

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

SPRAWOZDANIE CZĘŚCIOWE

Temat TN-251

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

Kierownik Zakładu TN:

prof. dr hab. inż. Dariusz SYBILSKI

Zespół:

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

Technicy:

Teresa Gawenda
Jadwiga Migdalska
Tomasz Michalski
Dariusz Jasiński

SPIS TREŚCI:

1.	Podstawa pracy	3
2.	Cel pracy.....	3
3.	Program pracy – etap II	3
4.	Opis prac przeprowadzonych w II etapie	4
5.	Wyniki badań (mieszanka BAWMS 16 wg rec. TN/251/08-1 i TN/251/08-2)	5
5.1.	Skład i podstawowe właściwości	5
5.2.	Odporność na koleinowanie (Zadanie 5.1)	5
5.3.	Odporność na zmęczenie (Zadanie 5.2)	6
5.4.	Moduł sztywności (Zadanie 5.3)	12
5.5.	Wodoodporność (Zadanie 5.4)	13
5.6.	Odporność na pękanie niskotemperaturowe (Zadanie 5.5)	14
6.	Wyniki badań (mieszanka ACWMS 16 wg rec. TN/09/2L i TN/09/2L/W)	18
6.1.	Skład i podstawowe właściwości	18
6.2.	Odporność na koleinowanie.....	19
6.3.	Trwałość zmęczeniowa.....	22
7.	Analiza wyników.....	23
7.1.	BAWMS 16 20/30 wg recept TN/251/08-1 i TN/251/08-2	23
7.1.1.	Właściwości podstawowe	23
7.1.2.	Odporność na koleinowanie	23
7.1.3.	Trwałość zmęczeniowa	25
7.1.4.	Sztywność	25
7.1.5.	Wodoodporność	28
7.1.6.	Odporność na niską temperaturę	28
7.1.7.	Podsumowanie wyników analizy	29
7.2.	ACWMS 16 20/30 wg recept TN/09/2L i TN/09/2L/W	30
7.2.1.	Właściwości podstawowe	30
7.2.2.	Odporność na koleinowanie	31
8.	Zakończenie.....	31

Załącznik 1 Recepta nr TN/251/08-1 (BA WMS16 – mieszanka porównawcza)

Załącznik 2 Recepta nr TN/251/08-2 (BA WMS16 z dodatkiem włókna)

Załącznik 3 Recepta nr TN/09/2L (ACWMS16 – mieszanka porównawcza)

Załącznik 4 Recepta nr TN/09/2L/W (ACWMS16 z dodatkiem włókna)

1. Podstawa pracy

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

2. Cel pracy

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

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

3. Program pracy – etap II

Program pracy zgodnie z założeniami umowy został podzielony na trzy etapy. W grudniu 2008 przedstawiono sprawozdanie z etapu I. Niniejsze sprawozdanie dotyczy etapu II, w którym przewidziano kontynuację badań laboratoryjnych oraz analizę uzyskanych wyników badań pod kątem oceny wpływu zastosowanych włókien na wybrane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej (koleinowanie, zmęczenie, właściwości niskotemperaturowe oraz odporność na działanie wody). Poniżej przedstawiono program pracy etapu II.

Etap II

c.d. Zadania 5 (badania po starzeniu długoterminowym LTOA)

Zadanie 5

Badania wytypowanych mieszanek mineralno-asfaltowych

Zadanie 5.1

Badanie odporności na koleinowanie

Badania zostaną przeprowadzone metodą według PN-EN 12697-22 w dużym aparacie.

Zadanie 5.2

Badanie odporności na zmęczenie

Badania zostaną przeprowadzone metodą belki czteropunktowo zginanej wg PN-EN 12697-24.

Zadanie 5.3

Badanie modułu sztywności

Badania zostaną przeprowadzone metodą belki czteropunktowo zginanej (w -10, 0, 10, 20°C), rozciągania pośredniego (w 10°C) i ściskania-rozciągania (w -10, 0, 10, 20°C) wg PN-EN 12697-26. Wyznaczenie modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego oraz opracowanie krzywych wiodących

Zadanie 5.4***Badanie wodoodporności***

Badania zostaną przeprowadzone metodą według PN-EN 12697-12 (U).

Zadanie 5.5***Badanie odporności na pękanie niskotemperaturowe***

Badania zostaną przeprowadzone metodą według AASHTO TP10-93 : "Standard test method for thermal restrained specimen tensile strength".

Uwaga:

Przewidziano wykonanie badań wyszczególnionych w zadaniu 5 dla dwóch wybranych wariantów mieszanek mineralno- asfaltowych (porównawczej oraz z dodatkiem włókien) w trzech stanach, tj.:

- „O” - oryginalnym (przed starzeniem),
- „K” - po starzeniu krótkoterminowym STOA (wg raportu SHRP A-383 [1]),
- „D” - Starzenie długoterminowe LTOA (wg raportu SHRP A-383).

Zadanie 6.***Analiza otrzymanych wyników mieszanek mineralno-asfaltowych***

Analiza uzyskanych wyników badań pod kątem oceny wpływu zastosowanych włókien na wybrane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej (koleinowanie, zmęczenie, właściwości niskotemperaturowe oraz odporność na działanie wody).

4. Opis prac przeprowadzonych w II etapie

Większość wyników badań z zakresu etapu II została przekazana w sprawozdaniu z etapu I. Po wstępnej analizie wyników zdecydowano o opracowaniu drugiego wariantu mieszanki ACWMS 16 (porównawcza) oraz z dodatkiem włókna polimerowego i przeprowadzeniu przewidzianych badań. W porównaniu do założeń pierwotnych projektu rozszerzony został więc program i zakres pracy. W niniejszym sprawozdaniu przedstawione są recepty dodatkowej mieszanki betonu asfaltowego o wysokim module sztywności ACWMS 16 (dwa warianty) oraz wszystkie wyniki przeprowadzonych badań oraz ich analiza. Dodatkowe recepty zostały zaprojektowane zgodnie z nowymi wymaganiami technicznymi WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych 2008.

5. Wyniki badań (mieszanka BAWMS 16 wg rec. TN/251/08-1 i TN/251/08-2)

5.1. Skład i podstawowe właściwości

Składy mieszanek BAWMS 16 wg rec. TN/251/08-1 i TN/251/08-2 oraz podstawowe właściwości zostały przedstawione w załącznikach 1 i 2 do sprawozdania. Wstępnie ustalono skład mieszanki porównawczej BAWMS16 – bez dodatku włókien. Następnie zostały sprawdzone warianty mieszanki BAWMS16 o takim samym składzie mineralnym z różną zawartością włókien oraz z inną zawartością asfaltu. Badane mieszanki:

- BAWMS16 - o zawartość asfaltu 5,0%
- BAWMS16 – porównawcza o zawartość asfaltu 5,2%
- BAWMS16 – z dodatkiem 0,2% włókien, o zawartość asfaltu 5,2%,
- BAWMS16 – z dodatkiem 0,3% włókien, o zawartość asfaltu 5,2%
- BAWMS16 – z dodatkiem 0,5% włókien, o zawartość asfaltu 5,2%
- BAWMS16 – z dodatkiem 0,5% włókien, o zawartość asfaltu 5,4%

Na podstawie uzyskanych wyników do dalszych prac wytypowane zostały mieszanki:

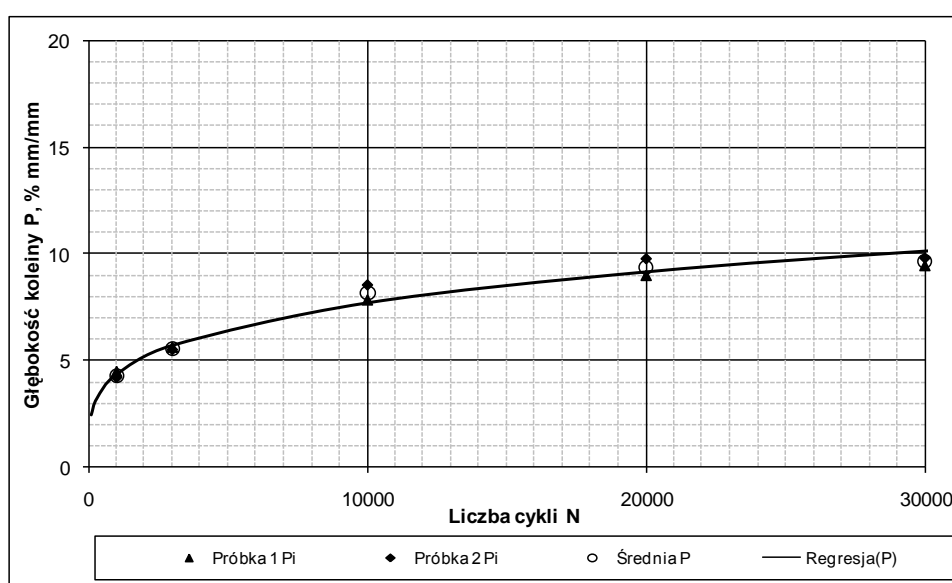
- BAWMS16 – porównawcza o zawartość asfaltu 5,2% (oznaczenie „P”)
- BAWMS16 – z dodatkiem 0,3% włókien, zawartość asfaltu 5,2% (oznaczenie „W”)

5.2. Odporność na koleinowanie (Zadanie 5.1)

W tablicach 1 - 2 oraz na rysunkach 1 - 2 przedstawiono wyniki badania koleinowania w dużym aparacie mieszanek z włóknem oraz mieszanki porównawczej w stanie bez starzenia.

Tablica 1 Wyniki badań zmęczenia koleinowania mieszanki porównawczej w dużym aparacie (P O)

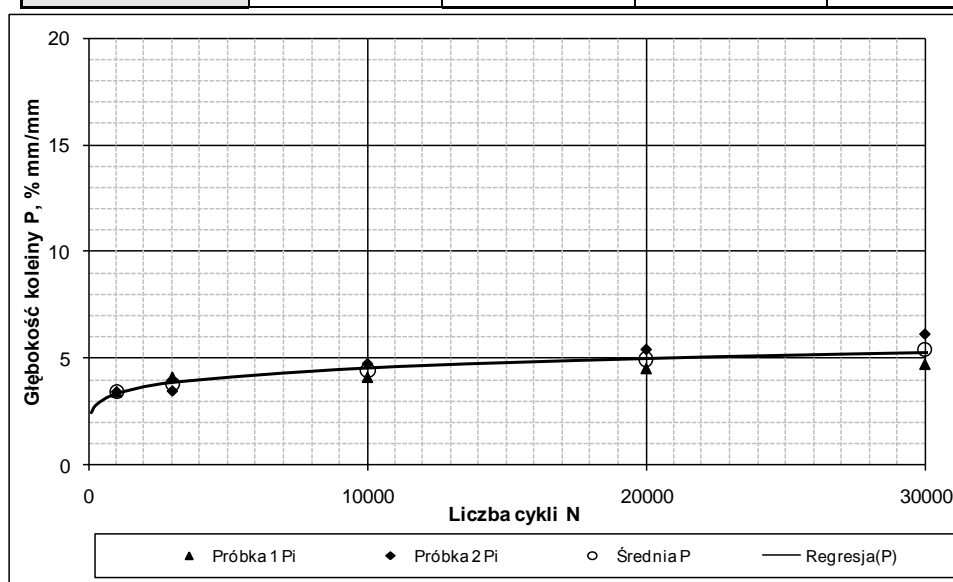
Liczba cykli	1 000	3 000	10 000	20 000	30 000
Próbka 1, Pi	4,5 %	5,6 %	7,8 %	9,0 %	9,4 %
Próbka 2, Pi	4,2 %	5,5 %	8,5 %	9,8 %	9,8 %
Średnia, P	4,3 %	5,5 %	8,2 %	9,4 %	9,6 %



Rysunek 1 Przebieg badania zmęczenia koleinowania w dużym aparacie mieszanki porównawczej (P O)

Tablica 2 Wyniki badań zmęczenia koleinowania mieszanki z włóknem w dużym aparacie (W O)

Liczba cykli	1 000	3 000	10 000	20 000	30 000
Próbka 1, Pi	3,4 %	4,1 %	4,1 %	4,5 %	4,7 %
Próbka 2, Pi	3,4 %	3,5 %	4,7 %	5,4 %	6,1 %
Średnia, P	3,4 %	3,8 %	4,4 %	4,9 %	5,4 %

**Rysunek 2 Przebieg badania koleinowania w dużym aparacie mieszanki z włóknem (W O)**

Dla celów porównawczych i poznawczych przeprowadzono również dodatkowo w stosunku do założeń programu pracy badanie koleinowania w małym aparacie wg normy PN-EN 12697-22 w warunkach badania określonych w PN-EN 13108-20 punkt D.1.6. Wyniki przedstawiono w tablicy 3. Nachylenie wykresu koleinowania WTS_{AIR} wyniosło 0,07 w przypadku mieszanki z włóknem i 0,14 w przypadku mieszanki porównawczej.

Tablica 3 Wyniki badań zmęczenia koleinowania mieszanki porównawczej oraz mieszanki z włóknem w małym aparacie (głębokość koleiny, %)

Liczba przejść koła	100	300	1000	3000	10000	20000 (PRD _{AIR})	30000	40000	50000
P O	1,4 %	1,9 %	3,1 %	4,3 %	5,9 %	7,0 %	7,9 %	8,5 %	9,1 %
W O	1,3 %	1,9 %	3,0 %	4,1 %	5,0 %	5,5 %	5,8 %	6,0 %	6,1 %

5.3. Odporność na zmęczenie (Zadanie 5.2)

W ramach realizacji etapu I przeprowadzono badania zmęczeniowe metodą belki czteropunktowo zginanej w temperaturze 10°C na mieszance porównawczej i mieszance z włóknem. Wyniki badań przedstawiono w tablicach 4 - 9 i na rysunkach 3- 8.

