



WPŁYW WŁÓKIEN KEWLAROWYCH FORTA-FI NA JAKOŚĆ MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA

PROGRAM BADAWCZY ZOSTAŁ WYKONANY PRZEZ
POLITECHNIKĘ GDAŃSKĄ W KATEDRZE INŻYNIERII DROGOWEJ
W CELU OPRACOWANIA RAPORTU



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ
I ŚRODOWISKA

WŁÓKNA FORA-FI

Unikalny typ włókien aramidowych (kevlarowych) do przestrzennego zbrojenia wszystkich typów mieszanek mineralno-asfaltowych.

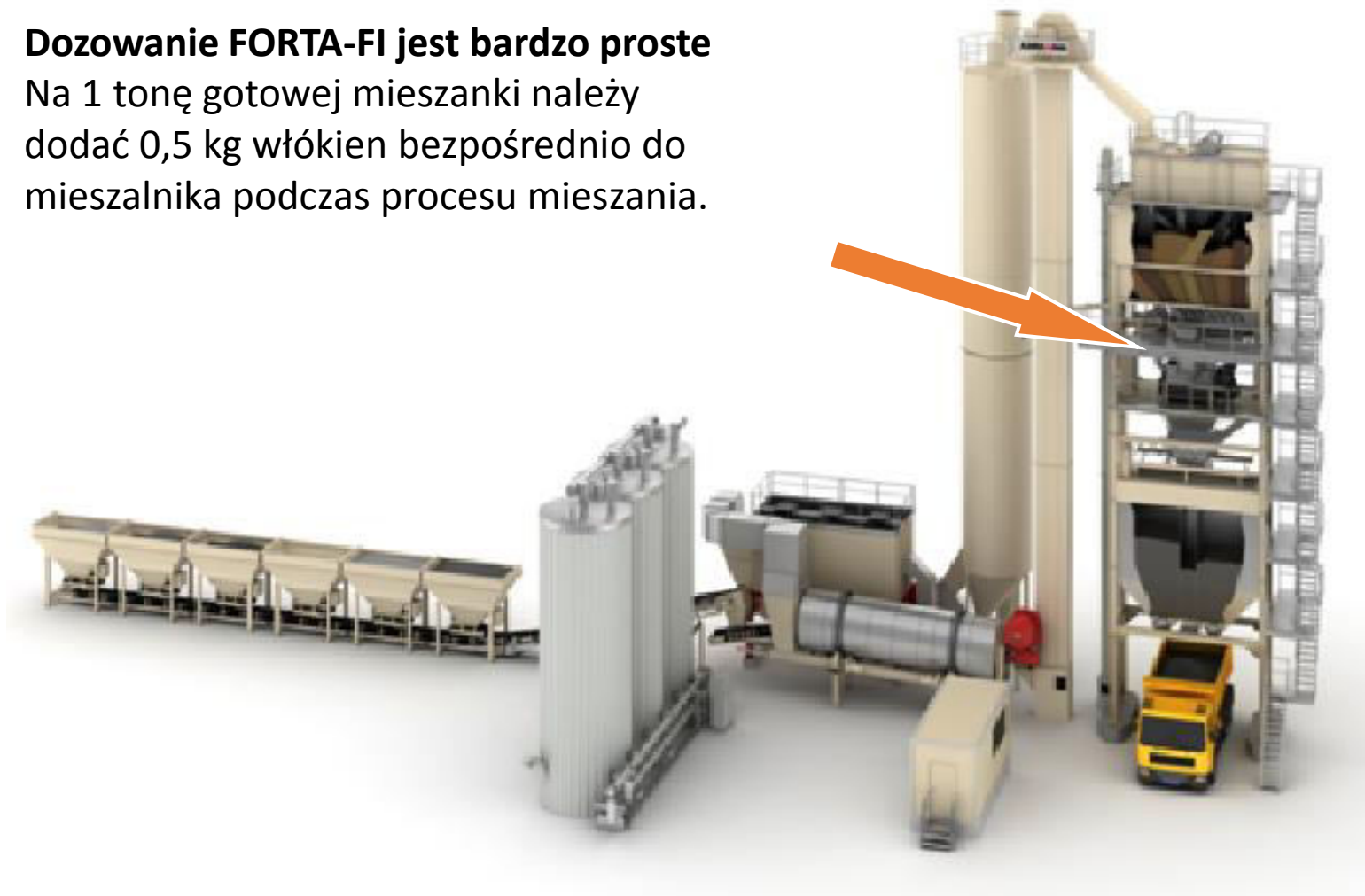


Przy testach wykonanych przez Arizona State University dla producenta włókien potwierdzono:

