

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

**SPRAWOZDANIE**

**Międzylaboratoryjne badania modułu sztywności sprężystej  
metodą rozciągania pośredniego (IT-CY) zgodnie z  
PN-EN 12697-26:2005 (U)**

Opracowali:

Kierownik Zakładu

mgr inż. Dominika Jezierska  
mgr inż. Robert Mularzuk

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, listopad 2006



## **SPIS TREŚCI**

1.	Podstawa pracy .....	5
2.	Cel pracy .....	5
3.	Laboratoria badawcze .....	5
4.	Próbki do badań .....	5
4.1	Informacja ogólna .....	5
4.2	Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych .....	6
4.2.1	Projekt BA16 .....	6
4.2.2	Projekt SMA8 .....	7
5.	Metodyka badań .....	8
6.	Wyniki badań laboratoryjnych .....	9
6.1	Podstawowe właściwości sporządzonych próbek .....	9
6.2	Moduł sztywności sprężystej IT-CY .....	11
7.	Analiza wyników badań .....	13
7.1	Wpływ zawartości wolnej przestrzeni .....	13
7.2	Dokładność w laboratoriach .....	15
7.3	Ocena powtarzalności i odtwarzalności .....	22
8.	Podsumowanie .....	24



## 1. Podstawa pracy

Niniejszą pracę wykonano w ramach wdrażania nowych norm europejskich PN-EN.

## 2. Cel pracy

Celem pracy była ocena oznaczania modułu sztywności sprężystej metodą rozciągania pośredniego próbek cylindrycznych (IT-CY) według normy PN-EN 12697-26:2005 (U) Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 26: Sztywność. Praca polegała na wykonaniu badania modułu sztywności sprężystej przez niezależne laboratoria badawcze oraz na porównaniu i analizie wyników badań. Do współpracy zaproszono laboratoria drogowe podległe Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oraz laboratoria firm drogowych i jednostek akademickich.

## 3. Laboratoria badawcze

Chęć uczestnictwa w badaniach międzylaboratoryjnych zgłosiło 11 laboratoriów spośród 25 zaproszonych. Ostatecznie badania wykonało 9 laboratoriów. Nadano im numery, którymi oznaczano wyniki badań:

- 1) GDDKiA, Oddział w Białymstoku – Laboratorium Drogowe,
- 2) GDDKiA, Oddział w Lublinie – Laboratorium Drogowe,
- 3) GDDKiA, Oddział w Olsztynie – Laboratorium Drogowe,
- 4) GDDKiA, Oddział w Szczecinie – Laboratorium Drogowe,
- 5) TPA Instytut Badań Technicznych Sp. z o.o.
- 6) Politechnika Wrocławska (PW), Zakład Dróg i Lotnisk,
- 7) Laboratorium TN2 IBDiM,
- 8) GDDKiA, Oddział w Gdańsku – Laboratorium Drogowe,
- 9) NCC Roads Polska – Instytut Technologiczny.

## 4. Próbki do badań

### 4.1 Informacja ogólna

Próbki do badań wykonano w IBDiM, w Laboratorium Pracowni Technologii Nawierzchni. Zbadano dwie mieszanki mineralno-asfaltowe:

- BA16 - beton asfaltowy o uziarnieniu do 16 mm, z asfaltem 35/50,
- SMA8 - mieszanka SMA o uziarnieniu do 8 mm, z asfaltem DE80B.

Pierwotnie planowano badanie betonu asfaltowego do warstwy wiążącej o uziarnieniu do 20 mm. Zmieniono to ostatecznie. Założono bowiem, że warto ocenić biegłość badań na „trudniejszych” mieszankach mineralno-asfaltowych (MMA) mających zwiększone właściwości lepkie w stosunku do sprężystych, czyli na MMA o dużej zawartości asfaltu. Zaprojektowano więc BA16 jak do warstwy ścieralnej.

Sporządzono próbki Marshalla o średnicy ok. 101,6 mm i wysokości ok. 61 mm. Każdą próbkę oznaczono dużą literą rzymską i kolejną cyfrą arabską. Litera oznaczała rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej:

- A - próbki z BA16,
- B - próbki z mieszanki SMA8.

Próbki były zagęszczane ubijakiem Marshalla 75-cioma uderzeniami na stronę. Bezpośrednio po wykonaniu próbek były one przekazywane w ciągu maksymalnie 3 dni do uczestników badań międzylaboratoryjnych. W efekcie próbki były zbadane w ciągu 5

dni od ich uformowania, co gwarantowało spełnienie wymagania normowego dotyczącego przechowywania próbek dłuższego niż 5 dni w 5 °C.

## 4.2 Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych

### 4.2.1 Projekt BA16

Skład BA16 ustalono na podstawie krzywych granicznych wg PN-S-96025:2000, mieszanka mineralna 0/16 mm. Zaprojektowana krzywa uziarnienia mieściła się pomiędzy krzywymi granicznymi do ruchu KR3-KR6, do warstwy ścieralnej lub wiążącej lub do ruchu KR1-KR2 do warstwy podbudowy. Do ustalenia zawartości asfaltu sporządzono próbki Marshalla zagęszczane 2 x 75-cioma uderzeniami na stronę. Wytypowano możliwie dużą zawartość asfaltu.

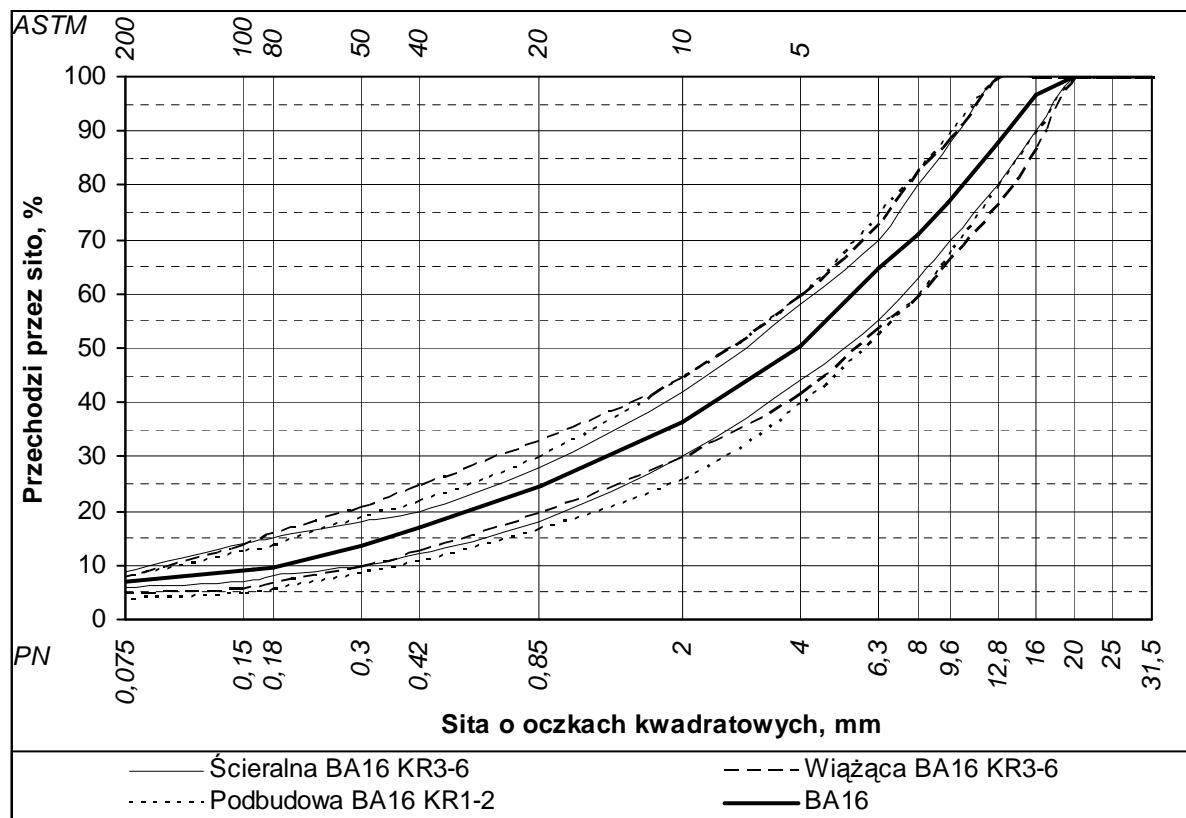
Użyto mączkę wapienną, piasek łamany granitowy, grysy bazaltowe, środek adhezyjny oraz asfalt drogowy 35/50.

Uziarnienie mieszanki mineralnej BA16 przedstawiono na rysunku 1. Skład mieszanki przedstawiono w tabelicy 1.

Poza badaniami normowymi oznaczono dodatkowe właściwości mechaniczne podane w tabelicy 2. Mieszanka BA16 spełniła wymagania postawione w Zeszytcie 63/2001 jak do warstwy wiążącej i podbudowy.

