Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni
Pracownia Technologii Nawierzchni

Sprawozdanie końcowe z pracy:

„Weryfikacja i uaktualnienie metody badawczej wodoodporności z cyklem zamrażania mieszanek mineralno-asfaltowych”

Temat TN-255

ETAP III – Zadanie 7,8

Opracowali:

Zespół Zakładu Technologii Nawierzchni
prof. dr hab. inż. Adam Zofka
mgr inż. Dominika Maliszewska
mgr inż. Renata Horodecka
mgr inż. Maciej Maliszewski
dr inż. Wojciech Bańkowski
mgr inż. Andrzej Wróbel
inż. Krzysztof Mirski

Zatwierdził:

Kierownik Zakładu Technologii Nawierzchni

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

SPIS TREŚCI

1. Podstawa pracy 4
2. Cel pracy 4
3. Program pracy 4
4. Wstęp 6
5. Przygotowania do realizacji tematu 7
5.1. Wybór materiałów składowych 7
5.2. Kruszywo 8
5.3. Lepiszcze 8
5.4. Projekty recept do badań laboratoryjnych 9
5.5. Recepty do badań międzylaboratoryjnych 10
5.6. Analiza różnic między normą AASHTO T283-89 a procedurą kondycjonowania i badania według WT-2 2010 11
6. Współpraca z laboratoriami drogowymi 11
6.1. Odpowiedzi ankietowe przysłane przez laboratoria 11
6.2. Wyniki badań międzylaboratoryjnych wodoodporności 22
6.2.1. Badania międzylaboratoryjne – tura I 22
6.2.2. Badania międzylaboratoryjne – tura II 31
6.2.3. Ujednolicona procedura laboratoryjna 40
6.2.4. Badania międzylaboratoryjne – tura III 46
6.2.5. Badania międzylaboratoryjne przed i po ujednoliceniu procedury 55
6.3. Ankieta nt. wymagań ITSR w Europie 64
7. Metodyka badań MMA 70
7.1. Cechy fizyczne 70
7.2. Wykonanie badań powinowactwa lepiszczy i kruszyw 70
7.3. Odporność na działanie wody 71
7.4. Koleinowanie (mały aparat) 72
7.5. Odporność na pękanie niskotemperaturowe 72
7.6. Sztywność- metoda belki czteropunktowo zginanej 74
7.7. Trwałość zmęczeniowa- metoda belki czteropunktowo zginanej 75
8. Badania laboratoryjne 75
8.1. Wyniki badań archiwalnych IBDiM 75
8.2. Badania powinowactwa lepiszczy i kruszyw 76
8.3. Wyniki badań wodoodporności – porównanie metod badawczych 79
8.4. Wyniki badań wodoodporności – porównanie różnych mieszanek 93
8.5. Wyniki badań funkcjonalnych 102

8.5.1. Odporności na koleinowanie w małym aparacie 105
8.5.2. Badanie odporności na pękanie niskotemperaturowe (Zadanie 4) 107
8.5.3. Badanie odporności na zmęczenie (Zadanie 4) 113
8.5.4. Analiza wyników badań MMA 114
9. Podsumowanie pracy 130
9.1. Wnioski 130
9.2. Procedura 131
9.3. Wymagania 137

Załącznik 1 Uziarnienie materiałów mineralnych
Załącznik 2 Szczegółowe projekty recept
Załącznik 3 Wyniki przyczepności asfaltu do kruszyw
Załącznik 4 Wyniki wodoodporności
Załącznik 5 Wyniki koleinowania

1. Podstawa pracy

Niniejsze sprawozdanie jest sprawozdaniem końcowy z realizacji pracy zleconej przez Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad. Praca nosiła tytuł „Weryfikacja i uaktualnienie metody badawczej wodoodporności z cyklem zamrażania mieszanek mineralno-asfaltowych". Praca została wykonana na podstawie umowy nr 3101/2011 z dnia 18.11.2011 r. zawartej pomiędzy Generalną Dyrekcją Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) a Instytutem Badawczym Dróg i Mostów (IBDiM). Pracy nadano symbol IBDiM „TN-255".

2. Cel pracy

Wdrożona wcześniej metoda badawcza wodoodporności z cyklem zamrażania mieszanek mineralno-asfaltowych według normy AASHTO T283-89 [1] oraz normy PN-S-96025 [2] została zastąpiona w WT-2:2010 nową procedurą z uwzględnieniem normy PN-EN 12697-12. Nowa procedura badawcza w wielu laboratoriach sprawiała znaczne problemy podczas wykonania badań. Stwierdzono duże rozrzuty powtarzalności i odtwarzalności wyników badań. Celem podjęcia tematu jest wykonanie badań międzylaboratoryjnych, weryfikacja metody z jej ewentualnymi zmianami oraz uwzględnieniem badania powinowactwa lepiszcza asfaltowego i kruszywa. Zweryfikowane będą także wymagania wodoodporności mieszanek mineralno-asfaltowych zawarte w WT-2:2010.

3. Program pracy

Program pracy pt. „Weryfikacja i uaktualnienie metody badawczej wodoodporności z cyklem zamrażania mieszanek mineralno-asfaltowych" obejmował trzy etapy. Pierwszy etap został zrealizowany w 2011 roku, drugi etap został zrealizowany w 2012 roku a trzeci w 2013 roku. Całą pracę podzielono na 8 zadań. W ramach pracy zrealizowano następujące zadania:

Etap I:

- Dokonano wyboru kruszyw i lepiszczy (5.1),
- Wykonano wstępne badania powinowactwa lepiszczy do kruszyw (8.2),
- Zaproszono do udziału w porównaniach międzylaboratoryjnych dotyczących badania ITSR 34 laboratoria; do laboratoriów rozesłano również ankiety dotyczące stosowane-

go sprzętu laboratoryjnego oraz metodach badawczych związanych z określeniem ITSR (6.1),

- Zaprojektowano wejściowe składy mieszanek mineralno-asfaltowych z użyciem kruszywa: granitowego, kwarcytowego, wapiennego, amfibolitowego, melafirowego, dolomitowego, gabro i bazaltowego; przygotowano również dwie mieszanki mineralno-asfaltowe do badań międzylaboratoryjnych i rozesłano do uczestników (5.5),
- Przeanalizowano wyniki badań międzylaboratoryjnych pod kątem możliwych przyczyn występowania dużych odchyłek wyników badań (6.1)
- Zaproponowano wstępne poprawki w procedurze badawczej wg WT-2 2010 (6.2.3),
- Przeanalizowano dane archiwalne wyników badań IBDiM (8.1),
- Poddano analizie różnice procedur na określanie wodoodporności według AASHTO T283-89 a obecną procedurą badawczą wg WT-2 2010 (wg PN-EN 12697-12 z cyklem zamrażania wg AASHTO T283-89) (5.6).

Etap II:

- Wykonano badania powinowactwa lepiszczy i kruszyw wg PN-EN 12697-11 metoda A w różnych wariantach kruszyw i środków adhezyjnych (8.2),
- Opracowano recepty mm-a w różnych wariantach dla SMA11, AC16W i AC22P (5.4),
- Wykonano badania laboratoryjne mrozoodporności z cyklem zamrażania wg AASHTO T283-89 i procedurą wg WT-2 2010 na mieszankach wykonanych z różnymi kruszywami, różnymi środkami adhezyjnymi, przeznaczonych do wykonania warstwy ścieralnej, wiążącej i podbudowy (8.3),
- Przeprowadzono analizę wpływu przyczepności lepiszcza do kruszywa na wodoodporność mm-a (8.5.4),
- Wykonano badania funkcjonalne w celu walidacji wymagań ITSR (8.5),
- Przeprowadzono ankietę pośród europejskich jednostek badawczych dotyczącą poziomu wdrożenia badania oraz wymagań wodoodporności według normy EN 12697-12 (6.3),
- Opracowano zweryfikowaną procedurę badań mrozoodporności z cyklem zamrażania (6.2.3),
- Przeprowadzono drugą serię badań międzylaboratoryjnych ITSR (III tura) (6.2.4).

Etap III:

- Wykonano analizę wyników z drugiej tury badań ITSR (6.2.4 i 6.2.5),
- Opracowano zweryfikowaną procedurę badawczą oraz zaproponowano nowe poziomy wymagań ITSR (9).

4. Wstęp

Przed wprowadzeniem Norm Europejskich na mieszanki mineralno-asfaltowe stosowano jedynie procedurę badawczą wodoodporności zgodnie z normą AASHTO T283-89. Procedura ta oryginalnie dotyczyła badania warstw ścieralnych. Procedura samymi warunkami badania nie różniła się znacząco od obecnie stosowanej, według WT-2 2010. Procedura normowa charakteryzowała się nieco bardziej uciążliwym sposobem przygotowania próbek. Stosowanie procedury wodoodporności do oceny mieszanek mineralno-asfaltowych nie było obligatoryjne, chyba że wymagała tego specyfikacja techniczna.

Obecnie producentów mieszanek mineralno-asfaltowych obowiązuje Europejski system oceny zgodności, który wymaga znakowania produkowanych mieszanek oznakowaniem CE. Przepisy wymagają od producentów przeprowadzenia badań typu, które obejmują między innymi obligatoryjne badanie wodoodporności. Wiele firm, które nie zdecydowały się powierzyć wykonania badań wodoodporności doświadczonym laboratoriom, miało do czynienia z procedurą po raz pierwszy.

W okresie przejściowym, czyli po opublikowaniu Norm Europejskich serii PN-EN 13108 oraz po opracowaniu Wymagań Technicznych WT-2 2008 Nawierzchnie Asfaltowe, na rynku panowała dowolność w stosowaniu procedury zamrażania. W WT-2 2008 jedynie występował zapis o konieczności stosowania cyklu zamrażania. Również norma PN-EN 12697-12:2006 nie precyzowała na czym polega procedura zamrażania, a jedynie dopuszczała jej przeprowadzenie. W związku z tym laboratoria drogowe wykonujące badania typu podchodziły do zagadnienia elastycznie i wprowadzały w procedurze badania wodoodporności etap zamrażania próbek. Nie była to jednak zunifikowana metoda dostępna dla wszystkich, trudno więc mówić o powtarzalności wyników badań.

Podczas gdy laboratoria drogowe stosowały różnorodne procedury badania wodoodporności, w IBDiM opracowano metodę badania zgodną z wymaganiami normy PN-EN 12697-12:2006 (w późniejszym czasie również zgodną z PN-EN 12697-12:2008) z zastosowaniem ujednoliconego cyklu zamrażania. Cykl zamrażania był bezpośrednio zaadaptowany z normy AASHTO. W celu zachowania zgodności procedury badania z Normą Europejską cykl zamrażania zastosowano po procedurze sezonowania próbek według Normy Europejskiej. Cykl zamrażania według AASHTO to cykl zamrażania z tzw. rozmrażaniem szokowym. Szok termiczny następuje w momencie, gdy próbki o temperaturze -18℃ umieszczane s ą w łaźni wodnej o temperaturze 60℃. IBDiM prak-

tykuje tę procedurę od 2008 roku. Procedura ta uznana została za najbardziej niekorzystną dla badanych próbek.

Równocześnie prace nad procedurą badania odporności na działanie wody opracowała firma TPA Instytut Badań Technicznych.

W 2009 roku rozpoczęły się prace nad aktualizacją WT-2 2008. Podczas obrad grupy roboczej wypracowana została zunifikowana metoda badawcza na określenie odporności na działanie wody, której zapisy zostały zamieszczone w formie załącznika do WT-2 2010. Po opublikowaniu zunifikowanej procedury zaczęły napływać sygnały od laboratoriów drogowych o niemożności uzyskania wymaganych odporności na działanie wody. Sygnały te dotyczyły zarówno nowo projektowanych jak i już wcześniej badanych mieszanek mineralno-asfaltowych.

Aby rozpoznać problematykę zagadnienia oraz móc dokonać poprawnej analizy problemu opracowano ankietę, którą rozesłano do wybranych laboratoriów zaangażowanych w problematykę związaną z tym badaniem. Zdecydowano się na taką formę zbierania wstępnych informacji, gdyż doświadczenie pokazało, że jakakolwiek forma spotkania w celu omówienia problemu każdorazowo kończyła się fiaskiem.

5. Przygotowania do realizacji tematu

5.1. Wybór materiałów składowych

Na cele realizacji niniejszej pracy badawczej wytypowano kruszywo, asfalt oraz środki adhezyjne przedstawione w tablicach 1, 2 i 3.

Tablica 1 Wybrane rodzaje kruszyw oraz ich pochodzenie

Lp.	Rodzaj kruszywa	Kopalnia/Pochodzenie
1	Amfibolit	DSS, Kopalnia w Piławie Górnej
2	Bazalt	PGP „Bazalt” S.A. w Wilkowie, złoże Krzeniów
3	Dolomit	KKSM Kopalnia „Radkowice”
4	Gabro	Kopalnia Braszowice lub Słupiec,
5	Melafir	Kopalnie Melafiru w Czarnym Borze, złoże Grzędy
6	Wapień	Kopalnia Wapieni ”Miedzianka”
7	Kwarcyt	Kopalnia Surowców Mineralnych „KOSMIN”, Wrocław
8	Granit	Kopalnia Granitu Strzelin

Tablica 2 Wybrane lepiszcza

Lp.	Rodzaj lepiszcza	Producent
1	Asfalt drogowy 20/30	Lotos Asfalt
2	Asfalt drogowy 35/50	Lotos Asfalt
3	Asfalt drogowy 50/70	Lotos Asfalt
4	Asfalt modyfikowany 45/80-65	Lotos Asfalt
5	Asfalt modyfikowany 45/80-55	Lotos Asfalt

Tablica 3 Wybrane środki adhezyjne

Lp.	Nazwa środka adhezyjnego	Producent
1	Iterlene IN/400-L	Iterchimica
2	AD-HERE	F.H. METRO SP.J,
3	Wetfix BE	Akzo Nobel
4	Teramin 14	ICSO Chemical Production
5	PE-31	Iterlene
6	Wapno hydratyzowane	Lhoist Polska Sp. z o.o.