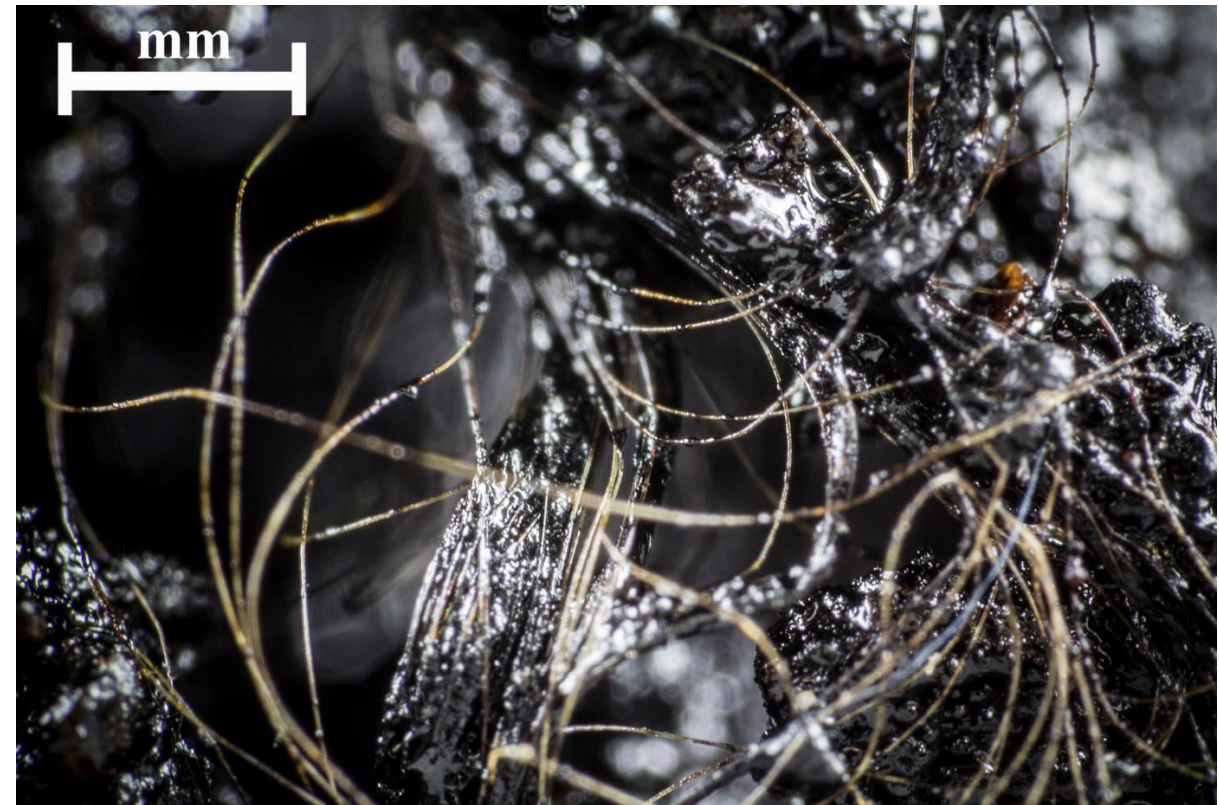
- Większą odporność na powstawanie i rozprzestrzenianie się pęknięć
- Większą wytrzymałość zmęczeniową, a tym samym dłuższą żywotność
- Większą wytrzymałość (wzrost 150%)
- Większą wytrzymałość na rozciąganie przy destrukcji
- Większą energię niezbędną do rozwoju pęknięć aż do chwili destrukcji
- Większą energię (wzrost 200%)
- Ograniczenie powstawania pęknięć mrozowych nawet przy bardzo niskich temperaturach

DOZOWANIE

Dozowanie FORTA-FI jest bardzo proste
Na 1 tonę gotowej mieszanki należy
dodać 0,5 kg włókien bezpośrednio do
mieszalnika podczas procesu mieszania.



FORTA-FI W GOTOWEJ MIESZANCE MINERALNO-ASFALTOWEJ



ZDJĘCIA PRÓBEK DO WYKONANIA BADAŃ

**AC 16 W
FORTA-FI**



AC 16 W

BADANIA

DO BADAŃ PRZYJĘLIŚMY DWA RODZAJE MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH

- | | | |
|----------------------|---|---------|
| 1. WARSTWA ŚCIERALNA | - | AC 11 S |
| 2. WARSTWA WIĄŻĄCA | - | AC 16 W |



ODPORNOŚĆ MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH NA DZIAŁANIE WODY I MROZU