Tablica 4 Wyniki badań zmęczenia mieszanki porównawczej bez starzenia (P O)

Próbka	B, mm	H, mm	E ₀ , MPa	ε, μm/m	N	N1
P O 1	63,2	50,2	16 736	127,7	4 636 778	4 215 181
P O 2	62,2	50,1	14 674	127,4	> 6 000 000	> 6 000 000
P O 3	63,4	50,1	16 171	187,6	366 297	335 197
P O 5	63,7	50,2	15 631	187,4	438 200	398 000
P O 6	63,6	50,3	15 129	187,8	369 401	345 221
P O 7	63,6	50,2	14 670	187,2	437 401	394 401
P O 8	63,6	50,2	15 092	187,7	319 801	294 881
			średnia	127,5	> 5 000 000	> 5 000 000
			średnia	187,5	386 220	353 540

Tablica 5 Wyniki badań zmęczenia mieszanki z włóknem bez starzenia (W O)

Próbka	B, mm	H, mm	E ₀ , MPa	ε, μm/m	N	N1
W O 1	63,4	50,5	14 512	188,1	359 598	326 938
W O 3	63,6	50,4	15 036	128,7	10 419 134	9 505 542
W O 4	63,6	50,4	13 373	189,5	419 499	369 899
W O 5	63,5	50,1	15 151	188,7	575 396	532 697
W O 7	63,6	50,2	13 647	188,5	849 599	774 300
			średnia	128,7	10 419 134	9 505 542
			średnia	188,7	551 023	500 959

Tablica 6 Wyniki badań zmęczenia mieszanki porównawczej po starzeniu krótkoterminowym (P K)

Próbka	B, mm	H, mm	E ₀ , MPa	ε, μm/m	N	N1
P K 1	63,3	48,5	18 590	187,4	189 199	172 399
P K 2	63,6	50,4	17 617	188,5	216 099	192 399
P K 3	63,5	50,3	18 671	187,6	183 399	160 999
P K 4	63,3	50,4	18 022	187,6	142 199	126 899
			średnia	187,8	182 724	163 174

Tablica 7 Wyniki badań zmęczenia mieszanki z włóknem po starzeniu krótkoterminowym (W K)

Próbka	B, mm	H, mm	E ₀ , MPa	ε, μm/m	N	N1
W K 1	63,3	50,1	16 829	189,6	723 496	654 596
W K 2	63,4	50,1	17 024	189,3	453 297	407 097
W K 3	63,3	50,1	17 068	188,6	366 497	315 697
W K 4	63,4	50,3	17 362	187,4	280 798	249 898
			średnia	188,7	456 022	406 822

Tablica 8 Wyniki badań zmęczenia mieszanki porównawczej po starzeniu długoterminowym (P D)

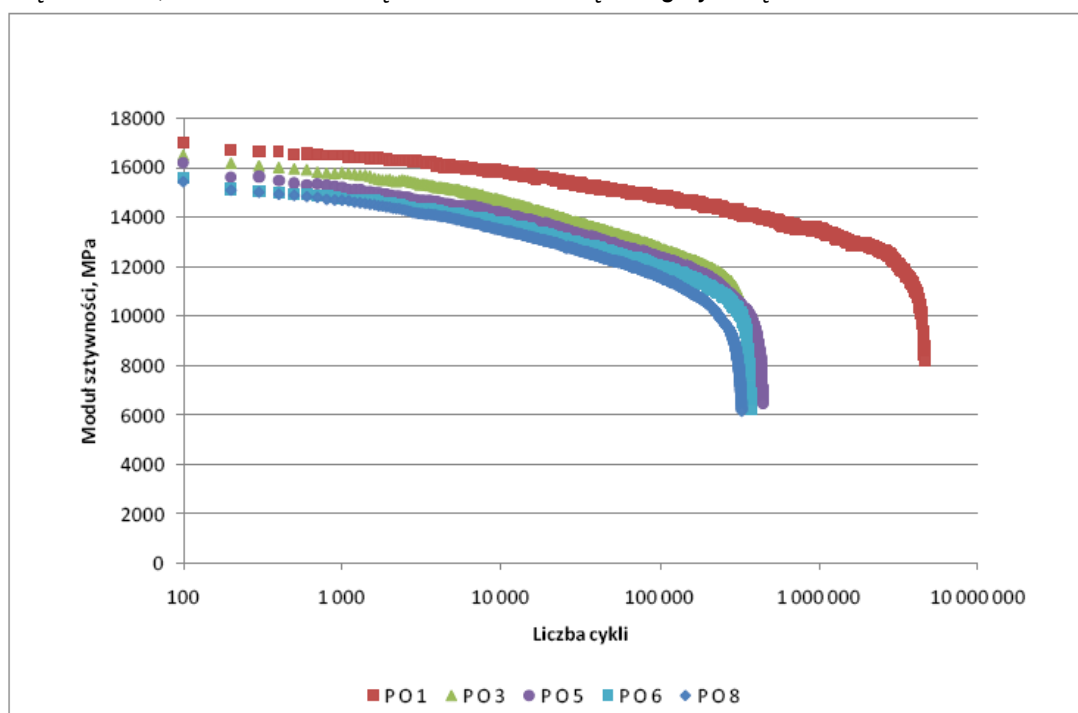
Próbka	B, mm	H, mm	E ₀ , MPa	ε, μm/m	N	N1
P D 1	63,7	63,6	18 466	187,3	205 399	175 799
P D 2	63,5	63,6	18 144	186,4	257 599	227 899
P D 3	63,5	63,5	19 392	184,8	242 699	222 799
P D 4	63,6	63,5	18 193	186,0	402 298	360 298
P D 6	63,2	63,1	16 757	186,7	378 582	342 981
P D 8	63,0	63,1	12 229	185,0	426 896	373 797
			średnia	186,0	318 912	283 929

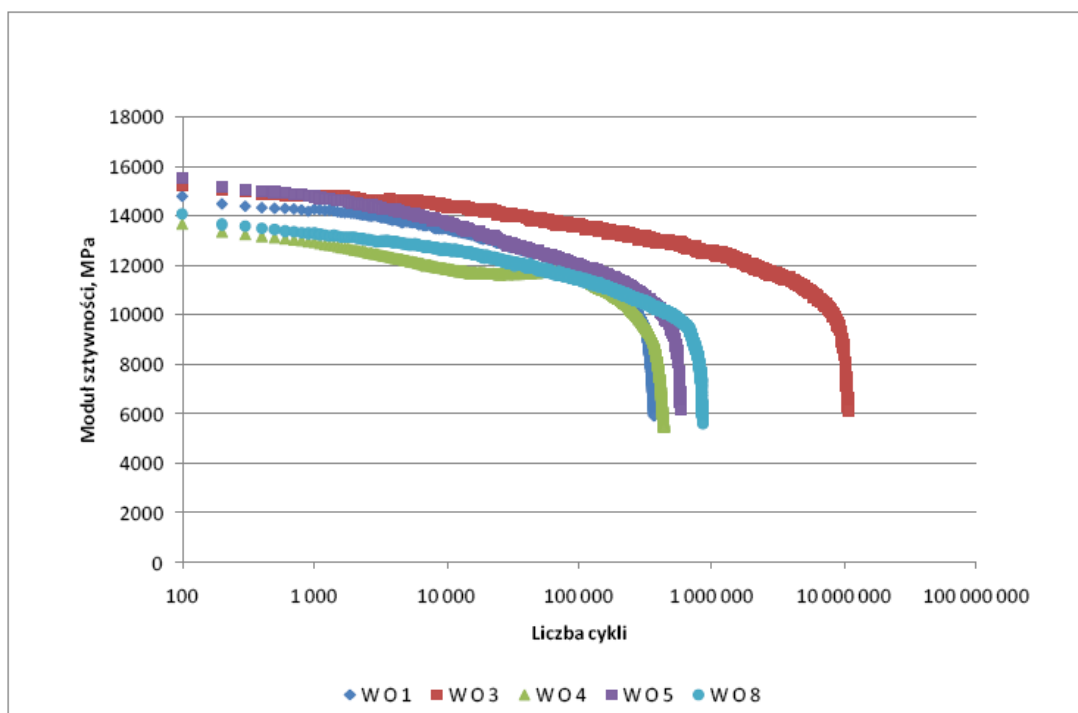
Tablica 9 Wyniki badań zmęczenia mieszanki z włóknem po starzeniu długoterminowym (W D)

Próbka	B, mm	H, mm	E_0 , MPa	ϵ , $\mu\text{m/m}$	N	N1
W D 1	63,4	50,2	19 338	186,6	341 899	297 899
W D 2	63,5	50,3	19 537	186,3	227 499	192 999
W D 3	63,3	50,4	19 513	186,1	306 798	272 798
W D 4	63,4	50,5	18 964	184,6	238 798	211 298
W D 5	63,0	50,3	18 639	185,2	199 599	172 099
W D 6	63,2	50,1	18 784	186,7	212 899	189 499
W D 7	63,2	50,2	18 359	185,3	368 797	317 297
			średnia	185,8	270 898	236 270

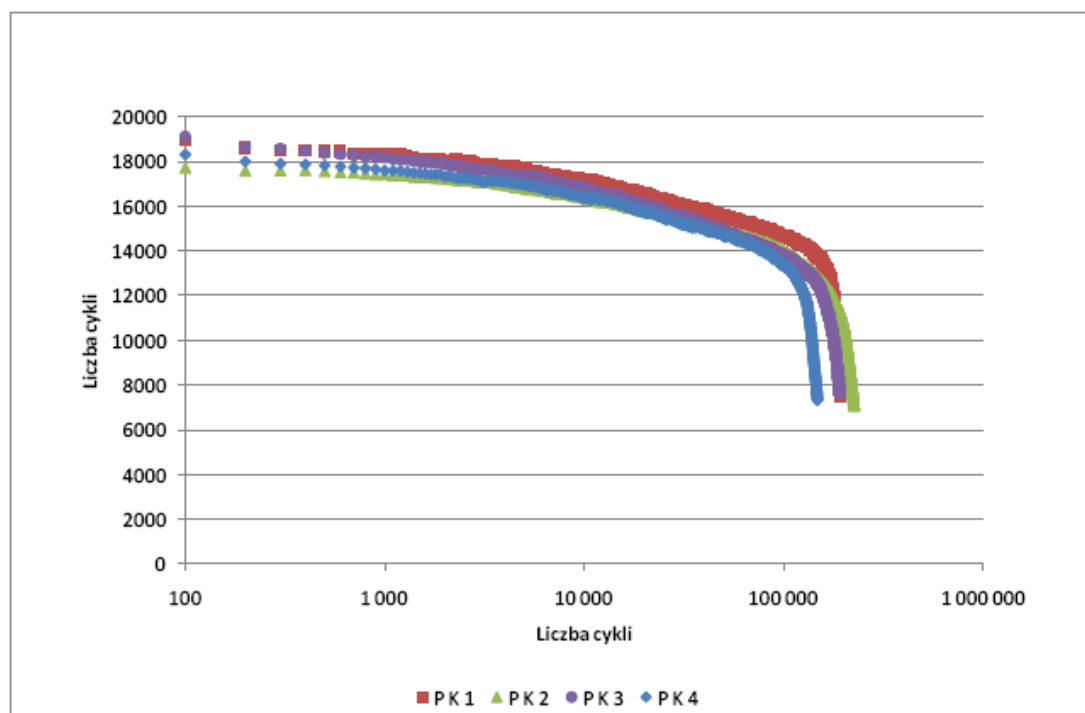
Oznaczenia w tablicach:

B – szerokość, H – wysokość, E_0 – początkowy moduł sztywności, ϵ – odkształcenie, N – trwałość zmęczeniowa, $N1$ – trwałość zmęczeniowa metodą energetyczną

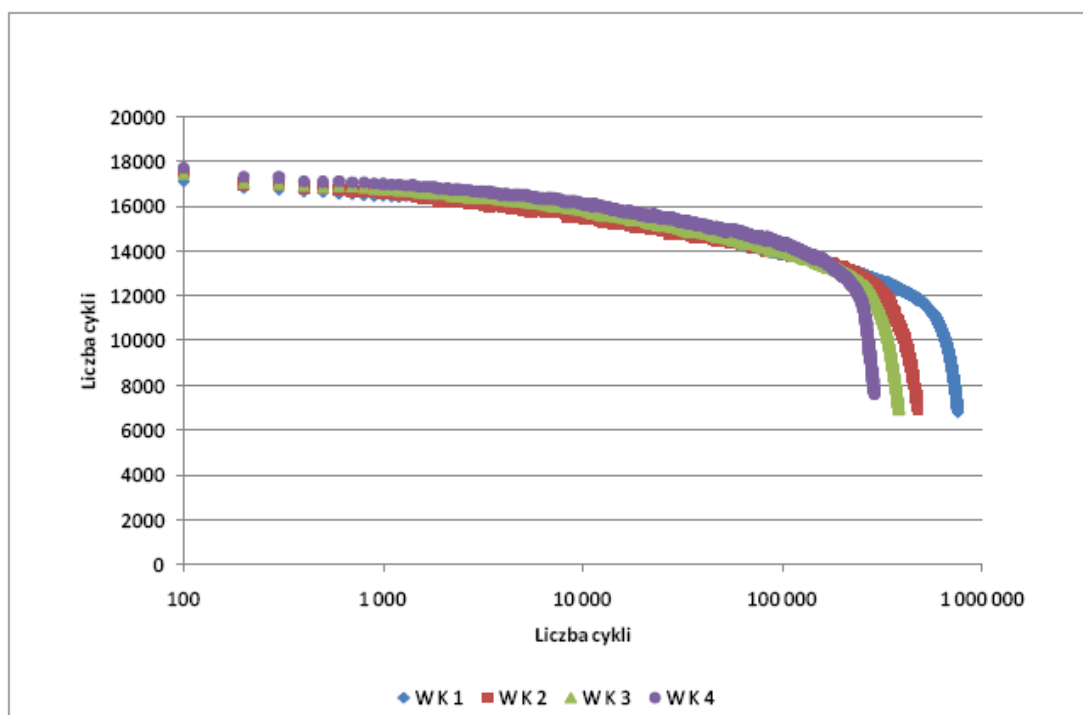
**Rysunek 3 Przebieg badania zmęczenia mieszanki porównawczej bez starzenia (P O)**



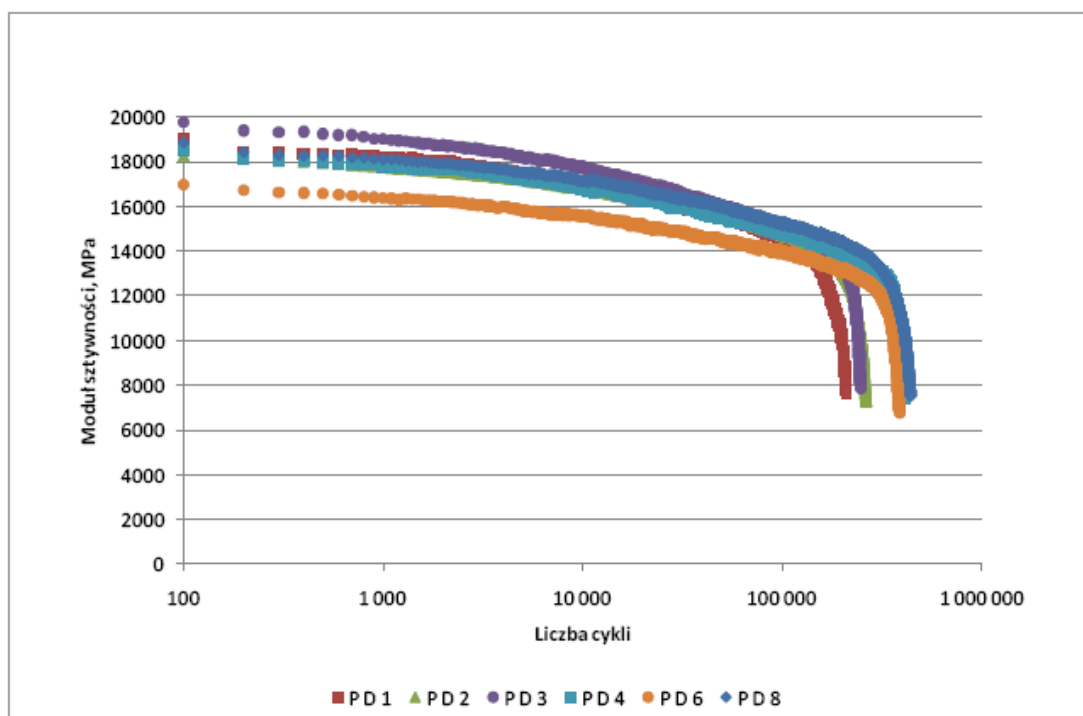
Rysunek 4 Przebieg badania zmęczenia mieszanki z włóknem bez starzenia (W O)



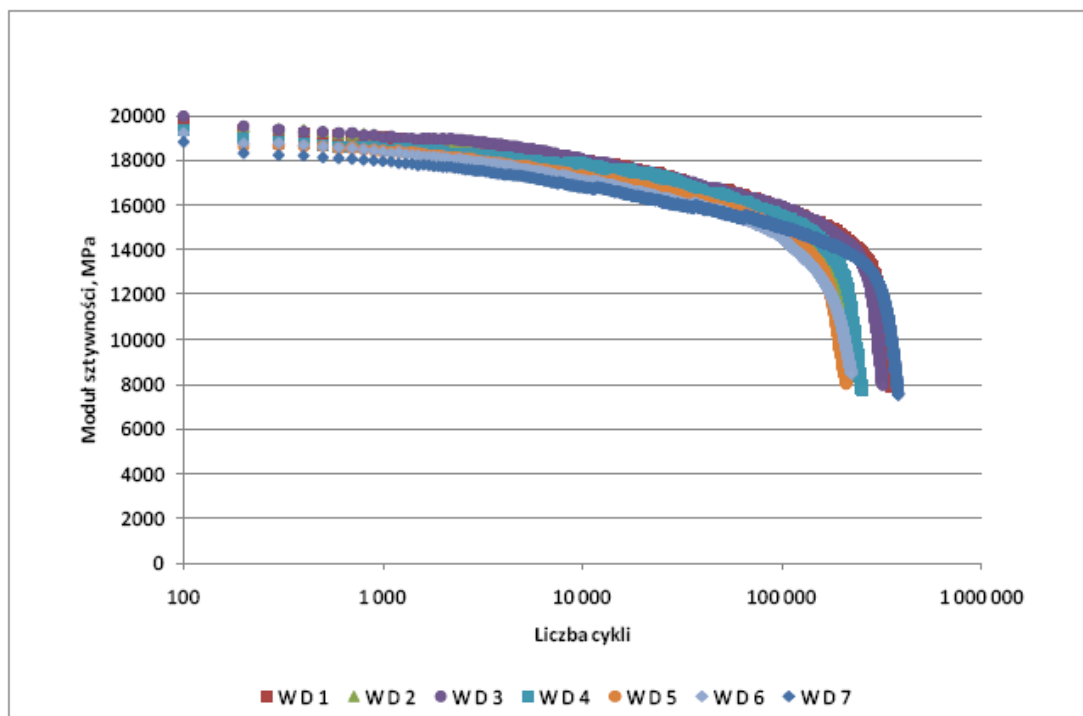
Rysunek 5 Przebieg badania zmęczenia mieszanki porównawczej po starzeniu krótkoterminowym (P K)



Rysunek 6 Przebieg badania zmęczenia mieszanki z włóknem po starzeniu krótkoterminowym (W K)



Rysunek 7 Przebieg badania zmęczenia mieszanki porównawczej po starzeniu długoterminowym (P D)



Rysunek 8 Przebieg badania zmęczenia mieszanki z włóknem po starzeniu długoterminowym (W D)

5.4. Moduł sztywności (Zadanie 5.3)

W ramach realizacji etapu I przeprowadzono badania modułu sztywności metodą belki czteropunktowo zginanej w temperaturze 10°C w wybranych częstotliwościach na mieszance porównawczej i mieszance z włóknem. Wyniki badań przedstawiono w tablicach 10 - 15.