**Tabela 1 Skład i gęstość mieszanki BA16**

Wymiar oczka sita #, mm	Granice		Wartości projektowe	
			Odsiew	Przesiew
	dolna	górna	% (m/m)	
20	100	100	-	100,0
16	90	100	3,3	96,7
12,8	80	100	8,7	87,9
9,6	70	88	11,1	76,8
8	63	80	5,8	71,1
6,3	55	70	6,5	64,6
4	44	58	14,1	50,5
2	30	42	14,2	36,3
0,85	18	28	11,6	24,7
0,42	12	20	7,9	16,8
0,3	10	18	3,1	13,7
0,18	8	15	4,0	9,7
0,15	7	14	0,5	9,2
0,075	6	9	2,3	6,9
< 0,075	-	-	6,9	-



Rysunek 1 Krzywa uziarnienia BA16

Tablica 2 Właściwości próbek BA16

Lp.	Właściwości	BA16	Wymagania
1	Zawartość asfaltu, % (m/m)	5,1	-
2	Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	2,635	-
3	Gęstość objętościowa, g/cm <sup>3</sup>	2,575	-
4	Zawartość wolnej przestrzeni, % (v/v)	2,3	od 2,0 do 4,0
5	Moduł sztywności pełzania pod obciążeniem statycznym w 40 °C, MPa	39	≥ 20
6	Koleinowanie po 30 000 cykli w 60 °C, %	4,9	≤ 5
7	Zespolony moduł sztywności w 10 °C, 10 Hz, MPa	17 950	≥ 12 000
8	Trwałość zmęczeniowa D, %	49	≤ 50

#### 4.2.2 Projekt SMA8

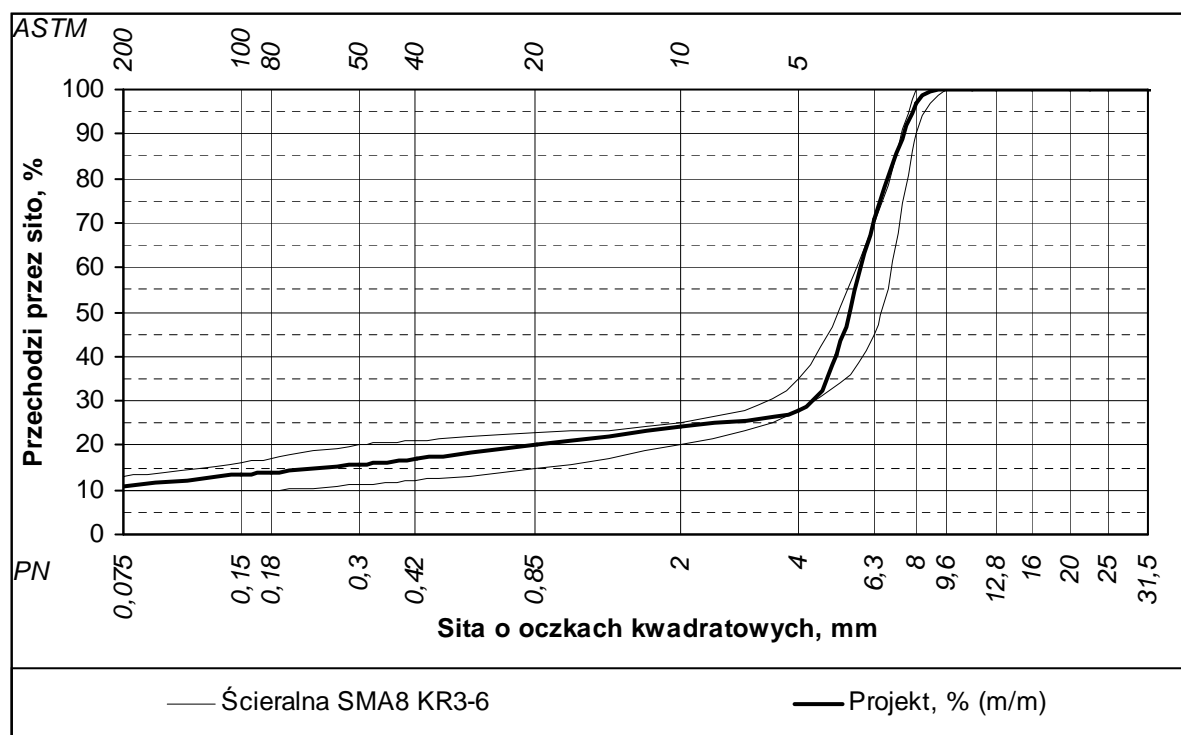
Do ustalenia składu SMA8 posłużono się krzywą uziarnienia wg PN-S-96025:2000, tabl. E.4, warstwa ścieralna, mieszanka mineralna 0/8 mm do ruchu KR3-KR6. Do ustalenia zawartości asfaltu sporządzono próbki Marshalla zagęszczane 2 x 75-cioma uderzeniami na stronę.

Użyto mączkę wapienną, piasek łamany granitowy, grys bazaltowy, włókna celulozowe, środek adhezyjny oraz elastomeroasfalt DE80B.

Uziarnienie mieszanki mineralnej SMA8 przedstawiono na rysunku 2. Skład mieszanki przedstawiono w tablicy 3.

**Tablica 3 Skład i właściwości fizyczne mieszanki SMA8**

Właściwości	Granice		Wartości projektowe	
			Odsiew	Przesiew
Wymiar oczka sita #, mm	dolna	górna	% (m/m)	
9,6	100	100		100,0
8	90	100	2,9	97,1
6,3	45	70	26,1	71,0
4	28	35	12,5	27,8
2	20	25	3,4	24,4
0,85	15	23	4,3	20,1
0,42	12	21	3,3	16,9
0,3	11	20	1,4	15,5
0,18	10	17	1,6	13,9
0,15	10	16	0,5	13,4
0,075	10	13	2,4	10,9
< 0,075			10,9	
Asfalt DE80B, % (m/m)	6,0	7,0	6,4	
Gęstość objętościowa, g/cm <sup>3</sup>	-	-	2,628	
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	-	-	2,537	
Zawartość wolnej przestrzeni, % (v/v)	3,0	4,0	3,5	



**Rysunek 2 Uziarnienie SMA8 w odniesieniu do krzywych granicznych**

### 5. Metodyka badań

W ramach badań międzylaboratoryjnych wykonano oznaczenie modułu sztywności sprężystej metodą rozciągania pośredniego próbek cylindrycznych (IT-CY) według



normy PN-EN 12697-26:2005 (U) Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 26: Sztywność. Załącznik C. Wszystkie laboratoria biorące udział w przedsięwzięciu otrzymały próbki wykonane w laboratorium IBDiM.

Aparatura badawcza oraz warunki badania powinny być zgodne z normą PN-EN 12697-26:2005 (U). Przyjęto, że badania zostaną wykonane przede wszystkim w temperaturze +10 °C.

Celem badań międzylaboratoryjnych było wskazanie odtwarzalności badania normowego w polskich laboratoriach. W badaniach nieuniknione są elementy, które wpływają na błąd oznaczania. Do tych elementów należą m.in. czynności związane z aspektem manualnych czynności lub precyzji sprzętu badawczego, również rozrzuty we właściwościach próbek do badań, ale również aspekt świadomego doboru warunków badania, na które zezwala oceniana procedura normowa. W związku z tym nie określono wszystkich warunków badań, jak na przykład wartość przemieszczenia poziomej średnicy próbki czy wartość współczynnika Poissona  $\nu$ .

Bezpośrednio przed badaniami część laboratoriów kontaktowało się z IBDiM w celu ustalenia szczegółów badania. Część laboratoriów wykonała badania ustalając warunki badania według własnych kryteriów, prawdopodobnie standardowo przez nie stosowanych.

## **6. Wyniki badań laboratoryjnych**

### **6.1 Podstawowe właściwości sporządzonych próbek**

W tabelicy 4 zebrano podstawowe właściwości fizyczne wszystkich badanych próbek z mieszanki BA16. W tabelicy 5 zebrano podstawowe właściwości fizyczne wszystkich badanych próbek z mieszanki SMA8.