5.2. Kruszywo

W laboratorium IBDiM wykonano analizy sitowe kruszyw (załącznik 1) uzupełnione o granit i kwarcyt. Załącznik zawiera pełne informacje na temat wszystkich kruszyw przeznaczonych do wykonania projektów poszczególnych mieszanek mineralno-asfaltowych w tym również uziarnienie mączki wapiennej.

5.3. Lepiszcze

W tablicy 4 zestawiono podstawowe właściwości wykorzystywanych w pracy asfaltów. Kolorem szarym zostały zaznaczone asfalty zastosowane do przygotowania próbek do badań porównawczych.

Tablica 4 Zbadane właściwości lepiszczy

Rodzaj asfaltu, / Właściwość	Asfalt drogowy			Asfalt modyfikowany	
	20/30	35/50	50/70	45/80-55	45/80-65
Penetracja w temperaturze 25°C, obciążenie 100g, czas obciążenia 5s, 0,1 mm	24	41	61	50	57
Temperatura mięknienia PiK, ℃	63,4	54,6	49,4	58,2	71,8
Temperatura łamliwości wg Fraassa, ℃	-15	-17	-18	-17	-22

5.4. Projekty recept do badań laboratoryjnych

Do badań laboratoryjnych przyjęto trzy typy mieszanek: SMA11 S, AC16 W i AC22P, z różnymi rodzajami kruszyw, dodatkowo sprawdzono każdą mieszankę w wariancie z sześcioma środkami adhezyjnymi. Łącznie wykonano badania 48 mieszanek mineralno-asfaltowych MMA, tj.:

- SMA11 z kruszywem bazaltowym, gabro, granitem, każda z 6 środkami adhezyjnymi (łącznie 18MMA)
- AC16 W z kruszywem dolomitowym, amfibolitowym, kwarcytem, każda z 6 środkami adhezyjnymi (łącznie 18MMA)
- AC22 P z kruszywem wapiennym i melafirem, każda z 6 środkami adhezyjnymi (łącznie 12MMA)

Projekt mieszanek mineralno-asfaltowych wykonano wg WT-2 2010. System oznakowania poszczególnych mieszanek mineralno-asfaltowych przyjęto jako symbol kruszywa łamany przez symbol środka adhezyjnego wg tablicy 5.

Tablica 5 Oznakowanie mieszanek mineralno-asfaltowych

Lp.	Rodzaj MMA	Rodzaj kruszywa	Rodzaj asfaltu	Środek adhezyjny					
				WETFIX BE (W)	Teramin 14 (T)	AD-HERE (A)	INTERLENE IN/400L (I)	PE-31 (P)	Wapno hydratyzowane (WH)
1	**SMA11S**	BAZALT (B)	45/80-55	B/W	B/T	B/A	B/I	B/P	B/WH
2		GABRO (G)		G/W	G/T	G/A	G/I	G/P	G/WH
3		GRANIT (GR)		GR/W	GR/T	GR/A	GR/I	GR/P	GR/WH
4	**AC16W**	DOLOMIT (D)	50/70	D/W	D/T	D/A	D/I	D/P	D/WH
5		AMFIBOLIT (A)		A/W	A/T	A/A	A/I	A/P	A/WH
6		KWARCYT (K)		K/W	K/T	K/A	K/I	K/P	K/WH
7	**AC22P**	WAPIEŃ (W)	35/50	W/W	W/T	W/A	W/I	W/P	W/WH
8		MELAFIR (M)		M/W	M/T	M/A	M/I	M/P	M/WH

Projekt mieszanek mineralno-asfaltowych wykonano wg WT-2 2010 [3]. Szczegółowe składy MMA oraz ich podstawowe parametry, przedstawiono w załączniku 2 niniejszego opracowania.

5.5. Recepty do badań międzylaboratoryjnych

Do badań międzylaboratoryjnych przygotowano 2 mieszanki mineralno-asfaltowe wg (tablice 6-7).

Tablica 6 Recepta AC WMS 16

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna, % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa, % m/m
1	Grys melafirowy 11/16 [mm]	5,0	4,8
2	Grys wapienny 8/16 [mm]	35,0	33,2
3	Grys wapienny 2/8 [mm]	20,0	19,0
4	Krusz drobne granul. 0/4 [mm]	22,0	20,9
5	Piasek łamany 0/2 [mm]	17,0	16,1
6	Mączka wapienna	1,0	1,0
7	Asfalt 20/30	-	5,0
	Razem	100,00	100,00

Wetfix BE 0,3 % m/m w stosunku do asfaltu

Tablica 7 Recepta SMA 8

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna, % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa, % m/m
1	Grys amfibolit 5/8 [mm]	58,0	54,2
2	Grys amfibolit 2/5 [mm]	18,0	16,8
3	Piasek łam. polod. 0/2 [mm]	5,0	4,7
4	Piasek łam. wap 0/2 [mm]	10,0	9,3
5	Mączka wapienna	9,0	8,4
6	Asfalt PMB 45/80-65	-	6,6
	Razem	100,00	100,00

Środek adhezyjny Wetfix BE 0,3 % m/m w stosunku do asfaltu, włókna celulozowe Arbocel ZZ 8/1 0,3 % m/m w stosunku mma

Mieszankę AC WMS 16 pobrano podczas produkcji na WMB. Próbki materiału urabialnego pobrano zgodnie z normą PN-EN 12697-27:2005 [4] z pryzmy. Próbki zapakowano w kartony i dostarczono do laboratorium IBDiM. Następnie mieszankę mineralno-asfaltową podgrzano i uformowano próbki w ubijaku Marshalla stosując energię zagęszczania 2x35 uderzeń na stronę. Na wykonanych próbkach oznaczono gęstość objętościową metodą B zgodnie z normą PN-EN 12697-6:2008 [5].

Mieszankę SMA 8 przygotowano w laboratorium poprzez wymieszanie składników w proporcjach zgodnych z receptą przy użyciu mieszarki laboratoryjnej zgodnie z normą PN-EN 12697-35:2008.

Zarówno wymieszaną mieszankę SMA 8, jak i zagęszczone próbki Marshalla z mieszanki AC WMS 16 umieszczono w opakowaniu zbiorczym przeznaczonym do wysyłania do laboratoriów, które zadeklarowały chęć wzięcia udziału w porównaniach dotyczących badania wrażliwości na działanie wody.

5.6. Analiza różnic między normą AASHTO T283-89 a procedurą kondycjonowania i badania według WT-2 2010

Szczegółową analizę przedstawiono w sprawozdaniu przejściowym z 2011 roku. Pośród głównych różnic między normą amerykańską a WT-2 należy wymienić:

- starzenie krótkoterminowe mm-a przed zagęszczaniem,
- szczegółowsze podejście do zagęszczania próbek (wymagane 7 ±1 % próżni),
- kontrolowany stopień nasączenia próbek (55 – 80 %),
- znacznie wyższe ciśnienie nasączania próżniowego (min. 34 kPa zamiast 6,7 kPa),
- mrożenie próbki zaraz po nasączaniu wodą, niepoprzedzone kondycjonowaniem w wodzie.

6. Współpraca z laboratoriami drogowymi

6.1. Odpowiedzi ankietowe przysłane przez laboratoria

Do współpracy w ramach realizacji tematu z 34 zaproszonych przystąpiły 22 laboratoria drogowe czynnie uczestniczące w dyskusjach na temat badania wodoodporności. Wśród laboratoriów znalazły się laboratoria GDDKiA, laboratoria drogowe firm produkujących mieszanki mineralno-asfaltowe oraz laboratoria drogowe niezależne. Część spośród wybranych laboratoriów posiadała akredytację Polskiego Centrum Akredytacji na badanie wodoodporności. Listę laboratoriów przedstawiono w tablicy 8. Wraz zaproszeniem do wzięcia udziału w badaniach porównawczych laboratoria otrzymały ankietę dotyczącą doświadczenia laboratorium, wyposażenia oraz metodologii badań. Treść ankiety zawarto w tablicy 9.

Tablica 8 Lista laboratoriów, które przystąpiły do współpracy w ramach tematu TN-255

Lp.	Laboratoria GDDKiA
1	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Białymstoku
2	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Bydgoszczy
3	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Katowicach
4	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Kielcach
5	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Krakowie
6	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Łodzi
7	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Olsztynie
8	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Opolu
9	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Poznaniu
10	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Rzeszowie
11	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Szczecinie
12	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Warszawie
13	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział we Wrocławiu
14	Laboratorium Drogowe GDDKiA Oddział w Zielonej Górze
Laboratoria Uczelni Technicznych / Instytutów / Niezależne	
15	Instytut Badawczy Dróg i Mostów Pracownia Technologii Nawierzchni – akredytacja PCA
16	Laboratorium Drogowe Wojciech Bogacki – akredytacja PCA
17	TPA Instytut Badań Technicznych Sp. z o.o. – akredytacja
18	Centrum Badań Laboratoryjnych "CEBEL" sp. z o.o.
Laboratoria drogowe wykonawców	
19	Bilfinger Berger Budownictwo S.A.
20	BUDIMEX S.A. – akredytacja PCA
21	Laboratorium Warmińsko-Mazurskie Przedsiębiorstwo Drogowe Sp. z o. o.
22	Masfalt Sp. z o. o.

Tablica 9 Ankieta przesłana do laboratoriów

INFORMACJE OGÓLNE:		
Pytanie	**Odpowiedź**	**Komentarz / Uwagi / Spostrzeżenia**
Ile osób związanych z badaniami mm-a zatrudnia laboratorium		
Staż pracy osób przeprowadzających badania laboratoryjne (w tym mm-a)		
Czy laboratorium wykonywało przed 2008 rokiem badania wodoodporność wg AASHTO T283-89		

ciąg dalszy Tablicy 6

Ile badań odporności na działanie wody wg PN-EN 12697-12 z cyklem zamrażania lub bez wykonało laboratorium		
Czy laboratorium miało problemy z uzyskaniem wystarczającej powtarzalności wyników własnych badań odporności na działanie wody przed opublikowaniem WT-2 2010?		
Czy laboratorium miało problemy z uzyskaniem wystarczającej powtarzalności wyników badań odporności na działanie wody wg procedury WT-2 2010?		
Czy laboratorium miało problemy z uzyskaniem wystarczającej odtwarzalności wyników badań uzyskanymi w innym laboratorium przed opublikowaniem WT-2 2010?		
Czy laboratorium poczyniło obserwacje, że niektóre materiały składowe wpływają niekorzystnie na wynik ITSR:	kruszywo asfalt środek adhezyjny połączenie w/w	
Czy laboratorium posiada akredytację na badanie odporności na działanie wody według PN-EN 12697-12:2008		
Czy laboratorium deklaruje chęć przystąpienia do badań międzylaboratoryjnych nt. ITSR		przewiduje się rozsyłanie 4 mieszanek mineralno-asfaltowych

ciąg dalszy Tablicy 6

INFORMACJE O WYPOSAŻENIU POMIAROWYM I BADAWCZYM STOSOWANYM DO BADANIA WODOODPORNOŚCI:		
Do przygotowania mm-a do badań wodoodporności wykorzystywane jest:	mieszanie ręczne, pojedyncza porcja na próbkę Marshalla mieszanie mechaniczne, pojedyncza porcja na próbkę Marshalla mieszanie mechaniczne, większa porcja mm-a, z której wydzielane są porcje na próbki Marshalla	
Do zagęszczenia próbek Marshalla do badania wodoodporności stosowany jest ubijak (producent, rok produkcji, czy zgodny z Normą Europejską):	Producent: Rok produkcji: Zgodność z PN-EN: T / N Sprawdzenie / Wzorcowanie	
Do termostatowania próbek z zestawu „suchego” wykorzystywany jest:	Rodzaj: Producent: Zakres pomiarowy: Wzorcowanie / sprawdzenie	
Do termostatowania próbek z zestawu „mokrego” wykorzystywany jest: (producent, zakres pomiarowy, rok produkcji)	Rodzaj: Producent: Zakres pomiarowy: Wzorcowanie / sprawdzenie	

ciąg dalszy Tablicy 6

Do nasączania próbek stosowana jest komora próżniowa:	Rodzaj: Producent: Zakres pomiarowy: Wzorcowanie / sprawdzenie	
Do badania wykorzystywana jest prasa wytrzymałościowa:	Rodzaj: Producent: Zakres pomiarowy: Wzorcowanie / sprawdzenie	
OPIS PROCEDURY BADAWCZEJ WODOODPORNOŚCI Z CYKLEM ZAMRAŻANIA STOSOWANEJ PRZEZ LABORATORIUM PRZED OPUBLIKOWANIEM WT-2 2010		
Przygotowanie próbek	Czas trwania (dzień tygodnia, przedział godzinowy, warunki przygotowania):	
Podział próbek na zestaw suchy i zestaw mokry	Ilość przygotowywanych próbek, sposób wyboru grupy próbek z zestawu suchego i mokrego	
Pielęgnacja próbek z zestawu mokrego:	Opis postępowania (dzień tygodnia, przedział godzinowy, warunki pielęgnacji):	
Pielęgnacja próbek z zestawu suchego:	Opis postępowania (dzień tygodnia, przedział godzinowy, warunki pielęgnacji):	
Termostatowanie próbek bezpośrednio przed badaniem:	Opis postępowania (dzień tygodnia, przedział godzinowy, warunki pielęgnacji):	

22 laboratoria odpowiedziały na nadesłaną ankietę oraz zadeklarowały chęć wzięcia udziału w badaniach międzylaboratoryjnych.