Tablica 10 Wyniki badań modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki porównawczej w stanie oryginalnym (PO)

Próbka	Moduł sztywności, MPa					Kąt przesunięcia fazowego, °				
	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz
P O 1	16606	15954	14880	12942	11485	11,7	12,3	13,0	14,6	15,7
P O 2	15091	14618	13554	11694	10383	12,1	12,4	13,0	14,8	16,2
P O 3	17258	16704	15623	13596	12019	11,1	11,6	12,3	13,8	15,2
P O 4	16501	15848	14723	12874	11420	11,6	12,1	12,7	14,1	15,4
P O 5	16162	15593	14509	12561	11161	12,2	12,5	13,1	14,8	16,2
P O 6	16052	15537	14469	12565	11143	12,0	12,4	13,1	14,6	16,1
P O 7	14415	13882	12954	11220	10003	10,4	11,2	12,1	13,8	15,0
P O 8	15793	14922	13873	11895	10442	12,9	13,4	14,1	15,8	17,3
średnia	15985	15382	14323	12418	11007	11,8	12,2	12,9	14,5	15,9
odch. st.	895	879	835	770	674	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7

Tablica 11 Wyniki badań modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki z włóknem w stanie oryginalnym (WO)

Próbka	Moduł sztywności, MPa					Kąt przesunięcia fazowego, °				
	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz
W O 1	15218	14688	13648	12006	10681	11,3	11,8	12,4	13,7	14,7
W O 2	16814	16153	15168	13278	11907	11,2	11,5	12,2	13,5	14,7
W O 3	15470	14884	13831	12007	10678	12,0	12,4	13,1	14,4	15,6
W O 4	14087	13596	12691	10915	9597	12,6	13,1	13,9	15,7	17,1
W O 5	15350	14804	13747	12026	10793	11,4	11,7	12,2	13,6	14,8
W O 6	17462	16694	15575	13639	12243	10,8	11,0	11,7	13,0	14,1
W O 7	17235	16615	15525	13658	12376	11,0	11,2	11,8	13,0	14,2
W O 8	14195	13678	12744	10985	9782	12,5	12,8	13,4	14,8	16,0
średnia	15729	15139	14116	12314	11007	11,6	11,9	12,6	13,9	15,2
odch. st.	1308	1226	1169	1101	1066	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0

Tablica 12 Wyniki badań modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki porównawczej po starzeniu krótkoterminowym (PK)

Próbka	Moduł sztywności, MPa					Kąt przesunięcia fazowego, °				
	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz
P K 1	17642	17220	16422	14995	13883	8,2	8,3	8,5	9,4	10,1
P K 2	18014	17641	16829	15284	14011	8,2	8,8	9,1	9,8	10,4
P K 3	18251	17825	17086	15334	14193	8,6	8,9	9,2	9,8	10,4
P K 4	18501	18014	17172	15660	14180	8,2	8,5	8,7	9,6	10,1
średnia	18102	17675	16877	15318	14067	8,3	8,6	8,9	9,6	10,3
odch. st.	366	340	337	272	148	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2

Tablica 13 Wyniki badań modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki z włóknem po starzeniu krótkoterminowym (WK)

Próbka	Moduł sztywności, MPa					Kąt przesunięcia fazowego, °				
	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz
W K 1	19662	19060	17926	16089	14910	8,9	9,1	9,5	10,3	11,1
W K 2	17772	17359	16592	15115	13808	8,7	9,1	9,6	10,4	11,1
W K 3	19439	19096	18084	16297	14963	8,6	8,8	9,2	10,0	10,8
W K 4	18266	17703	16811	15213	14033	9,0	9,2	9,4	10,3	11,2
średnia	18785	18305	17353	15678	14429	8,8	9,0	9,4	10,2	11,0
odch. st.	911	904	761	601	594	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tablica 14 Wyniki badań modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki porównawczej po starzeniu długoterminowym (PD)

Próbka	Moduł sztywności, MPa					Kąt przesunięcia fazowego, °				
	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz
P D 1	17223	16465	15555	13992	12628	9,0	9,7	10,1	11,3	12,1
P D 2	19991	19472	18302	16479	15001	9,0	9,3	9,7	10,6	11,3
P D 3	19439	18947	17679	15876	14651	9,4	9,5	9,7	10,7	11,6
P D 4	19233	18719	17653	16134	14853	8,7	8,8	9,1	9,8	10,6
P D 5	17878	17325	16443	14879	13710	8,8	9,0	9,3	10,2	11,0
P D 6	18870	18138	17035	15356	14160	7,4	8,0	8,9	9,8	10,6
P D 7	18579	17966	16944	15137	13940	9,1	9,3	9,6	10,5	11,5
średnia	18745	18147	17087	15407	14135	8,8	9,1	9,5	10,4	11,2
odch. st.	947	1022	907	842	819	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6

Tablica 15 Wyniki badań modułu sztywności i kąta przesunięcia fazowego mieszanki z włóknem po starzeniu długoterminowym (WD)

Próbka	Moduł sztywności, MPa					Kąt przesunięcia fazowego, °				
	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz
W D 1	19719	19347	18237	16804	15400	6,9	7,1	7,3	8,0	8,4
W D 2	19760	19240	18412	16784	15655	7,8	7,9	8,2	8,8	9,2
W D 3	19669	19080	18125	16724	16724	8,2	8,4	8,4	9,2	9,2
W D 4	19408	19239	18165	16416	15478	8,6	8,6	8,6	9,4	9,9
W D 5	19671	19124	18178	16531	15415	7,5	7,7	8,0	8,4	9,0
W D 6	20140	19528	18616	17034	15975	7,5	7,7	7,8	8,4	9,0
W D 7	19282	18870	18042	16527	15410	7,6	7,7	8,0	8,7	9,3
średnia	19664	19204	18253	16689	15722	7,7	7,9	8,0	8,7	9,2
odch. st.	274	209	197	211	488	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4

5.5. Wodoodporność (Zadanie 5.4)

Badania wodoodporności przeprowadzono na mieszance porównawczej i mieszance z włóknem w stanie bez starzenia oraz po starzeniu krótko- i długoterminowym. Wyniki badań przedstawiono w tablicy 16.

Tablica 16 Zestawienie wyników badań wodoodporności

Mieszanka	ITS _w	ITS _d	ITSR
	kPa	kPa	%
P O	1219,6	1294,5	94,2
W O	1315,0	1296,4	101,4
P K	1407,8	1511,0	93,2
W K	1444,1	1653,6	87,3
P D	1298,0	1524,4	85,2
W D	1393,0	1460,4	95,4

5.6. Odporność na pękanie niskotemperaturowe (Zadanie 5.5)

W ramach realizacji Etapu I przeprowadzono badania odporności na pękanie niskotemperaturowe metodą TSRST na mieszance porównawczej i mieszance z włóknem. Wyniki badań przedstawiono w tablicach 17 - 19 i na rysunkach 9 - 14.

Tablica 17 Wyniki badań TSRST mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem w stanie oryginalnym

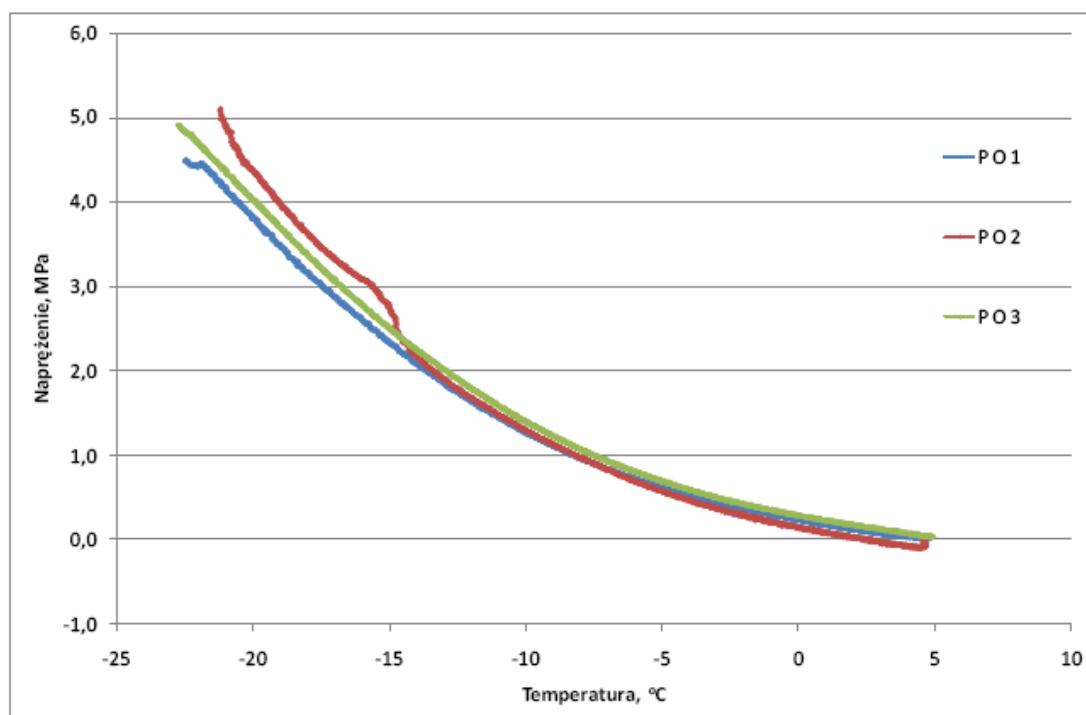
Próbka	Temperatura pęknięcia, °C	Napężenie przy pęknięciu, MPa	Próbka	Temperatura pęknięcia, °C	Napężenie przy pęknięciu, MPa
P O 1	-22,5	4,5	W O 1	-17,6	3,7
P O 2	-22,7	4,9	W O 2	-22,7	4,6
P O 3	-21,2	5,1	W O 3	-19,4	4,1
średnia	-22,1	4,8	średnia	-19,9	4,2

Tablica 18 Wyniki badań TSRST mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem po starzeniu krótkoterminowym

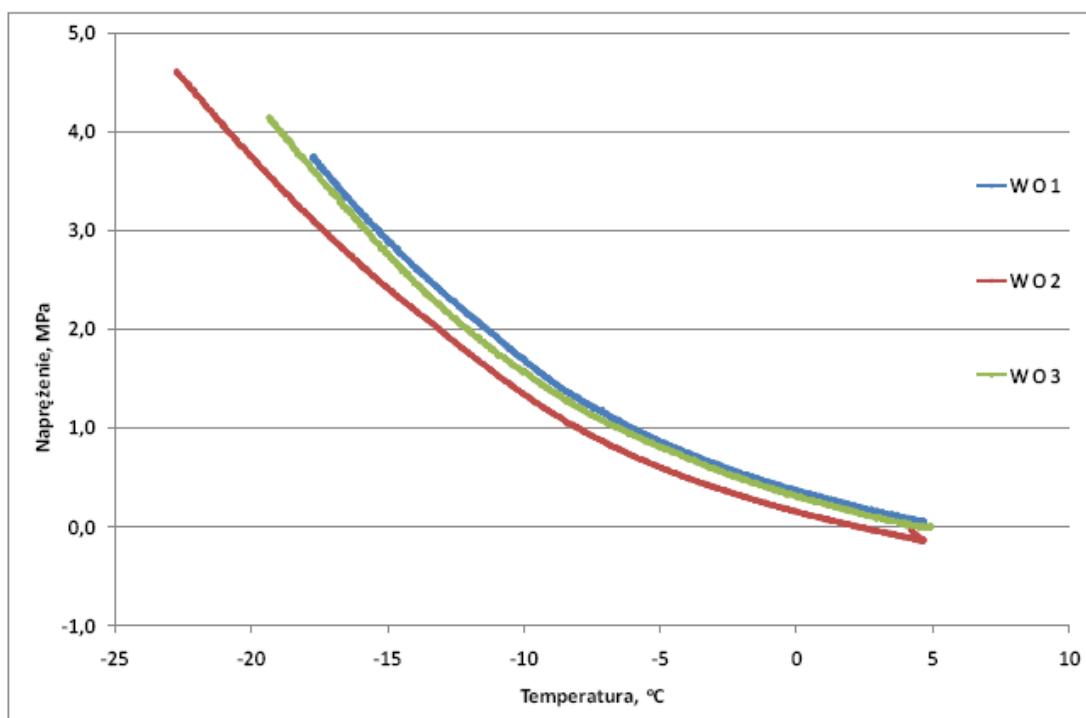
Próbka	Temperatura pęknięcia, °C	Napężenie przy pęknięciu, MPa	Próbka	Temperatura pęknięcia, °C	Napężenie przy pęknięciu, MPa
P K 1	-19,8	4,9	W K 1	-18,1	4,2
P K 2	-20,0	5,0	W K 2	-20,0	4,7
P K 3	-18,9	5,1	W K 3	-19,9	5,0
P K 4	-18,3	4,3	W K 4	-18,5	4,4
średnia	-19,3	4,8	średnia	-19,1	4,6

Tablica 19 Wyniki badań TSRST mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem po starzeniu długoterminowym