wg PN-EN 12697-12: 2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe

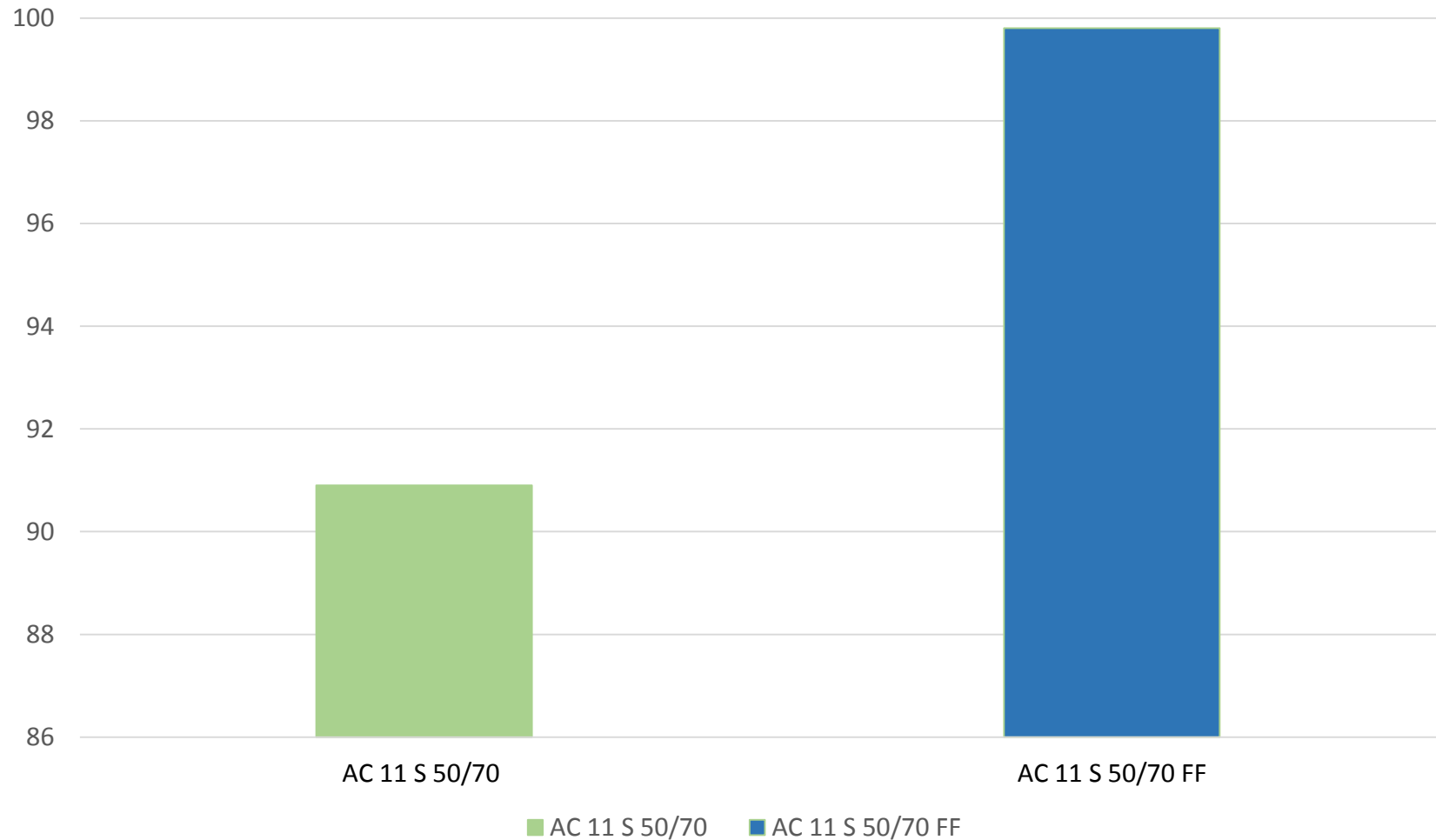
Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych

na gorąco. Część 12: Określenie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę

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 mrozu, „zestawu mokrego”.



Wyniki badań wrażliwości betonów asfaltowych AC 11 S 50/70 warstwy ścieralnej na działanie wody wg metody PN-EN 12697-12 i procedury opisanej w dokumencie WT-2:2014, temperatura badania +25°C



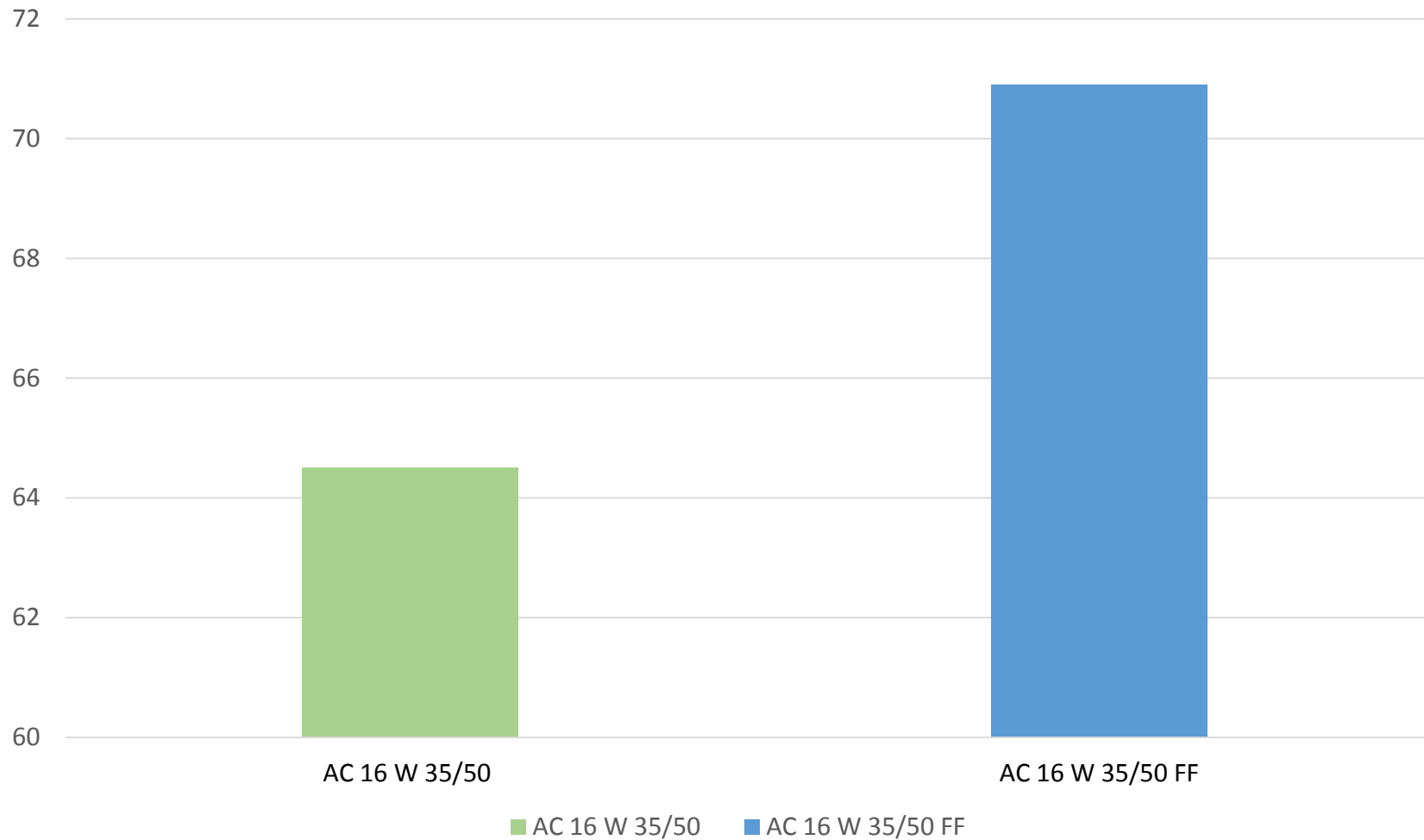
Wyniki badań wrażliwości betonów asfaltowych AC 11 S 50/70 warstwy ścieralnej na działanie wody wg metody PN-EN 12697-12 i procedury opisanej w dokumencie WT-2:2014, temperatura badania +25°C