**Tablica 4 Podstawowe właściwości próbek z BA16**

Symbol próbki	Numer laboratorium	Średnica mm	Grubość mm	Zawartość asfaltu % (m/m)	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Gęstość objętościowa g/cm <sup>3</sup>	Wolna przestrzeń	
							w MMA % (V/V)	wypełn. asf. % (V/V)
A1	2	101,7	59,9	5,1	2,635	2,581	2,0	86,2
A2	3	101,7	60,0	5,1	2,635	2,583	2,0	86,5
A3	3	101,7	60,0	5,1	2,635	2,582	2,0	86,4
A4	8	101,7	60,0	5,1	2,635	2,572	2,4	84,1
A5	3	101,7	60,0	5,1	2,635	2,600	1,3	90,7
A6	2	101,7	60,4	5,1	2,635	2,565	2,7	82,7
A7	8	101,7	61,0	5,1	2,635	2,575	2,3	84,7
A8	8	101,7	60,0	5,1	2,635	2,583	2,0	86,7
A9	2	101,7	60,1	5,1	2,635	2,608	1,0	92,6
A10	9	101,7	60,0	5,1	2,635	2,590	1,7	88,3
A11	5	101,7	60,4	5,1	2,635	2,580	2,1	85,9
A12	9	101,7	60,0	5,1	2,635	2,600	1,3	90,7
A13	1	101,8	60,7	5,1	2,635	2,550	3,2	79,6
A14	1	101,8	60,4	5,1	2,635	2,595	1,5	89,3
A15	1	101,7	59,9	5,1	2,635	2,599	1,4	90,3
A16	9	101,7	60,0	5,1	2,635	2,562	2,8	82,2
A17	5	101,7	60,6	5,1	2,635	2,575	2,3	84,9
A18	5	101,7	60,2	5,1	2,635	2,593	1,6	88,8
A19	7	101,7	60,0	5,1	2,635	2,585	1,9	87,1
A20	4	101,7	60,0	5,1	2,635	2,598	1,4	90,2
A21	4	101,7	60,0	5,1	2,635	2,567	2,6	83,1
A22	6	101,9	60,0	5,1	2,635	2,596	1,5	89,8
A23	6	101,8	60,6	5,1	2,635	2,587	1,8	87,6
A24	4	101,7	60,0	5,1	2,635	2,589	1,8	88,0
A25	6	101,8	60,7	5,1	2,635	2,572	2,4	84,2
A26	7	101,7	60,0	5,1	2,635	2,590	1,7	88,3
A27	7	101,7	60,0	5,1	2,635	2,574	2,3	84,5
<b>Średnia</b>		<b>101,7</b>	<b>60,2</b>	<b>5,1</b>	<b>2,635</b>	<b>2,583</b>	<b>2,0</b>	<b>86,8</b>
<b>Liczba próbek</b>		<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Odchylenie standardowe</b>		<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,000</b>	<b>0,014</b>	<b>0,5</b>	<b>3,1</b>

**Tablica 5 Podstawowe właściwości próbek z SMA8**

Symbol próbki	Numer laboratorium	Średnica mm	Grubość mm	Zawartość asfaltu % (m/m)	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Gęstość objętościowa g/cm <sup>3</sup>	Wolna przestrzeń	
							w MMA % (V/V)	wypełn. asf. % (V/V)
B1	2	101,8	61,1	6,4	2,628	2,556	2,7	85,3
B2	3	101,7	61,0	6,4	2,628	2,553	2,9	84,8
B3	3	101,7	61,0	6,4	2,628	2,550	3,0	84,3
B4	8	101,7	62,0	6,4	2,628	2,552	2,9	84,6
B5	2	101,8	61,6	6,4	2,628	2,554	2,8	85,0
B6	8	101,7	62,0	6,4	2,628	2,551	2,9	84,3
B7	8	101,7	62,0	6,4	2,628	2,550	3,0	84,2
B8	3	101,7	61,0	6,4	2,628	2,553	2,9	84,7
B9	2	101,9	61,6	6,4	2,628	2,539	3,4	82,3
B10	9	101,7	62,0	6,4	2,628	2,549	3,0	84,0
B11	1	101,8	61,4	6,4	2,628	2,548	3,0	83,9
B12	9	101,7	62,0	6,4	2,628	2,543	3,2	83,0
B13	5	101,7	61,9	6,4	2,628	2,547	3,1	83,6
B14	9	101,7	62,0	6,4	2,628	2,542	3,3	82,8
B15	1	101,9	61,7	6,4	2,628	2,543	3,2	83,0
B16	1	101,8	62,5	6,4	2,628	2,543	3,2	83,0
B17	5	101,7	62,5	6,4	2,628	2,540	3,3	82,6
B18	5	101,7	61,7	6,4	2,628	2,542	3,3	82,8
B19	7	101,7	61,0	6,4	2,628	2,554	2,8	84,9
B20	7	101,7	62,0	6,4	2,628	2,557	2,7	85,4
B21	4	101,7	62,0	6,4	2,628	2,549	3,0	84,1
B22	7	101,7	62,0	6,4	2,628	2,550	3,0	84,2
B23	6	101,7	62,4	6,4	2,628	2,548	3,1	83,8
B24	4	101,7	62,0	6,4	2,628	2,553	2,9	84,7
B25	6	101,6	61,9	6,4	2,628	2,553	2,9	84,7
B26	4	101,7	61,0	6,4	2,628	2,542	3,3	82,8
B27	6	101,7	62,9	6,4	2,628	2,542	3,3	82,8
<b>Średnia</b>		<b>101,7</b>	<b>61,8</b>	<b>6,4</b>	<b>2,628</b>	<b>2,548</b>	<b>3,0</b>	<b>83,9</b>
<b>Liczba próbek</b>		<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Odchylenie standardowe</b>		<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,000</b>	<b>0,005</b>	<b>0,2</b>	<b>0,9</b>

## 6.2 Moduł sztywności sprężystej IT-CY

W tablicach 6 i 7 przedstawiono wyniki badań modułu sztywności sprężystej metodą rozciągania pośredniego próbek cylindrycznych IT-CY, wraz z zasadniczymi parametrami badania, posortowanych według laboratoriów. Tablica 6 dotyczy mieszanki BA16, a tablica 7 dotyczy mieszanki SMA8.

Zamieszczone wyniki badań zostały wtórnie obliczone w IBDiM. Spowodowane to było kilkoma rozbieżnościami w otrzymanych wynikach badań. Podstawową kwestią był brak narzuconego przez organizatora formularza do zapisania rezultatów badań. Stąd format i rodzaj danych nie zawsze były wystarczające, np. dokładność parametrów badania, brak niektórych parametrów. Wtórne obliczenia stanowiły jednak formę sprawdzenia poprawności wyliczeń modułu i/lub modułu skorygowanego. W każdym laboratorium, z którego otrzymano pełne dane, obliczenia były poprawne.

Zgodnie z procedurą normową jako wynik ostateczny modułu stanowi średnia z dwóch oznaczeń na jednej próbce. Różnica między jednym a drugim oznaczeniem nie może

przekroczyć dopuszczalnych granic (+10 %, -20 %), w przeciwnym wypadku wyniki są nieważne. Ważne jest, że w żadnej z próbek nie uzyskano wyników nie spełniających kryterium różnicy dwóch oznaczeń. Oznacza to m.in. dobrą jakość próbek badawczych oraz poprawność wykonywanych badań. Z tego punktu widzenia można uznać próbki oraz sposób ich przechowywania za miarodajne.

**Tablica 6 IT-CY BA16**

Symbol próbki	Numer laboratorium	Siła	Współczynnik Poissona	Współczynnik pola siły	Przemieszczenie	Moduł	Średni moduł skorygowany
		F	$\nu$	k	z	$S_m$	$S_m$
		N	-	C	mm	MPa	MPa
A13	1	4852	0,35	0,5690	0,003832	12933	12637
A14	1	5105	0,35	0,5690	0,003323	15781	15407
A15	1	4779	0,35	0,5650	0,003354	14755	14364
A1	2	6294	0,35	0,5501	0,004322	15099	14527
A6	2	6285	0,35	0,5493	0,004717	13687	13170
A9	2	6288	0,35	0,5501	0,004401	14739	14183
A2	3	9415	0,35	0,5897	0,008441	11527	11441
A3	3	9450	0,35	0,5903	0,009270	10535	10462
A5	3	9380	0,35	0,5892	0,007398	13103	12999
A20	4	7795	0,35	0,5728	0,005379	14979	14671
A21	4	5925	0,35	0,5683	0,005018	12203	11920
A24	4	7330	0,35	0,5546	0,004962	15267	14739
A11	5	-	0,35	0,6000	0,005000	11476	11476
A17	5	-	0,35	0,6000	0,005000	11334	11334
A18	5	-	0,35	0,6000	0,005000	12029	12029
A22	6	-	0,35	0,5660	0,005000	14071	13712
A23	6	-	0,35	0,5651	0,005000	15658	15240
A25	6	-	0,35	0,5690	0,005000	14937	14586
A19	7	3340	0,35	0,6000	0,001690	20439	20439
A26	7	3402	0,35	0,6000	0,001765	19927	19927
A27	7	3345	0,35	0,6000	0,001564	22104	22104
A4	8	1895	0,35	0,5626	0,001652	11869	11547
A7	8	1965	0,35	0,5626	0,001623	12314	11977
A8	8	1900	0,35	0,5634	0,001456	13481	13115
A10	9	4880	0,35	0,5999	0,003954	12752	12751
A12	9	5195	0,35	0,5905	0,003989	13457	13361
A16	9	4915	0,35	0,6002	0,004040	12572	12574
<b>Średnia</b>		<b>5416</b>	<b>0,35</b>	<b>0,5776</b>	<b>0,004302</b>	<b>14186</b>	<b>13952</b>
<b>Liczba próbek</b>		<b>21</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Odch. stand.</b>		<b>2351</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0185</b>	<b>0,001981</b>	<b>2810</b>	<b>2820</b>

