$

gdzie F to maksymalna siła podczas badania, r to promień próbki natomiast B to grubość próbki.

¹⁸ Artamendi I., Khalid H. A., A comparison between beam and semi-circular bending fracture tests for asphalt, Road Materials and Pavement Design, volume 7, supplement 1, 2006, pages 163-180

Znormalizowany współczynnik intensywności naprężeń zależy od rodzaju i kształtu próbki. Jego wartość można wyznaczyć przy pomocy metody elementów skończonych. Dla próbek półwalcowych o stosunku połowy rozpiętości belki do średnicy próbki równym 0,8 wartość znormalizowanego współczynnika intensywności naprężeń wyznaczono ze wzoru:

$$Y_I = 4,782 - 1,219 \left(\frac{a}{r}\right) + 0,063 \exp\left(7,045 \left(\frac{a}{r}\right)\right)$$

w którym a to głębokość nacięcia, r to promień próbki.

Krytyczną wartość całki J charakteryzującą prędkość uwalniania energii odkształcenia podczas propagacji pęknięcia wyznaczono według metody stosowanej między innymi przez¹⁹. Metoda polega na określeniu zależności pomiędzy zmianą długości nacięcia próbki a zmianą energii odkształcenia, mierzonej do momentu zniszczenia próbki. Całkę J wyznaczono ze wzoru:

$$J_c = -\left(\frac{1}{B}\right) \frac{dU}{da} \quad 10.4$$

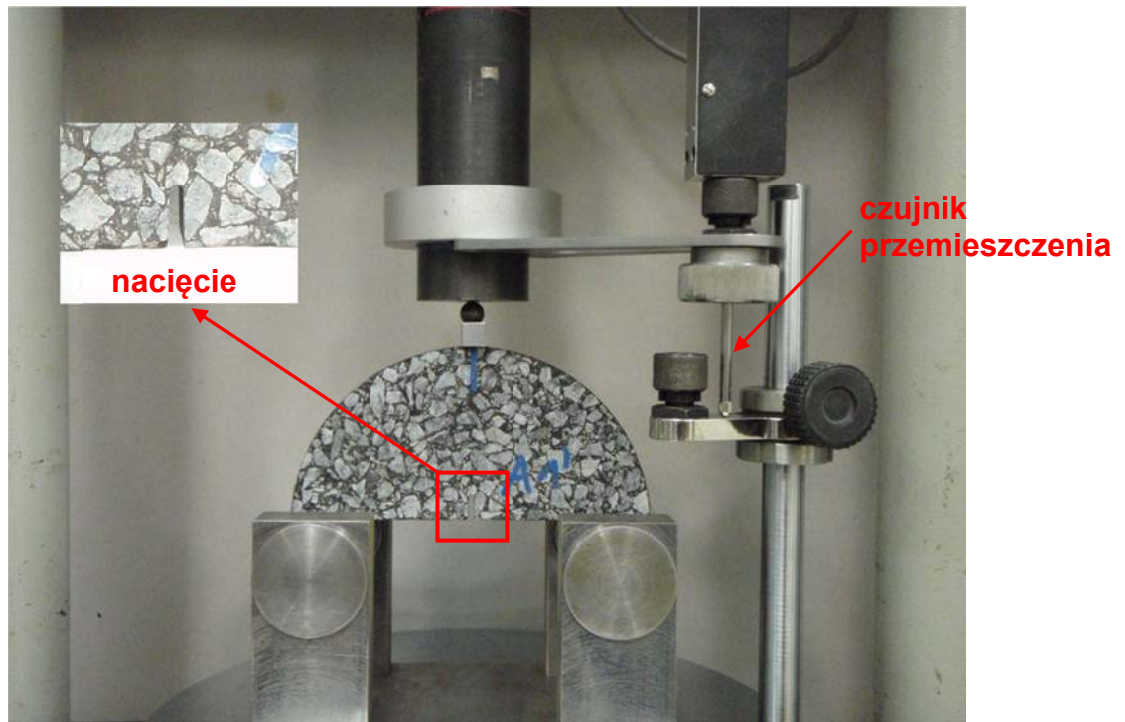
gdzie U to energia odkształcenia do zniszczenia próbki, a to głębokość nacięcia, B grubość próbki, natomiast dU/da to zmiana energii odkształcenia ze zmianą głębokości nacięcia.

W celu określenia zmiany energii odkształcenia wraz ze zmianą głębokości nacięcia badania przeprowadzono na próbkach z różną głębokością szczeliny inicjującej, która wynosiła 10 mm, 20 mm i 30 mm.

Podczas badania próbki półwalcowe zostały poddane zginaniu ze stałą prędkością mierzona pionowym przemieszczeniem tłoka obciążającego. Dla każdej próbki zarejestrowano zależność pomiędzy przemieszczeniem pionowym, a siłą wywieraną na próbkę. Na potrzeby raportu wykonano badania w temperaturze -20°C z prędkością przesuwu tłoka wynoszącą 1 mm/min.

Widok próbki podczas badania przygotowanej do badania przedstawiono na rysunku 10.2.

¹⁹ [4] Elseifi M. A., Mohammad L. N., Ying H., Cooper S., Modeling and evaluation of the cracking resistance of asphalt mixtures using the semi-circular bending test at intermediate temperatures, Road Materials and Pavement Design, volume 13, supplement 1, 2012, pages 124-139



Rysunek 10.2. Widok próbki SCB przygotowanej do badania odporności na pękanie

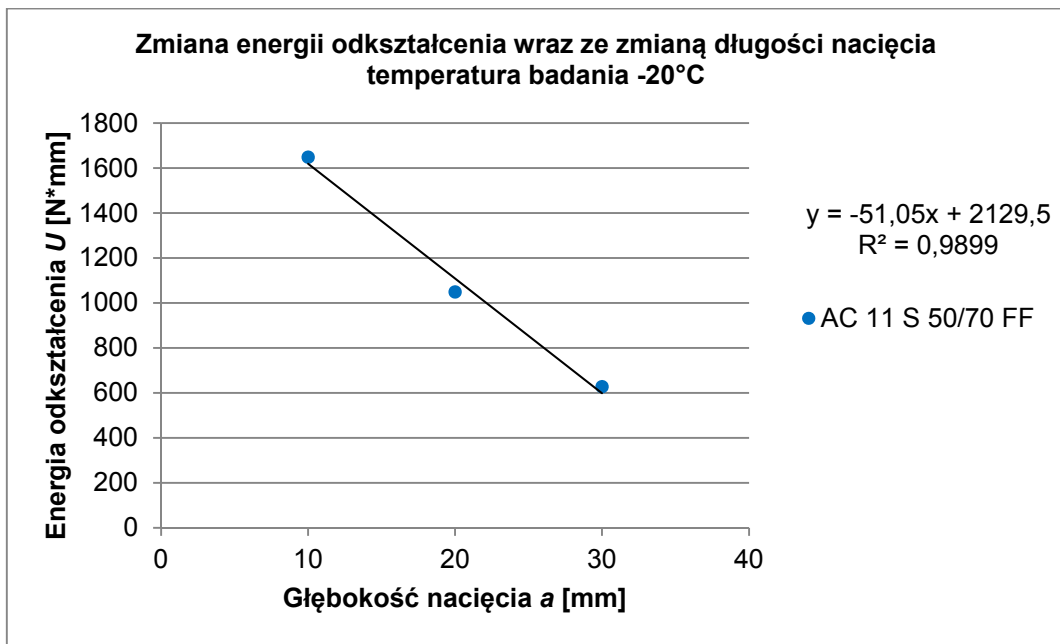
Na podstawie otrzymanych wartości maksymalnego obciążenia przy odpowiadającym przemieszczeniu pionowym obliczono krytyczny współczynnik intensywności naprężeń, K_{IC} .

Krytyczną wartość całki J (J_C), wyznaczono na podstawie analizy wykresów zależności siły od przemieszczenia, z których dla każdej próbki obliczono energię odkształcenia do zniszczenia jako pole pod wykresem $F(d)$ oraz z analizy wykresu zależności energii odkształcenia od głębokości nacięcia. Na podstawie wykresu $U(a)$ wyznaczono równanie regresji liniowej, w którym współczynnik kierunkowy funkcji oznacza pochodną dU/da .

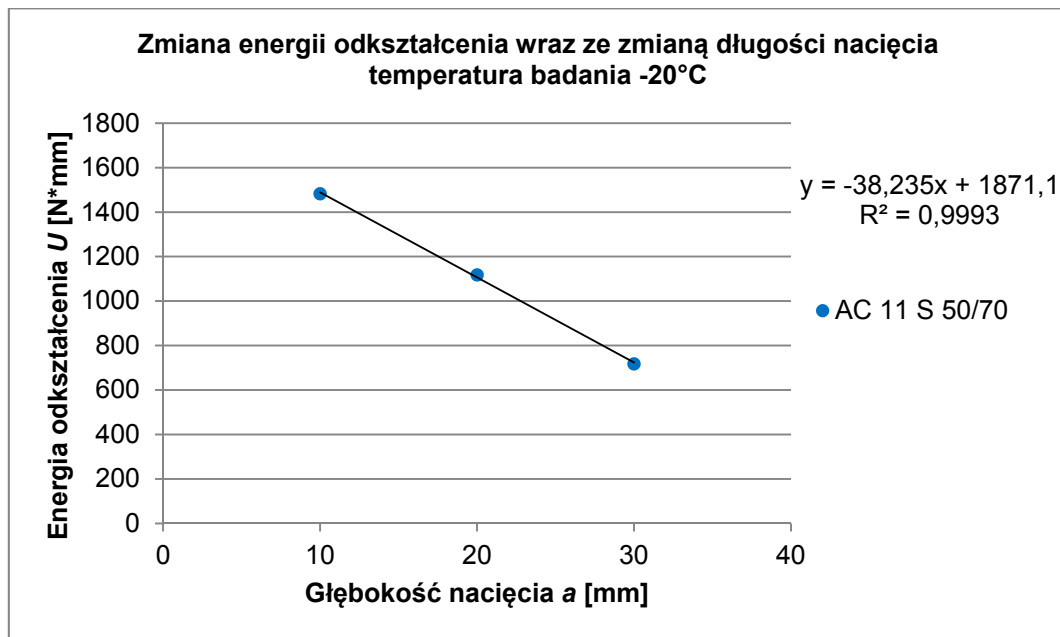
9.2.3. Wyniki badań odporności na pękanie

Na rysunkach od 10.3 do 10.8 przedstawiono wykresy zależności $U(a)$ wraz z równaniami regresji liniowej, które wykorzystano do obliczenia wartości całki J_C .

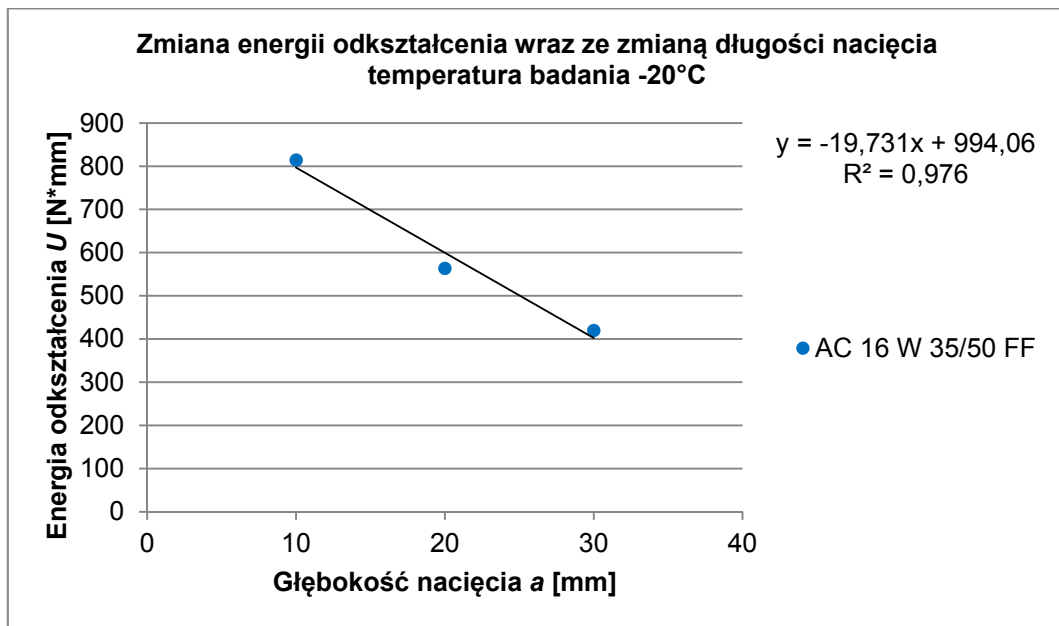
Zestawienie wyników badań odporności na pękanie przedstawiono w tabelicy 10.1. oraz na rysunku 10.9 i 10.10. Szczegółowe wyniki badań zawiera Załącznik 1.