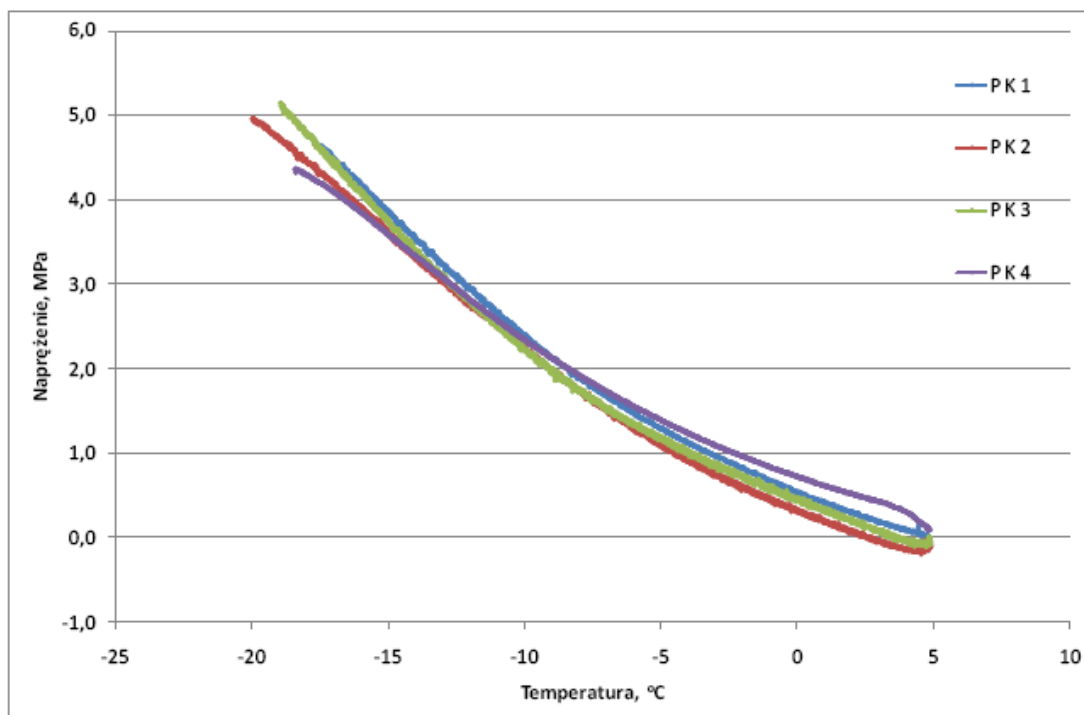
Próbka	Temperatura pęknięcia, °C	Napężenie przy pęknięciu, MPa	Próbka	Temperatura pęknięcia, °C	Napężenie przy pęknięciu, MPa
P D 1	-19,8	5,2	W D 1	-17,1	4,6
P D 2	-20,1	4,9	W D 2	-18,4	4,8
P D 3	-18,7	5,3	W D 3	-16,9	4,4
P D 4	-18,8	5,0	W D 4	-18,5	4,5
średnia	-19,4	5,1	średnia	-17,7	4,6



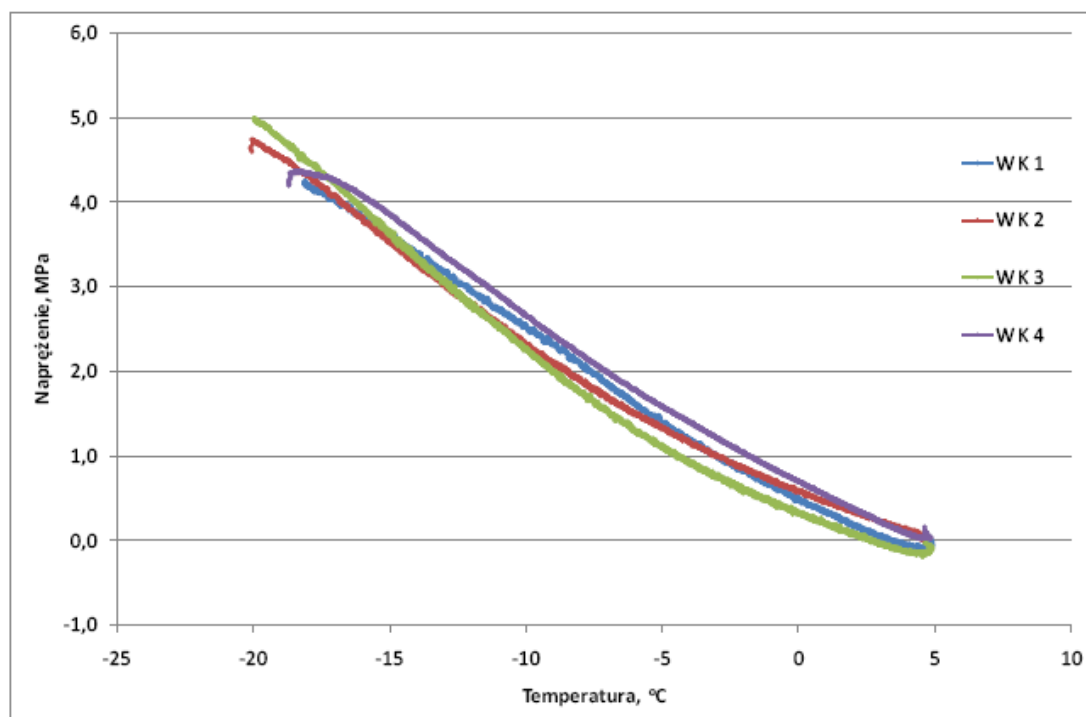
Rysunek 9 Przebieg badania TSRST mieszanki porównawczej w stanie oryginalnym (P O)



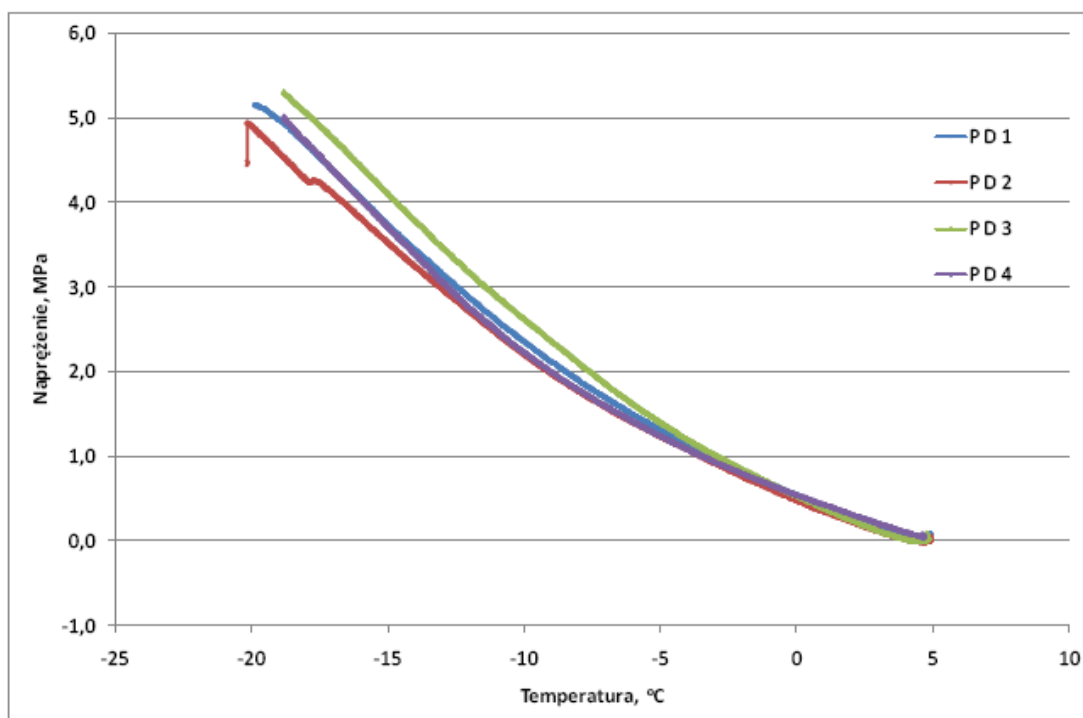
Rysunek 10 Przebieg badania TSRST mieszanki z włóknem w stanie oryginalnym (W O)



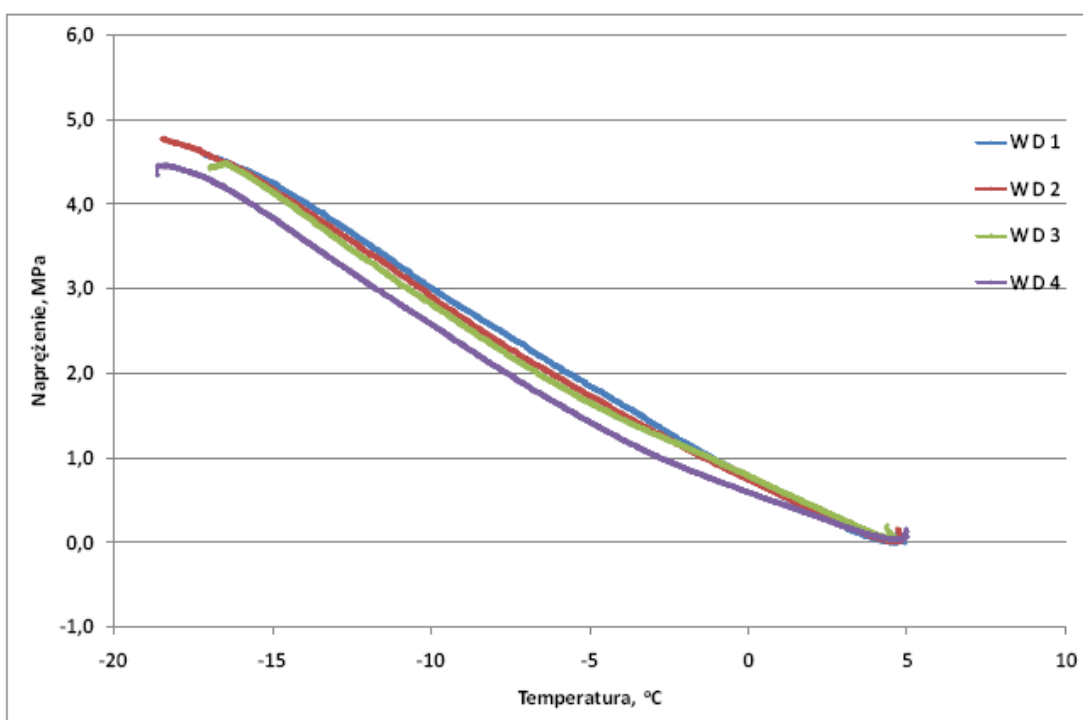
Rysunek 11 Przebieg badania TSRST mieszanki porównawczej po starzeniu krótkoterminowym (P K)



Rysunek 12 Przebieg badania TSRST mieszanki z włóknem po starzeniu krótkoterminowym (W K)



Rysunek 13 Przebieg badania TSRST mieszanki porównawczej po starzeniu długoterminowym (P D)



Rysunek 14 Przebieg badania TSRST mieszanki z włóknem po starzeniu długoterminowym (W D)

6. Wyniki badań (mieszanka ACWMS 16 wg rec. TN/09/2L i TN/09/2L/W)

6.1. Skład i podstawowe właściwości

Składy mieszanek AC WMS16 zostały wykonane w laboratorium IBDiM, z materiałów własnych tj.: kruszyw, lepiszcza oraz dodatków.

Do wykonania mieszanki mineralno-asfaltowej typu AC WMS16 zastosowano asfalt drogowy 20/30 z firmy LOTOS Asfalt. W tabelicy 20 podane zostały podstawowe właściwości tego asfaltu.

Tabela 20 Podstawowe właściwości asfaltu 20/30 z LOTOS Asfalt

WŁAŚCIWOŚCI	Rodzaj asfaltu	
	20/30	
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	24	
Temperatura mięknięcia PiK, °C	63,0	
Temperatura łamliwości wg Fraassa °C	-13	

W tabelicy 21 zostały przedstawione analizy sitowe poszczególnych frakcji kruszyw, które zostały oznaczone w laboratorium IBDiM.

Tabela 21 Analizy sitowe kruszyw do AC WMS16

Wymiar oczek sita # [mm]	Mączka wapienna	Piasek łam. granitowy 0/2 mm	Bazalt 2/5 mm	Bazalt 5/8 mm	Bazalt 8/11 mm	Bazalt 11/16 mm
31,5						
22,4						
16						4,90
11,2					6,60	81,30
8				3,30	68,70	12,90
5,6			1,60	71,90	20,50	0,60
2		9,8	94,40	24,30	2,80	0,10
0,125	2,23	69,5	3,80	0,30	0,90	
0,063	13,05	13,5	0,10	0,10	0,20	0,10
< 0,063	84,72	7,2	0,10	0,10	0,30	0,10
Łącznie	100	100	100	100	100	0,2

Pozostałe materiały

Środki adhezyjne, Wetfix BE

Włókno polimerowe

Projektowana mieszanka ACWMS 16 20/30 jest to beton asfaltowy wysokim module sztywności z asfaltem drogowym 20/30 przeznaczony do warstwy podbudowy dla ruchu od KR3 do KR6 (wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe [2]).

Na potrzeby niniejszej pracy przyjęto następujące oznaczenia:

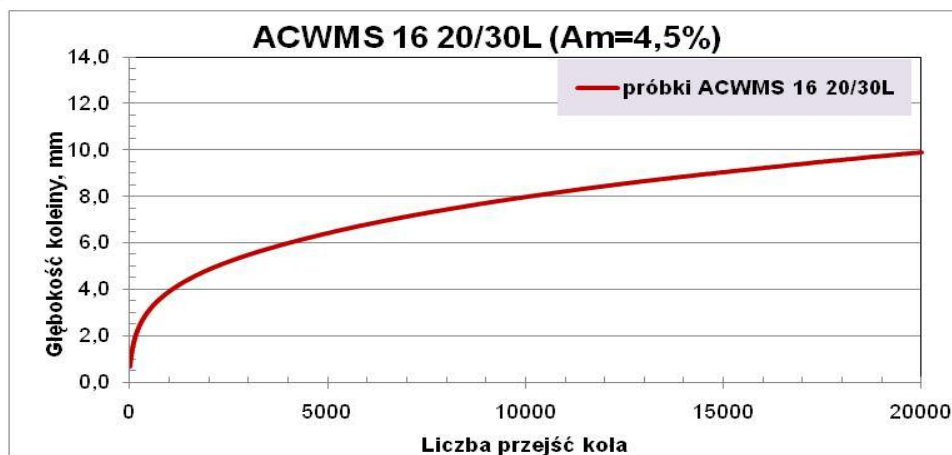
ACWMS16 20/30L – mieszanka porównawcza

ACWMS16 20/30L/W – mieszanka porównawcza z dodatkiem 0,3% włókna polimerowego

6.2. Odporność na koleinowanie

ACWMS 16 20/30L

Na rysunku 15 przedstawiono wykres z przebiegu badania koleinowania mieszanki ACWMS16 20/30L przeprowadzone na próbkach przygotowanych w laboratorium IBDiM wg recepty TN/09/2L.