	Nr	Zawartość wolnej przestrzeni [%]	Stopień nasycenia [%]	Siła niszcząca [kN]	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [kPa]	Średnia wytrzymałość [kPa]	ITSR [%]
AC 11 S 50/70 FF	zestaw suchy					1206	99,8
	411/1	3,0	-	12,1	1 228		
	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					1204	
	411/6	3,0	58	11,8	1 187		
	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					1148	90,9
	412/1	3,0	-	11,9	1 198		
	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					1043	
	412/6	3,0	56	10,7	1 073		
	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			

*Brak włókien FORTA-FI obrazuje spadek odporności na działanie wody i mrozu o **8,9%** w warstwie ścieralnej. Uzyskana wartość **99,8 %** po dodaniu włókien pokazuje brak jakiegokolwiek wpływu działania wody i mrozu charakteryzując mieszankę odporną na negatywne czynniki zewnętrzne.*

Uzyskany wynik osiągnany jest przez mieszanki SMA (Stone Mastic Asphalt) używanych na drogach krajowych, ekspresowych oraz autostradach.

Wyniki badań wrażliwości betonów asfaltowych AC 16 W 35/50 warstwy wiążącej na działanie wody, wg metody PN-EN 12697-12 i procedury opisanej w dokumencie WT-2:2014, temperatura badania +25°C



Wyniki badań wrażliwości betonów asfaltowych AC 16 W 35/50 warstwy wiążącej na działanie wody, wg metody PN-EN 12697-12 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		

*Brak włókien FORTA-FI obrazuje spadek odporności na działanie wody i mrozu o **6,4%** w warstwie wiążącej. Uzyskana wartość z włóknami **70,9 %** znacząco poprawia wytrzymałość próbek kondycjonowanych. W przypadku warstw wiążących jest to bardzo istotny aspekt ponieważ to ta warstwa odpowiedzialna jest za przenoszenie naprężeń w konstrukcji, więc im silniejsza struktura mieszanki tym dłuższa żywotność drogi.*

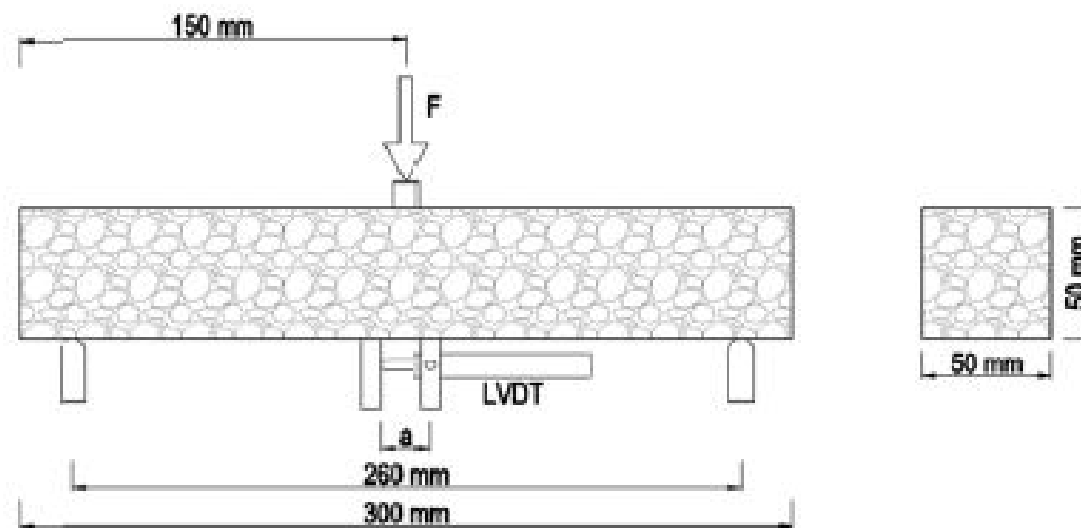
ODPORNOŚĆ NA SPĘKANIA NISKOTEMPERATUROWE

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.

Badanie odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na spękania niskotemperaturowe przeprowadzono według metody opracowanej na Politechnice Gdańskiej przez profesora Judyckiego.