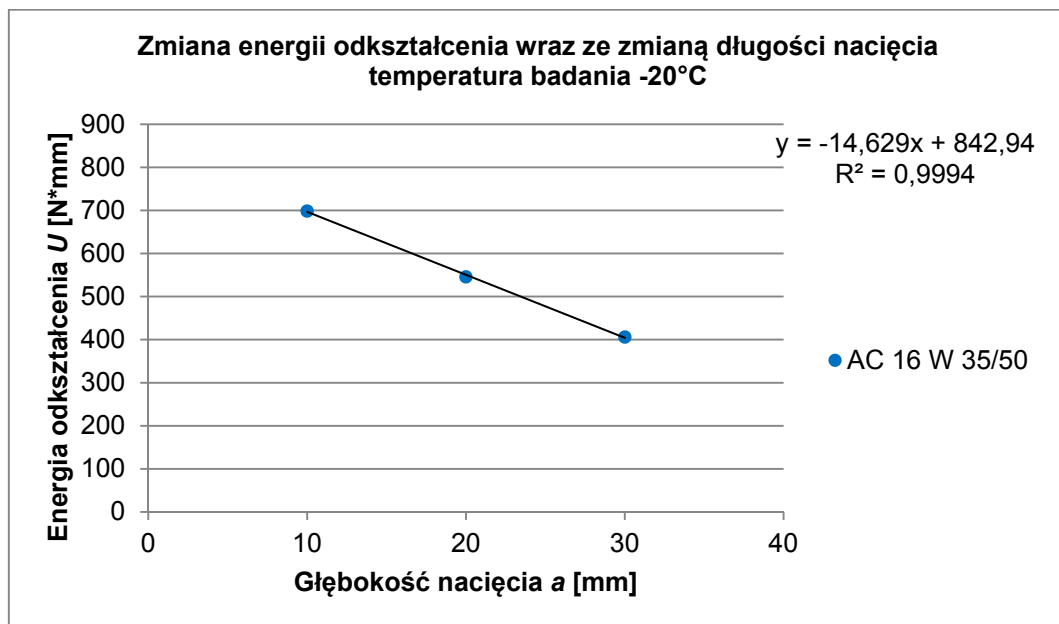
Rysunek 10.3. Zależność między energią odkształcenia a głębokością nacięcia, mieszanka AC 11 S 50/70 FF



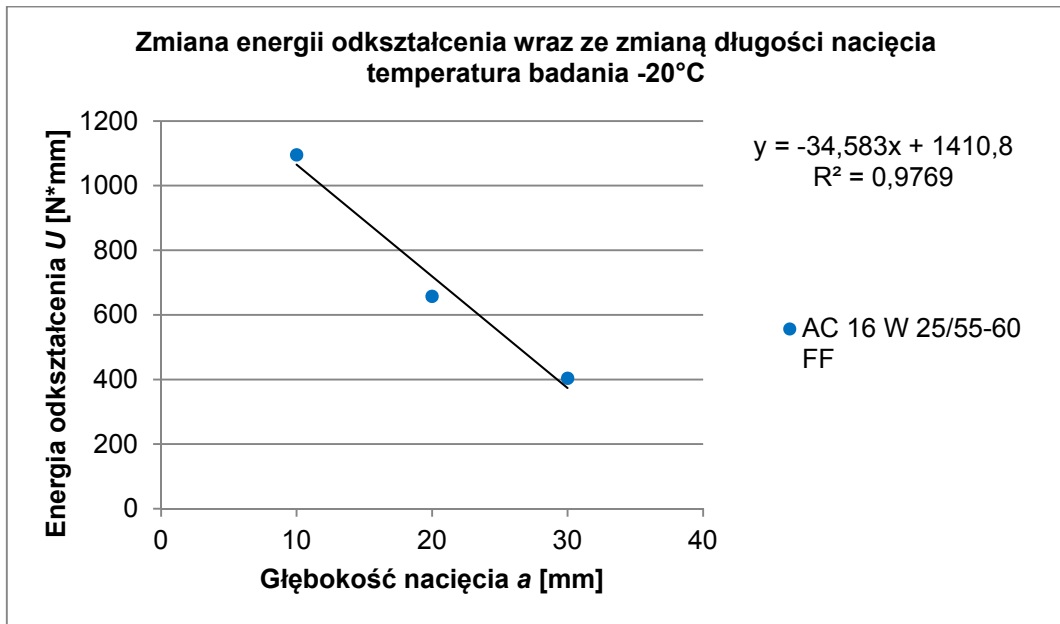
Rysunek 10.4. Zależność między energią odkształcenia a głębokością nacięcia, mieszanka AC 11 S 50/70



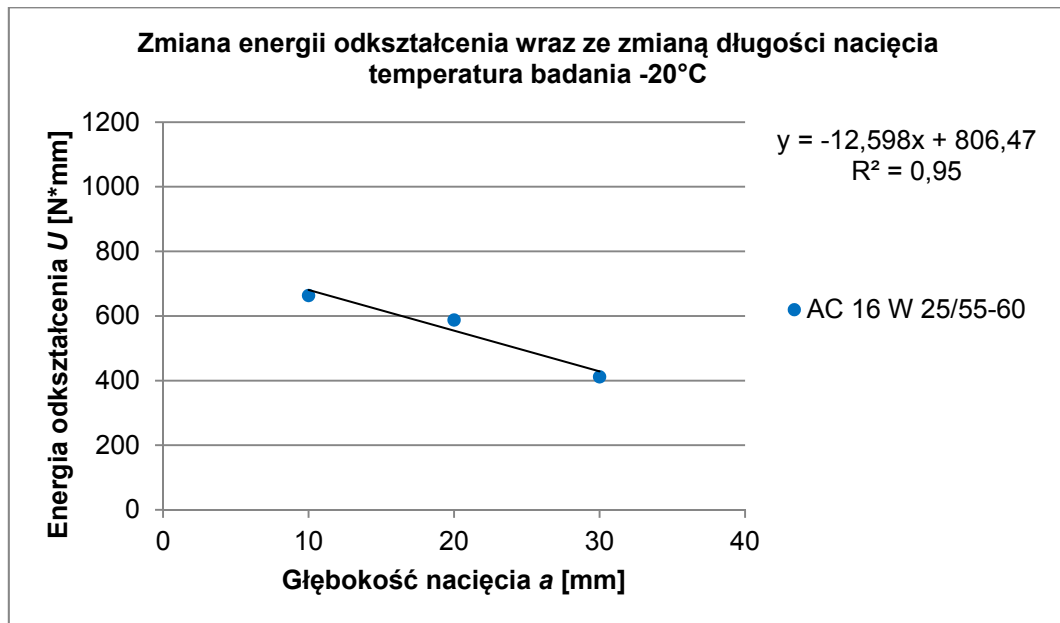
Rysunek 10.5. Zależność między energią odkształcenia a głębokością nacięcia, mieszanka AC 16 W 35/50 FF



Rysunek 10.6. Zależność między energią odkształcenia a głębokością nacięcia, mieszanka AC 16 W 35/50



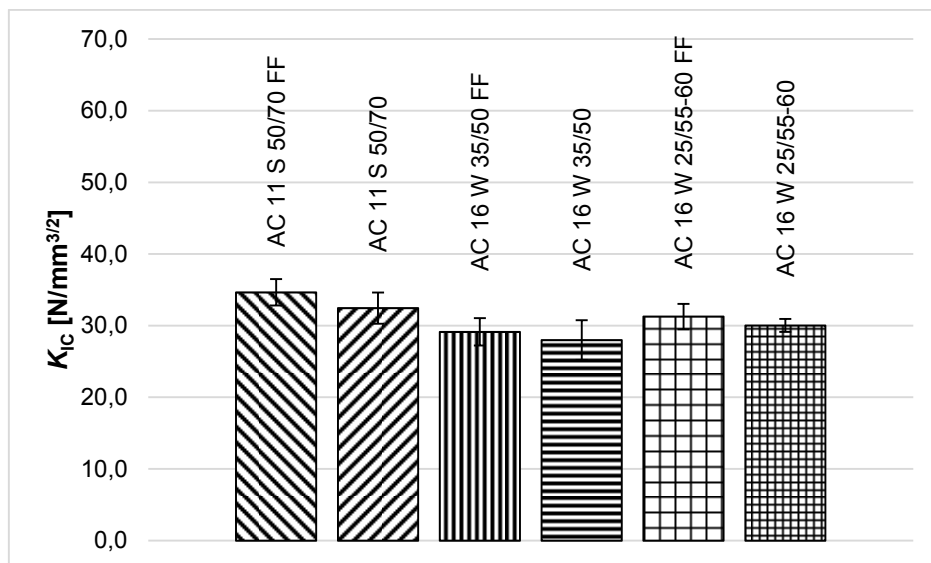
Rysunek 10.7. Zależność między energią odkształcenia a głębokością nacięcia, mieszanka AC 16 W 25/55-60 FF



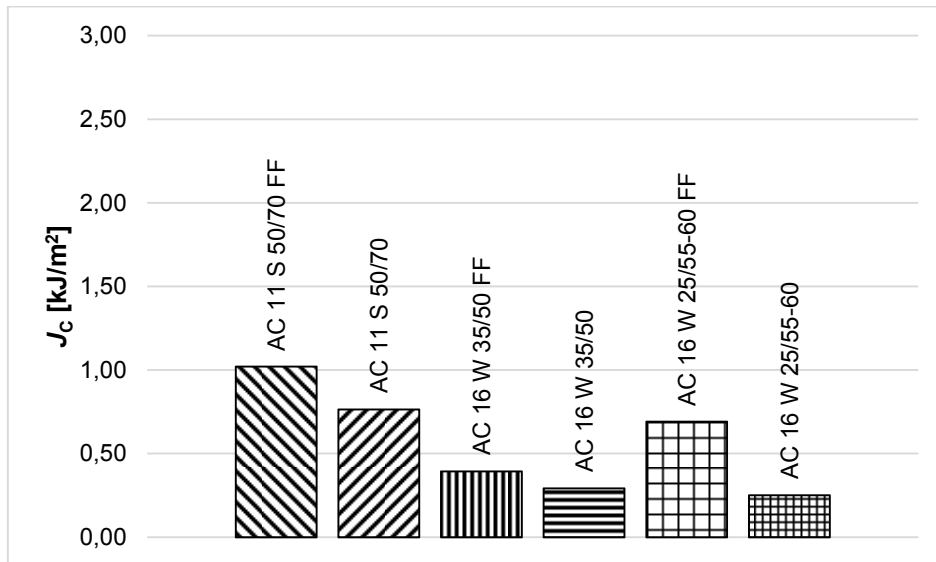
Rysunek 10.8. Zależność między energią odkształcenia a głębokością nacięcia, mieszanka AC 16 W 25/55-60

Tablica 10.1. Wyniki badań odporności na pękanie w temperaturze -20°C , wartości średnie dla 4 próbek