**Tablica 7 IT-CY SMA8**

Symbol próbki	Numer laboratorium	Siła	Współczynnik Poissona	Współczynnik pola siły	Przemieszczenie	Moduł	Średni moduł skorygowany
		F	$\nu$	k	z	$S_m$	$S_m$
		N	-	C	mm	MPa	MPa
B11	1	3752	0,35	0,5750	0,004984	7596	7469
B15	1	3514	0,35	0,5730	0,005038	7009	6885
B16	1	3706	0,35	0,5710	0,005008	7348	7207
B1	2	4011	0,35	0,5582	0,004973	8185	7955
B5	2	3864	0,35	0,5605	0,005093	7632	7431
B9	2	3646	0,35	0,5627	0,005057	7262	7084
B2	3	6020	0,35	0,5780	0,009736	6285	6197
B3	3	6415	0,35	0,5774	0,010058	6485	6391
B8	3	6417	0,35	0,5774	0,009930	6570	6475
B21	4	3830	0,35	0,5862	0,004997	7668	7597
B24	4	4215	0,35	0,5930	0,005073	8309	8270
B26	4	3120	0,35	0,5910	0,004914	6456	6419
B13	5	-	0,35	0,6000	0,005000	6323	6323
B17	5	-	0,35	0,6000	0,005000	5465	5465
B18	5	-	0,35	0,6000	0,005000	5612	5612
B23	6	-	0,35	0,5692	0,005000	8633	8451
B25	6	-	0,35	0,5730	0,005000	8244	8094
B27	6	-	0,35	0,5698	0,005000	7187	7045
B19	7	3330	0,35	0,6000	0,003118	10873	10873
B20	7	3350	0,35	0,6000	0,003323	10083	10083
B22	7	3335	0,35	0,6000	0,003375	9905	9905
B4	8	1925	0,35	0,5610	0,002851	6759	6588
B6	8	1945	0,35	0,5604	0,002504	7770	7565
B7	8	1990	0,35	0,5629	0,002835	7048	6877
B10	9	3290	0,35	0,6272	0,003998	8229	8381
B12	9	2960	0,35	0,6458	0,004016	7373	7551
B14	9	3135	0,35	0,5789	0,004031	7780	7665
<b>Średnia</b>		<b>3703</b>	<b>0,35</b>	<b>0,5834</b>	<b>0,004997</b>	<b>7559</b>	<b>7476</b>
<b>Liczba próbek</b>		<b>21</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Odch. stand.</b>		<b>1255</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0211</b>	<b>0,001959</b>	<b>1274</b>	<b>1286</b>

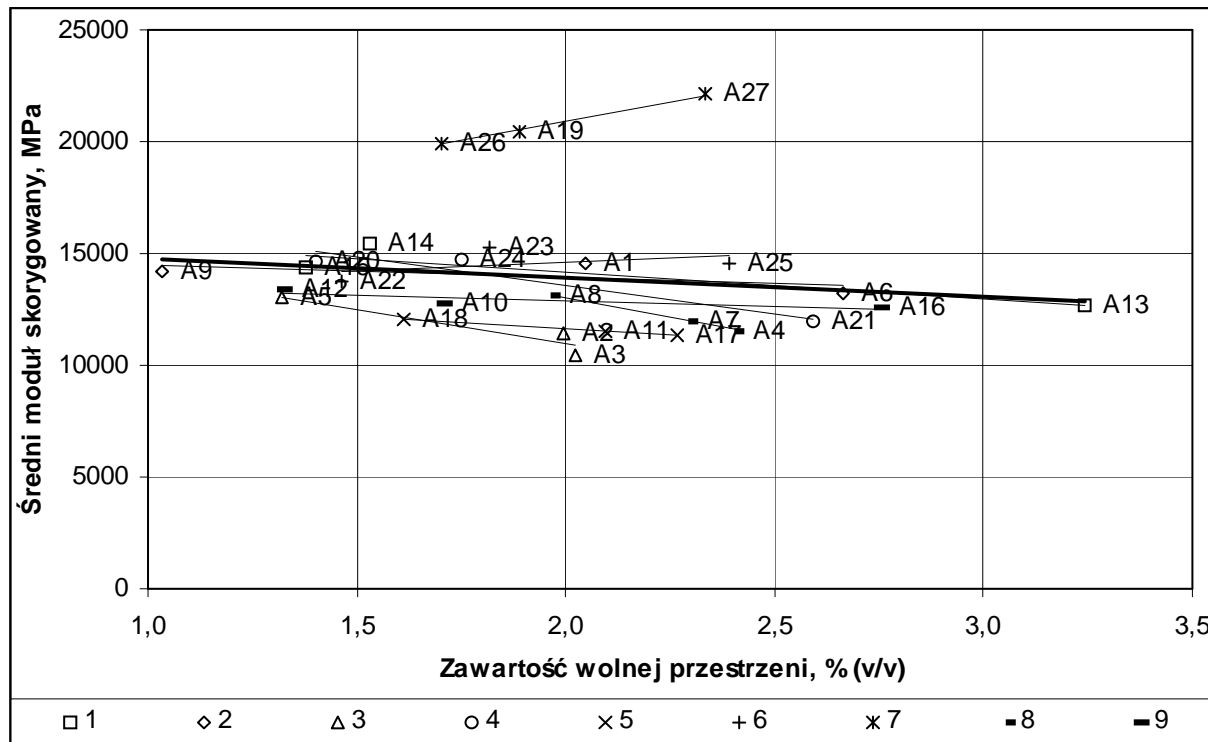
## 7. Analiza wyników badań

### 7.1 Wpływ zawartości wolnej przestrzeni

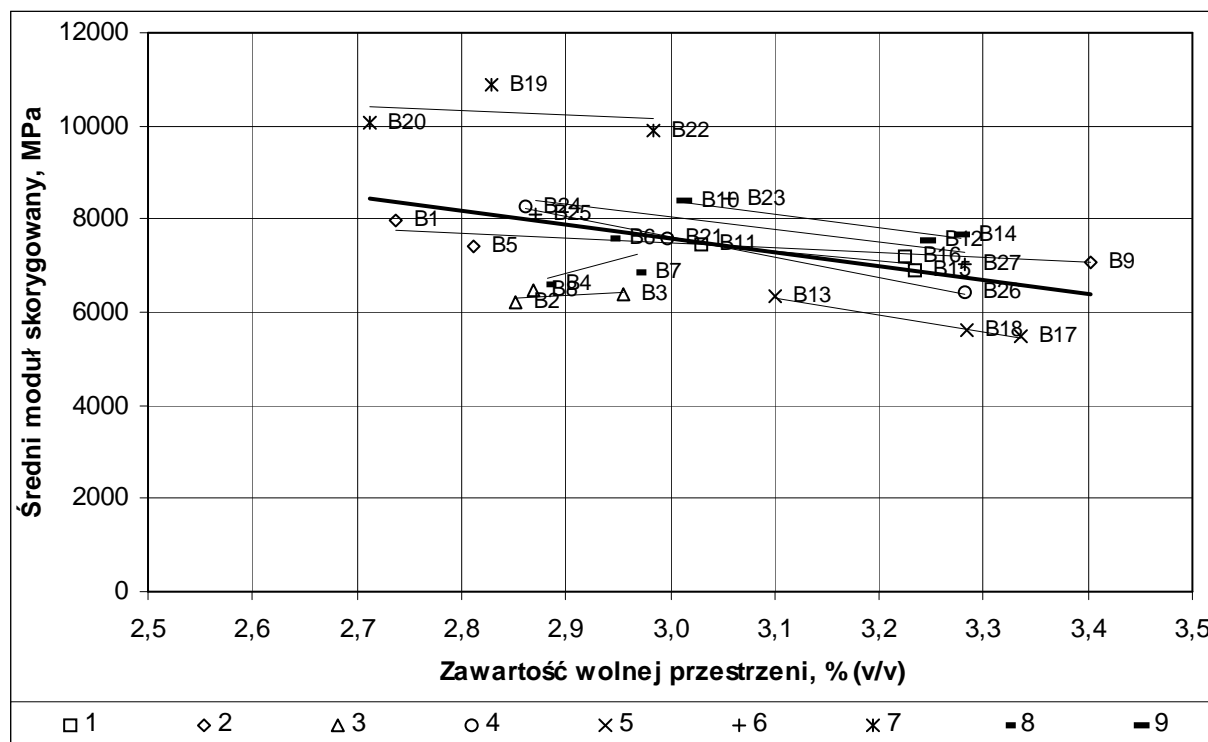
Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono łącznie wyniki badań modułu IT-CY, które zostały wykreślone z uwzględnieniem przyporządkowania próbek laboratorium je badających. Do każdej serii próbek (laboratorium) wykreślono linię trendu liniowego. Również wykreślono taką linię do łącznie wszystkich zbadanych próbek, co wyróżniono pogrubieniem linii na wykresach. Wszystkie linie miały przebieg zbliżony do poziomego. W żadnym przypadku nie zauważono więc korelacji między zawartością wolnej przestrzeni a modułem IT-CY. Oznaczać to może brak wpływu zarejestrowanych różnic w zagęszczeniu próbek lub też wykazane zagęszczenie próbek, czyli oznaczona gęstość objętościowa, zawierało błąd pomiaru z uwagi na rozmiar próbek. Jest to możliwe, gdyż warunki produkcji próbek były zbliżone, m.in. wykonywał je ten sam pracownik w krótkich odstępach czasu z tych samych materiałów, stosowano ten sam

sprzęt. Specyficzne ułożenie ziaren wpływało na powstawanie na powierzchni zagłębień w próbce, co znacznie wpływa na hydrostatyczny sposób wyznaczania objętości próbki. Na podstawie niewielkich zmian modułu próbek w obrębie laboratorium, zarówno z dwóch oznaczeń na pojedynczej próbce jak i z trzech wartości średnich modułu, oraz sposobu przygotowania próbek należy uznać, że miały one w rzeczywistości zbliżone właściwości fizyczne, o mniejszym rozrzucie niż wykazały to obliczenia zawartości wolnej przestrzeni.