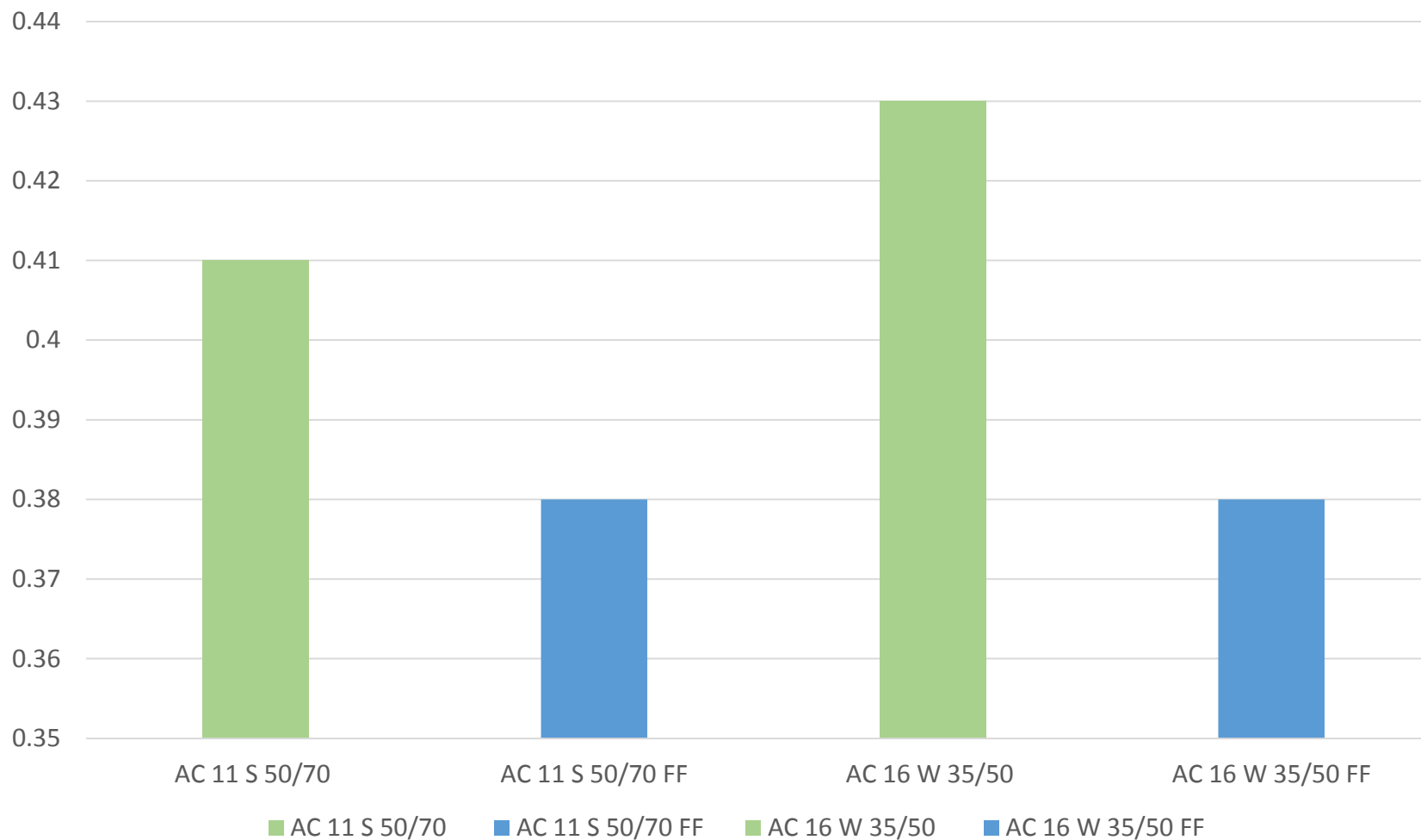
Na podstawie badań określono:

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



Rysunek 9.1. Schemat badania zginania i sposób mocowania czujnika

WSKAŹNIK USZTYWNIENIA



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	
	-20	8,57	8,36	0,272	0,89	0,74	0,126	9,73	11,54	
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			

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	
	-20	6,18	6,32	0,158	0,58	0,52	0,065	10,70	12,10	
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			

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	
	-20	7,74	8,10	0,303	0,66	0,68	0,032	12,11	12,50	
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	0,28	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			

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	
	-20	-	6,29	0,196	-	0,47	0,048	-	13,74	
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			



Rysunek 9.2. Próbką podczas badania odporności na spękania niskotemperaturowe

Dodatek włókien do mieszanek mineralno-asfaltowych wpłynął pozytywnie na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, dla każdej mieszanki parametr ten uległ zwiększeniu.

Dodatek włókien spowodował spadek wskaźnika usztywnienia dla mieszanek betonu asfaltowego. Jest to pozytywne zjawisko pod względem odporności na spękania niskotemperaturowe kiedy w zimie nawierzchnie mają tendencję do przesztywniania się i gorszej pracy konstrukcji.