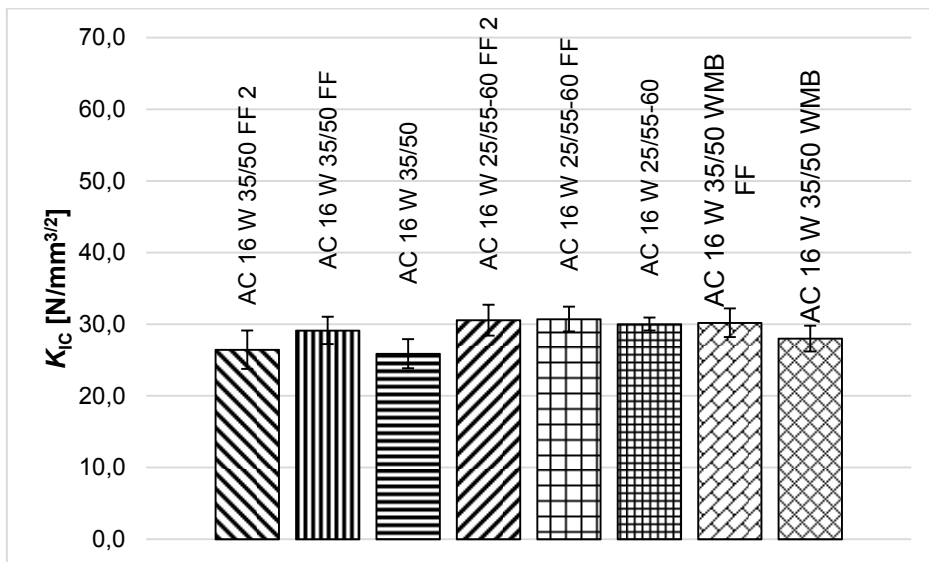
Mieszanka mineralno-asfaltowa	a [mm]	F_{\max} [N]	U [N*mm]	σ_0 [N/mm ²]	K_{IC} [N*mm ^{-3/2}]	dU/da [N]	J_C [kJ/m ²]
AC 11 S 50/70 FF	10	9699	1648,8	1,3	34,7	-51,05	1,02
	20	7645	1049,0	1,0	39,3		
	30	5097	627,8	0,7	35,3		
AC 11 S 50/70	10	9082	1482,8	1,2	32,4	-38,24	0,76
	20	7562	1118,3	1,0	38,9		
	30	5005	718,1	0,7	34,7		
AC 16 W 35/50 FF	10	8154	814,6	1,1	29,1	-19,73	0,39
	20	6299	563,7	0,8	32,4		
	30	4001	420,0	0,5	27,7		
AC 16 W 35/50	10	7832	698,8	1,0	28,0	-14,63	0,29
	20	5879	546,1	0,8	30,3		
	30	3352	406,2	0,4	23,2		
AC 16 W 25/55-60 FF	10	8750	1095,7	1,2	31,3	-34,58	0,69
	20	5914	657,7	0,8	30,4		
	30	4307	404,0	0,6	29,8		
AC 16 W 25/55-60	10	8403	663,8	1,1	30,0	-12,60	0,25
	20	6268	587,9	0,8	32,3		
	30	4449	411,9	0,6	30,8		



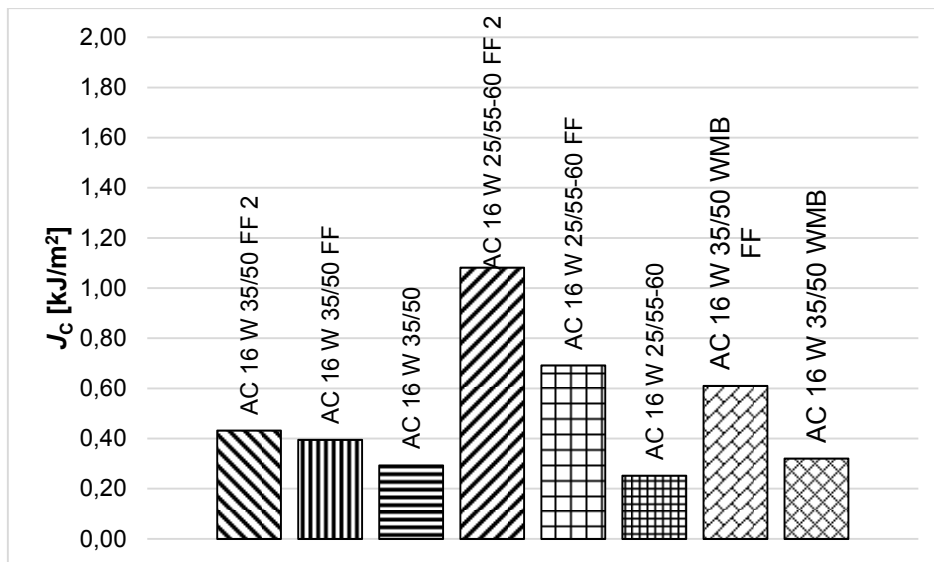
Rysunek 10.9. Wyniki badań odporności na pękanie K_{IC} badanych betonów asfaltowych, głębokość nacięcia $a=10\text{mm}$

Rysunek 10.10. Całka J_c badanych betonów asfaltowych

W przypadku badania odporności na pękanie wykonano dodatkowego sprawdzenia wpływu sposobu dozowania włókien na wyniki badań. Oprócz zalecanego przez Producenta sposobu dozowania na gorące kruszywo przed dodatkiem asfaltu wykonano również próbki z dozowaniem włókien po wstępnym wymieszaniu kruszywa z asfaltem (oznaczenie FF 2). Tak przygotowaną mieszankę poddano procesowi starzenia krótkoterminowego przed zagęszczaniem próbek. Dodatkowo wykorzystano mieszankę mineralno-asfaltową wyprodukowaną na wytwórni mas bitumicznych (inna recepta, oznaczona jako AC 16 W 35/50 WMB), do której po rozgrzaniu dodano włókna i powtórnie wymieszano. W tym przypadku, z uwagi na produkcję mieszanki na otaczarni, nie przeprowadzono procesu starzenia krótkoterminowego. Wyniki dodatkowych badań przedstawiono na rysunku 10.11 i 10.12.



Rysunek 10.11. Wyniki badań odporności na pękanie K_{IC} badanych betonów asfaltowych, głębokość nacięcia $a=10\text{mm}$



Rysunek 10.12. Całka J_c badanych betonów asfaltowych

9.2.4. Analiza wyników badań

Na podstawie przeprowadzonych badań odporności na pękanie można stwierdzić, że:

1. W temperaturze -20°C odporność na pękanie mierzona współczynnikiem intensywności naprężeń K_{IC} jest nieznacznie wyższa dla mieszanek zawierających włókna FORTA-FI, co jest efektem pozytywnym.
2. Odporność na pękanie mierzona poprzez całkę J była wyraźnie wyższa dla mieszanek zawierających włókna FORTA-FI w porównaniu z mieszankami bez włókien. Całka J pozwala uwzględnić oprócz maksymalnej siły przy pęknięciu również odkształcenie w momencie zniszczenia próbki. Z punktu widzenia pracy nawierzchni asfaltowych jest to ocena bardziej miarodajna.

- Większa wartość całki J oznacza, że należy włożyć więcej energii odkształcenia, aby powstało spękanie o jednostkowej powierzchni.
3. Największy wzrost całki J występował w przypadku dodania włókien do mieszanki betonu asfaltowego do warstwy ściernic AC 11 S z asfaltem 50/70 oraz betonem asfaltowym do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60. Wzrost ten był mniejszy dla mieszanki do warstwy wiążącej AC 16 W z asfaltem 35/50, przy czym wartość bezwzględna całki J dla próbek z asfaltem 35/50 i dodatkiem włókien FORTA-FI była większa, niż próbek z asfaltem modyfikowanym PmB 25/55-60.
 4. Przeprowadzone badania na dodatkowych próbkach mieszanki do warstwy wiążącej, którą wytwarzano w sposób odmienny od zalecanego przez producenta (tj. dodawanie włókien do mieszanki po wymieszaniu z asfaltem) pokazały, że sposób dozowania włókien ma wpływ na odporność na pękanie mierzoną całką J . W każdym przypadku wartość całki J dla dodatkowych próbek była większa od wartości całki J dla mieszanek, gdzie włókna do mieszanek dozowano przed dodaniem asfaltu.

10. BADANIE MODUŁU DYNAMICZNEGO W AMPT/SPT

10.1. Metodyka badań modułu dynamicznego

Badanie modułu dynamicznego wykonano w oparciu o propozycję wytycznych amerykańskich NCHRP 9-29: PP 02 zamieszczoną w raporcie badawczym NCHRP Report 614. Jest ona poprawioną oraz uproszczoną wersją badania modułu dynamicznego w oparciu o normę AASHTO TP62.

Badanie wykonywano na próbkach walcowych o średnicy 100 mm i wysokości 150 mm, które zostały zagęszczone w prasie żyratorowej. Przed badaniem górna i dolna powierzchnia próbek została precyzyjnie docięta w celu uzyskania dwóch płaskich i równoległych płaszczyzn.

Badanie modułu dynamicznego polegało na osiowym obciążaniu próbki walcowej siłą pionową o przebiegu sinusoidalnym o zadanych częstotliwościach oraz pomiarze odkształceń mierzonych przy pomocy 3 czujników przemieszczenia LVDT zamontowanych na poboczniczy próbki walcowej w rozstawie co 120°. Widok urządzenia oraz sposób zamontowania próbki w urządzeniu przedstawiono na rysunku 10.1.



Rysunek 10.1. Widok urządzenia oraz sposób zamontowania próbki

Wartościami mierzonymi w badaniu były: dynamiczny moduł sztywności oraz kąt przesunięcia fazowego. Częstotliwości obciążenia, które były zadawane przez urządzenie wynosiły: 25 Hz, 20 Hz, 10 Hz, 5 Hz, 2 Hz, 1 Hz, 0,5 Hz, 0,2 Hz, 0,1 Hz, 0,01 Hz. Przebieg badania polegał na tym, że próbkę umieszczano w przezroczystej, podnoszonej komorze, w której utrzymywana była stała wartość temperatury badania. Następnie próbka była obciążana osiowo przez siłownik. Pomiar dynamicznego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego wykonywany był w 3 temperaturach zgodnie z wytycznymi amerykańskimi: +4°C; +20°C, +40°C w pełnym zakresie częstotliwości od 25 Hz do 0,01 Hz. Zgodnie z wytycznymi badanie w częstotliwości 0,01 Hz wykonano tylko dla najwyższej temperatury. Dla każdej temperatury przebadano po 3 próbki walcowe.

Badania dynamicznego modułu sztywności wykonywano w celu uzyskania charakterystyki mieszanek mineralno-asfaltowych w postaci krzywych wiodących. Badania wykonano w ograniczonym zakresie, tylko dla jednej mieszanki tj. AC 11 S z asfaltem 50/70.

10.2. Wyniki badań modułu dynamicznego

Wyniki badań dynamicznego modułu sztywności dla mieszanek AC 11 S przedstawiono w tabelicy 10.1. Kąty przesunięcia fazowego dla badanych mieszanek przedstawiono w tabelicy 10.2. Wyniki badań przedstawiono jako wartości średnie modułów oraz kątów przesunięcia fazowego, wraz ze współczynnikami zmienności.

Tablica 10.1. Wartości średnie modułów sztywności dla poszczególnych typów mieszanek

Temp. [°C]	Mieszanka	Częstotliwość badania f, Hz									
		25	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,01
4,0	AC 11S FF	18469	18176	17085	15953	14375	13178	11952	10511	9330	nb
	wsk. zm [%]	7,13	7,03	6,90	6,52	6,25	5,95	5,53	5,97	5,13	nb
	AC 11S	20163	19768	18483	17170	15385	13997	12580	10723	9348	nb
	wsk. zm [%]	5,11	5,14	5,19	5,05	4,80	4,57	4,23	3,50	2,75	nb
20,0	AC 11S FF	8872	8551	7338	6179	4775	3833	2998	2096	1546	nb
	wsk. zm [%]	3,43	3,65	4,02	4,29	4,16	3,80	3,44	4,46	4,91	nb
	AC 11S	8965	8631	7359	6159	4730	3794	2974	2062	1513	nb
	wsk. zm [%]	3,40	3,72	4,23	4,18	4,08	3,87	3,84	3,78	3,71	nb
40,0	AC 11S FF	1525	1376	948	634	368	251	176	117	90	47
	wsk. zm [%]	7,36	8,20	9,56	10,79	12,04	12,59	13,02	14,29	14,45	9,09
	AC 11S	1897	1743	1235	856	510	355	255	174	136	84
	wsk. zm [%]	2,01	2,27	2,18	0,89	1,83	1,70	2,46	3,83	5,11	2,45

nb – nie badano

Tablica 10.2. Wartości średnie kątów przesunięcia fazowego dla poszczególnych typów mieszanek