Kolejnym wnioskiem wynikającym z braku korelacji między modułem IT-CY a zawartością wolnej przestrzeni jest możliwość posługiwania się w dalszych analizach wartością średnią i odchyleniem standardowym wyników z każdego laboratorium.



Rysunek 3 Zależność modułu IT-CY od zawartości wolnej przestrzeni w próbkach z BA16



**Rysunek 4 Zależność modułu IT-CY od zawartości wolnej przestrzeni w próbkach z SMA8**

### 7.2 Dokładność w laboratoriach

Dokładność badań można sprowadzić do oceny powtarzalności na poziomie laboratoriów oraz odtwarzalności uwzględniającej łącznie rozrzuty badań poszczególnych próbek w różnych laboratoriach. Zagadnienia te związane są ze statystyką, ujętą w tym wypadku w pakiecie norm z serii PN-ISO 5725, której założenia zastosowano w analizie wyników badań.

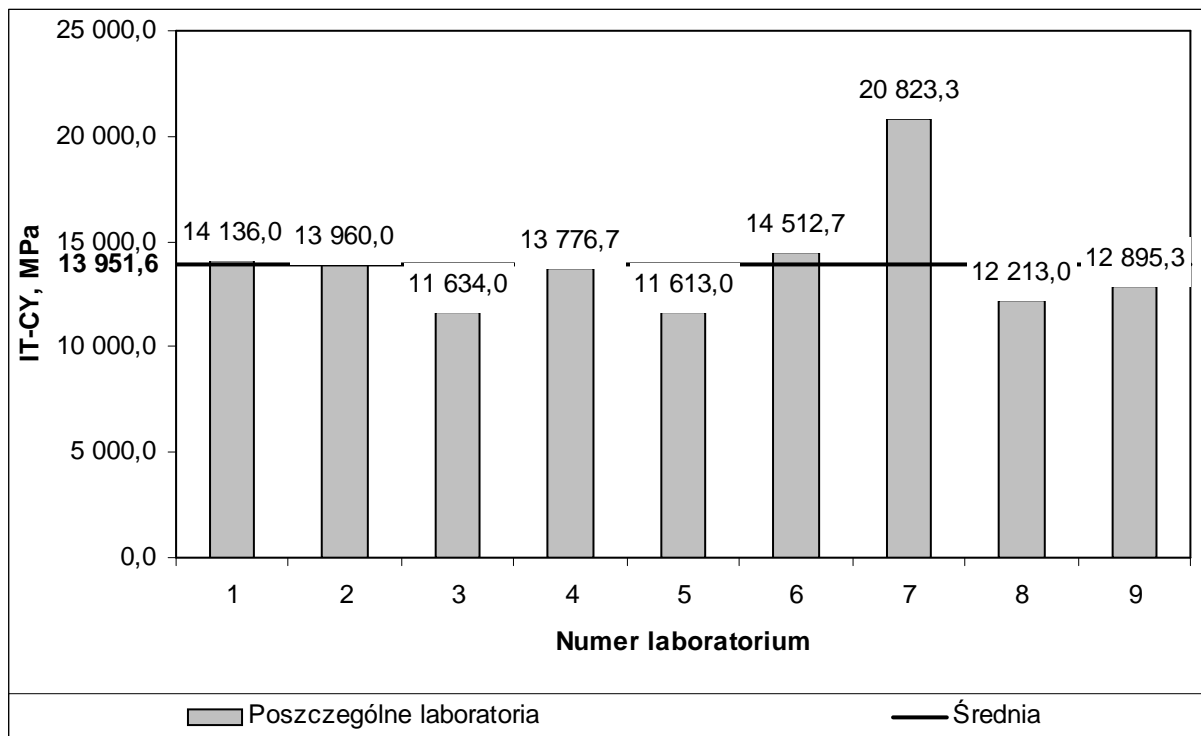
Zestawienie zbiorcze wszystkich wyników badań modułu IT-CY mieszanek BA16 i SMA8 pogrupowanych według laboratoriów i wraz z podstawowymi parametrami statystycznymi przedstawiono w tabeli 8.

**Tablica 8 Wartości IT-CY próbek BA16 i SMA8 z parametrami statystycznymi**

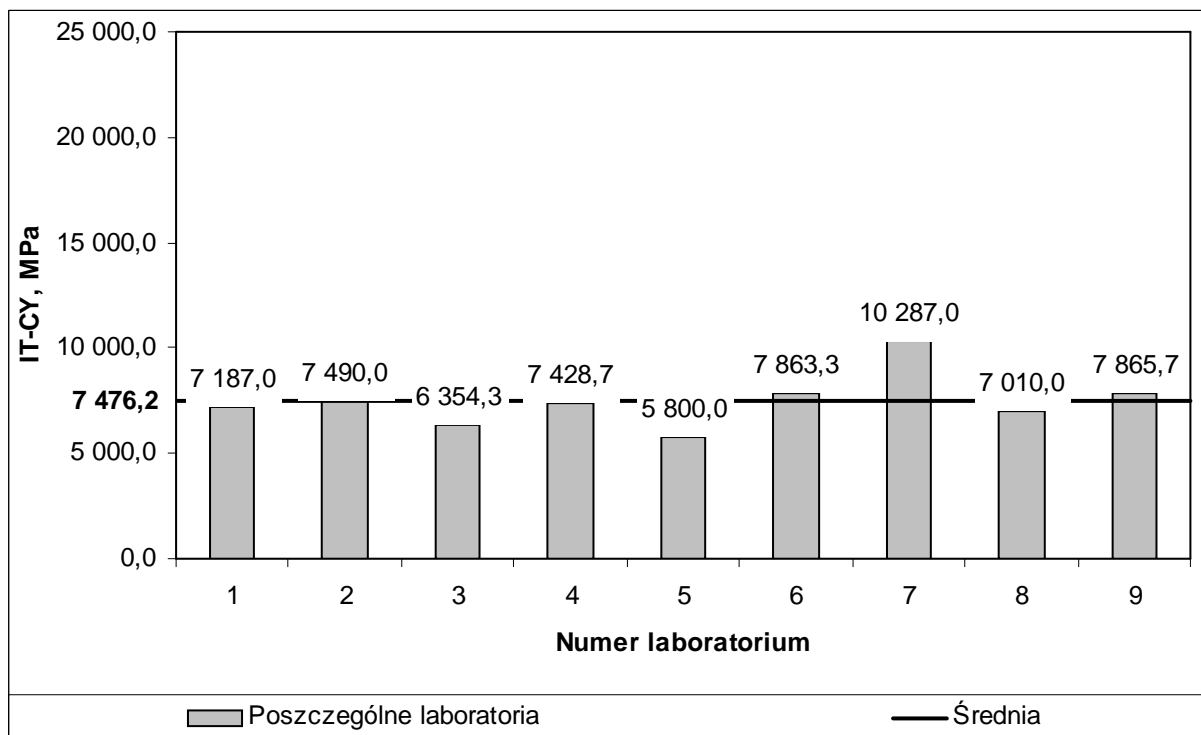
Laboratorium	Wyniki badań		Średnia		Odchylenie standardowe	
	BA16	SMA8	BA16	SMA8	BA16	SMA8
1	12637	7469	14136,0	7187,0	1399,0	292,5
1	15407	6885				
1	14364	7207				
2	14527	7955	13960,0	7490,0	705,4	438,5
2	13170	7431				
2	14183	7084				
3	11441	6197	11634,0	6354,3	1279,5	142,6
3	10462	6391				
3	12999	6475				
4	14671	7597	13776,7	7428,7	1608,3	936,9
4	11920	8270				
4	14739	6419				
5	11476	6323	11613,0	5800,0	367,2	458,9
5	11334	5465				
5	12029	5612				
6	13712	8451	14512,7	7863,3	766,6	730,8
6	15240	8094				
6	14586	7045				
7	20439	10873	20823,3	10287,0	1138,3	515,2
7	19927	10083				
7	22104	9905				
8	11547	6588	12213,0	7010,0	810,2	501,9
8	11977	7565				
8	13115	6877				
9	12751	8381	12895,3	7865,7	412,9	449,9
9	13361	7551				
9	12574	7665				
<b>Suma</b>	<b>376692</b>	<b>201858</b>	<b>125564,0</b>	<b>67286,0</b>	<b>8487,4</b>	<b>4467,2</b>
<b>Liczba</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>Średnia</b>	<b>13951,6</b>	<b>7476,2</b>	<b>13951,6</b>	<b>7476,2</b>	<b>943,0</b>	<b>496,4</b>

Ocenę odtwarzalności można w schematyczny sposób zobrazować zestawiając wartości średnie próbek z podziałem na laboratoria, co przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Widać rozbieżności wyników uzyskanych w każdym z laboratoriów. Najwyższe wyniki modułu IT-CY obu badanych mieszanek otrzymano w IBDiM, 20 823 MPa (BA16) i 10287 MPa (SMA8). Najniższe wartości pochodziły z Laboratorium TPA, 11 613 MPa (BA16) i 5 800 MPa (SMA8).