Analiza ankiet

Nadesłane ankiety poddano analizie. Pierwsza grupa pytań miała charakter ogólny. Laboratoria respondentów zatrudniały od 3 do 13 osób związanych z badaniami mm-a, a średnio po 6 osób, z czego 5 laboratoriów zadeklarowało staż pracowników w

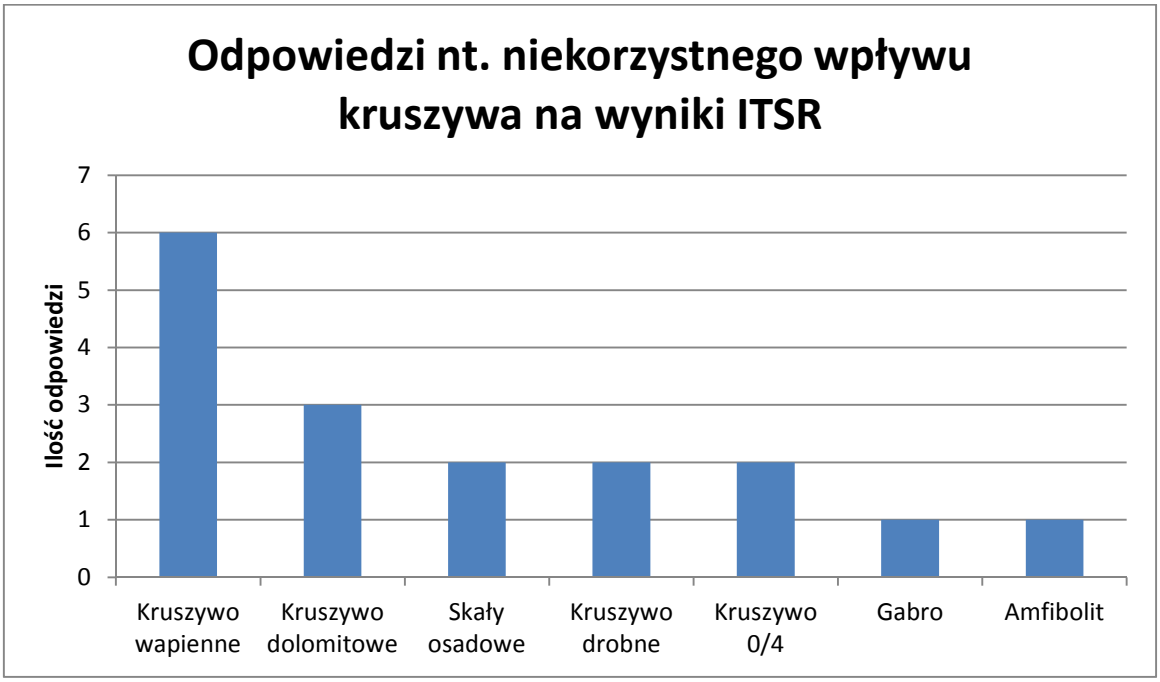
grupie A i B, 10 laboratoriów w grupie A, B i C, 2 laboratoria w grupie A i C, 3 laboratoria w grupie B, 1 laboratorium w grupie B i C i 1 laboratorium w grupie C. Z analizy odpowiedzi wynika, że żadne laboratorium nie zatrudniało jedynie pracowników z grupy A, o najniższym stażu. Zatem w badaniach porównawczych wzięły udział laboratoria zatrudniające doświadczonych pracowników.

Pośród uczestników porównań tylko 4 laboratoria wykonywały badania odporności na działanie wody i mrozu przed opublikowaniem wymagań według WT-2 2008 i procedury badania według WT-2 2010. Były to badania zgodne z AASHTO T-283-89 lub zgodne z PN-EN 12697-12.

Doświadczenie określane ilością wykonanych badań wodoodporności było zróżnicowane. Laboratoria deklarowały od 2 do 800 badań wykonanych zgodnie z normą PN-EN 12697-12 z lub bez cyklu zamrażania. Średnio laboratoria wykonały po ok. 74 badania. Trzy laboratoria biorące udział w ankiecie zadeklarowały posiadanie akredytacji.

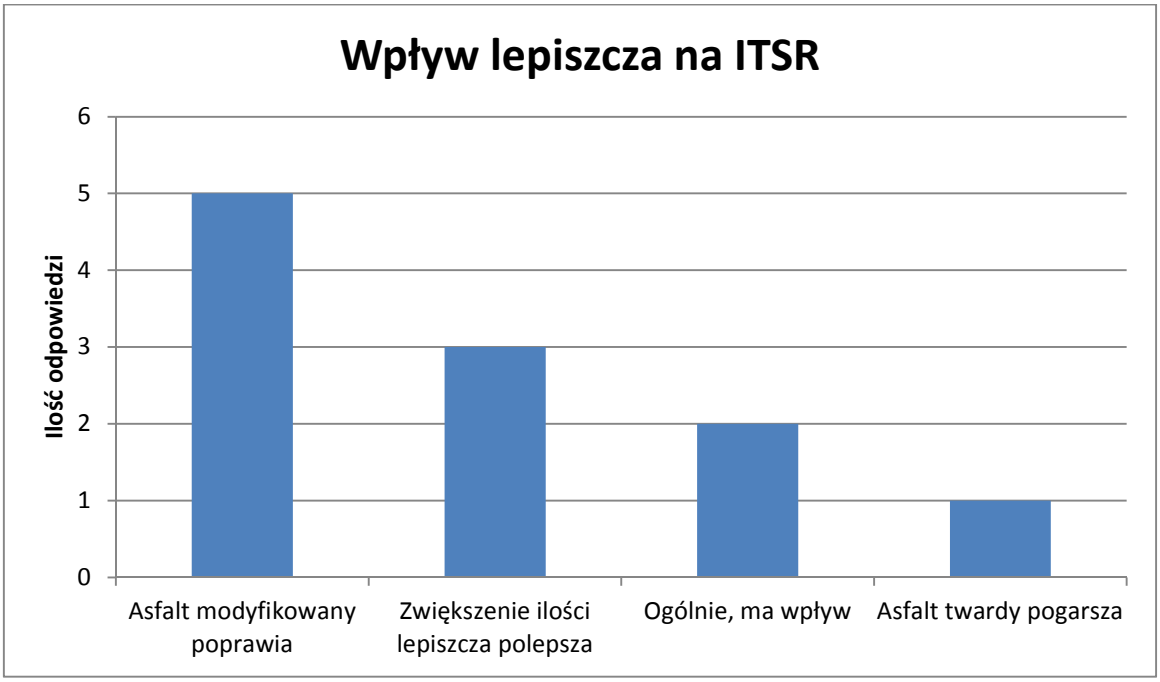
Laboratoria zostały również poproszone o określenie, czy występowały problemy z uzyskaniem właściwej powtarzalności wyników badań przed oraz po opublikowaniu procedury badawczej w WT-2 2010. Z okresu przed określeniem procedury badawczej cztery laboratoria zadeklarowały, że miały problemy z powtarzalnością badań, natomiast pozostałe nie miały problemu, lub nie wykonywały tych badań. Po opublikowaniu procedury w WT-2 2010 osiem laboratoriów udzieliło twierdzącej odpowiedzi. W kwestii odtwarzalności tylko jedno laboratorium zadeklarowało problem z jej osiągnięciem. Jeśli weźmiemy pod uwagę jedynie odpowiedzi laboratoriów, które wykonały przynajmniej 100 badań ITSR (9 laboratoriów) okaże się, że połowa z nich miała problemy z powtarzalnością wyników badań, a jedna dziesiąta z odtwarzalnością. Można stwierdzić, że statystycznie procedura kondycjonowania próbek wg WT-2 2010 może wpłynąć na pogorszenie powtarzalności wyników badań.

Na pytanie dotyczące wpływu materiałów składowych na zaobserwowane wyniki badań laboratoria potwierdziły, że niekorzystny wpływ na wyniki badań ma kruszywo (15 laboratoriów – szczegóły rysunek 1).



Rysunek 1. Niekorzystny wpływ kruszywa według ankietowanych

Dwanaście laboratoriów nie zaobserwowało wpływu asfaltu na ITSR, a pozostałe 10 poczyniło obserwacje podane na rysunku 2.



Rysunek 2. Wpływ lepiszcza na wynik ITSR

Wpływu środka adhezyjnego na wynik badań ITSR nie zaobserwowało 15 laboratoriów, 3 laboratoria zadeklarowały taką obserwacje, natomiast pozostałe laboratoria zadeklarowały wpływ środka adhezyjnego w przypadku niektórych kruszyw, inne zau-

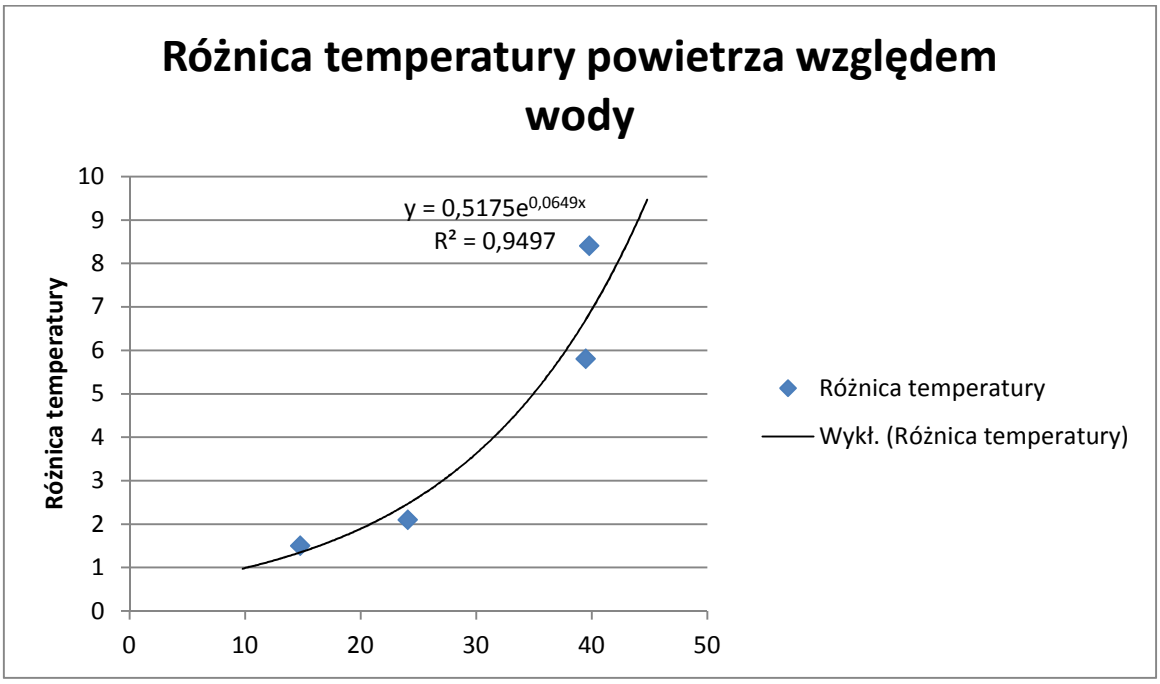
ważyło, że im mniej tego dodatku tym lepszy wynik, jeszcze inne laboratorium uznało wręcz przeciwnie, że całkowity brak lub za duża ilość pogarszają wynik, jeszcze inne zadeklarowało, że rodzaj i ilość ma wpływ na wynik ITSR. Cztery laboratoria zaobserwowały, że kombinacja tych wszystkich składników wpływa na wynik ITSR.

Dalsza część ankiety dotyczyła sprzętu laboratoryjnego oraz praktyk w realizacji obecnej procedury badawczej ITSR. Do przygotowania próbek mieszanki mineralno-asfaltowej laboratoria wykorzystują albo mieszanie ręczne (5 deklaracji), albo mieszanie mechaniczne większej porcji mm-a, z której wydzielane są porcje na próbki Marshalla (17 odpowiedzi). Dodatkowo czterech respondentów zadeklarowało, że wykonują próbki z mieszanki mineralno-asfaltowej pobranej z wytwórni mas asfaltowych, a jeden respondent dodatkowo zadeklarował, że wykonuje badania na próbkach wykonanych przez zleceniodawcę. Wszyscy ankietowani zadeklarowali posiadanie ubijaków Marshalla zgodnych z Normą Europejską. Osiem ubijaków było produkcji niemieckiej, jedenaście produkcji polskiej, dwa angielskie i 1 włoski. W przypadku 16 ubijaków zadeklarowano sprawdzanie, a w przypadku 4 dodatkowo wzorcowanie. W przypadku 2 ubijaków nie deklarowano ani wzorcowania ani sprawdzenia.

Do pielęgnacji próbek z zestawu „suchego” i „mokrego” wykorzystywane są różne urządzenia: suszarka, komora klimatyczna, łaźnia wodna, inkubator, łaźnia duktylometru. Nie każde ze stosowanych urządzeń nadawało się do przedstawionego zastosowania, np. typowa suszarka laboratoryjna ma dolny zakres pracy od +5 ℃ (niemiecka nawet od +10 ℃) ponad temperaturę otoczenia, cieplarka od +3 ℃ ponad temperaturę otoczenia. Łaźnie wodne nie wyposażone w system chłodzenia wymagają dodatkowych czynności zapewniających wymagane schładzanie (np. stosowanie lodu). Pominięcie tego aspektu przy schładzaniu próbek z temperatury 60 ℃ do 25 ℃ może wydłużyć czas termostatowania oraz może wymagać zastosowania dodatkowej kontroli temperatury wewnątrz próbki. Typowy deklarowany dolny zakres pracy łaźni wodnej do próbek Marshalla wynosi +15 ℃ ponad temperaturę otoczenia, zatem aby poprawienie termostatować próbki z zestawu mokrego łaźnię należałoby eksploatować w temperaturze +10 ℃, co jest niepraktyczne. Należy również kategorycznie zabronić termostatowania próbek z zestawu mokrego w skrzynce wypełnionej wodą i wstawionej do komory termostatycznej lub suszarki wraz z próbkami z zestawu suchego. Proces parowania wody obniża jej temperaturę, i będzie ona niższa od temperatury otaczającego powietrza. W tablicy 10 przedstawiono wyniki doświadczenia przeprowadzonego przy użyciu wielokanałowego rejestratora temperatury.