Temp. [°C]	Mieszanka	Częstotliwość badania f, Hz									
		25	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,01
4,0	AC 11S FF	8,04	8,35	9,35	10,42	12,03	13,38	14,94	16,97	18,81	nb
	wsk. zm [%]	3,65	2,87	2,80	2,70	2,58	2,69	2,84	0,93	0,65	nb
	AC 11S	8,15	8,53	9,54	10,62	12,21	13,60	15,17	17,55	19,62	nb
	wsk. zm [%]	0,55	1,05	0,90	0,68	0,54	0,85	1,18	1,67	1,63	nb
20,0	AC 11S FF	21,23	21,71	24,02	26,32	29,36	31,43	33,50	34,87	35,34	nb
	wsk. zm [%]	2,03	1,85	2,07	2,15	2,19	2,04	1,74	1,78	1,90	nb
	AC 11S	21,24	21,86	24,18	26,47	29,52	31,57	33,30	35,11	35,71	nb
	wsk. zm [%]	1,14	0,63	0,74	0,84	1,01	1,20	1,35	1,57	1,60	nb
40,0	AC 11S FF	42,69	41,64	41,52	41,23	40,36	38,61	36,34	32,77	29,72	20,33
	wsk. zm [%]	1,87	1,49	1,97	2,78	3,25	3,19	3,11	2,90	3,49	0,84
	AC 11S	41,31	40,02	39,80	39,26	38,32	36,61	34,37	30,98	28,05	18,83
	wsk. zm [%]	1,37	1,31	1,00	1,45	0,89	1,05	1,49	2,55	3,31	3,45

nb – nie badano

Do wyznaczenia równania krzywej wiodącej (ang. Master Curve) dla dynamicznego modułu sztywności skorzystano z finalnej wersji wzoru podanej w punkcie 10.1.3 wytycznych NCHRP 9-29: PP 02. Wzór ten ma następującą postać:

$$\log|E^*| = \delta + \frac{(Max - \delta)}{1 + e^{\beta + \gamma \left\{ \log \omega + \frac{\Delta E_a}{19.14714} \left[\left(\frac{1}{T} \right) - \left(\frac{1}{T_r} \right) \right] \right\}}}$$

gdzie:

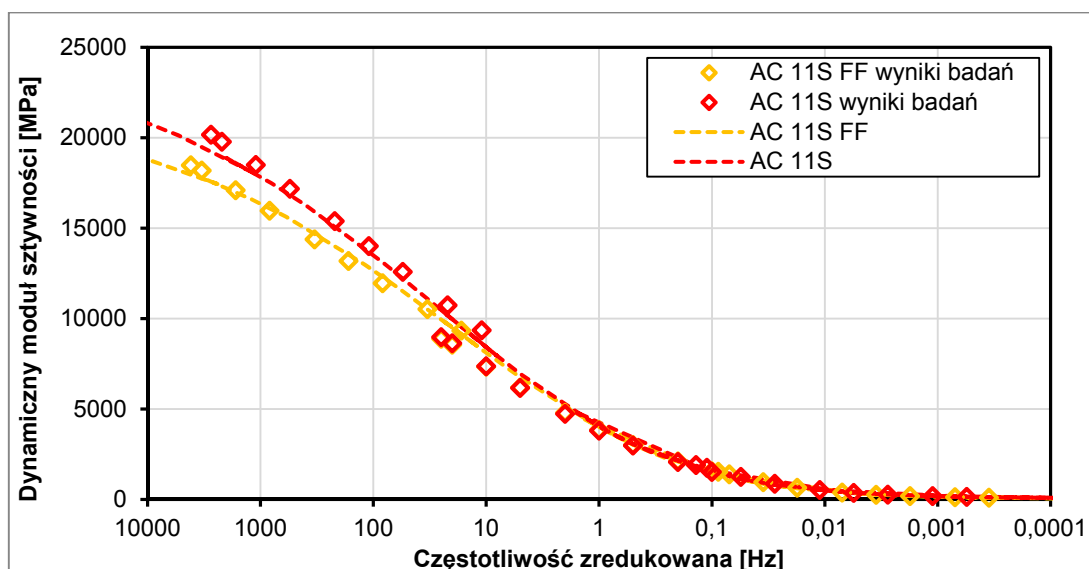
- |E*| - dynamiczny moduł sztywności, psi (1 MPa = 145,0377 psi)
- Max - maksymalny moduł ograniczający krzywą wiodącą, psi
- fr - częstotliwość zredukowana w temperaturze referencyjnej, Hz
- f - częstotliwość obciążenia w temperaturze badania, Hz
- Tr - temperatura referencyjna, K

- T - temperatura badania, K
 ΔE_a - energia aktywacji (traktowana jako parametr dopasowania krzywej),
 δ, β, γ - parametry dopasowania krzywej.

Do wyznaczenia częstotliwości zredukowanej przy wyznaczaniu krzywej wiodącej wykorzystano wzór Arrheniusa podany w punkcie 10.1.2 wytycznych NCHRP 9-29: PP 02. Wzór ma następującą postać:

$$\log f_r = \log f + \frac{\Delta E_a}{19.14714} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right)$$

Do wyznaczenia krzywej wiodącej wykorzystano średnie dynamiczne moduły sztywności uzyskane z badań wykonanych w 3 temperaturach. Jako temperaturę referencyjną wybrano 20°C. Uzyskane krzywe wiodące przedstawiono na rysunku 10.2.



Rysunek 10.2. Krzywe wiodące wyznaczone dla mieszanek typu AC 11S, temperatura referencyjna T=20°C

10.3. Analiza wyników badań modułu dynamicznego

Uzyskane w badaniu wyniki modułu sztywności dla większości zredukowanych częstotliwości są do siebie bardzo zbliżone. Różnice widoczne są wyłącznie w zakresie zredukowanych częstotliwości od 100 do 10000 Hz, co odpowiada właściwościom mieszanek w niskich temperaturach. Mieszanka AC 11S FF uzyskała nieco niższe wartości modułu sztywności, co jest korzystniejsze z punktu widzenia spękań niskotemperaturowych. Jednak sama różnica nie jest zbyt wysoka i wynosi około 1 500 MPa.

Analiza krzywej wiodącej nie wykazała wpływu dodatku włókien na właściwości mieszanki w zakresie zredukowanych częstotliwości od 0,0001 do 100 Hz, co odpowiada właściwościom w wysokich temperaturach.

11. WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych badań wybranych cech betonów asfaltowych z dodatkiem i bez włókien FORTA-FI, spełniających polskie wymagania techniczne WT-2 2014 można sformułować następujące wnioski:

1. Dodatek włókien aramidowych FORTA-FI do betonów asfaltowych polepsza ich właściwości eksploatacyjne; przede wszystkim odporność na spękania niskotemperaturowe. Zwiększone polepszenie właściwości obserwuje się w betonach asfaltowych z dodatkiem niemodyfikowanych i miększych asfaltów w odniesieniu do polimeroasfaltów i twardszych asfaltów.
2. Dodatek włókien FORTA-FI nie powoduje problemów w projektowaniu i wytwarzaniu mieszanek mineralno-asfaltowych w warunkach laboratoryjnych. Wytwarzanie mieszanek z dodatkiem włókien FORTA-FI na wytwórni mieszanek bitumicznych nie było przedmiotem sprawdzenia w ramach niniejszego programu badań.
3. Dodatek włókien FORTA-FI nie zmienił istotnie sztywności sprężystej w zakresie temperatur od 0° do 25°C, jak i nie zmienił istotnie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonów asfaltowych w zakresie temperatur -20°C do 20°C. Warto jednak podkreślić, że dodatek włókien w betonach asfaltowych o wskaźniku zagęszczenia około 98% (próbek wykorzystywanych w badaniu odporności na działanie wody i mrozu) w każdym przypadku zwiększał wytrzymałość na pośrednie rozciąganie w temperaturze +25°C o 5-12%.
4. Dodatek włókien FORTA-FI do betonów asfaltowych z asfaltami drogowymi niemodyfikowanymi zdecydowanie poprawiał wskaźniki wytrzymałości w badaniach odporności betonów asfaltowych na działanie wody i mrozu. Natomiast w przypadku asfaltu modyfikowanego już takiego efektu nie zaobserwowano.
5. Zaobserwowano pewną poprawę odporności na deformacje trwałe w badaniu koleinowania betonów asfaltowych z dodatkiem włókien FORTA-FI, zaś na pewno dodatek włókien nie wpływa negatywnie na niniejsze charakterystyki. Nie w każdym przypadku w badanych mieszankach obserwowany wpływ poprawy odporności na koleinowanie był istotny. Poprawa odporności na koleinowanie nie jest zależna od rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej. Zagadnienie to należy uznać za wymagające dalszych badań (może w innym schemacie) w celu dokładniejszego wyjaśnienia zjawiska.
6. Dodatek włókien FORTA-FI do betonów asfaltowych jednoznacznie poprawia odporność na spękania niskotemperaturowe. W każdym przypadku w odniesieniu do betonów asfaltowych bez dodatku włókien uzyskano zwiększenie wytrzymałości na zginanie, zwiększenie odkształcenia granicznego podczas zginania oraz zmniejszenie modułu sztywności w temperaturze -20°C, co wskazuje na wyższą odporność betonów asfaltowych z dodatkiem włókien na niskie temperatury. W każdym przypadku osiągnięto też mniejsze wskaźniki usztywnienia betonów asfaltowych z dodatkiem włókien FORTA-FI mierzone w temperaturze +10°C i -20°C.

7. Zwiększona odporność na pękanie w niskich temperaturach betonów asfaltowych z dodatkiem włókien FORTA-FI została jednoznacznie potwierdzona w badaniach mechaniki pęknięcia w temperaturze -20°C . Wszystkie badane betony asfaltowe z dodatkiem włókien charakteryzowały się większą energią pęknięcia w stosunku do betonów asfaltowych bez włókien. Ten sam trend zaobserwowano podczas oceny współczynnika intensywności naprężeń, ale już nie tak istotnie wyraźnie.
8. Badanie modułu dynamicznego (E^*) betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej z dodatkiem włókien potwierdziło potencjał polepszenia właściwości betonu asfaltowego w niskich temperaturach, jak i brak różnic w wysokich temperaturowych badanych betonów asfaltowych.
9. Ograniczone (wstępne) badania wpływu innego sposobu dozowania włókien FORTA-FI do betonów asfaltowych (tj. po dodaniu asfaltu do mieszanki) pokazały jego pozytywny wpływ na właściwości mechaniczne i eksploatacyjne. Korzystniejsze wyniki odporności niskotemperaturowej mierzonej energią pęknięcia osiągnęto dla próbek wytworzonych przy zastosowaniu innego sposobu dozowania włókien. Zagadnienie to wymaga jednak dalszych badań.
10. W przeprowadzonych badaniach zaobserwowano zwiększony potencjał włókien we właściwościach przeciwpękaniowych, dlatego należy dalej poszukiwać korzyści w badaniach zmęczeniowych betonów asfaltowych, które mogą w większym stopniu uwypuklić korzyści dodatku włókien FORTA-FI.
11. Podsumowując, przeprowadzone badania pokazały pozytywny potencjał zastosowania włókien FORTA-FI głównie w obszarze odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na spękania niskotemperaturowe. Jest to bardzo ważny aspekt w polskich warunkach budowy i eksploatacji nawierzchni. Innym obszarem, w którym mogłyby się uwidocznić korzyści z zastosowania włókien FORTA-FI jest zagadnienie trwałości zmęczeniowej betonów asfaltowych i jej wpływu na trwałość całej konstrukcji nawierzchni, które jednakże z uwagi na swoją obszerność nie było analizowane w niniejszym programie badań.