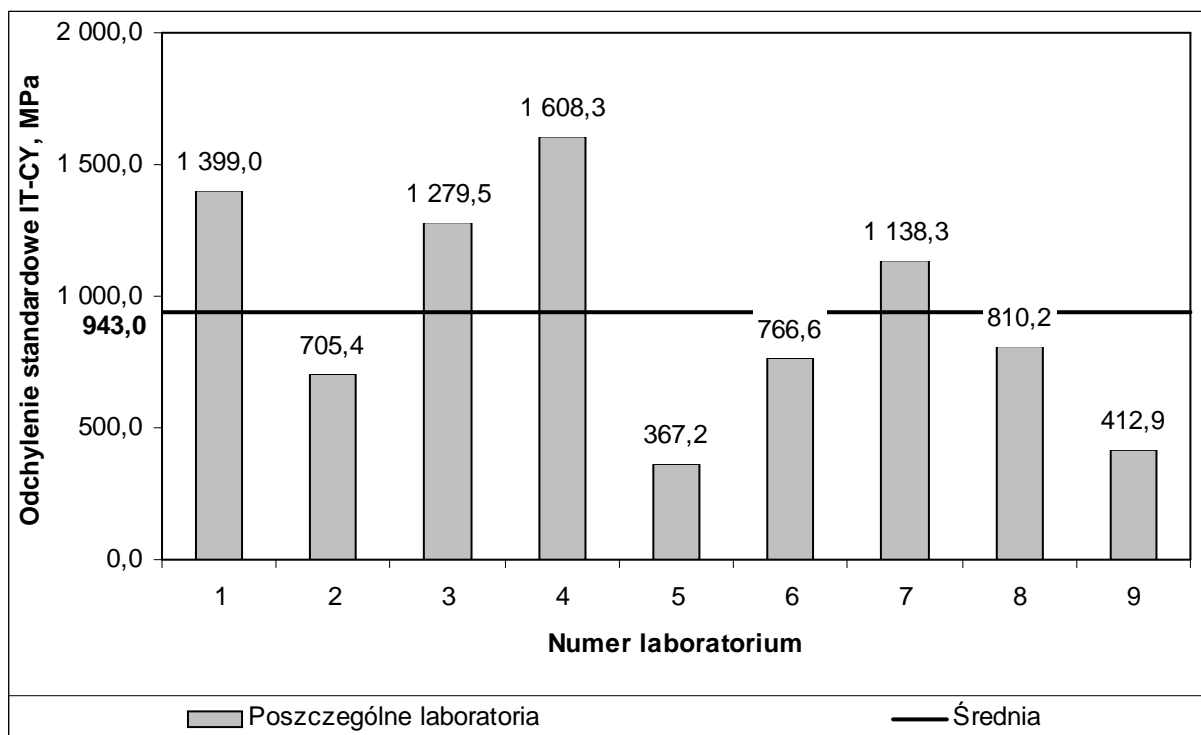


**Rysunek 5 IT-CY próbek z BA16**

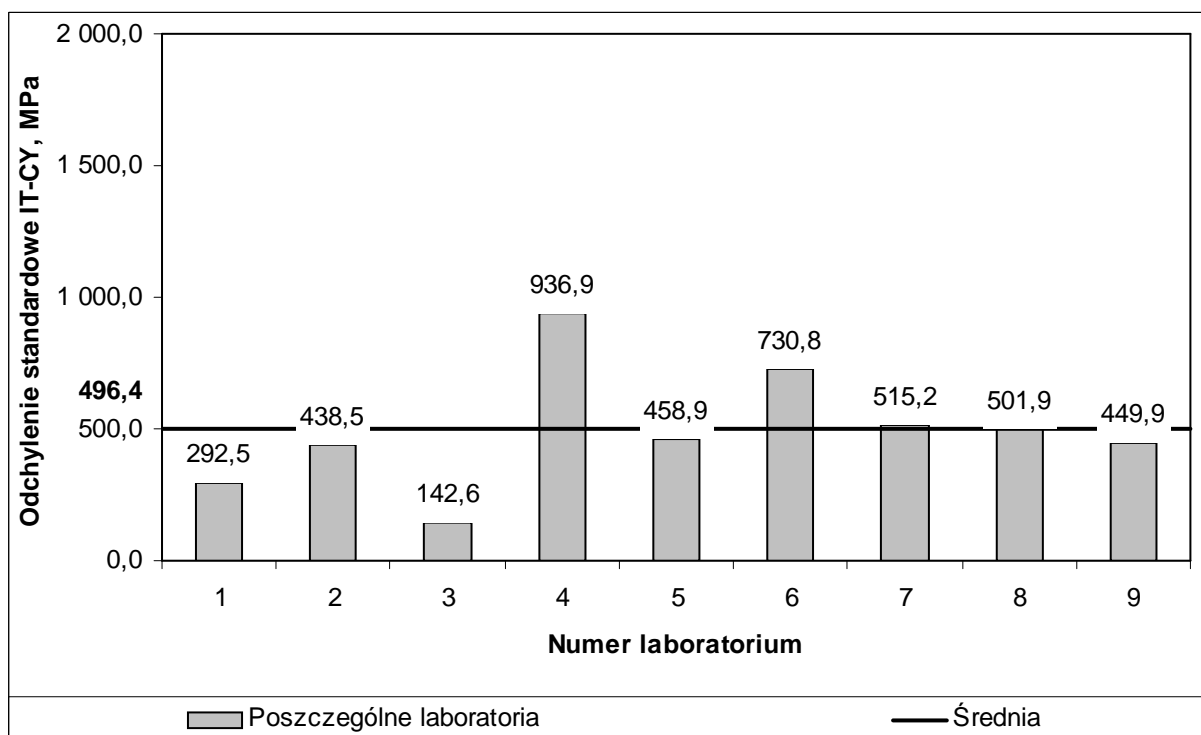


**Rysunek 6 IT-CY próbek z SMA8**

Powtarzalność na poziomie laboratorium można zobrazować poprzez zestawienie odchylenia standardowego każdej serii próbek w poszczególnych laboratoriach. Przedstawiono to na rysunkach 7 i 8. Widać, że w laboratorium nr 4 (LD Szczecin) wystąpiły największe rozrzuty wyników badań poszczególnych próbek każdej z mieszank. Najmniejsze odchylenie standardowe wystąpiło w badaniach TPA w przypadku mieszanki BA16 oraz w LD Olsztyn w przypadku mieszanki SMA8.



**Rysunek 7 Odchylenie standardowe modułu IT-CY próbek z BA16**



**Rysunek 8 Odchylenie standardowe modułu IT-CY próbek z SMA8**

Tak proste graficzne przedstawienie badań wskazało, że należy dokonać oceny uzyskanych wyników pod kątem obecności wyników odstających na poziomie powtarzalności i odtwarzalności. Wyniki odstające są to wartości, które znacznie różnią się od pozostałych wyników, a jedynym logicznym wnioskiem jest założenie, że są one następstwem błędu popełnionego przy wykonywaniu oznaczania. Może to być słuszne np. w przypadku wyników IBDiM, gdyż sprzęt badawczy był przestarzały i nie

gwarantował zgodności z metodą opisaną w normie. Zauważono, że w badaniach IBDiM mieszanki BA16 poziome przemieszczenie nie osiągnęło wymaganej wartości 0,003 mm, co mogło spowodować zwiększenie modułu. Przymuszczalnie nie jest to zasadnicza przyczyna uzyskania znacznie większego modułu IT-CY w badaniach IBDiM, gdyż równie niskie przemieszczenie, lecz nie odbiegająca istotnie wartość modułu, było podczas badania próbek w LD Gdańsk. W przypadku obu laboratoriów zastosowano inną metodę niż w pozostałych laboratoriach: tryb kontrolowanego naprężenia poziomego zamiast kontrolowanego przemieszczenia poziomego, co gwarantowało spełnienie wymagań normowych.

W celu wyznaczenia wyników odstających posłużono się metodami opisanymi w normie PN-ISO 5725-2:2002 Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów - Część 2: Podstawowa metoda określania powtarzalności i odtwarzalności standardowej metody pomiarowej.

W ocenie powtarzalności wykonano testy Cochran. Celem pierwszego testu było wykrycie wyniku niezgodnego w powtarzanych w laboratoriach wynikach. Test ten obejmował obliczenie wartości kwadratu odchylenia standardowego kombinacji laboratorium/próbka (każdej serii próbek w każdym laboratorium) każdej MMA z osobna. Następnie zastosowano kryterium Cochran przy poziomie istotności 5% w celu sprawdzenia proporcji  $C_1$  największej z tych wartości do ich sumy. Z tablicy odczytano krytyczną wartość testu Cochran przy liczbie laboratoriów  $p = 9$  oraz liczbie powtórzeń  $n = 3$  (odpowiada to 9 oszacowaniom odchylenia standardowego przy stopniach swobody  $\nu = 3-1$ ). Jeśli wartość proporcji największego kwadratu odchylenia standardowego do sumy kwadratów odchyłeń standardowych (każdej MMA z osobna) przekracza krytyczną wartość testu Cochran, to wynik należy odrzucić. Po odrzuceniu wyniku należy ponownie wykonać test.