Tablica 10 Błędy wynikające z termostatowania próbek w skrzynce z wodą

$T_{powietrza}$ w komorze (po ustabilizowaniu), ℃	T_{wody} (po ustabilizowaniu), ℃	$T_{próbki}$ w wodzie (po ustabilizowaniu), ℃	Różnica $T_{powietrza}$ i $T_{próbki}$ w wodzie, ℃
14,8	13,3	13,3	1,5
24,1	22,0	22,0	2,1
39,5	33,5 (skrzynka przykryta)	33,7	5,8
39,8	31,2 (skrzynka nieprzykryta)	31,4	8,4



Rysunek 3. Różnica temperatury powietrza względem wody

Należy mieć zatem na względzie, że przy termostatowaniu w 25 ℃ przy u życiu naczynia z wodą umieszczonego w komorze termostatycznej powietrznej, temperatura wody może być niższa o ok. 2 ℃. Ró żnica ta może wpływać na wynik ITSR.

Potencjalnie nie każda komora próżniowa spośród ankietowanych spełniła wymagania normy PN-EN 12697-12. W normie wymagane jest ciśnienie pozostałe w naczyniu po odciągnięciu powietrza. W niektórych ankietowanych komorach próżniowych deklarowano zakres podciśnienia, a nie ciśnienia pozostałego. Również dokładność urządzenia wskazującego ciśnienie nie jest bez znaczenia. Wymaganą w normie dokładność ±0,3 kPa można osiągnąć na miernikach ciśnienia typu pojemnościowego o dokładności 0,2 % odczytu. Jest to zatem obszar mogący generować rozrzuty w metodzie nasączania próbek wodą w obecności próżni. Należy w tym miejscu zauważyć,

że wartości próżni uzyskiwane według normy AASHTO T283-89 są kilkakrotnie wyższe.

Stosowane są prasy wytrzymałościowe o zakresie pracy do 30 kN, do 50 kN lub do 200 kN. 17 urządzeń posiadało wzorcowania a pozostałe 5 sprawdzenia.

Ostatnia grupa pytań dotyczyła procedury badawczej stosowanej przez laboratoria po ukazaniu się WT-2 2008 a przed ukazaniem się ujednoliconej procedury w WT-2 2010. Z analizy odpowiedzi ankietowych uzyskano odpowiedzi przedstawione w tablicy 15. Procedura badania miała kilka postaci, od procedury opublikowanej przez IBDiM w ramach pracy dla GDDKiA z 2002 r. [6], poprzez modyfikacje procedury według normy PN-EN 12697-12:2008, a kończąc na procedurze według WT-2 2010, tylko ze zmienionymi temperaturami oraz sposobem przygotowania i wyboru próbek.

Tablica 11 Analiza różnic metodologii wykonania badania ITSR z cyklem mrożenia (dla porównania pierwszy wiersz dotyczy WT-2 2010

Przygotowanie próbek	Segregowanie próbek	Kolejność i etapy postępowania	Postępowanie z próbkami przed mrożeniem	Postępowanie z próbkami przed badaniem	Ilość próbek
Według WT-2 2010: Wg PN-EN 12697-30, 2x35 uderzeń	Według WT-2 2010: Różnica między średnimi gęstościami objętościowymi zestawu suchego i mokrego <15 kg/m^3	Według WT-2 2010: Nasączanie próżniowe – kondycjonowanie w 40℃ – mro żenie – rozmrażanie w 60℃ – badanie w 25℃	Według WT-2 2010: bez ociekania wody, folia stretch, woreczek fo-liowy z 10 ml wody	Według WT-2 2010: termostatowanie w 25 ℃, min. 2 h przed bada-niem, próbki suche w stanie suchym, próbki mokre w stanie mokrym	Według WT-2 2010: min. 6 próbek
Wg PN-EN 12697-30, 2x25 uderzeń	Minimalizacja różnicy między średnimi gęstościami objętościowymi zestawu suchego i mokrego	Nasączanie próżniowe – kondycjonowanie w 40℃ – badanie w 15/25℃	Osuszenie próbki ściereczką, woreczek foliowy bez wody, oklejenie taśmą	termostatowanie w 15/25 ℃, min. 3 h przed badaniem, próbki suche w stanie suchym, próbki mokre w stanie mokrym	8 próbek
Niezgodnie z PN-EN 12697-30 – z dźganiem nożem i/lub ze smarowaniem form gliceryną	Wybór na przemian pod względem gęstości objętościowej próbek z zestawu suchego i mokrego	Nasączanie próżniowe – kondycjonowanie w 40℃ – mrożenie – rozmrażanie w temperaturze pokojowej – badanie w 15/25℃		termostatowanie w 15/25 ℃, min. 4 h przed badaniem, próbki suche w stanie suchym, próbki mokre w stanie mokrym	12 próbek
	Niższa średnia gęstość objętościowa próbek z zestawu mokrego (gorsze wyniki ITSR)*	Nasączanie próżniowe – mrożenie – kondycjonowanie w 40℃ – badanie w 15/25℃		termostatowanie w 15/25 ℃, min. 4 h przed badaniem, próbki suche i mokre w stanie suchym	
	Wyższa średnia gęstość objętościowa próbek z zestawu mokrego (lepsze wyniki ITSR)*				

* reguła nie zawsze prawdziwa, ze względu na optimum ITSR przy różnej optymalnej zawartości wolnej przestrzeni

Z tablicy wynika, że istnieje wiele sposobów na oznaczenie tej samej cechy, jaką jest odporność (wrażliwość) na działanie wody i mrozu.

Podsumowując przeprowadzoną analizę, poszczególne różnice wynikające ze zmian i modyfikacji w procedurze wydają się nie mieć znaczenia. Znaczenia jednak nabierają, jeśli nastąpi superpozycja błędów składowych wynikających z tych różnic. Z analizy wynika również, że nie tylko różnice w samej procedurze postępowania, ale

również różnice sprzętowe bądź brak świadomości ograniczeń wynikających z możliwości technicznych niektórych urządzeń może odgrywać istotną rolę w ostatecznym rozrachunku błędów i wynikającym z tego budżecie niepewności.

W celu minimalizacji wartości składowych w budżecie niepewności metody badawczej, szczególnie wynikających z omówionych wyżej powodów, w podpunkcie 6.2.3 oraz 9 przedstawiono uszczegółowioną, ujednoliconą procedurę badawczą uwzględniającą doświadczenia zebrane w ramach tematu TN-255.

6.2. Wyniki badań międzylaboratoryjnych wodoodporności

6.2.1. Badania międzylaboratoryjne – tura I

Do laboratoriów, które odpowiedziały w pierwszej kolejności, wysłano próbki do przeprowadzenia pierwszej serii badań międzylaboratoryjnych. Pozostałe laboratoria otrzymały próbki w późniejszym terminie (II tura). W analizie uwzględniono wyniki badań międzylaboratoryjnych z 10 laboratoriów. Badania zostały wykonane zgodnie z dotychczas stosowaną metodą badań ITSR z 1 cyklem mrożenia wg WT-2 2010. Badania przeprowadzano na dwóch rodzajach mieszanek. Z mieszanki AC WMS 16 20/30 przed wysyłką zostały uformowane próbki walcowe o średnicy 100 mm, 2x35 uderzeń. Natomiast mieszanka SMA została przesłana w postaci niezagęszczonej. W przypadku mieszanki AC WMS 16 20/30 laboratoria mogły od razu przystąpić do badania wodoodporności, natomiast z mieszanki SMA musiały same najpierw uformować próbki badawcze, na których następnie przeprowadziły badania wodoodporności.

Przeprowadzono ocenę wyników badań. Po zestawieniu wszystkich wyników badań przeprowadzono analizę wyznaczając dla każdego badanego parametru (ITSd, ITSw, ITSR) i każdej badanej mieszanki wartość średnią, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności oraz współczynnik Z-score.

Odchylenie wyznaczono ze wzoru:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

w którym:
δ - odchylenie standardowe
x_i – pojedynczy wynik badania
n – ilość wyników

Współczynnik zmienności wyznaczono ze wzoru:

$$v = \frac{\delta}{x_{śr}}$$

W którym:
V – współczynnik zmienności
$x_{śr}$ – wartość średnia wyników badania
δ - odchylenie standardowe

Do oceny i kwalifikacji badań międzylaboratoryjnych wykorzystano współczynnik Z-score, zwany dalej Z, zdefiniowany jako:

$$Z = \frac{x_i - x_{śr}}{\delta}$$

w którym:
x_i – pojedynczy wynik badania
$x_{śr}$ – wartość średnia wyników badania
δ - odchylenie standardowe wyznaczone ze wzoru:

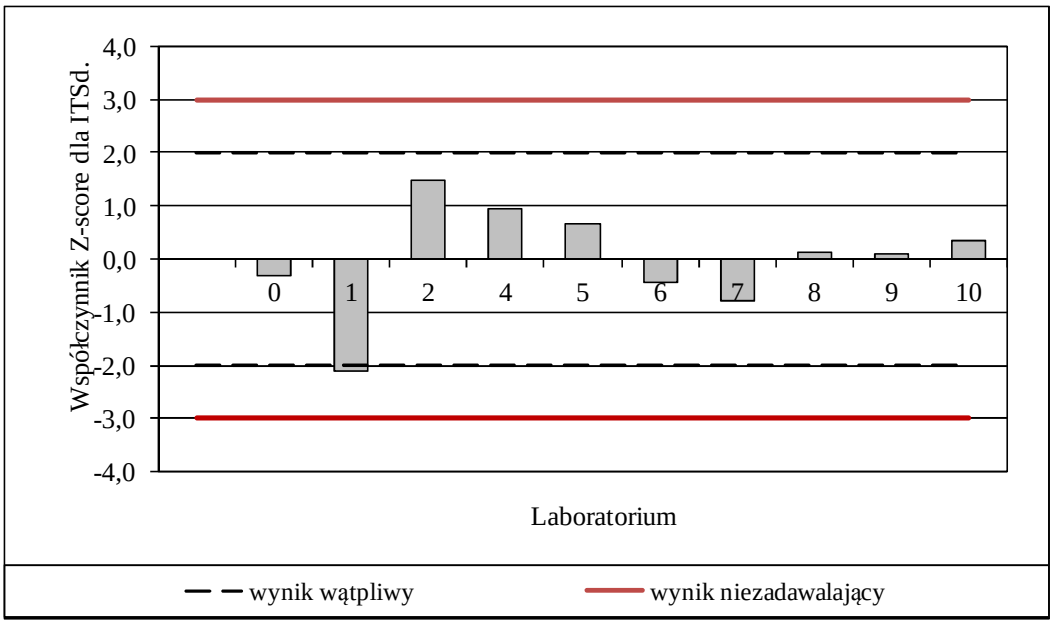
Wartość kwalifikującą Z interpretuje się zależnie od wyników uzyskanych przez pojedyncze laboratoria. Wyniki te mogą być większe lub mniejsze od wartości przypisanej (prawdziwej), dlatego też wartość Z może przyjmować postać dodatnią lub ujemną. W przypadku, gdyby wynik laboratorium był równy wartości prawdziwej, Z przyjmowałaby wartość 0.