ZAŁĄCZNIK 1. Szczegółowe wyniki badań odporności na pękanie

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

Rodzaj mm-a	Głębokość nacięcia [mm]	Nr próbki	F _{max} [N]	średnia F _{max} [N]	δ [mm]	średnia δ [mm]	ε _{max} [%]	średnia ε _{max} [%]	σ ₀ [N/mm ²]	średnia σ ₀ [N/mm ²]	K _{Ic} [N/mm ^{3/2}]	średnia K _{Ic} [N/mm ^{3/2}]	U	średnia U	dU/da	całka J
AC 11 S 50/70 FF	10	424/13	9888	9699	0,29	0,33	0,4	0,4	1,3	1,3	35,3	34,7	1547,77	1648,8	-51,05	1,02
		424/14	8935		0,26		0,3		1,2		31,9		1246,28			
		424/15	10084		0,37		0,5		1,3		36,0		1980,65			
		424/16	9890		0,40		0,5		1,3		35,3		1820,36			
	20	424/17	7411	7645	0,26	0,25	0,4	0,3	1,0	1,0	38,1	39,3	1054,83	1049,0		
		424/18	8178		0,27		0,4		1,1		42,1		1170,99			
		424/19	7796		0,23		0,3		1,0		40,1		994,07			
		424/20	7194		0,24		0,3		1,0		37,0		975,95			
	30	424/21	4647	5097	0,21	0,23	0,3	0,3	0,6	0,7	32,2	35,3	543,13	627,8		
		424/22	4887		0,23		0,3		0,7		33,8		453,16			
		424/23	6041		0,27		0,4		0,8		41,8		938,15			
		424/24	4812		0,22		0,3		0,6		33,3		576,59			
AC 11 S 50/70	10	423/13	8356	9082	0,30	0,29	0,4	0,4	1,1	1,2	29,9	32,4	1492,89	1482,8	-38,24	0,76
		423/14	9380		0,23		0,3		1,3		33,5		1238,58			
		423/15	8844		0,33		0,4		1,2		31,6		1598,95			
		423/16	9748		0,30		0,4		1,3		34,8		1600,64			
	20	423/17	7708	7562	0,23	0,27	0,3	0,4	1,0	1,0	39,7	38,9	1020,65	1118,3		
		423/18	7468		0,33		0,4		1,0		38,4		1325,01			
		423/19	7583		0,28		0,4		1,0		39,0		1156,31			
		423/20	7487		0,22		0,3		1,0		38,5		971,20			
	30	423/21	4906	5005	0,22	0,25	0,3	0,3	0,7	0,7	34,0	34,7	609,05	718,1		
		423/22	5728		0,21		0,3		0,8		39,7		799,21			
		423/23	4125		0,31		0,4		0,6		28,6		709,22			
		423/24	5260		0,25		0,3		0,7		36,4		754,81			

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

Rodzaj mm-a	Głębokość nacięcia [mm]	Nr próbki	F _{max} [N]	średnia F _{max} [N]	δ [mm]	średnia δ [mm]	ε _{max} [%]	średnia ε _{max} [%]	σ ₀ [N/mm ²]	średnia σ ₀ [N/mm ²]	K _{Ic} [N/mm ^{3/2}]	średnia K _{Ic} [N/mm ^{3/2}]	U	średnia U	dU/da	całka J
AC 16 W 35/50 FF	10	413/13	7473	8154	0,12	0,18	0,2	0,2	1,0	1,1	26,7	29,1	529,59	814,6	-19,73	0,39
		413/14	8657		0,22		0,3		1,2		30,9		1018,92			
		413/15	8495		0,23		0,3		1,1		30,4		1064,84			
		413/16	7991		0,15		0,2		1,1		28,5		645,10			
	20	413/17	6695	6299	0,13	0,17	0,2	0,2	0,9	0,8	34,5	32,4	505,30	563,7		
		413/18	5650		0,21		0,3		0,8		29,1		501,49			
		413/19	6778		0,20		0,3		0,9		34,9		740,54			
		413/20	6072		0,15		0,2		0,8		31,2		507,65			
	30	413/21	3821	4001	0,15	0,17	0,2	0,2	0,5	0,5	26,5	27,7	317,89	420,0		
		413/22	3702		0,14		0,2		0,5		25,6		287,26			
		413/23	4464		0,21		0,3		0,6		30,9		673,77			
		413/24	4017		0,18		0,2		0,5		27,8		401,08			
AC 16 W 35/50	10	414/13	-	7247	-	0,18	-	0,2	-	1,0	-	25,9	-	698,8	-14,63	0,29
		414/14	-		-		-		-		-		-			
		414/15	6843		0,21		0,3		0,9		24,4		783,82			
		414/16	7650		0,15		0,2		1,0		27,3		613,72			
	20	414/17	6368	5879	0,17	0,16	0,2	0,2	0,8	0,8	32,8	30,3	722,39	546,1		
		414/18	5688		0,18		0,2		0,8		29,3		573,46			
		414/19	5543		0,15		0,2		0,7		28,5		439,74			
		414/20	5915		0,13		0,2		0,8		30,4		448,86			
	30	414/21	3758	3367	0,30	0,20	0,4	0,3	0,5	0,4	26,0	23,3	592,06	406,2		
		414/22	-		-		-		-		-		-			
		414/23	3418		0,14		0,2		0,5		23,7		300,43			
		414/24	2926		0,17		0,2		0,4		20,3		326,07			

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

Rodzaj mm-a	Głębokość nacięcia [mm]	Nr próbki	F _{max} [N]	średnia F _{max} [N]	δ [mm]	średnia δ [mm]	ε _{max} [%]	średnia ε _{max} [%]	σ ₀ [N/mm ²]	średnia σ ₀ [N/mm ²]	K _{Ic} [N/mm ^{3/2}]	średnia K _{Ic} [N/mm ^{3/2}]	U	średnia U	dU/da	całka J
AC 16 W 25/55-60 FF	10	418/13	8323	8597	0,21	0,22	0,3	0,3	1,1	1,1	29,7	30,7	1055,52	1095,7	-34,58	0,69
		418/14	9157		0,20		0,3		1,2		32,7		1065,94			
		418/15	8312		0,26		0,3		1,1		29,7		1165,63			
		418/16	-		-		-		-		-					
	20	418/17	5606	6193	0,18	0,19	0,2	0,3	0,7	0,8	28,8	31,9	546,58	657,7		
		418/18	-		-		-		-		-		-			
		418/19	6780		0,21		0,3		0,9		34,9		768,76			
		418/20	-		-		-		-		-		-			
	30	418/21	4301	4307	0,11	0,16	0,1	0,2	0,6	0,6	29,8	29,8	303,93	404,0		
		418/22	4635		0,19		0,3		0,6		32,1		518,53			
		418/23	3608		0,18		0,2		0,5		25,0		379,63			
		418/24	4685		0,15		0,2		0,6		32,4		414,05			
AC 16 W 25/55-60	10	419/13	8047	8403	0,11	0,14	0,1	0,2	1,1	1,1	28,7	30,0	481,02	663,8	-12,60	0,25
		419/14	8488		0,15		0,2		1,1		30,3		685,25			
		419/15	8432		0,14		0,2		1,1		30,1		678,96			
		419/16	8645		0,17		0,2		1,2		30,9		810,00			
	20	419/17	6079	6268	0,17	0,17	0,2	0,2	0,8	0,8	31,3	32,3	533,57	587,9		
		419/18	6274		0,15		0,2		0,8		32,3		546,57			
		419/19	6212		0,15		0,2		0,8		32,0		490,47			
		419/20	6507		0,22		0,3		0,9		33,5		781,03			
	30	419/21	4320	4449	0,16	0,16	0,2	0,2	0,6	0,6	29,9	30,8	402,31	411,9		
		419/22	4800		0,19		0,3		0,6		33,2		516,36			
		419/23	4319		0,14		0,2		0,6		29,9		357,11			
		419/24	4358		0,16		0,2		0,6		30,2		371,63			

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

Rodzaj mm-a	Głębokość nacięcia [mm]	Nr próbki	F _{max} [N]	średnia F _{max} [N]	δ [mm]	średnia δ [mm]	ε _{max} [%]	średnia ε _{max} [%]	σ ₀ [N/mm ²]	średnia σ ₀ [N/mm ²]	K _{Ic} [N/mm ^{3/2}]	średnia K _{Ic} [N/mm ^{3/2}]	U	średnia U	dU/da	całka J
AC 16 W 35/50 FF 2	10	505-1	6559	7399	0,18	0,19	0,2	0,3	0,9	1,0	23,4	26,4	647,66	851,2	-21,59	0,43
		505-2	7636		0,25		0,3		1,0		27,3		1239,35			
		505-3	8003		0,15		0,2		1,1		28,6		666,58			
		505-4	-		-		-		-		-		-			
	20	505-5	6609	5573	0,23	0,19	0,3	0,3	0,9	0,7	34,0	28,7	782,35	738,4		
		505-6	4460		0,16		0,2		0,6		23,0		341,68			
		505-7	5650		0,19		0,3		0,8		29,1		613,16			
		505-8	-		-		-		-		-		1216,53			
	30	505-9	3974	3999	0,14	0,19	0,2	0,3	0,5	0,5	27,5	27,7	325,57	419,4		
		505-10	3943		0,20		0,3		0,5		27,3		449,32			
		505-11	4245		0,19		0,3		0,6		29,4		432,01			
		505-12	3834		0,23		0,3		0,5		26,5		470,66			
AC 16 W 25/55-60 FF 2	10	504-1	9211	8386	0,36	0,32	0,5	0,4	1,2	1,1	32,9	30,6	1852,67	1491,4		
		504-2	8027		0,24		0,3		1,1		28,7		1091,14			
		504-3	8430		0,41		0,6		1,1		30,1		1906,93			
		504-4	7875		0,26		0,4		1,1		-		1114,76			
	20	504-5	5921	6385	0,24	0,20	0,3	0,3	0,8	0,9	30,5	32,9	786,97	746,1		
		504-6	-		-		-		-		-		-			
		504-7	7005		0,20		0,3		0,9		36,0		863,19			
		504-8	6230		0,16		0,2		0,8		32,1		588,06			
	30	504-9	-	4326	-	0,15	-	0,2	-	0,6	-	30,0	-	409,8		
		504-10	4723		0,17		0,2		0,6		32,7		492,31			
		504-11	4011		0,16		0,2		0,5		27,8		387,77			
		504-12	4244		0,13		0,2		0,6		29,4		349,36			

ZAŁĄCZNIK 2. Recepty zastosowane w rozszerzonych badaniach odporności na deformacje trwałe

RECEPTA MIESZANKI MINERALNO - ASFALTOWEJ

BADANIE TYPU

104/15/WAW-01

WALIDACJA LABORATORYJNA

<i>Data opracowania:</i>	16.06.2015
<i>Typ mieszanki:</i>	AC 11 S 50/70
<i>Przeznaczenie:</i>	warstwa ścieralna KR 3 - 4
<i>Norma / specyfikacja:</i>	PN-EN 13108-1 WT-2 2014 r
<i>Wytwórnia:</i>	

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

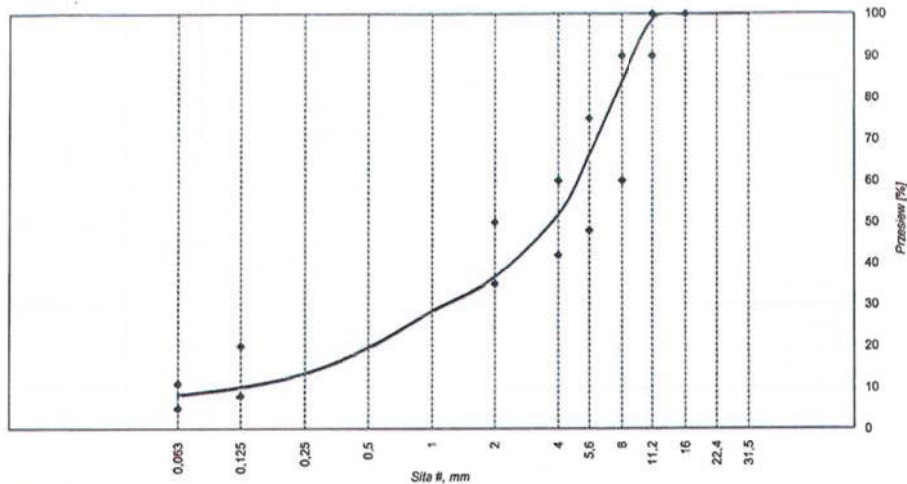
I. Składniki mieszanki mineralno - asfaltowej					
L.p.	Rodzaj materiału	Frakcja	Pochodzenie	Nr orzeczenia / sprawozdania	Gęstość, Mg/m ³
1.	Kruszywo drobne łamane	0/2	Byczeń	RP11/WAW-03/B/2016	2,65
2.	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu	0/5	Nasławice	RP17/WAW-03/B/2016	2,68
3.	Kruszywo grube łamane	2/5	SKN	RP16/WAW-03/B/2016	2,80
4.	Kruszywo grube łamane	4/8	SKN	RP15/WAW-03/B/2016	2,78
5.	Kruszywo grube łamane	8/11	SKN	RP14/WAW-03/B/2016	2,75
6.					
7.					
8.					
9.					
10.	Mączka wapienna		Trzuskawica	RP18/WAW-03/B/2016	2,70
L.p.	Lepiszczce		Rodzaj	Nr orzeczenia / sprawozdania	Gęstość, Mg/m ³
11.	Asfalt drogowy		50/70	Karta charak.	1,03
12.	Asfalt drogowy - odzyskany z granulatu		-	-	-
L.p.	Dodatki		Producent	Nr orzeczenia / sprawozdania	Gęstość, Mg/m ³
13.	Wetfix BE		Akzo Nobel	RT/2009-03-0012	0,88 + 0,98
14.					
15.					
Granulowany destruk asfaltowy					
L.p.	Właściwość		Nr orzeczenia / sprawozdania	Wynik	Jednostka
16.	Zawartość lepiszcza		-	-	%
17.	Penetracja odzyskanego lepiszcza		-	-	0,1 mm
18.	Temperatura mięknięcia odzyskanego lepiszcza		-	-	°C