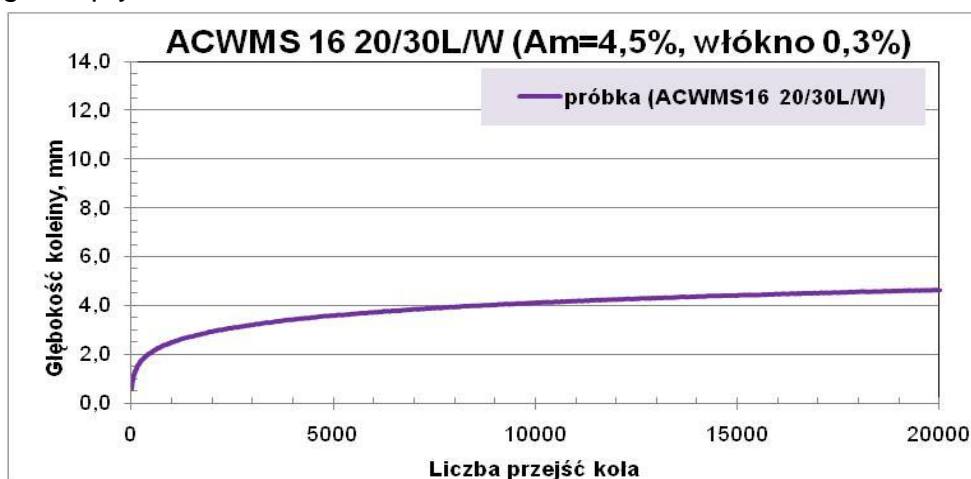


AC WMS 16 20/30L (wys. próbki 101 mm)			
Cykle (przejścia)	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Właściwości			
Głębokość koleiny, mm	6,41	7,97	9,9
PRD, %	6,3	7,9	9,8
WTS _(d10000-d5000) , [mm/1000 cykli]			0,38

Rysunek 15 Przebieg i wyniki badania koleinowania mieszanki ACWMS16 20/30L

ACWMS 16 20/30L/W

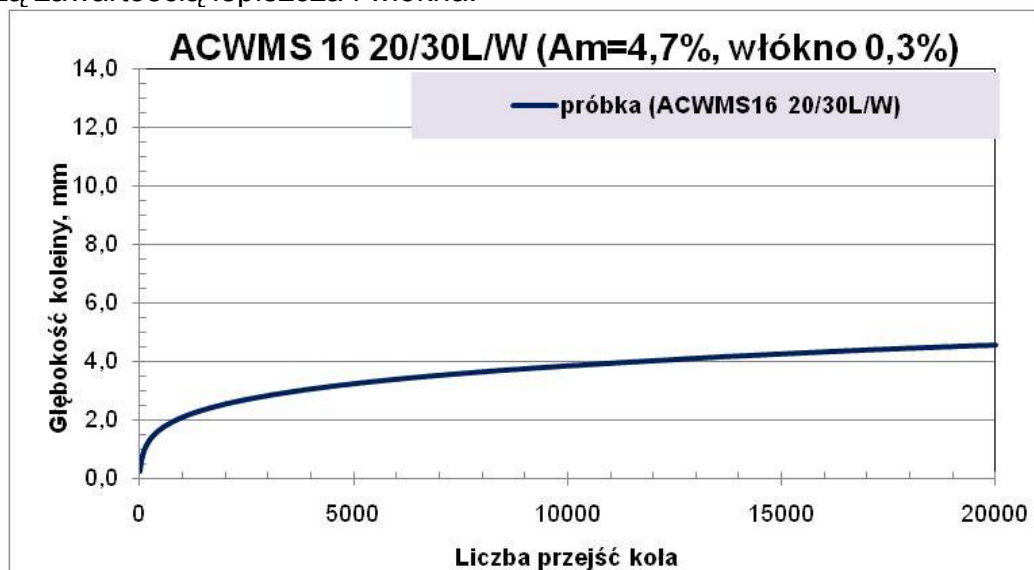
Na rysunku 16 przedstawiono wykres z przebiegu badania koleinowania mieszanki ACWMS16 20/30L/W przeprowadzone na próbkach przygotowanych w laboratorium IBDiM wg recepty TN/09/2L/W.



AC WMS 16 20/30L/W (wys. próbki 100 mm)			
Cykle (przejścia)	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Właściwości			
Głębokość koleiny, mm	3,57	4,11	4,62
PRD, %	3,6	4,1	4,6
WTS _(d10000-d5000) , [mm/1000 cykli]			0,10

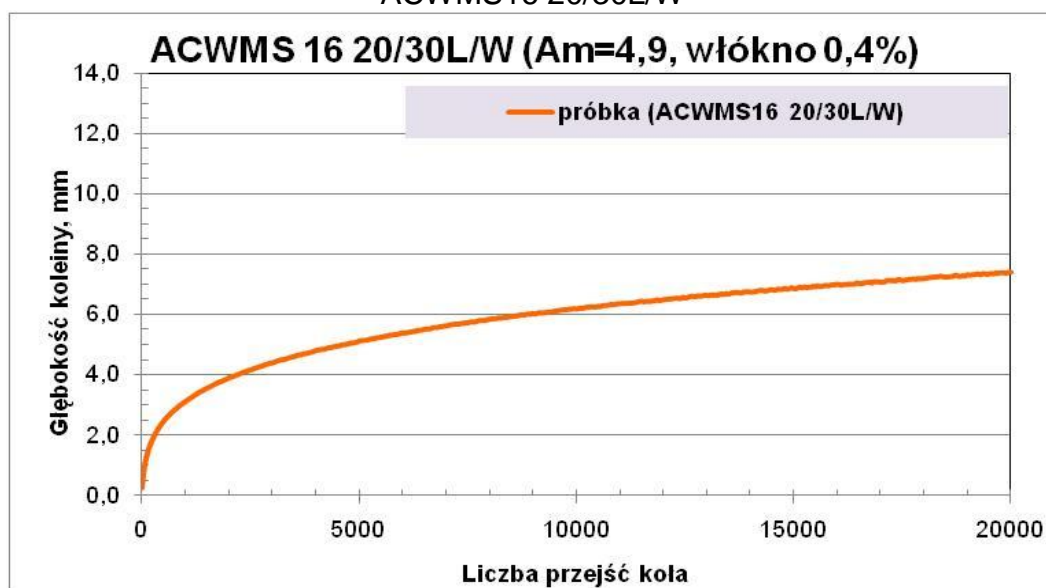
Rysunek 16 Przebieg i wyniki badania koleinowania mieszanki ACWMS16 20/30L/W

Na rysunkach 17-18 przedstawiono wykres z przebiegu badania koleinowania mieszanki ACWMS16 20/30L/W przeprowadzone na próbkach przygotowanych z większą zawartością lepiszcza i włókna.



AC WMS 16 20/30L/W (wys. próbki 100 mm)				
Właściwości	Cykle (przejścia)	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm		3,24	3,85	4,56
PRD, %		3,2	3,9	4,6
WTS _(d10000-d5000) , [mm/1000 cykli]				0,14

Rysunek 17 Przebieg i wyniki badania koleinowania w małym aparacie mieszanki ACWMS16 20/30L/W



AC WMS 16 20/30L/W (wys. próbki 99 mm)				
Właściwości	Cykle (przejścia)	2500 (5000)	5000 (10000)	10000 (20000)
Głębokość koleiny, mm		5,11	6,18	7,40
PRD, %		5,2	6,2	7,5
WTS _(d10000-d5000) , [mm/1000 cykli]				0,24

Rysunek 18 Przebieg i wyniki badania koleinowania w małym aparacie mieszanki ACWMS16 20/30L/W

W tablicy 22 przedstawiono zbiorcze zestawienie wyników badań koleinowania mieszanek AC WMS 16 20/30L i AC WMS 16 20/30L/W.

Tablica 22 Zbiorcze zestawienie wyników badań koleinowania w małym aparacie –mieszanka ACWMS 16 20/30L

	Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli)				Wymaganie wg WT-2
Zawartość lepiszcza, %	4,5	4,5	4,7	4,9	-
Zawartość włókien, %	0,0	0,3	0,3	0,4	-
WTS _(d10000-d5000) , [mm/1000 cykli]	0,38	0,1	0,14	0,24	WTS_{AIR} 0,1
PRD_{AIR} , %	9,8	4,6	4,6	6,2	PRD_{AIR} 3,0

6.3. Trwałość zmęczeniowa

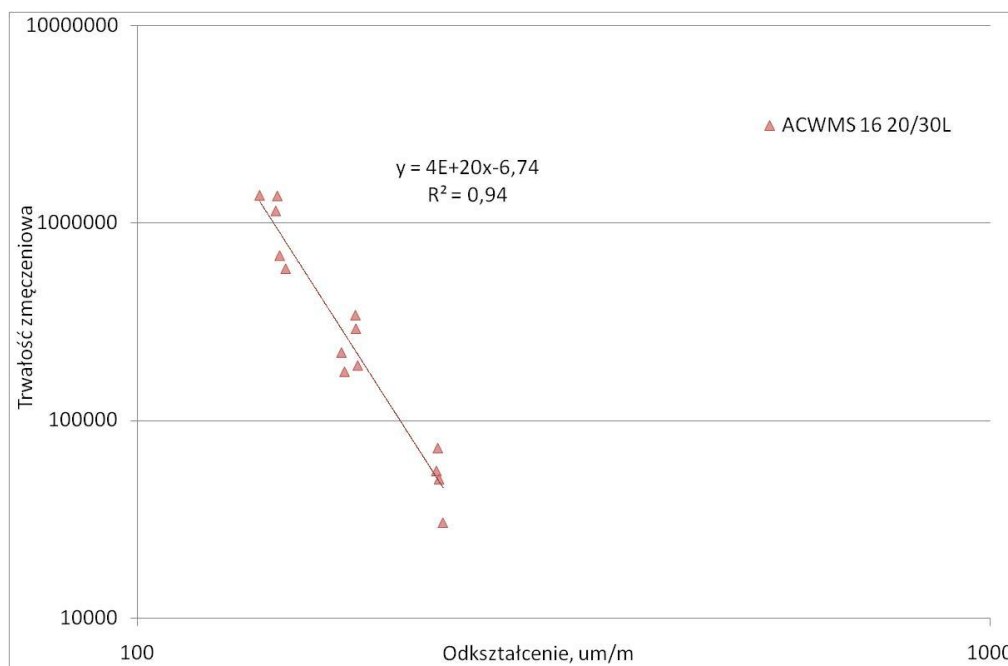
Przeprowadzono badania zmęczeniowe metodą belki czteropunktowo zginanej w temperaturze 10°C na mieszance porównawczej i mieszance z włóknem. Wyniki badań przedstawiono w tablicach 23- 24 i na rysunku 19.

Tablica 23 Wyniki badań zmęczenia mieszanki ACWMS 16 20/30

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

Tablica 24 Wyniki badań zmęczenia mieszanki AC WMS16 B 20/30

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



Rysunek 19 Charakterystyka zmęczeniowa mieszanki ACWMS16 20/30

7. Analiza wyników

7.1. BAWMS 16 20/30 wg recept TN/251/08-1 i TN/251/08-2

7.1.1. Właściwości podstawowe

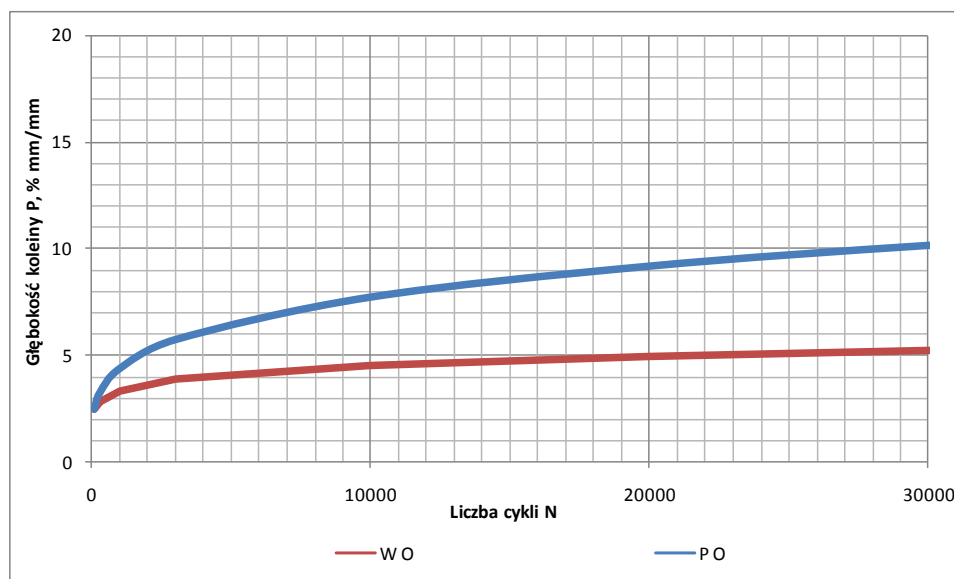
Zaprojektowano dwa składy betonu asfaltowego wysokim module sztywności BAWMS 16 20/30. Mieszanki wykonane zostały z tych samych materiałów składowych (asfalt i kruszywo). Charakteryzowały się taką samą zawartością asfaltu 5,2 % m/m i takim samym uziarnieniem mieszanki mineralnej. Różnica pomiędzy mieszankami polegała na dodaniu włókna polimerowego w ilości 0,3 % m/m w stosunku do mieszanki. Dodanie włókna spowodowało zwiększenie Zawartości wolnych przestrzeni z 2,5 do 3,3 % v/v. Wypełnienie wolnych przestrzeni jest 4,5 % mniejsze w przypadku mieszanki z włóknem. Wyniki badania Marshalla są na porównywalnym poziomie. Moduł sztywności pełzania mieszanki porównawczej jest większy od modułu mieszanki z włóknem. Jednak obydwie wartości są bardzo wysokie, prawie dwukrotnie wyższe niż wartość wymagana w Zeszycie 70 [3].

Tablica 25 Zbiorcze zestawienie zbadanych właściwości mieszanki porównawczej oraz mieszanek z różną zawartością włókna i lepiszcza

Rodzaj mieszanki	BAWMS16 porównawcza	BAWMS16 z dodatkiem włókna	Wymagania wg Zeszytu 70
Skład Właściwości			
Zawartość asfaltu Am	5,2	5,2	
Zawartość włókna	-	0,3	
Rodzaj asfaltu	20/30		
Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,649	2,632	
Gęstość strukturalna mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,582	2,542	
Wolna przestrzeń w mieszance mineralno-asfaltowej, % v/v	2,5	3,3	od 1 do 4
Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	84,2	79,7	od 74 do 90
Stabilność wg Marshalla w 60°C, kN	12,3	11,8	
Odkształcenie wg Marshalla w 60°C, mm	3,7	4,4	
Moduł sztywności pełzania pod obciążeniem statycznym w 40°C, MPa	40,7	35,1	> 21,0

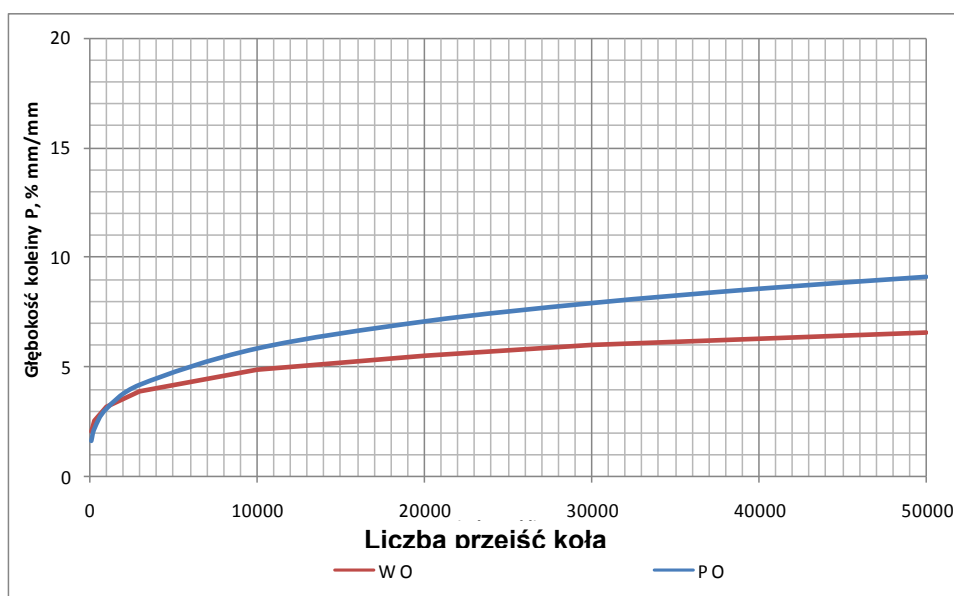
7.1.2. Odporność na koleinowanie

Badania koleinowania wykonano na próbkach nie poddanych starzeniu (w stanie oryginalnym). Na rysunku 20 przedstawiono porównanie przebiegu badania koleinowania w dużym aparacie mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem.