Ustalone zostały następujące kryteria kwalifikacji wyników:

$|Z| \leq 2$ – wynik zadowalający
$2 \leq |Z| < 3$ – wynik wątpliwy
$|Z| \geq 3$ – wynik niezadowalający
W tablicach i na rysunkach zestawiono uzyskane parametry

Tablica 12 Wyniki ITSd uzyskane dla próbek mieszanki AC 16 W 20/30

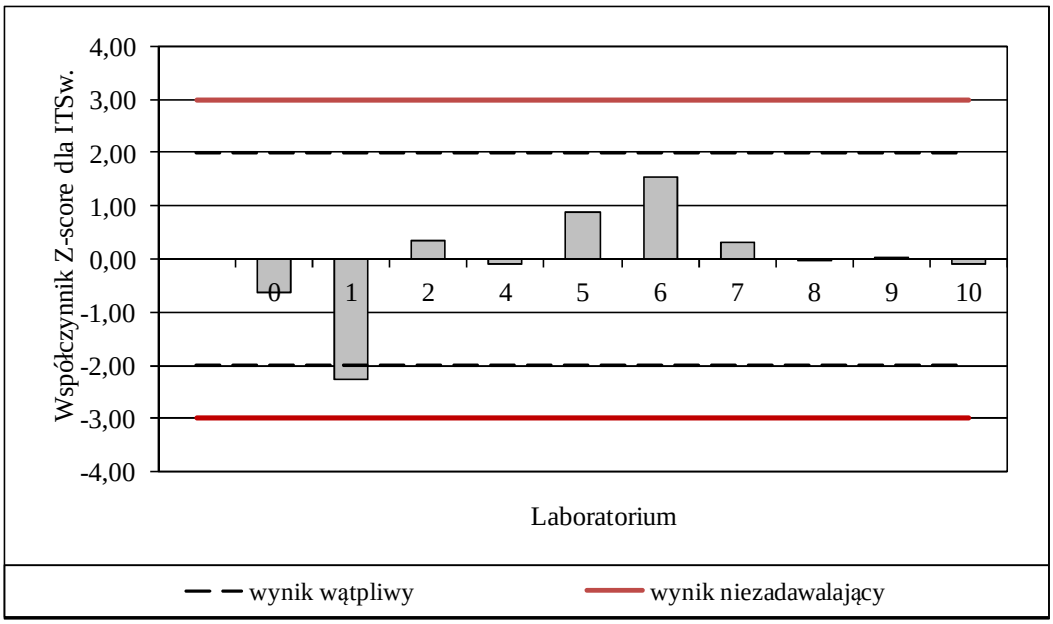
Labor	Lab 0	Lab 1	Lab 2	Lab 4	Lab 5	Lab 6	Lab 7	Lab 8	Lab 9	Lab 10
Wynik ITS_w kPa	1921,7	1553	2287,8	2178	2122,3	1898,0	1826,8	2010	2002,0	2056
Średnia	1985,6									
Odch. Stand.	204,7									
Współ. zmien.	0,10 (10%)									
Z-score	0,31	2,11	1,48	0,94	0,67	0,43	0,78	0,12	0,08	0,34



Rysunek 4. Współczynniki Z-score wyników ITSd dla mieszanki AC 16 W

Tablica 13 Wyniki ITSw uzyskane dla próbek mieszanki AC 16 W 20/30

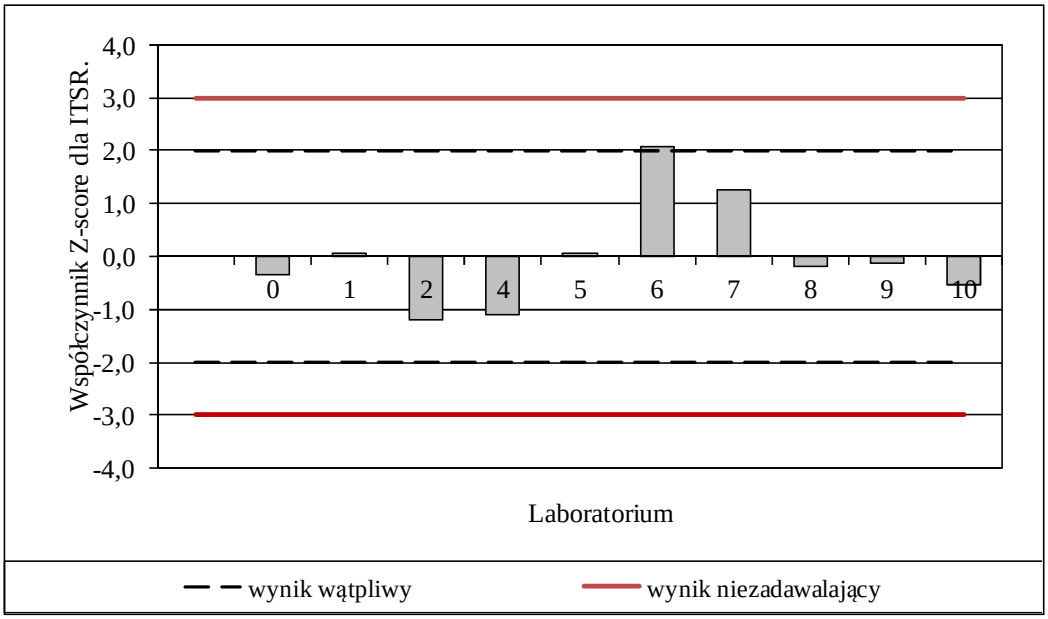
Labor	Lab 0	Lab 1	Lab 2	Lab 4	Lab 5	Lab 6	Lab 7	Lab 8	Lab 9	Lab 10
Wynik ITS_d kPa	1252,6	1052	1371	1319	1436,2	1518	1368,9	1329	1331	1317
Średnia	1329,5									
Odch. Stand.	121,7									
Współ. zmien.	0,09 (9%)									
Z-score	0,63	2,28	0,34	0,09	0,88	1,55	0,32	0,00	0,01	0,10



Rysunek 5. Współczynniki Z-score wyników ITSw dla mieszanki AC 16 W

Tablica 14 Wyniki ITSR uzyskane dla próbek mieszanki AC 16 W 20/30

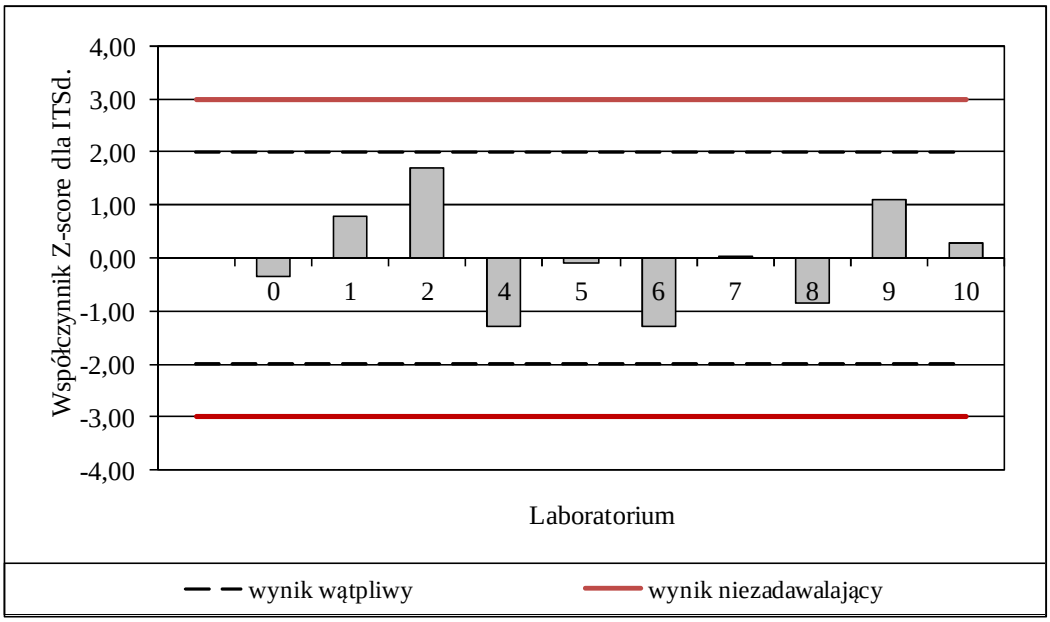
Labor	Lab 0	Lab 1	Lab 2	Lab 4	Lab 5	Lab 6	Lab 7	Lab 8	Lab 9	Lab 10
Wynik ITSR	65,2	67,7	59,9	60,6	67,7	80,0	74,9	66,1	66,5	64,1
Średnia	67,3									
Odch. Stand.	6,1									
Współ. zmien.	0,09 (9%)									
Z-score	0,34	0,08	1,20	1,10	0,07	2,08	1,25	0,19	0,13	0,53



Rysunek 6. Współczynniki Z-score wyników ITSR dla mieszanki AC 16 W

Tablica 15 Wyniki ITSd uzyskane dla próbek mieszanki SMA 8 S 45/80-65

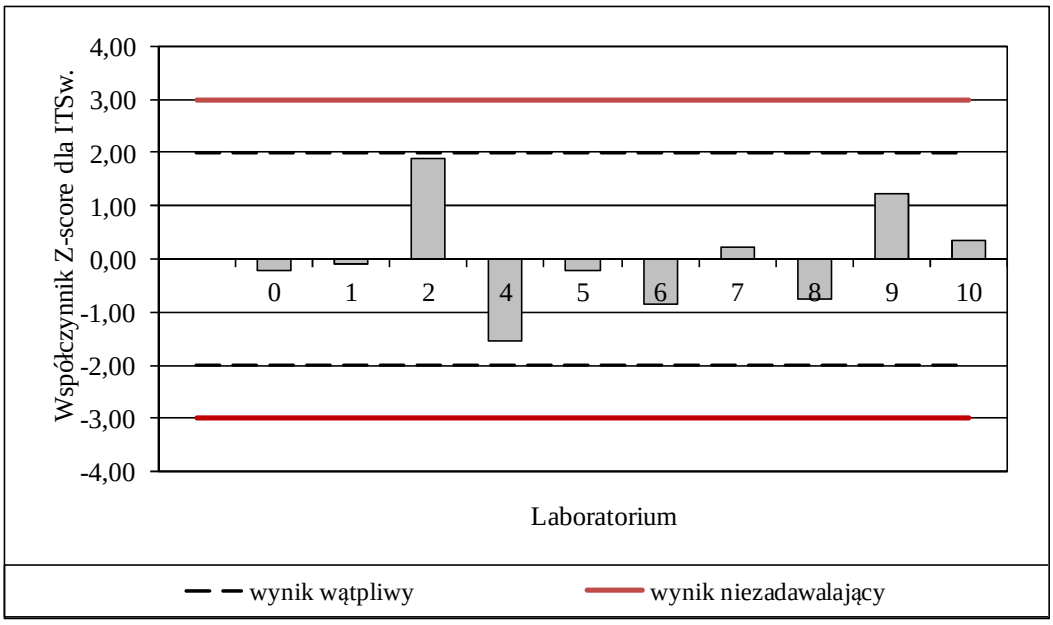
Labor	Lab 0	Lab 1	Lab 2	Lab 4	Lab 5	Lab 6	Lab 7	Lab 8	Lab 9	Lab 10
Wynik ITS_w kPa	1106,4	1292	1433,7	958	1147,3	959,0	1167,8	1027	1341,0	1208
Średnia	1164,0									
Odch. Stand.	159,6									
Współ. zmien.	0,14 (14%)									
Z-score	0,36	0,80	1,69	1,29	0,10	1,28	0,02	0,86	1,11	0,28



Rysunek 7. Współczynniki Z-score wyników ITSd dla mieszanki SMA 8 S

Tablica 16 Wyniki ITSw uzyskane dla próbek mieszanki SMA 8 S 45/80-65

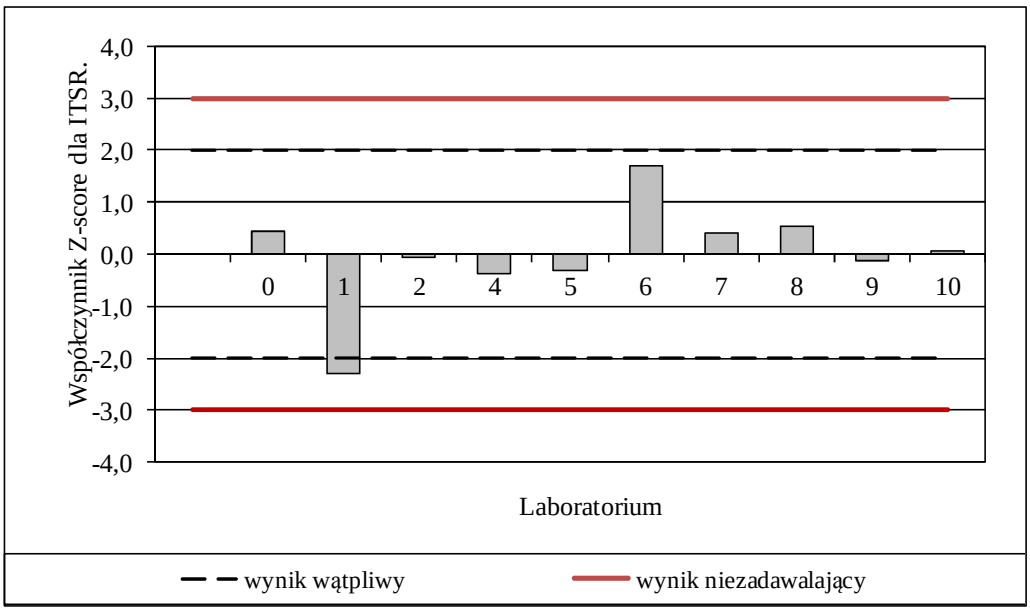
Labor	Lab 0	Lab 1	Lab 2	Lab 4	Lab 5	Lab 6	Lab 7	Lab 8	Lab 9	Lab 10
Wynik ITS_d kPa	1005,1	1021	1271,9	837	1004,1	923	1059,5	937	1186	1078
Średnia	1032,3									
Odch. Stand.	126,8									
Współ. zmien.	0,12 (12%)									
Z-score	0,21	0,09	1,89	1,54	0,22	0,86	0,21	0,75	1,21	0,36



Rysunek 8. Współczynniki Z-score wyników ITSw dla mieszanki SMA 8 S

Tablica 17 Wyniki ITSR uzyskane dla próbek mieszanki SMA 8 S 45/80-65

Labor	Lab 0	Lab 1	Lab 2	Lab 4	Lab 5	Lab 6	Lab 7	Lab 8	Lab 9	Lab 10
Wynik ITSw kPa	90,8	79,0	88,7	87,4	87,5	96,2	90,7	91,2	88,4	89,2
Średnia	88,9									
Odch. Stand.	4,33									
Współ. zmien.	0,05 (5%)									
Z-score	0,44	2,29	0,05	0,36	0,33	1,69	0,41	0,53	0,11	0,07



Rysunek 9. Współczynniki Z-score wyników ITSR dla mieszanki SMA 8 S

W przypadku betonu asfaltowego o uziarnieniu do 16 mm, większość laboratoriów spełniła kryterium Z-score, czyli wyniki były zadowalające. Wynik wątpliwy pojawił się jedynie w laboratorium LAB 1 (dla ITSd i ITSw) oraz w laboratorium LAB 6 (dla ITSR). Nie pojawił się żaden wynik niezadowalający. Polityka PCA, przy ocenie uzyskanych wyników porównań międzylaboratoryjnych, dopuszcza 20% wyników w grupie wątpliwych oraz brak wyników w grupie niezadowalających. Badania wodoodporności spełniły te wymagania. W każdej grupie wyników znalazło się jedno laboratorium z wynikiem wątpliwym, a zatem przeliczając – 10 %.