II. Skład mieszanki mineralnej (PN-EN 12697-2; PN-EN 933-1, PN-EN 933-10)														
sila # [mm]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	mieszanka mineralna		punkty graniczne	
											odsetek [%]	przekrój [%]	dolne [%]	górne [%]
31,5												100		
22,4												100		
16												100	100	
11,2					8,6							1,4	99	90 100
8	0,1	0,1		4,8	84,6							14,7	84	60 90
5,6	1,1	6,6	1,3	60,9	6,2							17,6	66	48 75
4	0,3	11,6	25,8	29,9	0,2							14,4	52	42 60
2	4,6	14,2	62,0	4,3	0,1							16,2	37	35 50
1	25,4	14,5	9,0									8,2	28	
0,5	36,7	16,1	1,3									8,8	20	
0,25	22,0	13,6	0,2									6,2	14	
0,125	7,1	9,5										3,3	10	5 20
0,063	1,2	4,9								7,0		1,9	8,3	5 11
< 0,063	1,3	8,9	0,4	0,1	0,3					93,0		8,3	-	
% odpylenia	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0									
Udział [%]	12	25	16	24	16					7				
Razem	100	100	100	100	100,0					100				

Badania zostały wykonane zgodnie z PN-EN 13108-20 zał. B1

Strona: 2 / 4

III. Krzywa uziarnienia



IV. Właściwości mieszanki mineralnej

Lp.	Właściwości	Jednostka	Wartość	Wymagania
1.	Zawartość frakcji > 2,0 mm	%	63,3	-
2.	Zawartość frakcji < 0,063 mm	%	8,3	-
3.	Gęstość, ρ_a , EN 1097-6	kg/m ³	2,723	-
4.	Gęstość objętościowa, $\rho_{0,5}$	kg/m ³	2,264	-
5.	Wolna przestrzeń, VMA, PN-EN 12697-8, p.5	%	16,9	≥14

V. Warunki zagęszczania próbek Marshalla (PN-EN 12697-30)

Lp.	Parametr	Wartość
1.	Temperatura zagęszczania próbek	135 ±5 [°C]
2.	Energia zagęszczania próbek do badania gęstości objętościowej	2 x 75 uderzeń
3.	Sposób przygotowania próbek	mieszanie mechaniczne labor.

VI. Właściwości fizyczne i mechaniczne mieszanki mineralno - asfaltowej

Lp.	Właściwości	Jednostka	Wartość
1.	Całkowita zawartość asfaltu, B	%	5,6
2.	Zawartość asfaltu w granulacie	%	-
3.	Gęstość, ρ_{mv} (met A w H ₂ O), PN-EN12697-5	Mg/m ³	2,493
4.	Gęstość objętościowa, ρ_b , PN-EN12697-6	Mg/m ³	2,398
5.	Wolna przestrzeń, V_m , PN-EN 12697-8,	%	3,8
6.	Wypełnienie wolnej przestrzeni, VFB, PN-EN 12697-8,	%	77,3

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

VII. Właściwości fizyczne i mechaniczne mieszanki mineralno - asfaltowej				
Lp	Właściwości	Jednostka	Wartość	Wymagania
1	Współczynnik korekcyjny α do min. ilości asfaltu	-	0,973	-
2	Zawartość asfaltu rozpuszczalnego S = B-B _n	%	5,38	5,6
3	Poprawka na asfalt nierozpuszczalny** B _n	%	0,22	-
4	Gęstość, ρ_{mv} (met. A w H ₂ O), PN-EN12697-5	Mg/m ³	2,493	-
5	Gęstość objętościowa, ρ_b , PN-EN12697-6	Mg/m ³	2,398	-
6	Wolna przestrzeń, V _m , PN-EN 12697-8	%	3,8	2-4
7	Splywność lepiszcza, D, PN-EN 12697-18	%	-	-
8	Ubytek ziaren, PL, PN-EN 12697-17, temp. 25 °C	%	-	-
9	Wypełnienie wolnej przestrzeni, VFB, PN-EN 12697-8, p.5	%	77,3	-
10	Szttywność, S, PN-EN 12697-26, 4PB-PR, temperatura 10 °C, częstotliwość 10 Hz	MPa	-	-
11	Odporność na zmęczenie, ϵ , PN-EN 12697-24, 4PB-PR, temperatura 10 °C, częstotliwość 10 Hz	-	-	-
12	Odporność na deformację trwałą, PN-EN 13108-20, PN-EN 12697-20, typ próbki C	-	-	-
12	- penetracja I	mm	-	-
12	- penetracja Inc	mm	-	-
13	Odporność na działanie wody, ITSR, PN-EN 12697-12, kondycja 40 °C, 1 cykl zamrażania, badanie 25 °C	%	92	90
14	Odporność na deformację trwałą (duży aparat), P, PN-12697-22, D.1.6, 60 °C, 10 000 cykli	%	-	-
15	Współczynnik luminancji zgodnie z załącznikiem 4 wg WT 2014	Q ₀	-	-
16	Odporność na spękanie niskotemperaturowe 12697-46, pkt 8.2	°C	-	-
17	Odporność na deformację trwałą (mały aparat), PN-12697-22, metoda B w powietrzu, D.1.6, 60 °C, 10 000 cykli, grubość płyty 60 mm	-	-	-
17	- nachylenie wykresu śladu koła WTS _{AIR}	mm/10 ³ cykli	0,09	0,15
17	- procentowa głębokość koleiny PRD _{AIR}	%	6,8	9,0

** wartość jest wynikiem $B_n=0,014F + 0,1$ [%/(m/m)] gdzie F - zawartość ziaren mniejszych od 0,063 mm w mieszance mineralnej w % (m/m) dla mieszanek typu AC, SMA, BBTM, PA

** wartość jest wynikiem $B_n=0,007F + 0,1$ [%/(m/m)] gdzie F - zawartość ziaren mniejszych od 0,063 mm w mieszance mineralnej w % (m/m) dla asfaltu linowego (MA)

VIII. Skład mieszanki mineralno - asfaltowej					
Lp.	Rodzaj materiału	Frakcja	Pochodzenie / Producent / Rodzaj	Zawartość składników w MM [%]	Zawartość składników w MMA [%]
1.	Kruszywo drobne łamane	0/2	Byczeń	12,0	11,3
2.	Kruszywo o ciętym uziarnieniu	0/5	Nasławice	25,0	23,6
3.	Kruszywo grube łamane	2/5	SKN	16,0	15,1
4.	Kruszywo grube łamane	4/8	SKN	24,0	22,7
5.	Kruszywo grube łamane	8/11	SKN	16,0	15,1
6.	-	-	-	-	-
7.	-	-	-	-	-
8.	-	-	-	-	-
9.	-	-	-	-	-
10.	Mączka wapienna	-	Trzuskawica	7,0	6,6
11.	Asfalt drogowy	-	50/70	-	5,6
12.	Wetfix BE	-	Akzo Nobel	w stos. do asfaltu	0,3
13.	-	-	-	-	-

RECEPTA MIESZANKI MINERALNO - ASFALTOWEJ

BADANIE TYPU

NR 35/13/WAW-01

WALIDACJA LABORATORYJNA

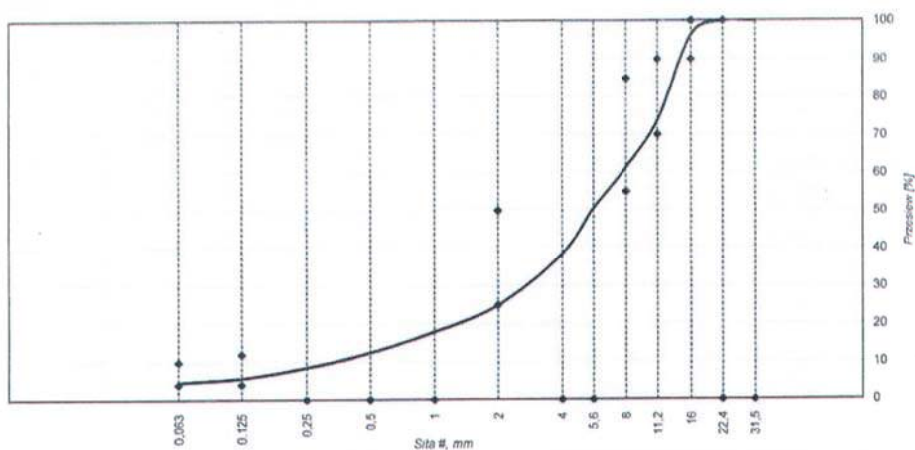
<i>Data opracowania:</i>	<i>24.05.2013</i>
<i>Typ mieszanki:</i>	<i>AC 16 W 35/50</i>
<i>Przeznaczenie:</i>	<i>warstwa wiążąca KR 3-6</i>
<i>Norma / specyfikacja:</i>	<i>PN-EN 13108-1 WT-2 2010 r.</i>
<i>Wytwórnia:</i>	

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

I. Składniki mieszanki mineralno - asfaltowej					
L.p.	Rodzaj materiału	Fracja	Pochodzenie	Nr orzeczenia / sprawozdania	Gęstość, Mg/m ³
1.	Kruszywo drobne łamane	0/2	Byczeń	MM 049/13	2,65
2.	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu	0/5	Nasławice	MM 061/13	2,65
3.	Kruszywo grube łamane	2/8	Truskawica	MM 005/13	2,70
4.	Kruszywo grube łamane	8/16	Truskawica	MM 022/13	2,71
5.	Kruszywo grube łamane	11/16	DSS	MM 066/13	2,87
6.					
7.					
8.	Granulat Asfaltowy	0/8	OBI Warszawa	MMA 491/13	2,81
9.					
10.	Mączka wapienna		Truskawica	MM 045/13	2,71
L.p.	Lepiszczce	Rodzaj	Nr orzeczenia / sprawozdania	Gęstość, Mg/m ³	
11.	Asfalt drogowy	35/50	Karta charak.		1,03
12.	Asfalt drogowy - odzyskany z granulatu	-	-	-	-
L.p.	Dodatki	Producent	Nr orzeczenia / sprawozdania	Gęstość, Mg/m ³	
13.	Wetfix BE	Akzo Nobel	RT/2009-03-0012	0,88 + 0,98	
14.					
Granulowany destrukcyjny asfaltowy					
L.p.	Właściwość	Nr orzeczenia / sprawozdania	Wynik	Jednostka	
15.	Zawartość lepiszcza	491/13	5,2	%	
16.	Penetracja odzyskanego lepiszcza	351/12	20	0,1 mm	
17.	Temperatura mięknięcia odzyskanego lepiszcza	351/12	64,4	°C	

II. Skład mieszanki mineralnej (PN-EN 12697-2; PN-EN 933-1, PN-EN 933-10)															
sita # [mm]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	mieszanka mineralna		punkty graniczne		
											odtępow (%)	przeciew (%)	dolne (%)	góre (%)	
31,5											100				
22,4											100		100		
16				6,0	11,8						3,6	96	90	100	
11,2				36,7	73,6						22,5	74	70	90	
8			3,1	42,7	12,9			1,9			12,5	61	55	85	
5,6		3,3	30,6	12,1	0,6			9,8			10,9	51			
4		23,9	33,3	1,0	0,1			10,0			12,1	38			
2	9,6	28,8	30,7	0,4				15,5			13,6	25	25	50	
1	32,9	17,4	0,4	0,1	0,1			10,4			7,0	18			
0,5	30,4	9,8	0,3		0,1			9,7			5,5	12			
0,25	16,6	5,0	0,3		0,1			14,3			3,9	8			
0,125	8,0	3,2	0,2		0,1			13,7		4,0	2,8	6	4	12	
0,063	1,9	2,0	0,1		0,2			3,6		6,8	1,1	4,6	4	10	
< 0,063	0,6	6,6	1,0	1,0	0,4			11,1		89,2	4,6	-			
% odpylenia	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0										
Udział [%]	10	14	22	21	20			10		3					
Razem	100	100	100	100	100			100		100					

III. Krzywa uziarnienia



IV. Właściwości mieszanki mineralnej

Lp.	Właściwości	Jednostka	Wartość	Wymagania
1.	Zawartość frakcji > 2,0 mm	%	75,1	-
2.	Zawartość frakcji < 0,063 mm	%	4,6	-
3.	Gęstość, ρ_a , EN 1097-6	kg/m ³	2,715	-
4.	Gęstość objętościowa, ρ_{05}	kg/m ³	2,271	-
5.	Wolna przestrzeń, VMA, PN-EN 12697-8, p.5	%	16,4	-

V. Warunki zagęszczania próbek Marshalla (PN-EN 12697-30)

Lp.	Parametr	Wartość
1.	Temperatura zagęszczania próbek	140 ± 5 [°C]
2.	Energia zagęszczania próbek do badania gęstości objętościowej	2 x 75 uderzeń
3.	Sposób przygotowania próbek	mieszanie mechaniczne labor.