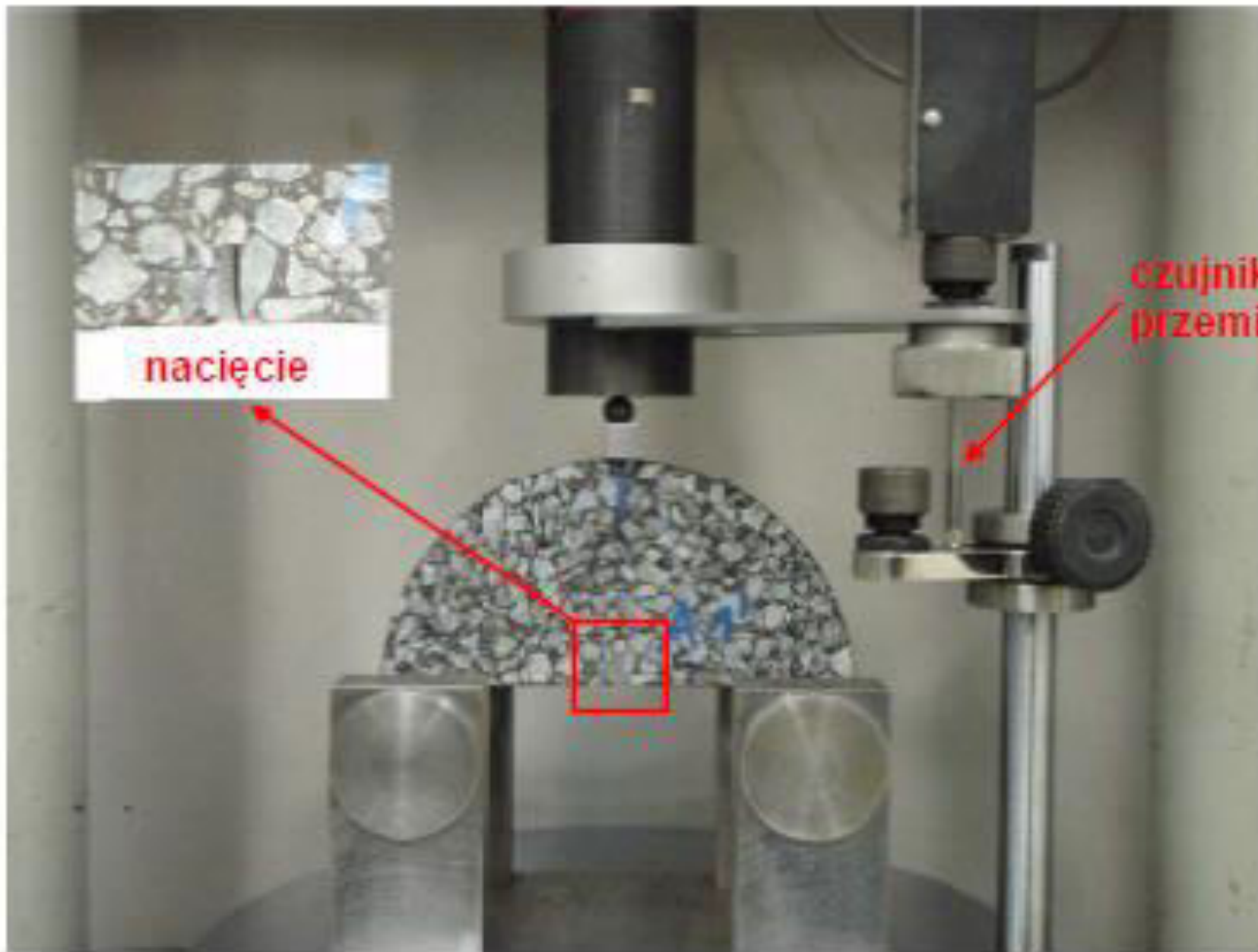
ODPORNOŚĆ NA SPĘKANIA NISKOTEMPERATUROWE

METODA MECHANIKI PĘKANIA

Badania odporności na pękanie wykonano w oparciu o założenia normy PN-EN 12697-44. Norma PN-EN bazuje na wyznaczaniu odporności na pękania K_{Ic} mieszanek mineralno-asfaltowych w oparciu o maksymalną siłę zarejestrowaną podczas zginania próbki.

W celu dokładniejszej klasyfikacji badanych mieszanek pod kątem odporności na pękanie wyznaczono dodatkowo krytyczną wartość całki J, która charakteryzuje prędkość uwalniania energii odkształcenia.