W przypadku mieszanki SMA, większość laboratoriów również spełniła kryterium Z-score, czyli wyniki były zadowalające. Wynik wątpliwy pojawił się jedynie w laboratorium LAB 1 dla ITSR. Żadne laboratorium nie uzyskało oceny niezadowalającej. Wyniki były zatem zgodne z polityką PCA, ponieważ brak było wyników z grupy niezadowalających, a wyników wątpliwych było maksymalnie 10 %.

Inną wyznaczoną na podstawie dostarczonych wyników badań właściwością był współczynnik zmienności. Pokazuje on zróżnicowanie rozkładu danej właściwości. W przypadku próbek mieszanki AC 16 W 20/30 współczynnik plasował się na poziomie ok. 9 % dla każdego parametru (ITS_d, ITS_w i ITSR).

Inaczej było w przypadku mieszanki SMA 8 S. Podczas gdy parametry ITS_d i ITS_w charakteryzowały się podobnym do siebie wskaźnikiem zmienności (na poziomie ok. 13 %), to wyznaczony wskaźnik dla wyników wodoodporności ITRS osiągnął stosunkowo dobrą wartość - wyniósł zaledwie 5% (małe zróżnicowanie wyników). Oznacza to dużo mniejszy rozrzut wyników ITSR w przypadku mieszanki SMA niż mieszanki AC WMS.

Następnie przeprowadzono analizę uzyskanych wyników badań w kontekście zgodności z wymaganiami WT-2 2010. Ponownie zestawiono wyniki badań obu mieszanek i przeprowadzono analizę.

Tablica 18 Wyniki badań międzylaboratoryjnych - mieszanka AC WMS 16

Rodzaj mieszanki	Kod laboratorium	ITSd, kPa	ITSw, kPa	ITSR, %
AC 16 WMS	0	1921,7	1252,6	65,2
AC 16 WMS	1	1553,0	1052,0	67,7
AC 16 WMS	2	2287,8	1371,0	59,9
AC 16 WMS	4	2178,0	1319,0	60,6
AC 16 WMS	5	2122,3	1436,2	67,7
AC 16 WMS	6	1898,0	1518,0	80,0
AC 16 WMS	7	1826,8	1368,9	74,9
AC 16 WMS	8	2010,0	1329,0	66,1
AC 16 WMS	9	2002,0	1331,0	66,5
AC 16 WMS	10	2056,0	1317,0	64,1
Średnia		**1985,6**	**1329,5**	**67,3**
Odchylenie standardowe		**204,66**	**121,74**	**6,11**
Niepewność pomiaru, przy poziomie ufności 95 %, k=2		**409,32**	**243,48**	**12,22**

Dotychczas obowiązującym wymaganiem ITSR w przypadku mieszanki AC WMS 16 było ITSR 80. Analizując wyniki badań mieszanki AC WMS 16 można dojść do wniosku, że tylko w jednym laboratorium uzyskano wynik równy temu wymaganiu (czcionka czarna), a w pozostałych laboratoriach wyniki badań były niższe niż wymagane 80 % (czcionka czerwona). Kolejnym aspektem jest uwzględnienie niepewności pomiaru cechy, tzn. biorąc pod uwagę wartość niepewności pomiaru, to zgodnie z przewodnikiem ILAC [7] dotyczącym wyrażania zgodności ze specyfikacją brak zgodności z wymaganiami zostanie orzeczony w przypadku wyników badań poniżej wartości 67,78 %. Zatem 8 laboratoriów stwierdzi brak zgodności ze specyfikacją, a 1 laboratorium nie będzie mogło stwierdzić zgodności ani niezgodności wyniku badania z wymaganiem.

Jeśli wymaganie dla tej mieszanki zmniejszono by do wartości ITSR 70, to granica zapewnienia o zgodności wyniku badania z wymaganiem wynosiłaby 82,2 %, a granica oceny niezgodności wyniku z wymaganiem wynosiłaby 57,8 %. W tym przypadku wszystkie laboratoria nie stwierdziłyby zgodności ani niezgodności wyniku badania z wymaganiami. Dopiero postawienie wymagania ITSR 50 spowodowałoby, że uzyskano by ocenę pozytywną zgodności z wymaganiami w 9 laboratoriach na 10 uczestniczących w porównaniach.

W kolejnej tablicy przedstawiono wyniki badań próbek zagęszczonych z luźnej mieszanki SMA wysłanej do laboratoriów.

Tablica 19 Wyniki badań międzylaboratoryjnych mieszanki SMA 8

Rodzaj mieszanki	Kod laboratorium	ITSd, kPa	ITSw, kPa	ITSR, %
SMA 8 S	0	1106,4	1005,1	90,8
SMA 8 S	1	1292,0	1021,0	79,0
SMA 8 S	2	1433,7	1271,9	88,7
SMA 8 S	4	958,0	837,0	87,4
SMA 8 S	5	1147,3	1004,1	87,5
SMA 8 S	6	959,0	923,0	96,2
SMA 8 S	7	1167,8	1059,5	90,7
SMA 8 S	8	1027,0	937,0	91,2
SMA 8 S	9	1341,0	1186,0	88,4
SMA 8 S	10	1208,0	1078,0	89,2
Średnia		**1164,0**	**1032,3**	**88,9**
Odchylenie standardowe		**159,6**	**126,8**	**4,3**
Niepewność pomiaru, przy poziomie ufności 95 %, k=2		**±319,19**	**±253,59**	**±8,66**

W przypadku mieszanki SMA 8 wymaganie według WT-2 2010 wynosi ITSR 90. Z analizy wyników badań międzylaboratoryjnych tej mieszanki wynika, że w czterech laboratoriach uzyskano wynik większy od tego wymagania (czcionka czarna), a w pozostałych sześciu laboratoriach wyniki badań były niższe niż wymagane 90 % (czcionka czerwona). Uwzględniając niepewności pomiaru cechy, tzn. jeśli weźmiemy pod uwagę niepewność pomiaru, to zgodnie z wcześniej przytoczonym przewodnikiem, brak zgodności z wymaganiami zostanie orzeczony w przypadku wyników badań poniżej wartości 81,3 %, a zgodność z wymaganiami będzie można stwierdzić w przypadku wyników wyższych niż 98,7 %. W tym wypadku tylko 1 laboratorium stwierdzi brak zgodności ze specyfikacją, a pozostałe 9 laboratoriów nie będzie mogło orzec zgodności ani niezgodności wyniku badania z wymaganiem przy zakładanym poziomie ufności 95 %.

Jeśli wymaganie dla mieszanki SMA wynosiłoby ITSR 80, to analiza zgodności z wymaganiem wyglądałaby następująco. Progową wartością oceny zgodnej z wymaganiami byłaby wartość 88,7 %, a progiem stwierdzenia niezgodności z wymaganiami

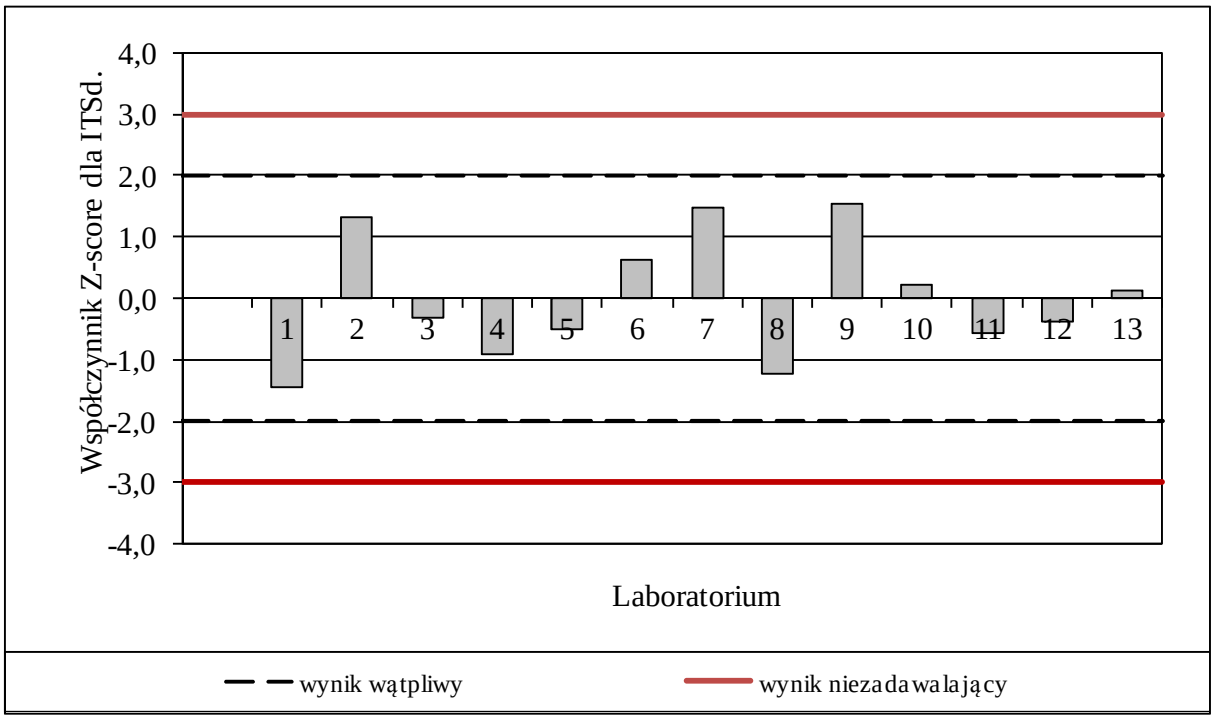
wartość 71,3 %. W tym układzie pełną zgodność z wymaganiem orzeczono by w 6 laboratoriach, a pozostałe 4 nie mogłyby stwierdzić zgodności ani niezgodności przy uzyskanym poziomie ufności. Obniżenie wymagań do ITSR 70 spowodowałoby, że wszystkie laboratoria potwierdziłby zgodność wyniku badania z wymaganiami.

6.2.2. Badania międzylaboratoryjne – tura II

W drugiej turze porównań międzylaboratoryjnych brało udział 13 laboratoriów. Badania przeprowadzano na dwóch rodzajach mieszanek. Obie mieszanki zostały przesłane do laboratoriów w postaci niezagęszczonej mma. A zatem przed przystąpieniem do badania wodoodporności laboratoria musiały uformować walcowe próbki badawcze. Po nadesłaniu wyników badań wodoodporności przez kolejne laboratoria, przeprowadzono kolejną analizę badań międzylaboratoryjnych. Uwzględniono wyniki badań z 13 laboratoriów. Badania zostały wykonane zgodnie z dotychczas stosowaną metodą badań ITSR z 1 cyklem mrożenia wg WT-2 2010.

Tablica 20 Wyniki ITSd uzyskane dla próbek mieszanki AC WMS 16 20/30

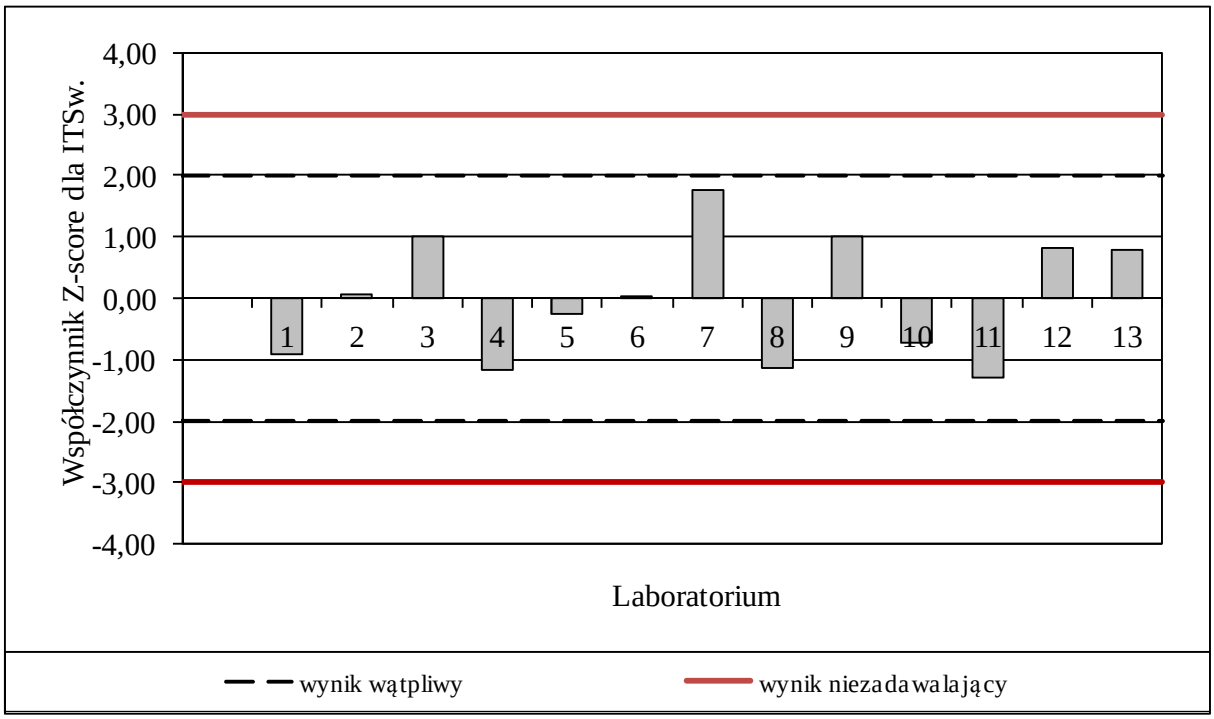
Laboratorium	Wynik ITS_d kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	1725,0	2045,7	223,98	0,110 (11 %)	-1,43
Lab2	2345,2				1,34
Lab3	1972,0				-0,33
Lab4	1838,2				-0,93
Lab5	1936,3				-0,49
Lab6	2185,0				0,62
Lab7	2378,0				1,48
Lab8	1771,9				-1,22
Lab9	2389,0				1,53
Lab10	2098,0				0,23
Lab11	1921,7				-0,55
Lab12	1959,4				-0,39
Lab13	2074,1				0,13