Rysunek 20 Porównanie przebiegu koleinowania w dużym aparacie mieszanki z włóknem oraz mieszanki porównawczej

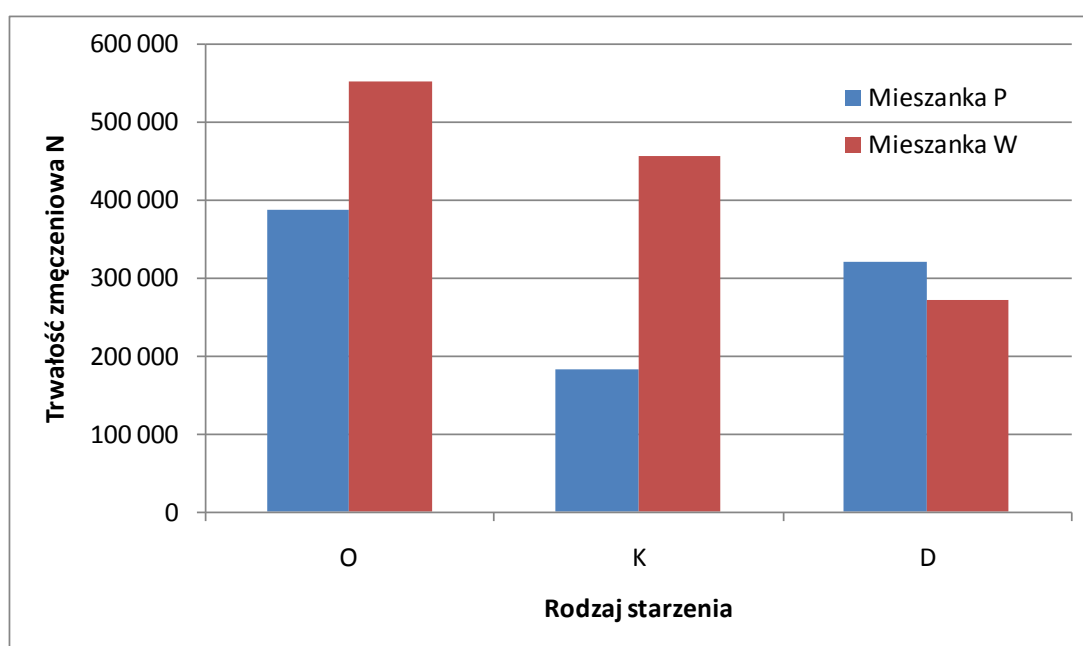
Mieszanka porównawcza uzyskała bardzo słaby wynik koleinowania (względna głębokość koleiny po 30 000 cykli 9,6 %), znacznie przekraczając dopuszczalną granicę 5,0 %. Uzyskanie takiego wyniku wskazuje na konieczność zdecydowanej zmiany składu mma lub zastosowania specjalnych rozwiązań. Zastosowanie włókna polimerowego w znacznym stopniu poprawiła odporność na deformacje trwałe mieszanki BAWMS 16. Wynik koleinowania wynoszący 5,6% stanowi niemal dwukrotną poprawę w stosunku do mieszanki porównawczej i w minimalnym stopniu przekracza minimalna wartość. W tym przypadku niewielka korekta składu mma (np. zmniejszenie zawartości asfaltu) pozwoli uzyskać mieszankę spełniającą wymaganie odporności na koleinowanie. Przeprowadzone dodatkowo badanie koleinowania w małym aparacie potwierdziło znacznie lepszą odporność na koleinowanie mieszanki z włóknem (rysunek 21).



Rysunek 21 Porównanie przebiegu koleinowania w małym aparacie mieszanki z włóknem oraz mieszanki porównawczej

7.1.3. Trwałość zmęczeniowa

Trwałość zmęczeniowa mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem została określona na podstawie badania metodą belki czteropunktowo zginanej. Badaniom poddano mieszanki w stanie oryginalnym, po starzeniu krótkoterminowym i po starzeniu długoterminowym. Na rysunku 22 przedstawiono porównanie trwałości zmęczeniowej przy odkształceniu 188 $\mu\text{m}/\text{m}$ w trzech stanach. W przypadku mieszanki BAWMS 16 z włóknem trwałość zmęczeniowa zmniejsza się w kolejnych stanach starzenia. W przypadku mieszanki porównawczej niespodziewanie trwałość mieszanki po starzeniu długoterminowym jest wyższa niż po starzeniu krótkoterminowym. Analizując wyniki zmęczenia można stwierdzić, że dodatek włókna poprawia trwałość zmęczeniową mieszanki w stanie oryginalnym oraz po starzeniu krótkoterminowym. Wyniki po starzeniu długoterminowym wskazują na nieznacznie korzystniejsze wyniki mieszanki porównawczej. Uzyskane wyniki należy potraktować jako wstępne, w dalszej części należy przeprowadzić pełne badania zmęczeniowe i opracować charakterystyki zmęczeniowe mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem. Możliwe będzie wtedy odniesienie uzyskanych wyników do odpowiednich wymagań oraz analiza statystyczna uzyskanych wyników, która jest niezbędną z uwagi na towarzyszący zawsze badaniom zmęczeniowym rozrzut wyników.

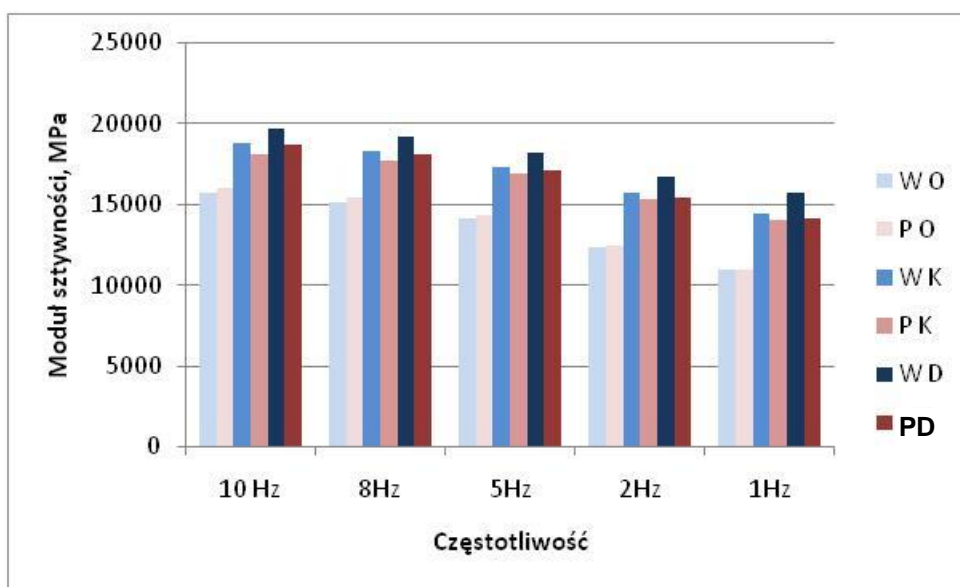


Rysunek 22 Porównanie trwałości zmęczeniowej mieszanki porównawczej oraz mieszanki z włóknem przy odkształceniu 188 $\mu\text{m}/\text{m}$

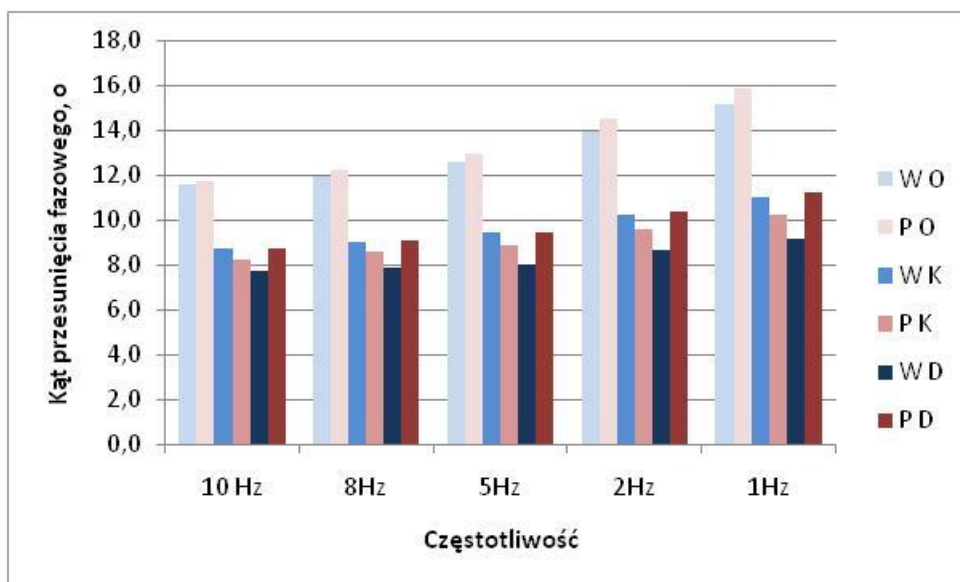
7.1.4. Sztywność

Sztywność mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem została określona w trzech stanach: oryginalnym, po starzeniu krótko i długoterminowym metodą belki czteropunktowo zginanej w temperaturze 10°C w różnym częstotliwościach obciążenia. Uzyskano wyniki modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego. Zestawienie porównawcze wyników przedstawiono na rysunku 23 i 24. Analiza uzyskanych wyników modułu sztywności pozwala stwierdzić, że na skutek starzenia krótko i długoterminowego następuje stopniowe zwiększenie sztywności mieszanek. W stanie oryginalnym – bez starzenia, moduły sztywności badanych mieszanek są praktycznie takie same, a obydwie mieszanki spełniają wymaganie dotyczące

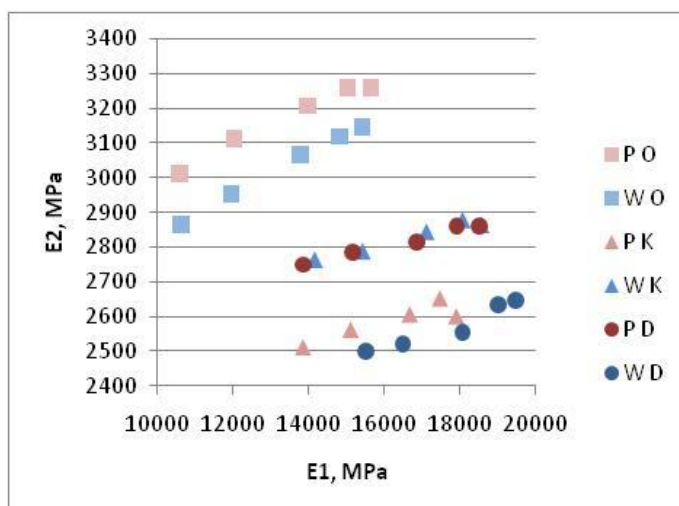
sztynności wynoszące 14 000 MPa (10°C, 10Hz). Wyniki po starzeniu krótko- i długoterminowym, niezależnie od częstotliwości wskazują, na nieznacznie większą sztywność mieszanki z włóknem. Analizując wyniki kąta przesunięcia fazowego, będącego miarą sprężystości mieszanki, można stwierdzić, że na skutek procesu starzenia następuje zmniejszenie wielkości fazy lepkiej modułu zespolonego – mieszanka staje się bardziej sprężysta. Jest to bardzo widoczne na wykresie Cole-Cole przedstawionym na rysunku 25. W przypadku mieszanki porównawczej udział części lepkiej jest niespodziewanie większy po starzeniu długoterminowym niż po starzeniu krótkoterminowym.



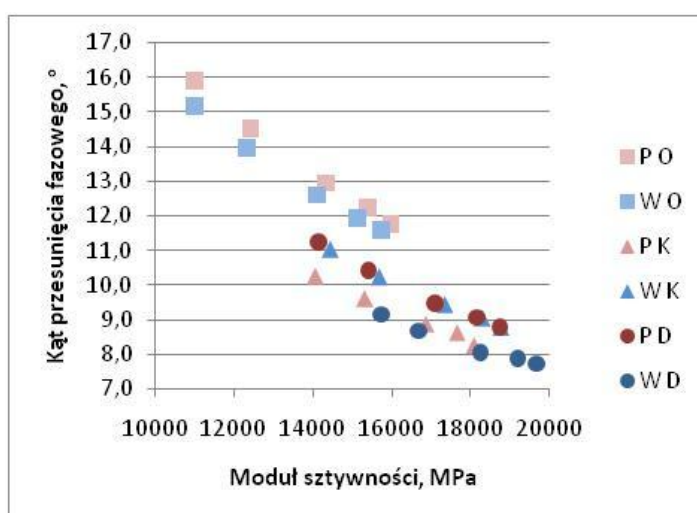
Rysunek 23 Porównanie modułu sztywności mieszanki porównawczej oraz mieszanki z włóknem w różnych częstotliwościach



Rysunek 24 Porównanie kąta przesunięcia fazowego mieszanki porównawczej oraz mieszanki z włóknem w różnych częstotliwościach



Rysunek 25 Wykres Cole-Cole mieszanki porównawczej oraz mieszanki z włóknem



Rysunek 26 Wykres Blacka mieszanki porównawczej oraz mieszanki z włóknem

Tablica 26 Wzrost modułu sztywności na skutek starzenia

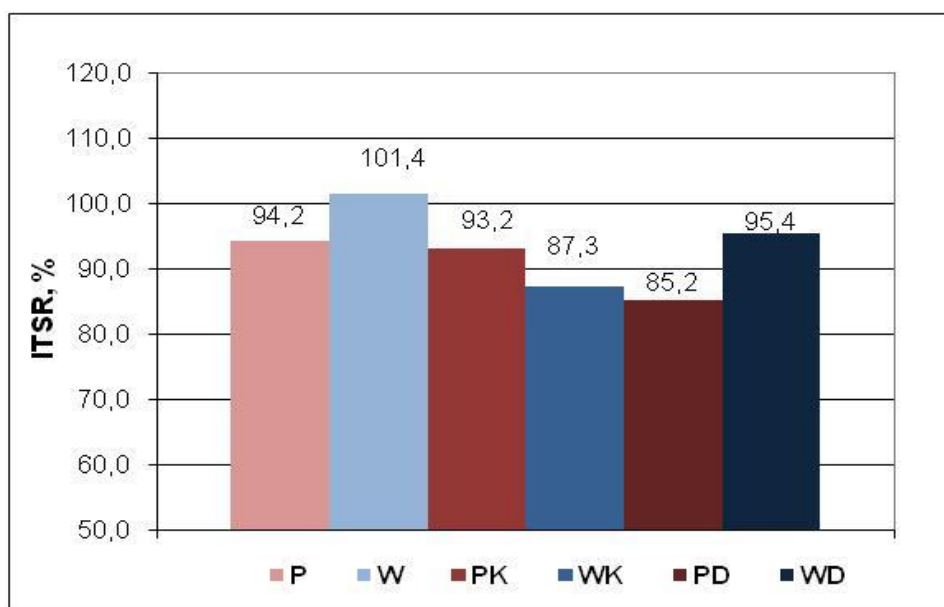
Mieszanka	Częstotliwość				
	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz
W K	19%	21%	23%	27%	31%
P K	13%	15%	18%	23%	28%
W D	25%	27%	29%	36%	43%
P D	17%	18%	19%	24%	28%

Tablica 27 Obniżenie części lepkiej modułu zespolonego na skutek starzenia

Mieszanka	Częstotliwość				
	10 Hz	8Hz	5Hz	2Hz	1Hz
W K	10%	18%	18%	15%	14%
P K	25%	23%	23%	21%	20%
W D	19%	18%	20%	17%	15%
P D	23%	21%	20%	16%	13%

7.1.5. Wodoodporność

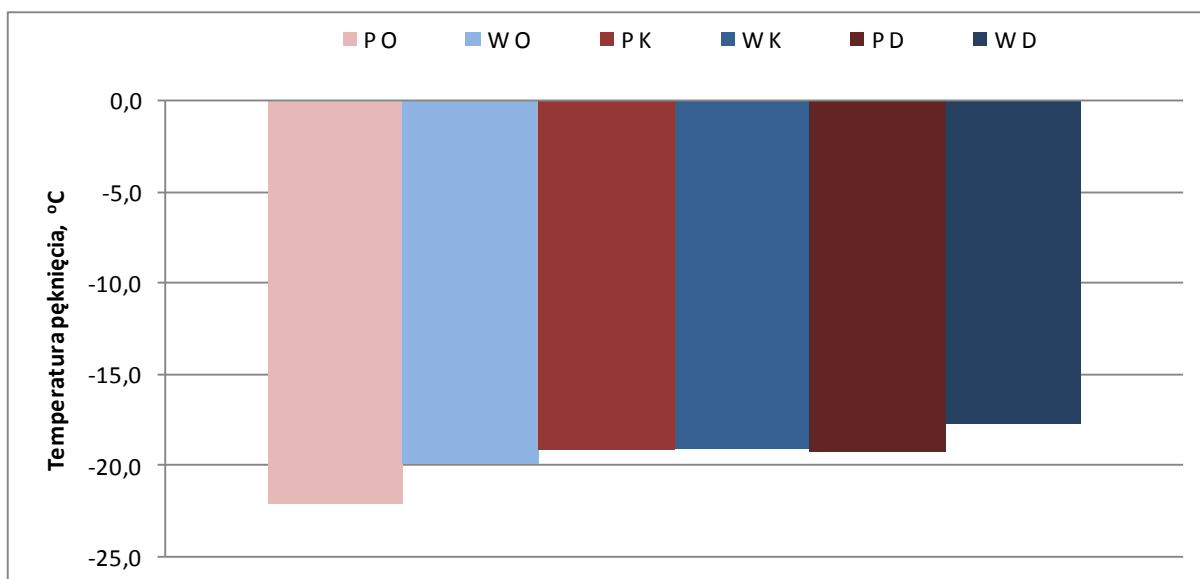
Mieszanka BAWMS 16 porównawcza i z włóknem spełniły wymaganie wodoodporności jak dla betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy i wiążącej. Niezależnie od stanu mieszanki pod względem starzenia, w każdym przypadku dodatek włókna poprawił wodoodporność mieszanki. Najniższe wyniki wodoodporności uzyskano na mieszankach poddanych starzeniu długoterminowemu.