Odczytana z tablicy normy wartość krytyczna Cochran do obu MMA wyniosła 0,478. Jak widać na rysunku 7, w przypadku BA16 największe odchylenie standardowe wynosiło 1608,3 MPa, co dało wartość proporcji  $C_1 = 0,272 < 0,478$ . Oznacza to, że największy poziom rozrzutu jest na akceptowalnym poziomie. W przypadku SMA8 największe odchylenie standardowe wynosiło 936,9 MPa, co dało proporcję  $C_1 = 0,332 < 0,478$ . Również w tym przypadku największy stwierdzony rozrzut jest akceptowalny.

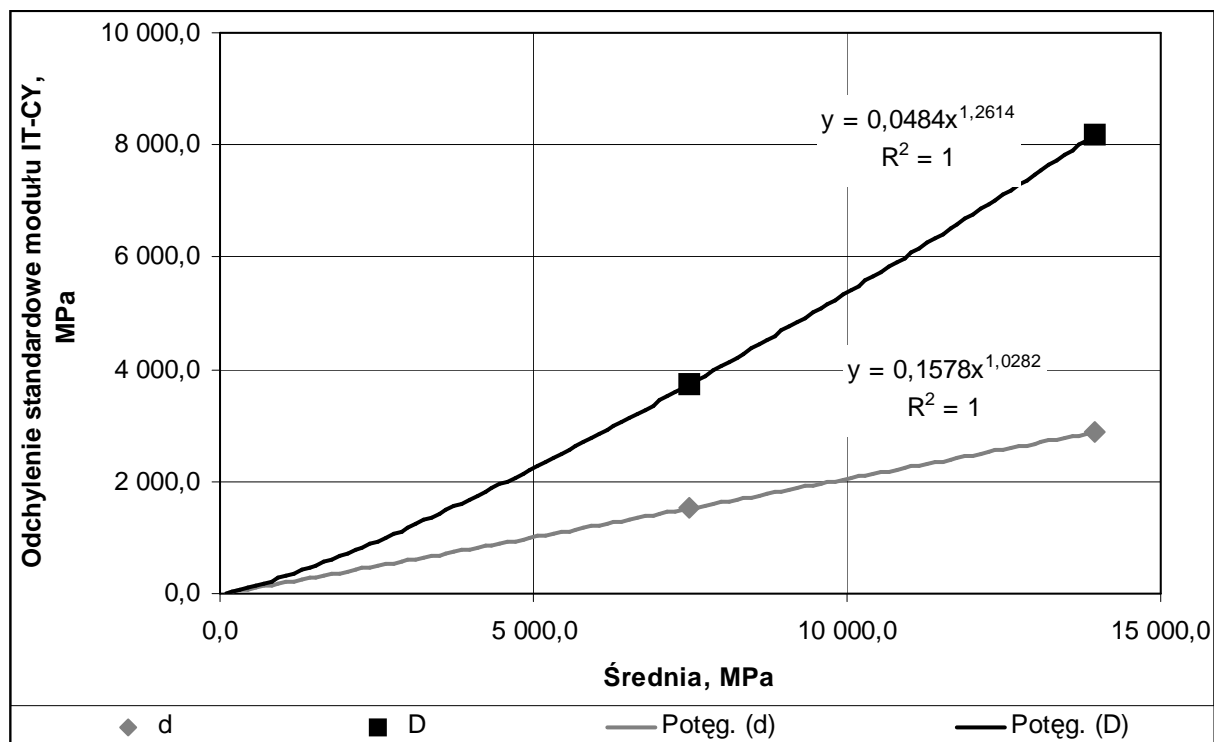
Kolejny test Cochran dotyczył oceny proporcji  $C_2$  największego z kwadratów odchylenia standardowego wszystkich kombinacji laboratorium/próbka (każdej serii próbek w każdym z laboratoriów obu MMA łącznie) do ich sumy. W tym celu jednak, aby „równoważnie” ocenić rozrzut wyników łącznie dla mieszanek BA16 i SMA8, dających różne poziomy wartości modułu IT-CY, należało wyniki badań przekształcić, tak jak podano to np. w normie PN-EN ISO 4259:2002 Przetwory naftowe. Wyznaczanie i stosowanie precyzji metod badania. Wyznaczono więc model funkcji przekształcenia na podstawie analizy zależności odchyłeń standardowych: laboratoriów  $D_j$  i powtórzeń  $d_j$  wraz ze średnią  $m_j$ . Obliczone odchylenia standardowe, według danych pokazanych w tablicy 8, zamieszczono w tablicy 9. Na tej podstawie sporządzono wykres (rysunek 9), na którym podano m.in. parametry funkcji potęgowej opisującej zależności odchyłeń standardowych od średniej modułu próbek każdego poziomu (każdej MMA). Otrzymany wykładnik funkcji zależności odchylenia standardowego laboratoriów  $D$  wynoszący 1,26, a w przybliżeniu równy 5/4, uznano za odpowiednie do zastosowania do przekształcenia powtarzalności i odtwarzalności. Funkcja przekształcenia miała postać:

$$\int Kx^B dx = \int x^{\frac{5}{4}} dx = -4x^{-\frac{1}{4}} + C \Rightarrow y = x^{\frac{1}{4}}.$$

Na tej podstawie dokonano przekształcenia wyników badań, które przedstawiono w tabelicy 10.

**Tablica 9 Wartości odchyłeń standardowych**

Parametry statystyczne	BA16	SMA8
Średnia $m$	13 951,5	7 476,2
Odchylenie standardowe powtórzeń $d$	2 880,3	1 516,6
Odchylenie standardowe laboratoriów $D$	8 176,7	3 722,3



**Rysunek 9 Zależność odchyłeń standardowych od średniej modułu IT-CY**

**Tablica 10 Przekształcone wyniki badań modułu IT-CY**

Laboratorium	Przekształcone wyniki badań		Średnia		Odchylenie standardowe	
	BA16	SMA8	BA16	SMA8	BA16	SMA8
1	0,09432	0,10757	0,09181	0,10863	0,00232	0,00111
1	0,08976	0,10978				
1	0,09134	0,10853				
2	0,09109	0,10589	0,09202	0,10753	0,00118	0,00156
2	0,09335	0,10771				
2	0,09163	0,109				
3	0,09669	0,11271	0,09641	0,11201	0,00263	0,00063
3	0,09888	0,11184				
3	0,09365	0,11148				
4	0,09086	0,10711	0,09244	0,1079	0,00282	0,0035
4	0,0957	0,10486				
4	0,09076	0,11172				
5	0,09662	0,11214	0,09634	0,11466	0,00075	0,00222
5	0,09692	0,11631				
5	0,09549	0,11554				
6	0,09241	0,1043	0,09113	0,10629	0,00121	0,00254
6	0,09	0,10543				
6	0,09099	0,10915				
7	0,08363	0,09793	0,08327	0,09932	0,00112	0,00122
7	0,08417	0,09979				
7	0,08201	0,10024				
8	0,09647	0,111	0,09517	0,10935	0,00155	0,00193
8	0,09559	0,10723				
8	0,09345	0,10981				
9	0,09411	0,10451	0,09385	0,10622	0,00074	0,0015
9	0,09301	0,10728				
9	0,09443	0,10687				
<b>Suma</b>	<b>2,49733</b>	<b>2,91573</b>	<b>0,83244</b>	<b>0,97191</b>	<b>0,01432</b>	<b>0,01621</b>
<b>Liczba</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>Średnia</b>	<b>0,09249</b>	<b>0,10799</b>	<b>0,09249</b>	<b>0,10799</b>	<b>0,00159</b>	<b>0,00180</b>

Odczytano z tablicy normy wartość krytyczną Cochra, równą ok. 0,361, przy poziomie istotności 1 %, 18 oszacowaniach odchylenia standardowego i stopniach swobody  $\nu = 3 - 1$ . Obliczona proporcja  $C_2$  na podstawie przekształconych wyników badań wyniosła  $C_2 = 0,194 < 0,361$ , dla maksymalnego kwadratu odchylenia standardowego (laboratorium 4, SMA8). Oznacza to, że biorąc pod uwagę łącznie wszystkie próbki z BA16 i SMA8 wszystkie serie wyników były nieodstające. Klaruje się na tej podstawie dodatkowy wniosek, że w mieszance SMA8, o mniejszych ziarnach niż w BA16, wystąpiły względne większe rozrzuty wyników badań. Oznacza to, że przy rozpatrywanym przedziale uziarnienia MMA 8 i 16 mm oraz wielkości próbek badawczych Marshalla (101,7 x 61 mm) nie odkryto wpływu wielkości ziarna w stosunku do gabarytów próbki badawczej.