Rysunek 10. Współczynniki Z-score wyników ITSd dla masy AC WMS 16

Tablica 21 Wyniki ITSw uzyskane dla próbek mieszanki AC WMS 16 20/30

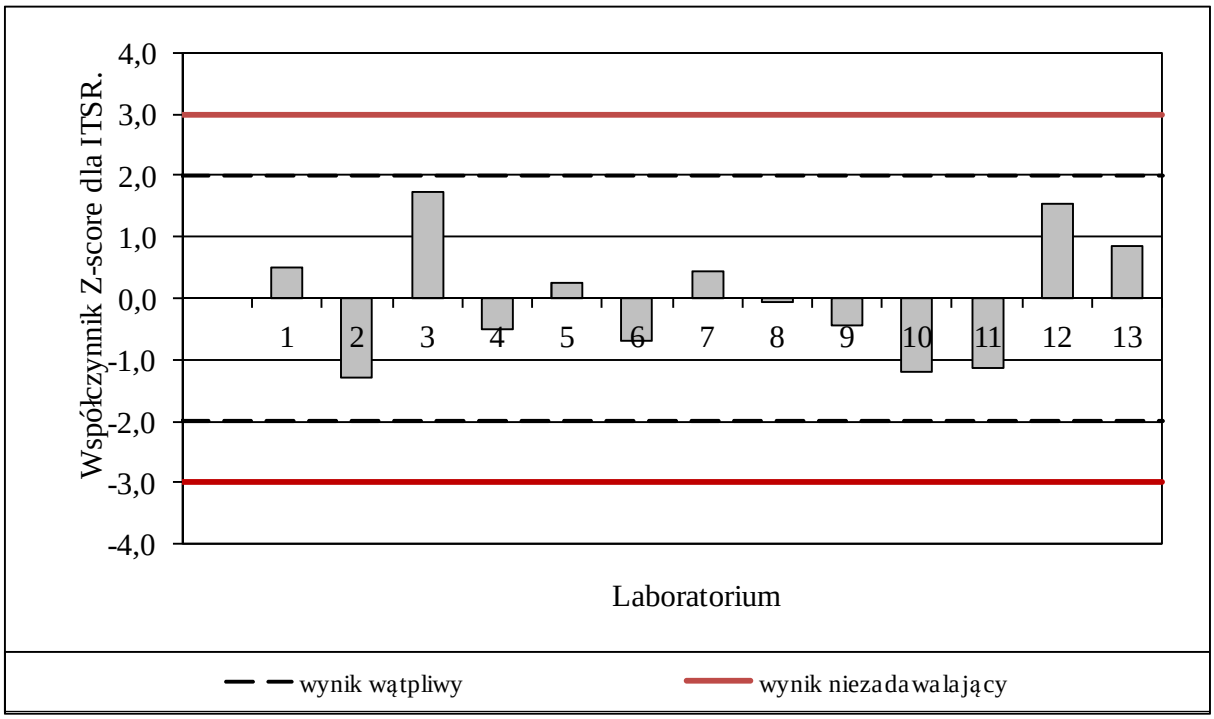
Laboratorium	Wynik ITS_W kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	1318,0	1488,1	183,28	0,123 (12 %)	-0,93
Lab2	1501,3				0,07
Lab3	1674,0				1,01
Lab4	1277,6				-1,15
Lab5	1443,4				-0,24
Lab6	1490,0				0,01
Lab7	1808,0				1,75
Lab8	1284,0				-1,11
Lab9	1670,0				0,99
Lab10	1356,0				-0,72
Lab11	1318,0				-1,28
Lab12	1635,3				0,80
Lab13	1634,5				0,80



Rysunek 11. Współczynniki Z-score wyników ITSw dla masy AC WMS 16

Tablica 22 Wyniki ITSR uzyskane dla próbek mieszanki AC WMS 16 20/30

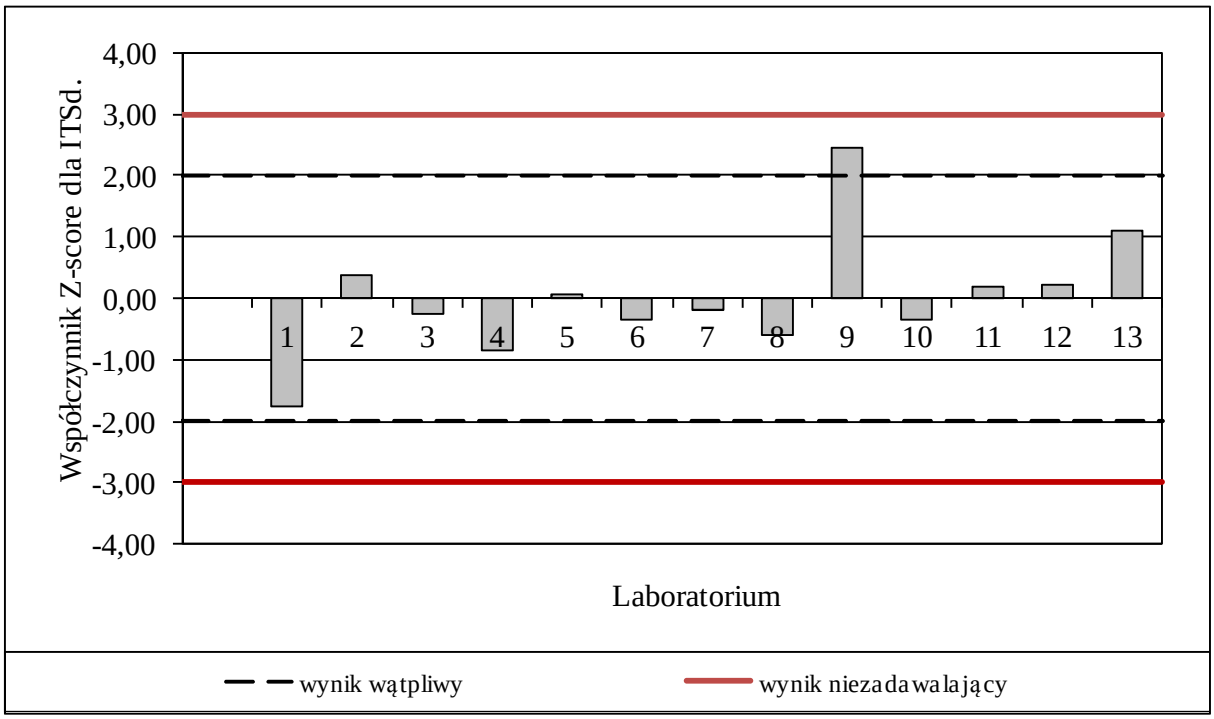
Laboratorium	Wynik ITSR kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	76,4	72,9	6,86	0,094 (9 %)	0,51
Lab2	64,0				-1,30
Lab3	84,9				1,74
Lab4	69,5				-0,50
Lab5	74,5				0,24
Lab6	68,2				-0,69
Lab7	76,0				0,45
Lab8	72,5				-0,07
Lab9	69,9				-0,44
Lab10	64,6				-1,21
Lab11	65,2				-1,13
Lab12	83,5				1,54
Lab13	78,8				0,86



Rysunek 12. Współczynniki Z-score wyników ITSR dla masy AC WMS 16

Tablica 23 Wyniki ITSd uzyskane dla próbek SMA 8 S 45/80-65

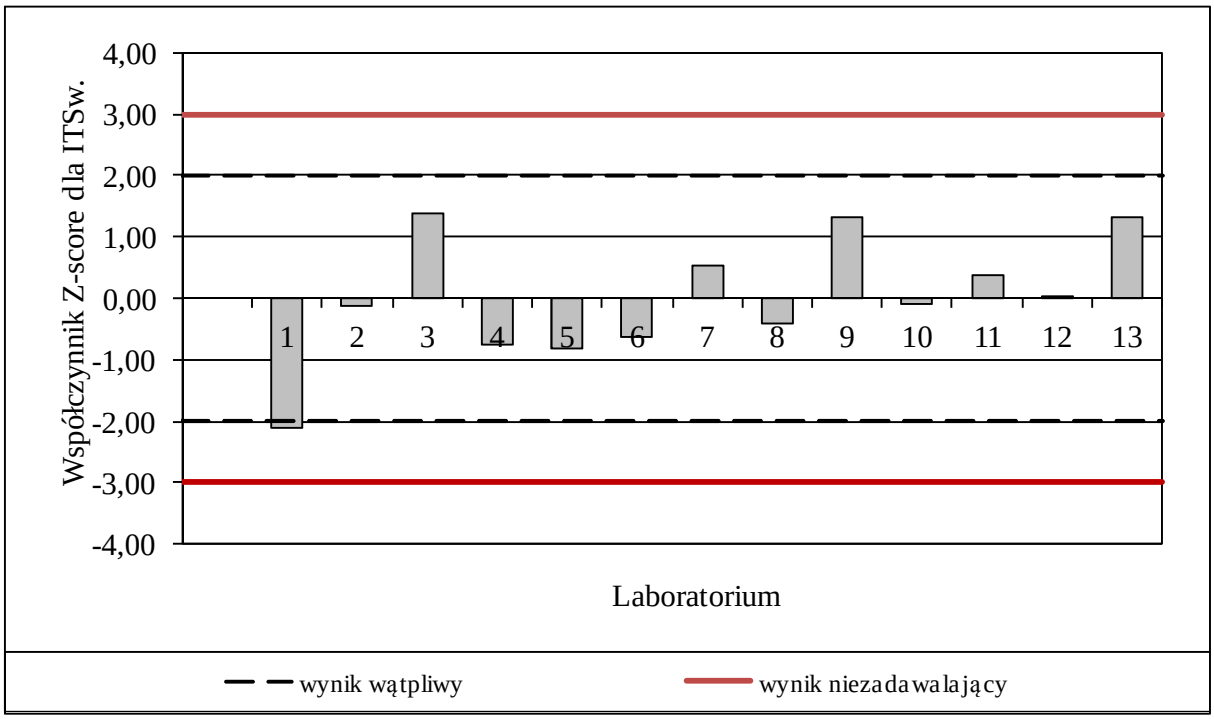
Laboratorium	Wynik ITS_d kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	844,0	1081,3	133,75	0,123 (12 %)	-1,77
Lab2	1131,4				0,37
Lab3	1046,0				-0,26
Lab4	966,7				-0,86
Lab5	1089,3				0,06
Lab6	1035,0				-0,35
Lab7	1054,0				-0,20
Lab8	1002,0				-0,59
Lab9	1409,0				2,45
Lab10	1036,0				-0,34
Lab11	1106,4				0,19
Lab12	1109,1				0,21
Lab13	1227,6				1,09



Rysunek 13. Współczynniki Z-score wyników ITSd dla mieszanki SMA 8 S

Tablica 24 Wyniki ITSw uzyskane dla próbek mieszanki SMA 8 S 45/80-65

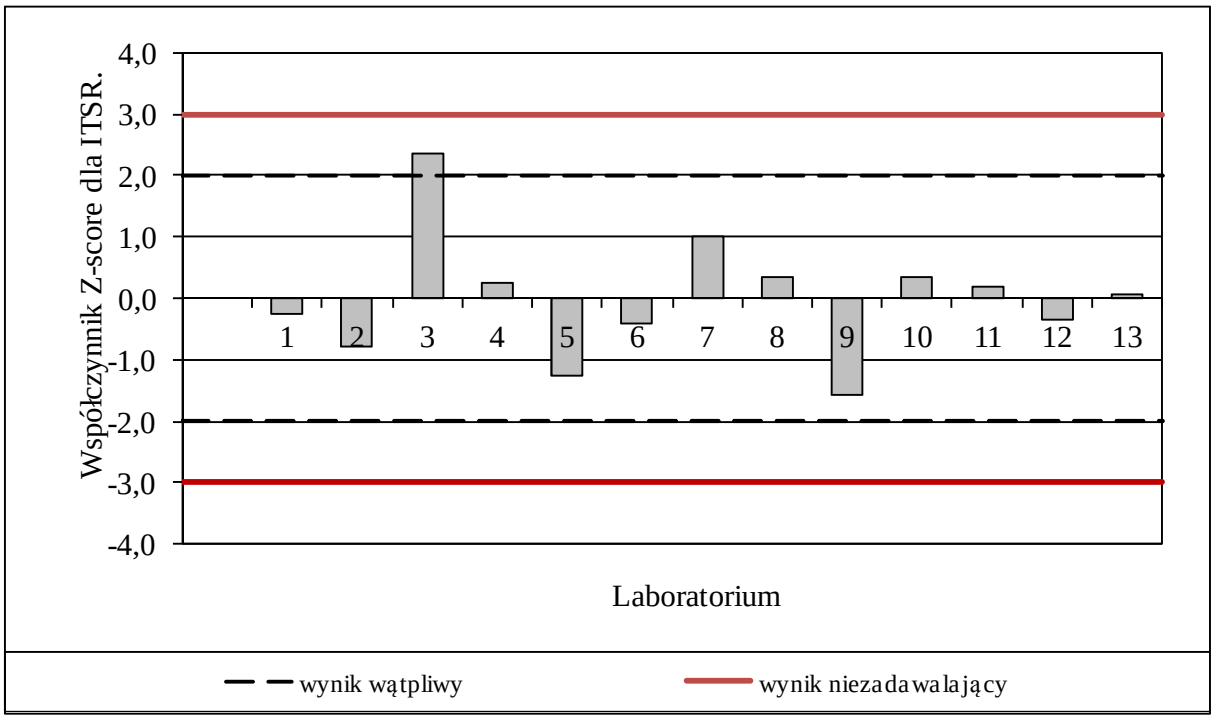
Laboratorium	Wynik ITS_w kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	740,0	963,6	106,72	0,11 (11 %)	-2,09
Lab2	949,3				-0,13
Lab3	1112,0				1,39
Lab4	882,2				-0,76
Lab5	876,3				-0,82
Lab6	896,0				-0,63
Lab7	1019,0				0,52
Lab8	921,9				-0,39
Lab9	1103,0				1,31
Lab10	953,0				-0,10
Lab11	740,0				0,39
Lab12	965,1				0,01
Lab13	1103,4				1,31