VI. Właściwości fizyczne i mechaniczne mieszanki mineralno - asfaltowej

Lp.	Właściwości	Jednostka	Wartość
1.	Całkowita zawartość asfaltu, B_{ma}	%	4,6
2.	Zawartość asfaltu w granulacie	%	0,52
3.	Gęstość, ρ_{m1} (met A w H ₂ O), PN-EN12697-5	Mg/m ³	2,525
4.	Gęstość objętościowa, ρ_{05} , PN-EN12697-6	Mg/m ³	2,380
5.	Wolna przestrzeń, V_{m1} , PN-EN 12697-8,	%	5,7
6.	Wypełnienie wolnej przestrzeni, VFB, PN-EN 12697-8,	%	64,9

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

VII. Właściwości fizyczne i mechaniczne mieszanki mineralno - asfaltowej				
lp.	Właściwości	Jednostka	Wartość	Wymagania
1	Współczynnik korekcyjny α do min. ilości asfaltu	-	0,976	-
2	Zawartość asfaltu rozpuszczalnego	%	4,44	4,6
3	Poprawka na asfalt nierozpuszczalny**	%	0,16	-
4	Gęstość, ρ_m (met A w H ₂ O), PN-EN12697-5	Mg/m ³	2,525	-
5	Gęstość objętościowa, ρ_b , PN-EN12697-6	Mg/m ³	2,380	-
6	Wolna przestrzeń, V_m , PN-EN 12697-8	%	5,7	4 - 7
7	Splywność lepszcza, D, PN-EN 12697-18	%	-	-
8	Ubytek ziaren, PL, PN-EN 12697-17, temp. 25 °C	%	-	-
9	Wypełnienie wolnej przestrzeni, VFB, PN-EN 12697-8, p.5	%	64,9	-
10	Szywność, S, PN-EN 12697-26, APB-PR, temperatura 10 °C, częstotliwość 10 Hz	MPa	-	-
11	Odporność na zmęczenie, ϵ , PN-EN 12697-24, APB-PR, temperatura 10 °C, częstotliwość 10 Hz	-	-	-
12	Odporność na deformację trwałą, PN-EN 13108-20, PN-EN 12697-20, typ próbki C			
	- penetracja I	mm	-	-
	- penetracja Inc	mm	-	-
13	Odporność na działanie wody, ITSr, PN-EN 12697-12, kondycj. 40 °C, 1 cykl zamrażania, badanie 25 °C	%	89,6	≥ 80
14	Odporność na deformację trwałą (duży aparat), P, PN-12697-22, D.1.6, 60 °C, 10 000 cykli	%	-	-
15	Odporność na deformację trwałą (mały aparat), PN-12697-22, metoda B w powietrzu, D.1.6, 60 °C, 10 000 cykli, grubość płyty 60 mm			
	- nachylenie wykresu śladu koła WTS _{AB}	mm/10 ³ cykli	0,11	≤ 0,15
	- procentowa głębokość koleiny PRD _{AB}	%	5,7	Deklarowane

ratkowita zawartość asfaltu jest wynikiem $B_{min} \times \alpha + 0,3$
 ** wartość jest wynikiem $A_{m2} = 0,014F + 0,1$ [%/(m³m)] gdzie F - zawartość ziaren mniejszych od 0,063 mm w n $\alpha = 2.650 / \rho_b$

VIII. Skład mieszanki mineralno - asfaltowej					
lp.	Rodzaj materiału	Frakcja	Pochodzenie / Producent / Rodzaj	Zawartość składników w MM [%]	Zawartość składników w MMA [%]
1.	Kruszywo drobne łamane	0/2	Byczeń	10,0	9,6
2.	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu	0/5	Naslawice	14,0	13,4
3.	Kruszywo grube łamane	2/8	Trzuskawica	22,0	21,1
4.	Kruszywo grube łamane	8/16	Trzuskawica	21,0	20,1
5.	Kruszywo grube łamane	11/16	DSS	20,0	19,2
6.	-	-	-	-	-
7.	-	-	-	-	-
8.	Granulat Asfaltowy	0/8	OBI Warszawa	10,0	9,6
9.	-	-	-	-	-
10.	Mączka wapienna		Trzuskawica	3,0	2,9
11.	Asfalt drogowy		35/50		4,1
12.	Wetfix BE		Akzo Nobel	w stos. do asfaltu	0,3
13.	-	-	-	-	-

BADANIE TYPU
mieszanki mineralno-asfaltowej (mm-a)

data: **05-04-2012**

numer: **52/NOW/12**

typ mm-a: **AC 11 S PMB 45/80-55**

dokument odniesienia: **PN-EN 13108-1⁽¹⁾**

określenie wymagań: **empiryczne**

producent mm-a:

wytwórnia:

uwagi:

rodzaj walidacji: **PN-EN 13108-20 - walidacja laboratoryjna**
przygotowanie mm-a: **w laboratorium wg. PN-EN 12697-35**
przeznaczenie mm-a: **na warstwy nawierzchni dróg i innych powierzchni obciążonych ruchem, KR 3-6**

I. Składniki mm-a:

kruszywa:

lp.	materiał/rodzaj ⁽²⁾	producent/pochodzenie	nr sprawozdania z badań ⁽³⁾	gęstość [Mg/m ³] ⁽⁴⁾
1	wypełniacz dodany, wapień	LAFARGE - Wapienno	BT-2/KAW/12-02-14/1	2,71
2	kr. drobne 0/2 łamane	General Żwir - Gardyny	BT-1/KAW/12-02-21/1	2,67
3	kr. drobne 0/2 łamane	YEOMAN - Halsvik	BT-1/KAW/12-03-02/1	2,71
4	kr. grube 2/5, granit (gnejs)	YEOMAN - Halsvik	BT-1/KAW/12-02-10/1	2,71
5	kr. grube 5/8, granit (gnejs)	NORDKAM - Oster Pukk og	BT-1/KAW/12-03-02/2	2,72
6	kr. grube 5/11, granit (gnejs)	YEOMAN - Halsvik	BT-1/KAW/12-02-10/3	2,71
7				
8				
9				
10				

lepiszcze:

	rodzaj/typ ⁽²⁾	producent/pochodzenie	nr sprawozdania z badań ⁽³⁾	gęstość [kg/m ³] ⁽⁵⁾
11	PMB 45/80-55	LOTOS Asfalt - Gdańsk	BT-3/KAW/12-01-23/1	1011

dodatki:

	nazwa/typ/rodzaj ⁽²⁾	producent/pochodzenie	dokument odniesienia
12	Wetfix BE, adhezyjny	AKZO Nobel	RT/2009-03-0012
13			
14			
15			

⁽¹⁾ rodzaj badań i wymagania uszczegółowione przez: Wymagania Techniczne - WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2010

⁽²⁾ oznaczenie producenta

⁽³⁾ sprawozdanie z badań wykonanych w ramach kontroli materiałów użytych do badań typu mm-a

⁽⁴⁾ gęstość kruszyw: ρ_a (wg PN-EN 1097-6) lub ρ_f (wg PN-EN 1097-7)

⁽⁵⁾ dla asfaltów jest to średnia gęstość w 25°C podana przez producenta: ρ_B (wg PN-EN 15326)

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

52/NOW/12

AC 11 S PMB 45/80-55

II. Analiza sitowa składników mieszanki mineralnej:

sito # [mm]	przechodzi przez sito [%]									
	numer materiału z listy									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
45,0	100	100	100	100	100	100				
31,5	100	100	100	100	100	100				
22,4	100	100	100	100	100	100				
16,0	100	100	100	100	100	100				
11,2	100	100	100	100	100	91				
8,0	100	100	100	100	90	24				
5,6	100	100	100	92	16	6				
4,0	100	100	100	59	4	4				
2,0	100	96	91	15	2	3				
1,0	100	70	61	6	2	3				
0,5	100	45	40	4	2	3				
0,25	100	17	24	3	2	3				
0,125	97	4	10	3	2	2				
0,063	83,7	1,4	4,0	1,6	0,9	1,7				
założone odpylenie [%]	0	50	50	50	50	50	0	0	0	0

III. Uziarnienie mieszanki mineralnej - wejściowy skład mieszanki:

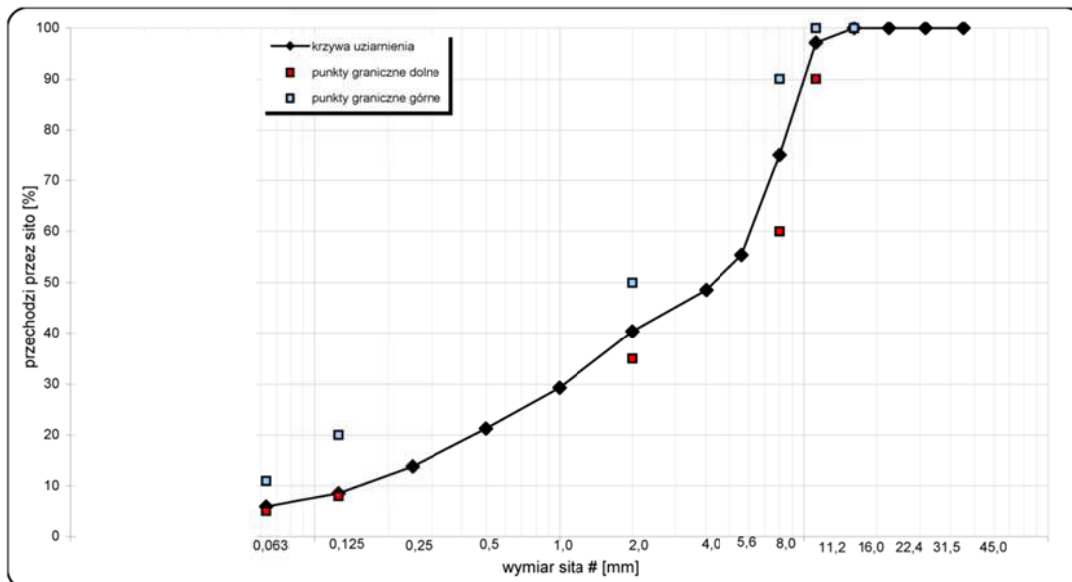
sito # [mm]	odsiew [%]	odsiew skrócony [%]	przesiew [%]	punkty graniczne ⁽⁶⁾	
				dolne	górne
45,0	0,0		100		
31,5	0,0		100		
22,4	0,0		100		
16,0	0,0		100	100	100
11,2	2,8		97	90	100
8,0	22,0		75	60	90
5,6	19,7		55		
4,0	6,9		49		
2,0	8,2	59,6	40	35	50
1,0	11,1		29		
0,5	8,0		21		
0,25	7,4		14		
0,125	5,3		9	8	20
0,063	2,6	34,4	5,9	5	11
<0,063	5,9	5,9			
suma	100,0	100,0			

IV. Warunki zagęszczania próbek mm-a:

parametr:	wartość:
metoda zagęszczania próbek	PN-EN 12697-30
sposób przygotowania mm-a	mieszanie mechaniczne lab.
temperatura zagęszczania próbek [°C]	145±5
energia zagęszczania próbek [uderzenie ubijaka]	2 x 75