W ocenie jednorodności powtarzalności, bazując na obu testach Cochra ( $C_1$  i  $C_2$ ), nie trzeba odrzucać jakichkolwiek wyników badań.

Należy dokonać oceny jednorodności odtwarzalności.

### 7.3 Ocena powtarzalności i odtwarzalności

Zgodnie z zapisami w serii norm PN-EN ISO 5725 do określenia wartości powtarzalności i odtwarzalności skorzystano z równań:

$$r = Z\sqrt{2\sigma_0^2}, \quad R = Z\sqrt{2(\sigma_0^2 + \sigma_1^2)},$$

w których:  $r$  - wartość powtarzalności,  $Z$  - współczynnik równy 1,96 przekształcający wartość odchylenia standardowego do poziomu prawdopodobieństwa 95 %,  $\sigma_0^2$  - wariancja wyników w warunkach powtarzalności,  $\sigma_1^2$  - wariancja wszystkich błędów wnoszących swój udział do błędów odtwarzalności.

na tej podstawie równania te sprowadzają się do postaci:

$$r \approx 2,8\sigma_0, \quad R \approx 2,8\sqrt{(\sigma_0^2 + \sigma_1^2)}.$$

W tabelicy 11 zestawiono obliczone na podstawie wyników badań nieprzekształconych wartości wariancji, odchyłeń standardowych oraz wartości odtwarzalności i powtarzalności. Są to te same wartości, które pokazano w tabelicy 9, a zależność wartości powtarzalności i odtwarzalności od średniej naniesiono na wykres pokazany na rysunku 9. Pozwoliło to również na zapisanie wartości powtarzalności i odtwarzalności w postaci funkcji zależnej od wartości uzyskanego modułu IT-CY.

Porównano te wartości z przykładową dokładnością z normy PN-EN 12697-26:2005 (U) (tablica 12), która dotyczyła badań modułu sztywności betonu asfaltowego BA10 metodą 2PB w 15 °C i 10 Hz. Uzyskano wówczas mniejsze rozrzuty wyników badań niż analizowane badania metodą IT-CY w warunkach polskich. Należy więc zastanowić się w tej analizie dokładności nad koniecznością wyłączenia z wyników badań IBDiM. Wówczas uzyska się ok. 2 lub 3-krotnie mniejszą wartość odtwarzalności metody IT-CY, co byłyby bliższe do dokładności uzyskanej w metodzie 2PB. Należy pamiętać, że w badaniach oceniano dotychczasową praktykę badawczą, co skłania do wniosku o konieczności ustalenia w Polsce spójnych, bardziej jednorodnych warunków badania IT-CY, tak aby nie ujawniał się ich ewentualny wpływ. W dążeniu do zmniejszenia rozrzutów wyników badań można też przeprowadzić szkolenia i badania międzylaboratoryjne przy udziale obserwatorów w celu ujednoczenia ewentualnych różnic w przygotowaniu, przechowywaniu i badaniu próbek.

**Tabela 11 Wartości parametrów statystycznych modułu IT-CY mieszanek BA16 i SMA8**

Parametry statystyczne	BA16	SMA8
Wariancja powtarzalności	1 058 188	293 373
Wariancja międzylaboratoryjna	7 469 593	1 473 945
Wariancja odtwarzalności	8 527 781	1 767 318
Wartość średnia $m$ , MPa	13 952	7 476
Wartość powtarzalności $r$ , MPa	2 880	1 517
Wartość odtwarzalności $R$ , MPa	8 177	3 722
Wartość powtarzalności $r$ , MPa	<b>0,158m<sup>1,03</sup></b>	
Wartość odtwarzalności $R$ , MPa	<b>0,048m<sup>1,26</sup></b>	

**Tablica 12 Wartości parametrów statystycznych modułu 2PB według normy PN-EN 12697-26:2005 (U)**

<b>Parametry statystyczne</b>	<b>BA10, 15 °C, 10 Hz</b>
Wartość średnia $m$ , MPa	15 233
Wartość powtarzalności $r$ , MPa	335
Wartość odtwarzalności $R$ , MPa	2 740

## 8. Podsumowanie

Wykonano w Polsce w 2006 roku badania międzylaboratoryjne modułu sztywności metodą rozciągania pośredniego (IT-CY) zgodnie z normą PN-EN 12697-26:2005 (U). Ocenie poddano dwie mieszanki mineralno-asfaltowe (MMA) o znacznej zawartości asfaltu: beton asfaltowy do warstwy ścieralnej o uziarnieniu do 16 mm oraz mieszanka SMA (do warstwy ścieralnej) o uziarnieniu do 8 mm. Badaniom poddano jedynie jeden rodzaj próbek ze względu na gabaryty: próbki Marshalla o średnicy ok. 101,7 mm i wysokości ok. 61 mm. Wszystkie próbki wykonano w jednym laboratorium, z jednych materiałów, przez tego samego operatora. Bezpośrednio po wykonaniu próbek, tj. w ciągu 3 dni, próbki rozesłano do laboratoriów badawczych, tak aby badania wykonano w ciągu 5-ciu dni od sporządzenia próbek. W badaniach uczestniczyło 9 laboratoriów krajowych, każde z nich zbadało po trzy próbki obu MMA. Przed rozpoczęciem badań laboratoria miały sprecyzowaną jedynie temperaturę badania wynoszącą 10 °C, pozostałe szczegóły warunków badania były ustalane na bieżąco przez niektóre laboratoria. Oznaczało to, że ocenie poddano odtwarzalność z uwzględnieniem dotychczasowej praktyki badawczej w poszczególnych laboratoriach, a nie odtwarzalność możliwą do uzyskania w standardowej metodzie badawczej.

Po przeanalizowaniu wyników badań wyciągnięto podstawowe wnioski:

- 1) Większość laboratoriów badawczych zastosowało parametry badania w pełni zgodne z wymaganiami normy PN-EN 12697-26:2005 (U).
- 2) Dwa laboratoria zastosowały sposób badania nie dający pełnej zgodności z wymaganiami normy. Uzyskiwano w badaniach zbyt małe przemieszczenia poziome.
- 3) Dwa laboratoria miało w badaniach nieco inny czas przyrostu siły, niż standardowy, przy czym norma PN-EN 12697-26:2005 (U) zezwala na to.
- 4) We wszystkich laboratoriach uzyskano poprawne wyniki badań poszczególnych próbek, czyli wartości dwóch oznaczeń na jednej próbce nie różniły się istotnie. Świadczy to o jednorodności każdej z próbek oraz o poprawności wykonania badań.
- 5) Testy statystyczne wykazały, że we wszystkich laboratoriach uzyskano rozrzuty wyników badań z trzech próbek każdej z MMA na akceptowalnym poziomie. Świadczy to o homogeniczności wszystkich próbek i poprawności wykonanych badań we wszystkich laboratoriach (nie dotyczy oceny zastosowanych parametrów badania).
- 6) Nie stwierdzono wpływu wielkości ziarn MMA w przypadku badanych próbek. Oznacza to, że MMA o uziarnieniu co najmniej 16 mm można badać w standardowych próbkach Marshalla lub większych.
- 7) W analizie dokładności nie odrzucono żadnych z wyników badań, mimo odstępstwa od warunków normowych (dwa laboratoria) i ewidentnych większych wartości z jednego laboratorium (IBDiM). Oznacza to, że wartości powtarzalności i odtwarzalności zawierają w sobie wpływ dotychczasowej praktyki stosowanej w polskich laboratoriach. Wykazana dokładność nie dotyczy więc w ścisły sposób oceny dokładności standardowej metody badawczej.
- 8) Wykazano dokładność polskich badań międzylaboratoryjnych obliczaną w stosunku do wartości średniej  $m$ :

**wartość powtarzalności  $r$ :**  **$0,158m^{1,03}$**

**wartość odtwarzalności  $R$ :**  **$0,048m^{1,26}$**

- 9) Dokładność polskich badań międzylaboratoryjnych, obliczona ze wszystkich badań, bez odrzucania wyników wątpliwych, była znacznie mniejsza od



przykładowej dokładności wykazanej w normie PN-EN 12697-26:2005 (U). Oznacza to, że należy przede wszystkim narzucić ujednoczone warunki badań. Warto również szkolić kadrę laboratoryjną wraz z przeprowadzaniem badań międzylaboratoryjnych w obecności obserwatorów.

- 10) Badania międzylaboratoryjne mogą posłużyć do kolejnych analiz statystycznych, np. po odrzuceniu wyników wątpliwych. Wykonana w tej pracy analiza dokładności może stanowić podstawę do kolejnych opracowań programu badań laboratoryjnych, np. do ustalenia minimalnej liczby laboratoriów i badanych próbek, czy też „poziomu” próbek (wartość modułu).
- 11) Wykazano zależność między wartością modułu IT-CY a dokładnością. Spodziewana jest również zależność dokładności od temperatury badania, wielkości próbki badawczej, warunków badania, a może również rodzaju składników MMA itp.
- 12) Widzi się potrzebę wykonania kolejnych badań międzylaboratoryjnych potwierdzających konieczność ujednoczenia szczegółowych warunków badania oraz analizy dokładności w zależności od różnych czynników, głównie wpływ wielkości próbki.

**KONIEC**