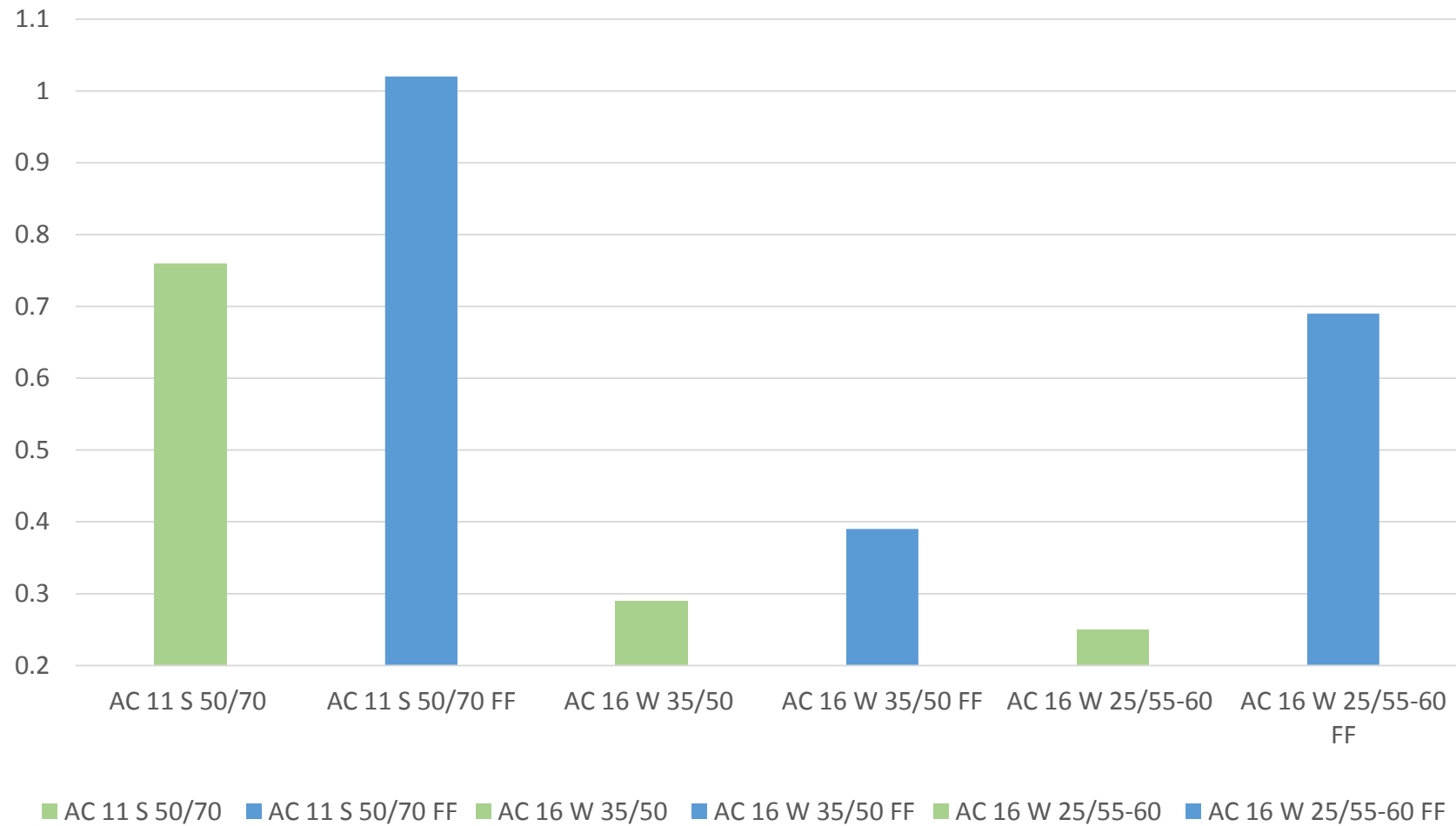





nacięcie


czujnik
przemieszczenia


METODA MECHANIKI PĘKANIA



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	7582	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		