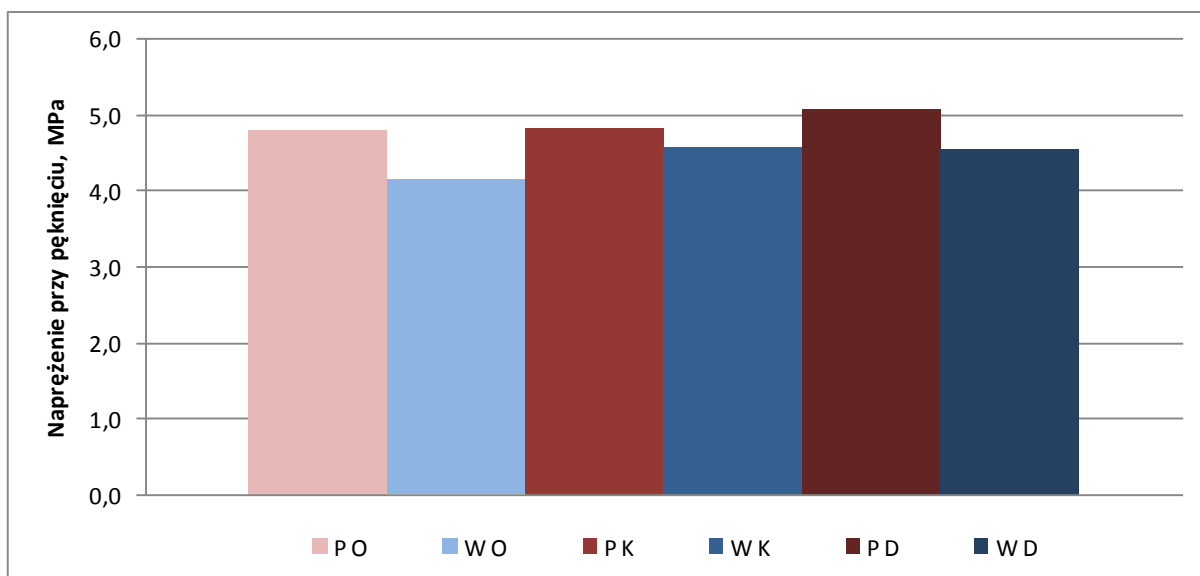
Rysunek 27 Wyniki badań wodoodporności

7.1.6. Odporność na niską temperaturę

Mieszanka BAWMS 16 porównawcza i z włóknem zostały poddane badaniom odporności na pękanie niskotemperaturową metodą TSRST w trzech stanach: oryginalnym – bez starzenia, po starzeniu krótko- i długoterminowym. Wyniki badania, tj. temperaturę pęknięcia i naprężenie przy pęknięciu, zestawiono w formie graficznej na rysunkach 28 i 29. Mieszanka porównawcza charakteryzowała się korzystnie niższą temperaturą pęknięcia, szczególnie w stanie oryginalnym i po starzeniu długoterminowym (różnica około 1,5 – 2,0°C w stosunku do mieszanki z włóknem). W przypadku mieszanek po starzeniu krótkoterminowym różnica ta jest pomijalna (0,2°C). Większe naprężenia przy pęknięciu mieszanki porównawczej w trzech stanach wynikają z niższej temperatury pęknięcia w stosunku do mieszanki z włóknem.



Rysunek 28 Porównanie temperatury pęknięcia mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem



Rysunek 29 Porównanie naprężenia przy pęknięciu mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem

7.1.7. Podsumowanie wyników analizy

Na podstawie przedstawionej analizy wyników mieszanki porównawczej BAWMS 16 20/30 oraz mieszanki BAWMS 16 20/30 z dodatkiem włókna można stwierdzić pewne różnice we właściwościach podstawowych i funkcjonalnych tych mieszanek. Dodatek włókna pozwolił zwiększyć zawartość wolnych przestrzeni w mma, zwiększył jej sztywność, znacznie poprawił odporność na deformacje trwałe (koleinowanie) i wodoodporność oraz korzystnie wpłynął na trwałość zmęczeniową. Słabsze wyniki odporności niskotemperaturowej mieszanki z włóknem mogą wynikać z większej sztywności tych mieszanek i większym udziałem fazy lepkiej modułu zespolonego w stanie oryginalnym i po starzeniu długoterminowym.

7.2. ACWMS 16 20/30 wg recept TN/09/2L i TN/09/2L/W**7.2.1. Właściwości podstawowe**

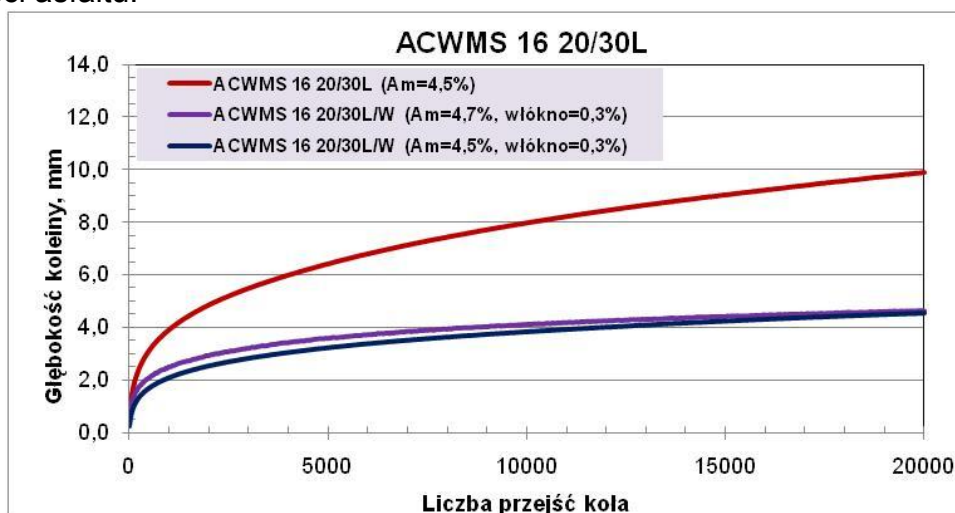
Zaprojektowano dwa składy betonu asfaltowego wysokim module sztywności ACWMS 16 20/30. Mieszanki wykonane zostały z tych samych materiałów składowych (asfalt i kruszywo). Charakteryzowały się taką samą zawartością asfaltu 4,5 % m/m i takim samym uziarnieniem mieszanki mineralnej. Różnica pomiędzy mieszankami polegała na dodaniu włókna polimerowego w ilości 0,3 % m/m w stosunku do mieszanki. Dodanie włókna spowodowało zwiększenie Zawartości wolnych przestrzeni z 2,9 do 3,4 % v/v. Wypełnienie wolnych przestrzeni jest 3,0 % mniejsze w przypadku mieszanki z włóknem.

Tablica 28 Porównanie podstawowych wyników badań mieszanek ACWMS 16 20/30

Lp.	Właściwości	Wyniki ACWMS16 20/30L	Wyniki ACWMS 16 20/30L/W
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej, g/cm ³	2,873	2,852
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej (dawna gęstość objętościowa), g/cm ³	2,656	2,639
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej (dawna gęstość strukturalna), g/cm ³	2,579	2,549
4	Zawartość wolnych przestrzeni, %v/v	2,9	3,4
5	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	79,7	76,7
6	Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli	0,38	0,1
		9,8	4,6
7	Odporność na działanie wody, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	85,9	85,6

7.2.2. Odporność na koleinowanie

Badania koleinowania wykonano na próbkach nie poddanych starzeniu (w stanie oryginalnym). Na rysunku 30 przedstawiono porównanie przebiegu badania koleinowania w małym aparacie mieszanki porównawczej i mieszanki z włóknem. Dodatek włókna bardzo poprawia odporność na koleinowanie, nawet przy zwiększonej zawartości asfaltu.



Rysunek 30 Porównanie przebiegu koleinowania w małym aparacie mieszanki z włóknem oraz mieszanki porównawczej ACWMS 16 20/30L

8. Zakończenie

Program pracy zgodnie z założeniami umowy został podzielony na trzy etapy. Niniejsze sprawozdanie przedstawia prace przewidziane w części drugiej (Etap II z 2009 r.). Praca w poszerzonym zakresie będzie kontynuowana w bieżącym i następnym roku. W ramach kontynuacji ETAPU III przewidziano dodatkowe badania laboratoryjne mieszanek mineralno-asfaltowych.

Załącznik 1

Recepta nr TN/251/08-1 (BA WMS16 – mieszanka porównawcza)

Projekt mieszanki BAWMS16 do warstwy podbudowy nawierzchni drogowej o kategorii ruchu od KR3 do KR6 wykonano wg PN-S-96025:2000 [4].

A. Skład MM, MMA

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

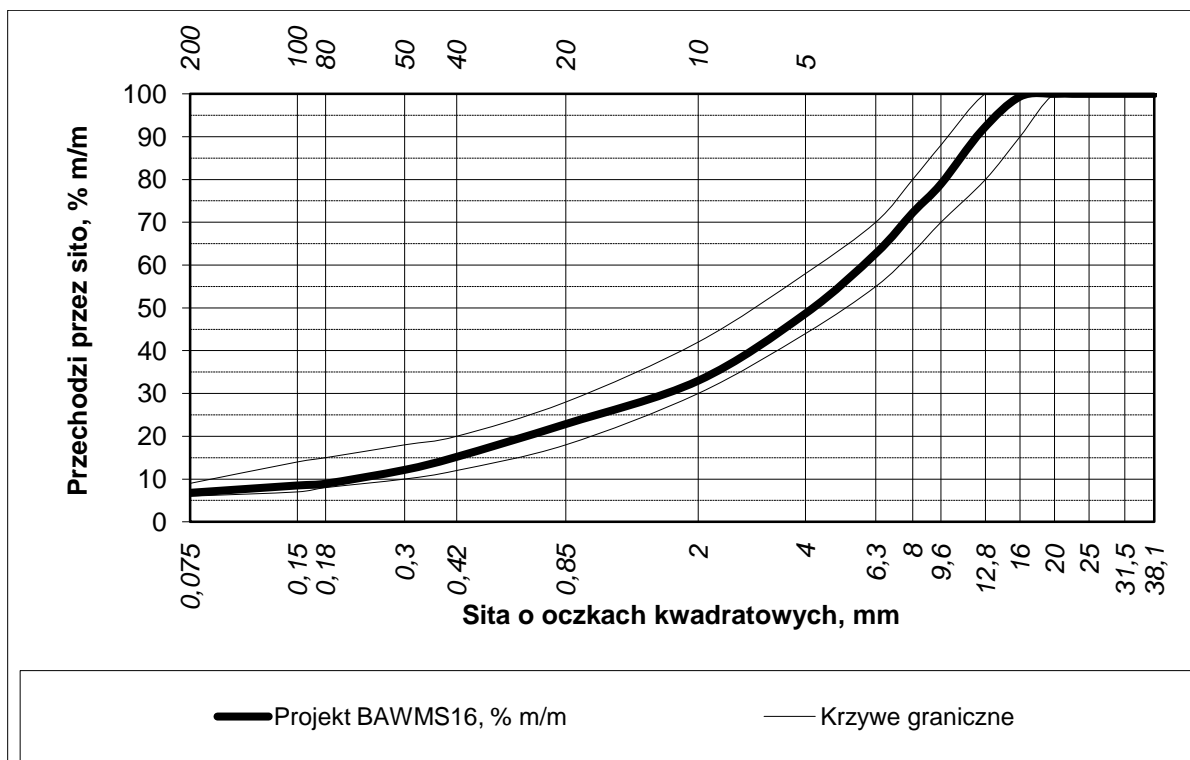
Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa % m/m
1	Mączka wapienna	7,0	6,64
2	Piasek łamany granitowy 0/2 mm	28,0	26,54
3	Bazalt 2/5 mm	17,0	16,12
4	Bazalt 5/8 mm	17,0	16,12
5	Bazalt 8/11 mm	14,0	13,27
6	Bazalt 11/16 mm	17,0	16,12
7	Asfalt drogowy 20/30 (Orlen)	-	5,18
8	WETFIX BE	-	0,01
	Razem	100,0	100

W mieszance zastosowano środek adhezyjny: WETFIX BE (0,3 % m/m w stosunku do asfaltu).

B. Krzywa uziarnienia i uziarnienie mieszanki mineralnej

Uziarnienie mieszanki mineralnej

Sito #, mm	Skład frakcyjny (%)	Pozostaje na sicie (%)	Przechodzi przez sito (%)	Krzywe graniczne Wg PN-S-96025:2000	
				Dolna	Górna
20			100,00	100	100
16		0,63	99,37	90	100
12,5		7,94	91,43	80	100
9,6		12,46	78,97	70	88
8,0		6,7	72,27	63	80
6,3		9,53	62,74	55	70
4,0		14,04	48,70	44	58
2,0	67,00	15,7	33,00	30	42
0,85		10,13	22,87	18	28
0,42		7,66	15,21	12	20
0,3		3,04	12,17	10	18
0,18		3,22	8,95	8	15
0,15		0,42	8,53	7	14
0,075	26,18	1,71	6,82	6	9
<0,075	6,82	6,82	-	-	-
	100	100			



Rysunek 31 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej BAWMS16 do warstwy wiążącej

C. Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej, o składzie optymalnym

Zbadane właściwości mieszanki BAWMS16, o składzie optymalnym
zawartość asfaltu $A_m=5,2$ % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania wg Zeszytu 70
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej, g/cm^3	2,908	-
2	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm^3	2,649	-
3	Gęstość strukturalna mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm^3	2,582	-
4	Wolna przestrzeń w mieszance mineralno-asfaltowej, % v/v	2,5	od 1,0 do 4,0
5	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	84,2	74 do 90
6	Stabilność wg Marshalla w $60^\circ C$, kN	12,3	
7	Odkształcenie wg Marshalla w $60^\circ C$, mm	3,7	
8	Moduł sztywności pełzania pod obciążeniem statycznym w $40^\circ C$, MPa	40,7	$\geq 21,0$

ZAŁĄCZNIK 2**Recepta nr TN/251/08-2 (BA WMS16 z dodatkiem włókna)**

Projekt mieszanki BAWMS16 do warstwy podbudowy nawierzchni drogowej o kategorii ruchu od KR3 do KR6 wykonano wg PN-S-96025:2000 [5].