⁽⁶⁾ punkty graniczne zgodne z Wymaganiami Technicznymi - WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2010

V. Wykres krzywej uziarnienia mieszanki mineralnej:



VI. Skład mieszanek (mm - mieszanka mineralna; mm-a - mieszanka mineralno-asfaltowa):

lp.	składnik	producent/pochodzenie	udział [%]	
			mm	mm-a
1	wypełniacz dodany, wapień	LAFARGE - Wapienno	6,0	5,7
2	kr. drobne 0/2 łamane	General Żwir - Gardyny	15,0	14,2
3	kr. drobne 0/2 łamane	YEOMAN - Halsvik	19,0	17,9
4	kr. grube 2/5, granit (gnejs)	YEOMAN - Halsvik	12,0	11,3
5	kr. grube 5/8, granit (gnejs)	NORDKAM - Oster Pukk og	18,0	17,0
6	kr. grube 5/11, granit (gnejs)	YEOMAN - Halsvik	30,0	28,3
7				
8				
9				
10				
11	PMB 45/80-55	LOTOS Asphalt - Gdańsk		5,6
12	Wetfix BE, adhezyjny	AKZO Nobel		0,3%/ wag.asfalt
13				
14				
15				
suma			100,0	100,0

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

52/NOW/12

AC 11 S PMB 45/80-55

VII. Właściwości mieszanki mineralnej:

właściwość:	norma:	wartość
zawartość frakcji > 2mm [%]	PN-EN 933-1	59,6
zawartość frakcji < 0,063mm [%]	PN-EN 933-1	5,9
gęstość ρ_a [Mg/m ³]	PN-EN 1097-6	2,70
wolna przestrzeń VMA [%]	PN-EN 12697-8	15,8

VIII. Właściwości mieszanki mineralnej i mieszanki mineralno-asfaltowej:

właściwość	norma/dokument odniesienia	wynik	kategoria
minimalna zawartość lepiszcza [%]	WT-2 2010	5,4	-
współczynnik korekcyjny α do zawartości asfaltu	PN-EN 13108-1 do 8	0,98	-
minimalna zawartość lepiszcza uwzględniająca dodatek +0,3% oraz α , [%]	WT-2 2010	5,6	-
zadozowana ilość lepiszcza, [%]	-	5,6	-
zawartość lepiszcza w odniesieniu do gęstości referencyjnej mm - $\rho_a = 2,650 \text{ Mg/m}^3$, [%]	PN-EN 13108-1 do 8	5,7	-
zawartość lepiszcza nierozpuszczalnego, [%]	TP A-StB, Teil 1	0,18	-
zawartość lepiszcza rozpuszczalnego, [%]	-	5,4	-
deklarowana zawartość lepiszcza rozpuszczalnego, [%]	PN-EN 13108-20	-	B_{min5,4}
wolna przestrzeń w mm - VMA, [%]	PN-EN 12697-8	15,8	-
gęstość mm-a - ρ_{mv} , [kg/m ³]	PN-EN 12697-5 met. A	2482	-
gęstość objętościowa mm-a - ρ_{obed} , [kg/m ³]	PN-EN 12697-6 met. B	2423	-
wolna przestrzeń w mm-a - V_m , [%]	PN-EN 12697-8	2,4	V_{min2,0}; V_{max4}
wypełnienie wolnej przestrzeni lepiszczem - VFB, [%]	PN-EN 12697-8	85,1	-
odporność na działanie wody - ITSR, [%]	PN-EN 12697-12; WT-2 2010	93,0	ITSR₉₀
średni maksymalny przyrost koleiny - WTS _{AIR} , [mm/1000]	PN-EN 12696-22 met. B	0,08	WTS_{AIR0,30}
średnia maksymalna proporcjonalna głębokość koleiny - PRD _{AIR} , [%]	PN-EN 12696-22 met. B	6,9	PRD_{AIR9,0}
splywność lepiszcza - D, [%]	PN-EN 12697-18 pkt. 5	-	-
moduł sztywności - S, [MPa]	PN-EN 12697-26	-	-
odporność na zmęczenie - ϵ_B	PN-EN 12697-24	-	-
zagłębienie trzpienia po 30 min - I, [mm]	PN-EN 12697-20	-	-
zagłębienie trzpienia po 60 min - I, [mm]	PN-EN 12697-20	-	-

IX. Temperatury technologiczne:

temperatura [°C]	zakres	
produkcji mm-a	140	180
zagęszczania mm-a na budowie	135	175

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

RECEPTA WEJŚCIOWA AC 16 W 35/50 nr rec 615

Producent mieszanki mineralno-asfaltowej:

Typ mieszanki: **AC 16 W 35/50**
 Opracowano wg: PN-EN 13108-1:2008, WT-2:2010
 Rodzaj projektowania: Empiryczne
 Kategoria ruchu: KR3÷KR4 i KR5÷KR6
 Data wydania: 30.07.2012
 Wytwórnia mieszanek mineralno-asfaltowych:

I. Składniki mieszanki mineralno-asfaltowej (mma)

Zestawienie składników mieszanki mineralno-asfaltowej								
KRUSZYWA								
Lp.	Składnik		Producent składnika		Dostawca składnika	Gęstość objętościowa w składnika [Mg/m ³]	Nr orzeczenia /sprawozdania	Ilość składnika w mieszance mineralnej w % [m/m]
	Nazwa składnika	Rodzaj materiału Surowiec składnika	Złoże składnika Kraj / Miejsce	Nazwa Producenta				
S1	Kruszywo grube 11/16	Kruszywo naturalne	Polska/Zwirownia Glišno	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	2,69	412/2012*	19
S2	Kruszywo grube 8/11	Kruszywo naturalne	Polska/Zwirownia Glišno	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	2,69	412/2012*	10
S3	Kruszywo grube 4/8	Kruszywo naturalne	Polska/Zwirownia Glišno	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	2,69	412/2012*	34
S4	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/4	Kruszywo naturalne	Polska/Zwirownia Glišno	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	2,67	412/2012*	21
S5	Kruszywo drobne 0/2	Kruszywo naturalne	Polska/Niedamowo	GRANIT IP	GRANIT IP	2,66	NIG 15	10
WYPEŁNIACZE								
S6	Kruszywo wypełniające	Wypełniacz dodany Skala wapienna	Polska/Wapienno	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	LAFARGE KRUSZYWA I BETON SP. Z O.O.	2,63	83/2012*	4
S7	Kruszywo wypełniające	Pyły z odpylania	WMB Gdynia	WMB Gdynia	-	2,62	PG-G-2/02/2011*	2
MINIMALNA ILOŚĆ LEPI SZCZA								
Gęstość mieszanki mineralnej [Mg/m ³]			Gęstość referencyjna [Mg/m ³]	B _{min} dla gęstość referencyjnej [%]		B _{min} dla gęstość mieszanki mineralnej [%]		
2,679			2,65	4,4		4,4 x 0,989 = 4,4		
LEPI SZCZE								
Typ i rodzaj		Pochodzenie	Gęstość w [Kg/m ³]	Ilość asfaltu w mma w % [m/m]		Asfalt rozpuszczalny w mma w % [m/m]		
S8 Asfalt drogowy 35/50		Lotos	1020	4,4		4,3		
Dodatki								
Składnik/dodatek			Producent składnika/dodatku		Dostawca składnika/dodatku	Ilość składnika w mieszance mineralno-asfaltowej w % [m/m]		
S9 Środek adhezyjny AD-here LOF 65-00			Armaz Custom Chemicals INC		Metro sp.j.	0,4		

II. Uziarnienie materiałów (odsiew)

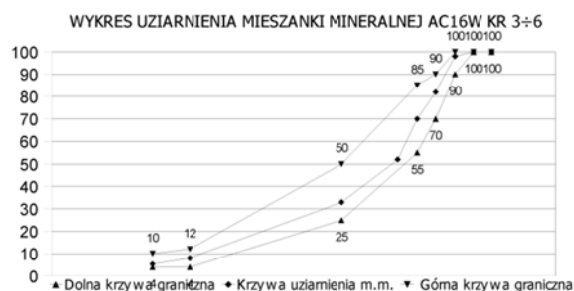
Sito # w [mm]	Analizy sitowe użytych kruszyw wg PN-EN 933-1 (metoda na sucho) i wypełniacz dodany PN-EN 933-10 (odsiew)						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
31,5	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0
22,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0
16	8,4	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0
11,2	82,9	8,3	0	0,0	0	0,0	0,0
8	7,6	82,7	6,9	0,0	0	0,0	0,0
5,6	0,5	8,3	49,9	0,0	0	0,0	0,0
2	0,1	0,1	42	19,0	2	0,0	0,0
0,125	0,1	0,1	0,5	74,5	93,9	4,6	3,9
0,063	0,1	0,1	0,2	4,3	2,9	19,2	14,5
<0,063	0,4	0,5	0,6	2,3	1,2	76,2	81,6
Nr orzeczenia /sprawozdania	438	437	436	449	375	83/2012*	PG-KR-2/02/2011*

R:615 strona 1 z 2

Badania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkiem włókien Forta-FI

III. Uziarnienie mieszanki mineralnej

Sito # w [mm]	odsiew	przesiew	Masa w % [m/m]
31,5	0	100	Kruszywo grube 67
22,4	0	100	
16,0	2	98	
11,2	17	82	
8,0	12	70	
5,6	18	52	
2,0	19	33	Kruszywo drobne 28
0,125	26	8	
0,063	2	5,4	
< 0,063	5,4	Wypełniacz	



IV. Warunki zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej

Lp.	Parametr	Wartość
1	Temperatura zagęszczania próbek [°C]	140±5
2	Sposób przygotowania mieszanki mineralno-asfaltowej	Ręcznie wg PN-EN 12697-35+A1:2008
3	Metoda zagęszczenia próbek o średnicy 100mm	Ubijanie wg PN-EN 12697-8:2005 2x75 lub 2x35 uderzeń

V. Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej

Lp.	Właściwość	Wartość	Kategoria wymagana	Energia lub wskaźnik zagęszczenia	Norma badawcza	Nr orzeczenia /sprawozdania
1	Gęstość ρ_{mv} [Mg/m ³]	2,507	-	-	PN-EN 12697-5:2010/AC2012	W615
2	Gęstość objętościowa ρ_v [Mg/m ³]	2,385	-	2x75 uderzeń	PN-EN 12697-6+A1:2008	W615
3	Zawartość wolnych przestrzeni V_m [%]	4,9	$V_{min\ 4,0} - V_{max\ 7,0}$	2x75 uderzeń	PN-EN 12697-8:2005	W615
4	Zawartość wolnych przestrzeni wypchnionych asfaltem VFB, [%]	67,8	-	-	PN-EN 12697-8:2005	W615
5	Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej VMA, [%]	15,2	-	-	PN-EN 12697-8:2005	W615
6	Wrażliwość na działanie wody ITSR (1 cykl zamrażania, temp. Badania 25°C) [%]	88,4	ITSR ₈₀	2x35 uderzeń	PN-EN 12697-12:2008	PG-WIM-3/07/2012*
7	Średnie nachylenie wykresu koleinowania WTS _{ASR} [mm/1000cykli]	0,10	WTS _{ASR\ 0,15}	$P_{98} - P_{100}$	PN-EN 12697-22+A1:2008	PG-KOL-5/07/2012*
8	Średnia proporcjonalna głębokość koleiny PRD _{ASR} [%]	6,4	PRD _{ASR\ Deklarowane}	$P_{98} - P_{100}$	PN-EN 12697-22+A1:2008	PG-KOL-5/07/2012*
9	Spywność lepiska D [%]	-	-	-	PN-EN 12697-18:2007	-
10	Moduł zespolony [MPa] (Szywność S) [MPa]	-	-	$P_{98} - P_{100}$	PN-EN 12697-26:2007	-
11	Odporność na zmęczenie ϵ_e	-	-	$P_{98} - P_{100}$	PN-EN 12697-24:2008	-
12	Zagłębienie trzpienia o nacisku (525±1) N po 30 min [mm]	-	-	-	PN-EN 12697-20:2007	-
13	Zagłębienie trzpienia o nacisku (525±1) N po 60 min [mm]	-	-	-	PN-EN 12697-20:2007	-
14	Ubytek ziaren PL [%]	-	-	-	PN-EN 12697-17:2008	-