34 % 

35 % 

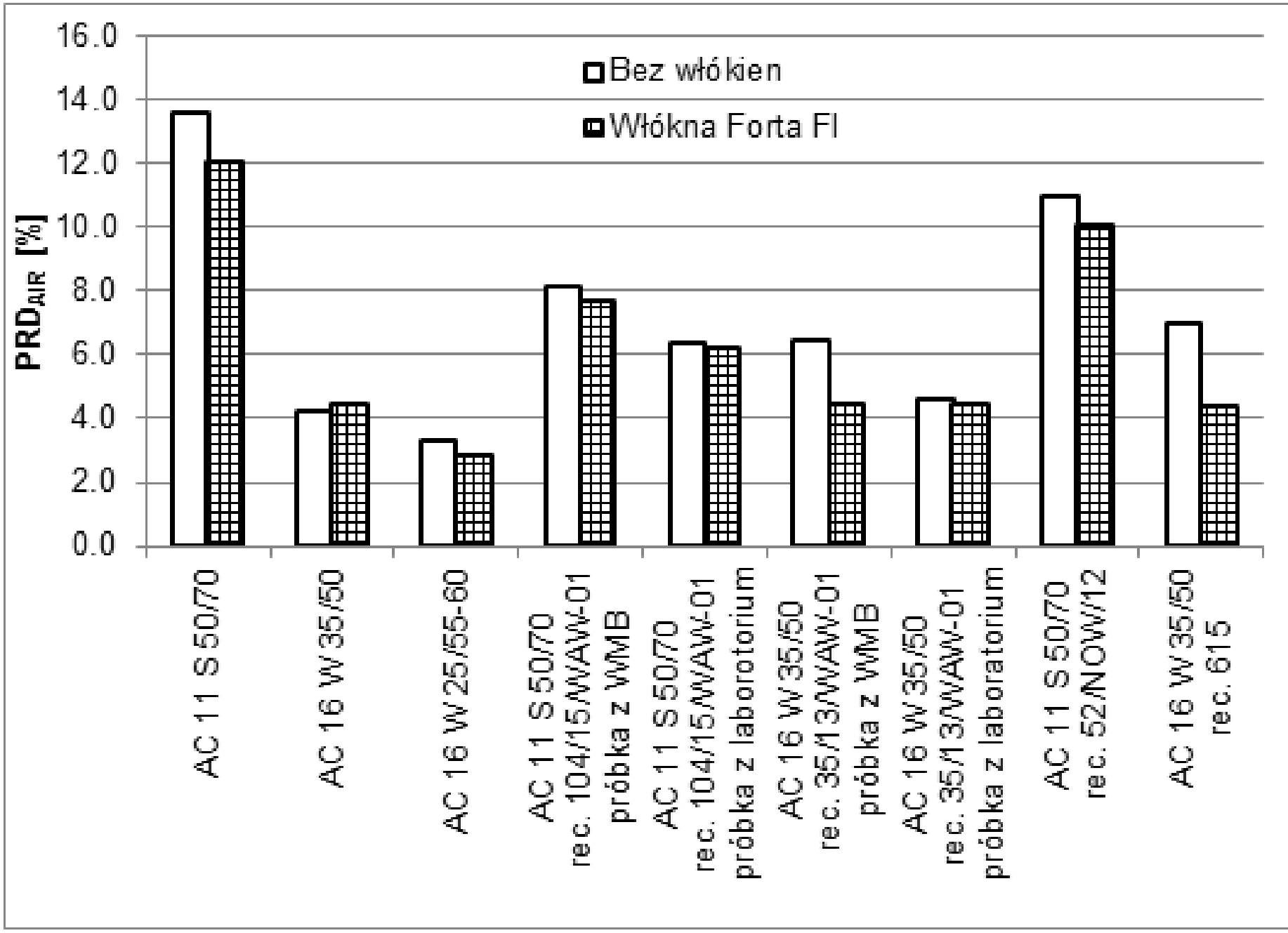
273 % 

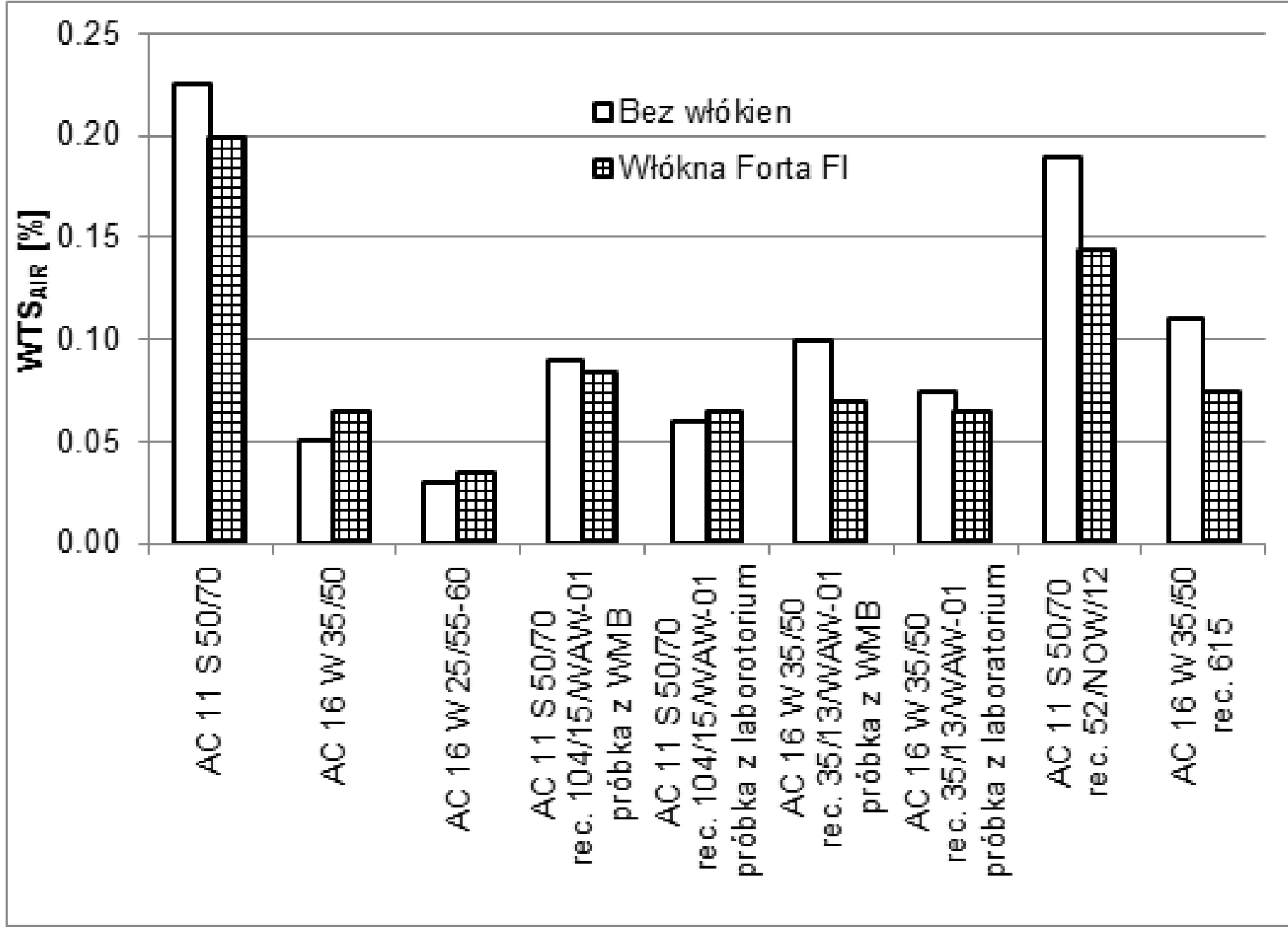
Odporność na pękanie była dużo wyższa dla mieszanek zawierających włókna FORTA-FI w porównaniu z mieszankami bez włókien. Większa wartość J_c oznacza, że należy włożyć więcej energii odkształcenia, aby powstało spękanie o jednostkowej powierzchni.

ODPORNOŚĆ NA DEFORMACJE TRWAŁE

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

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





Przeprowadzone badania pokazują bardzo pozytywny potencjał zastosowania włókien FORTA-FI w obszarze odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na spękania niskotemperaturowe oraz odporności na deformacje trwałe.

Jest to bardzo ważny aspekt w polskich warunkach budowy i eksploatacji nawierzchni.

Wysoka odporność na wskazane parametry pozwoli zachować wysoką jakość nawierzchni i w dużym stopniu zapobiegnie powstawaniu spękań, wykruszeń oraz kolein na Polskich drogach.



OGRANICZONE ŚRODKI NA WZMOCNIENIA NAWIERZCHNI MOŻNA WYKORZYSTYWAĆ BARDZIEJ EFEKTYWNIER POPRZEZ ZASTOSOWANIE CIENKICH WARSTW Z WŁÓKNAMI FORTA-FI KTÓRE W EFEKCIE ZNACZNIE OPÓŹNIĄ POWSTAWANIE SPEKAŃ ORAZ WYKRUSZEŃ I WYDŁUŻĄ JAKOŚĆ I TRWAŁOŚĆ NAWIERZCHNI.

PROGRAM BADAWCZY BĘDZIE KONTYNUOWANY W CZĘŚCI LABORATORYJNEJ
ORAZ TERENOWEJ