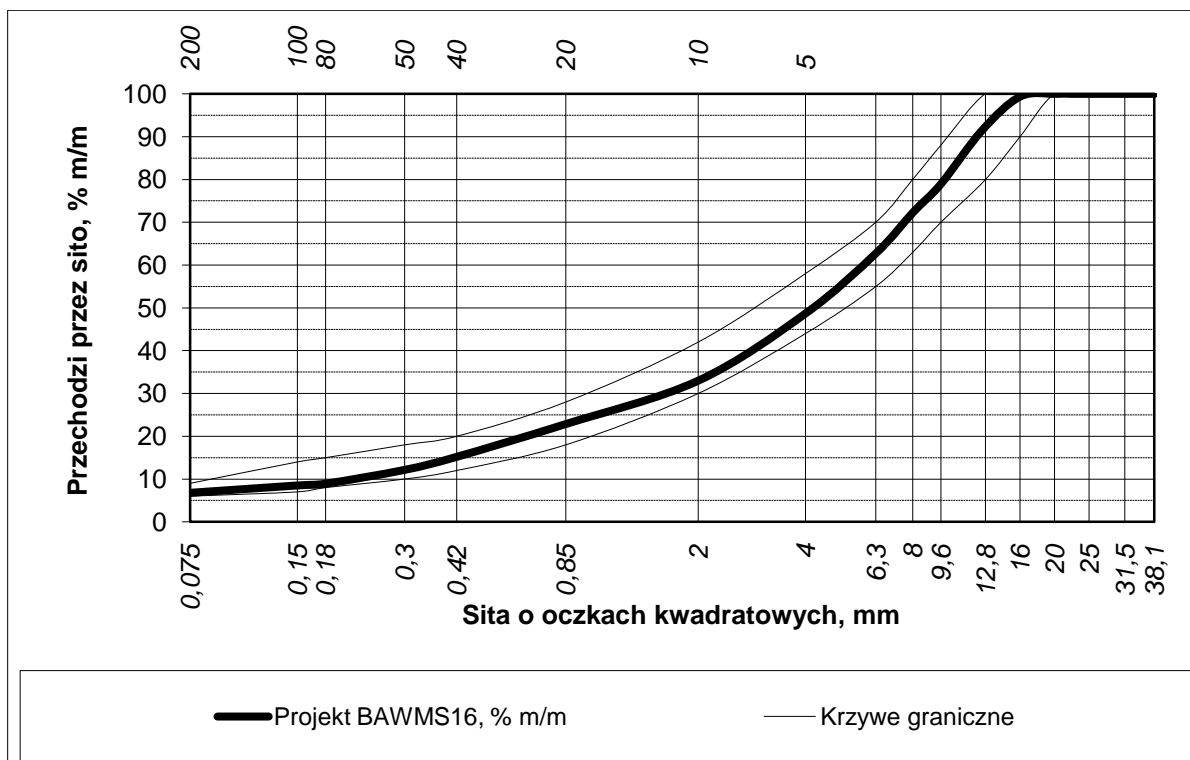
A. Skład MM, MMA**Skład mieszanki mineralnej (MM) i mineralno-asfaltowej (MMA)**

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa % m/m
1	Mączka wapienna	7,0	6,64
2	Piasek łamany granitowy 0/2 mm	28,0	26,54
3	Bazalt 2/5 mm	17,0	16,12
4	Bazalt 5/8 mm	17,0	16,12
5	Bazalt 8/11 mm	14,0	13,27
6	Bazalt 11/16 mm	17,0	16,12
7	Asfalt drogowy 20/30 (Orlen)	-	5,18
8	WETFIX BE	-	0,01
	Razem	100,0	100

W mieszance zastosowano środek adhezyjny: WETFIX BE (0,3 % m/m w stosunku do asfaltu) włókna polimerowego (0,3 % m/m w stosunku do MM).

B. Krzywa uziarnienia i uziarnienie mieszanki mineralnej**Uziarnienie mieszanki mineralnej**

Sito #, mm	Skład frakcyjny (%)	Pozostaje na sicie (%)	Przechodzi przez sito (%)	Krzywe graniczne Wg PN-S-96025:2000	
				Dolna	Górna
20			100,00	100	100
16		0,63	99,37	90	100
12,5		7,94	91,43	80	100
9,6		12,46	78,97	70	88
8,0		6,7	72,27	63	80
6,3		9,53	62,74	55	70
4,0		14,04	48,70	44	58
2,0	67,00	15,7	33,00	30	42
0,85		10,13	22,87	18	28
0,42		7,66	15,21	12	20
0,3		3,04	12,17	10	18
0,18		3,22	8,95	8	15
0,15		0,42	8,53	7	14
0,075	26,18	1,71	6,82	6	9
<0,075	6,82	6,82	-	-	-
	100	100			



Rysunek 32 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej BAWMS16 do warstwy wiążącej

C. Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej, o składzie optymalnym

Zbadane właściwości mieszanki BAWMS16 z włóknem, o składzie optymalnym zawartość asfaltu $A_m=5,2$ % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki	Wymagania wg Zeszytu 70
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej, g/cm^3	2,632	-
2	Gęstość strukturalna mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm^3	2,542	-
3	Wolna przestrzeń w mieszance mineralno-asfaltowej, % v/v	3,3	od 1,0 do 4,0
4	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	79,7	74 do 90
5	Stabilność wg Marshalla w $60^\circ C$, kN	11,8	
6	Odkształcenie wg Marshalla w $60^\circ C$, mm	4,4	
7	Moduł sztywności pełzania pod obciążeniem statycznym w $40^\circ C$, MPa	35,1	$\geq 21,0$

ZAŁĄCZNIK 3**Recepta nr TN/09/2L****Beton asfaltowy o wysokim module sztywności****ACWMS 16 20/30L (KR3- KR6)**

o uziarnieniu 0/16 mm do wykonania warstwy wiążącej

A. Informacje ogólne

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

Podstawa projektu: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Składniki mieszanki

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

B. Uziarnienie materiałów mineralnych

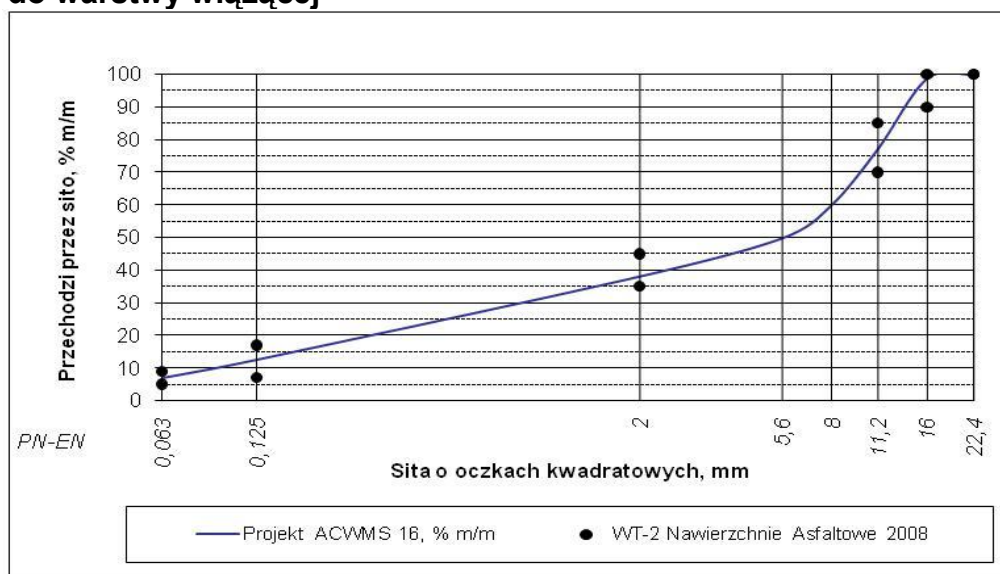
Wymiar oczek sita # [mm]	Mączka wapienna	Granit 0/2 mm	Bazalt 2/5 mm	Bazalt 5/8 mm	Bazalt 8/11 mm	Bazalt 11/16 mm
16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	81,3
8	0,0	0,0	0,0	3,3	68,7	12,9
5,6	0,0	0,0	1,6	71,9	20,5	0,6
2	0,0	9,8	94,4	24,3	2,8	0,1
0,125	2,23	69,5	3,8	0,3	0,9	0,0
0,063	13,05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

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

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna, % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa, % m/m
1	Mączka wapienna	5,0	4,78
2	Granit 0/2 [mm]	36,0	34,38
3	Bazalt 2/5 [mm]	6,0	5,73
4	Bazalt 5/8 [mm]	8,0	7,64
5	Bazalt 8/11 [mm]	20,0	19,1
6	Bazalt 11/16 [mm]	25,0	23,87
7	Asfalt 20/30	-	4,49
8	WETFIX BE	-	0,01
	Razem	100,0	100,0

W mieszance zastosowano środek adhezyjny: WETFIX BE (0,3 % m/m w stosunku do asfaltu).

D. Krzywa uziarnienia i uziarnienie mieszanki mineralnej ACWMS 16 20/30L do warstwy wiążącej



Rysunek 1 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej ACWMS 16 20/30L

E. Uziarnienie mieszanki mineralnej

Sito #, Mm	Pozostaje na sicie, (%)	Przechodzi przez sito, (%)	Uziarnienie wg WT-2 2008 wobec ACWMS 16	
			Dolne	Górne
22,4		100,0	100	100
16	1,22	98,8	90	100
11,2	21,65	77,13	70	85
8	17,23	59,9	-	-
5,6	10,1	49,8	-	-
2	11,72	38,08	35	45
0,125	25,56	12,52	7	17
0,063	5,59	6,93	5	9
< 0,063	6,93		-	-
	100			

F. Zbadane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej ACWMS 16 20/30L, o składzie optymalnym dla zawartości asfaltu $A_m=4,5$ % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki AC WMS16 20/30L (TN/09/2L)	Wymagania wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej, g/cm^3	2,873	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej (dawna gęstość objętościowa), g/cm^3	2,656	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej (dawna gęstość strukturalna), g/cm^3	2,579	-
4	Zawartość wolnych przestrzeni, %v/v	2,9	$V_{min}2,0$ $V_{max}4,0$
5	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	79,7	
6	Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli)	0,38	$WTS_{AIR} 0,1$
		9,8	$PRD_{AIR} 3,0$
7	Odporność na działanie wody, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	85,9	ITSR ₈₀

ZAŁĄCZNIK 4**Recepta nr TN/09/2L/W****Beton asfaltowy o wysokim module sztywności****AC WMS16 20/30L/W (KR3- KR6)**

o uziarnieniu 0/16 mm do wykonania warstwy wiążącej

A. Informacje ogólne

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

Podstawa projektu: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Składniki mieszanki

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

B. Uziarnienie materiałów mineralnych

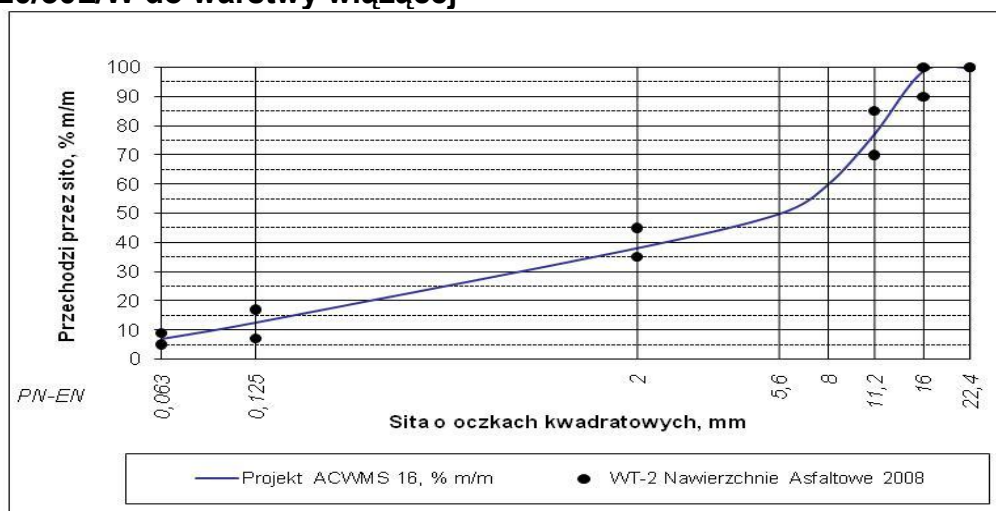
Wymiar oczek sita # [mm]	Mączka wapienna	Granit 0/2 mm	Bazalt 2/5 mm	Bazalt 5/8 mm	Bazalt 8/11 mm	Bazalt 11/16 mm
16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9
11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	81,3
8	0,0	0,0	0,0	3,3	68,7	12,9
5,6	0,0	0,0	1,6	71,9	20,5	0,6
2	0,0	9,8	94,4	24,3	2,8	0,1
0,125	2,23	69,5	3,8	0,3	0,9	0,0
0,063	13,05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

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

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna, % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa, % m/m
1	Mączka wapienna	5,0	4,78
2	Granit 0/2 [mm]	36,0	34,38
3	Bazalt 2/5 [mm]	6,0	5,73
4	Bazalt 5/8 [mm]	8,0	7,64
5	Bazalt 8/11 [mm]	20,0	19,1
6	Bazalt 11/16 [mm]	25,0	23,87
7	Asfalt 20/30	-	4,49
8	WETFIX BE	-	0,01
	Razem	100,0	100,0

W mieszance zastosowano środek adhezyjny: WETFIX BE (0,3 % m/m w stosunku do asfaltu) oraz włókna polimerowego (0,3 % m/m w stosunku do MM)

D. Krzywa uziarnienia i uziarnienie mieszanki mineralnej ACWMS 16 20/30L/W do warstwy wiążącej



Rysunek 2 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej ACWMS 16 20/30L/W do warstwy wiążącej

E. Uziarnienie mieszanki mineralnej

Sito #, Mm	Pozostaje na sicie, (%)	Przechodzi przez sito, (%)	Uziarnienie wg WT-2 2008 wobec ACWMS 16	
			Dolne	Górne
22,4		100,0	100	100
16	1,22	98,8	90	100
11,2	21,65	77,13	70	85
8	17,23	59,9	-	-
5,6	10,1	49,8	-	-
2	11,72	38,08	35	45
0,125	25,56	12,52	7	17
0,063	5,59	6,93	5	9
< 0,063	6,93		-	-
	100			

F. Zbadane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej ACWMS 16 20/30L/W, o składzie optymalnym dla zawartości asfaltu $A_m=4,5$ % m/m

Lp.	Właściwości	Wyniki ACWMS 16 20/30L/W	Wymagania wg WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej, g/cm^3	2,852	-
2	Gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej (dawna gęstość objętościowa), g/cm^3	2,639	-
3	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej (dawna gęstość strukturalna), g/cm^3	2,549	-
4	Zawartość wolnych przestrzeni, %v/v	3,4	$V_{min}2,0$ $V_{max}4,0$
5	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni, % v/v	76,7	
6	Odporność na deformacje trwałe (metoda B w powietrzu, 60°C, 10000 cykli)	0,1	$WTS_{AIR} 0,1$
		4,6	$PRD_{AIR} 3,0$
7	Odporność na działanie wody, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	85,6	$ITSR_{80}$

Literatura:

- 1 Selection of Laboratory Aging Procedures for Asphalt-Aggregate Mixtures, SHRP-A-383
- 2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych WT-2 – Nawierzchnie asfaltowe – 2008, IBDiM Warszawa 2008
- 3 Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie (ZW-WMS 2007)
- 4 PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe – Nawierzchnie asfaltowe – Wymagania
- 5 PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe – Nawierzchnie asfaltowe – Wymagania