Rysunek 14. Współczynniki Z-score wyników ITSw dla SMA 8 S

Tablica 25 Wyniki ITSR uzyskane dla próbek mieszanki SMA 8 S 45/80-65

Laboratorium	Wynik ITSR kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	87,7	89,5	7,12	0,08 (8 %)	-0,25
Lab2	83,9				-0,78
Lab3	106,3				2,37
Lab4	91,3				0,25
Lab5	80,4				-1,26
Lab6	86,6				-0,40
Lab7	96,7				1,01
Lab8	92,0				0,36
Lab9	78,3				-1,57
Lab10	92,0				0,36
Lab11	90,8				0,20
Lab12	87,0				-0,34
Lab13	89,9				0,06



Rysunek 15. Współczynniki Z-score wyników ITSR dla SMA 8 S

W przypadku betonu asfaltowego o uziarnieniu do 16 mm, wszystkie laboratoria spełniły kryterium Z-score, czyli wyniki były zadowalające. Żadna z uzyskanych wartości dla parametru ITS_d, ITS_w i ITSR nie wykraczała poza dopuszczalną granicę dla wyniku niezadowalającego i 20 % wyników wątpliwych. Badania wodoodporności spełniły wymagania polityki PCA.

W przypadku mieszanki SMA, większość laboratoriów również spełniła kryterium Z-score, czyli wyniki były zadowalające. Wynik wątpliwy pojawił się jedynie w laboratorium Lab1 dla parametru ITS_w oraz w laboratorium Lab3 dla ITSR. Żadne laboratorium nie uzyskało oceny niezadowalającej. Wyniki były zatem zgodne z polityką PCA, ponieważ brak było wyników z grupy niezadowalających, a wyników wątpliwych było maksymalnie 8 % (1 laboratorium w danej grupie wyników na 13 biorących udział).

Inną wyznaczoną na podstawie otrzymanych wyników badań właściwością był współczynnik zmienności. Pokazuje on zróżnicowanie rozkładu danej właściwości. W przypadku obu mieszanek współczynnik plasował się na podobnym poziomie, ok. 11,5 % dla parametrów ITS_d i ITS_w, natomiast dla parametru ITSR współczynnik zmienności wyniósł średnio 8,5 % dla obydwu mieszanek. Oznacza to bardzo podobne zróżnicowanie wyników bez względu na rodzaj mieszanki.

Następnie przeprowadzono analizę uzyskanych wyników badań w kontekście zgodności z wymaganiami WT-2 2010. Ponownie zestawiono wyniki badań obu mieszanek i przeprowadzono analizę.

Tablica 26 Wyniki badań międzylaboratoryjnych - mieszanka AC WMS 16

Rodzaj mieszanki	Kod laboratorium	ITSd, kPa	ITSw, kPa	ITSR, %
AC 16 WMS	1	1725,0	1318,0	76,4
	2	2345,2	1501,3	64,0
	3	1972,0	1674,0	84,9
	4	1838,2	1277,6	69,5
	5	1936,3	1443,4	74,5
	6	2185,0	1490,0	68,2
	7	2378,0	1808,0	76,0
	8	1771,9	1284,0	72,5
	9	2389,0	1670,0	69,9
	10	2098,0	1356,0	64,6
	11	1921,7	1318,0	65,2
	12	1959,4	1635,3	83,5
	13	2074,1	1634,5	78,8
Średnia		**2045,7**	**1488,1**	**72,9**
Odchylenie standardowe		**223,98**	**183,28**	**6,86**
Niepewność pomiaru, przy poziomie ufności 95 %, k=2		**447,96**	**366,56**	**13,7**

Obowiązującym wymaganiem wg WT-2 dla ITSR w przypadku mieszanki AC WMS 16 jest ITSR 80. W przypadku uzyskanych wyników wodoodporności dla mieszanki AC WMS 16 zauważono, że tylko w dwóch laboratoriach uzyskano wynik spełniający wymaganie (czcionka czarna), a w pozostałych laboratoriach wyniki badań były niższe niż wymagane 80 % (czcionka czerwona). Jednak przy uwzględnieniu niepewności pomiaru cechy, tzn. biorąc pod uwagę wartość niepewności pomiaru zgodnie z przewodnikiem ILAC dotyczącym wyrażania zgodności ze specyfikacją, brak zgodności z wymaganiami zostanie orzeczony w przypadku wyników badań poniżej wartości 66,3 %. Zatem 3 laboratoria stwierdzą brak zgodności ze specyfikacją, a 8 laboratoriów nie będzie mogło stwierdzić zgodności ani niezgodności wyniku badania z wymaganiem. Jeśli wymaganie dla tej mieszanki zmniejszono by do ITSR 70, to granica oceny niezgodności wyniku z wymaganiem wynosiłaby 56,3 %. W tym przy-

padku 7 laboratoriów spełniłoby wymagania, a 6 nie stwierdziłoby zgodności ani niezgodności wyniku. Dopiero postawienie wymagania ITSR 60 spowodowałoby, że uzyskano by ocenę pozytywną zgodności z wymaganiami we wszystkich laboratoriach uczestniczących w porównaniach.

W kolejnej tablicy przedstawiono wyniki badań próbek zagęszczonej mieszanki SMA wysłanej do laboratoriów.

Tablica 27 Wyniki badań międzylaboratoryjnych mieszanki SMA 8

Rodzaj mieszanki	Kod laboratorium	ITSd, kPa	ITSw, kPa	ITSR, %
SMA 8 S	1	844,0	740,0	87,7
	2	1131,4	949,3	83,9
	3	1046,0	1112,0	106,3
	4	966,7	882,2	91,3
	5	1089,3	876,3	80,4
	6	1035,0	896,0	86,6
	7	1054,0	1019,0	96,7
	8	1002,0	921,9	92,0
	9	1409,0	1103,0	78,3
	10	1036,0	953,0	92,0
	11	1106,4	740,0	90,8
	12	1109,1	965,1	87,0
	13	1227,6	1103,4	89,9
Średnia		**1081,3**	**963,6**	**89,5**
Odchylenie standardowe		**133,75**	**106,72**	**7,12**
Niepewność pomiaru, przy poziomie ufności 95 %, k=2		**267,5**	**213,44**	**14,2**

W przypadku mieszanki SMA 8 wymaganie według WT-2 2010 wynosi ITSR 90. Z analizy wyników badań międzylaboratoryjnych tej mieszanki wynika, że w 6 laboratoriach uzyskano wynik większy od tego wymagania (czcionka czarna), a w pozostałych siedmiu laboratoriach wyniki badań były niższe niż wymagane 90 % (czcionka czerwona). Uwzględniając jednak niepewności pomiaru cechy, brak zgodności z wymaganiami zostałaby orzeczona w przypadku wyników badań poniżej wartości 75,8 %. W tym wypadku wszystkie laboratoria nie mogłyby orzec zgodności ani niezgodności wyniku badania z wymaganiem przy zakładanym poziomie ufności 95 %.

Jeśli wymaganie dla mieszanki SMA zostałoby obniżone do ITSR 80, to progiem stwierdzenia niezgodności z wymaganiami byłaby wartość 65,8 %. W tym układzie pełną zgodność z wymaganiem orzeczono by w 12 laboratoriach, a pozostałe 1 nie mogłyby stwierdzić zgodności ani niezgodności przy uzyskanym poziomie ufności. Obniżenie wymagań do ITSR 70 spowodowałoby, że wszystkie laboratoria potwierdziłby zgodność wyniku badania z wymaganiami.

6.2.3. Ujednolicona procedura laboratoryjna

Wstępną analizę koniecznych poprawek przedstawiono w sprawozdaniu przejściowym z 2012 roku. Następnie procedura badawcza na określenie ITSR została zweryfikowana na podstawie wcześniejszych rozważań przedstawionych w pracy i rozesłana do uczestników badań międzylaboratoryjnych. Ujednoliconą procedurę przedstawiono w tablicy 28.

Tablica 28 Procedura badania ITSR wysłana do przeprowadzenia drugiej tury porównań międzylaboratoryjnych

Tekst oryginalnej procedury określania wrażliwości na działanie wody i mrozu według WT-2 2010 z zaznaczonymi poprawkami.
Kolorem niebieskim zaznaczono komentarze do treści oryginalnej procedury a kolorem czerwonym zaznaczono zmiany w procedurze. Instrukcja ta została opracowana na podstawie norm: PN-EN 12697-12:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 12: Określanie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę oraz AASHTO T283-89 „Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage” (procedura zamrażania) i norm serii PN-EN 12697.

Streszczenie metody badawczej: Zestaw próbek dzieli się na dwie równe części i kondycjonuje. Połowę próbek przechowuje się w temperaturze pokojowej, bez dodatkowego kondycjonowania (tzw. „zestaw suchy”). Drugą połowę próbek (tzw. „zestaw mokry”) kondycjonuje się w wodzie, w podwyższonej temperaturze, a następnie zamraża i ponownie kondycjonuje w wodzie.

K.1: W tym miejscu po przeprowadzeniu dodatkowych analiz będzie można zamienić kolejność czynności, tzn. najpierw przeprowadzić nasączanie próbek, dodatkową ocenę stopnia nasączenia zgodnie z procedurą AASHTO, bądź zrezygnować z niektórych etapów, np. z kondycjonowania próbek w 60℃ po cyklu zamrażania).

Po kondycjonowaniu określana jest wytrzymałość na rozciąganie pośrednie wszystkich próbek zgodnie z normą PN-EN 12697-23. Następnie określa się wyrażony procentowo stosunek wytrzymałości na rozciąganie pośrednie uzyskanych na próbkach z „zestawu mokrego” do wytrzymałości próbek z „zestawu suchego”.

Sprzęt: Do przeprowadzenia badania wymagany jest odpowiedni sprzęt

K.2: z analiz ankiet dotyczących wyposażenia laboratoriów wynikało, że nie każde laboratorium było przygotowane do właściwego termostatowania próbek w temperaturach zgodnych z procedurą oraz uzyskiwania wymaganej próżni.

Z.1: Ilekroć podawana jest wymagana wartość wybranego parametru oraz tolerancja poprzedzona znakiem „±” zamierzeniem jest, aby nastawa na urządzeniu była równa wartości parametru, a tolerancja zachowywana przez automatykę urządzenia. Czyli jeśli podano temperaturę termostatowania 25 ± 2 ℃, nastawiamy urządzenie na 25 ℃, a automatyka powinna zapewnić, że zmienność temperatury podczas pracy urządzenia będzie nie większa niż ±2 ℃) .

Z.2: Zaleca się, aby temperatura termostatowania próbek w wodzie bądź powietrzu była monitorowana poprzez umieszczenie w komorze / łaźni dodatkowej próbki z wprowadzonym w nią czujnikiem temperatury.

Operator przed rozpoczęciem badania powinien sprawdzić, czy sprzęt laboratoryjny wykorzystywany przy badaniu zaopatrzony jest w aktualne świadectwa wzorcowania, ewentualnie sprawdzić go zgodnie z procedurą sprawdzania (gdy wzorcowanie nie jest możliwe). Do określenia odporności na działanie wody i mrozu wymagane są:

–prasa wytrzymałościowa typu Marshalla, zgodna z normą PN-EN 12697-34 i przystawka do badania wytrzymałości na rozciąganie pośrednie (średnica próbek 100 mm **lub 150 mm**,

– aparatura próżniowa (pompa, ~~próżniomierz~~ **(Z.4: ciśnieniomierz ciśnienia bezwzględnego)** itp.), za pomocą której możliwe jest uzyskanie w zbiorniku próżniowym (komorze, suszarce próżniowej, itp.), ciśnienia ~~bezwzględnego~~ **(Z.5: pozostałego)** (6,7±0,3) kPa w ciągu (10±1) minut i utrzymanie takiego ciśnienia w czasie (30±5) minut, zbiornik próżniowy (komora, suszarka próżniowa, itp.) z perfo-

rowaną półką umieszczoną na dnie zbiornika.**(K.3: niektóre laboratoria deklarowały posiadanie miernika podciśnienia, czyli ciśnienia względnego, zamiast bezwzględnego, co jest nie zgodne z procedurą)**

– łaźnia wodna z kontrolą termostatyczną, w której można utrzymać temperaturę kondycjonowania (25±2) ℃, (40 ±1) ℃ i (60 ±1) ℃ w otoczeniu próbki. **(K.4: Do termostatowania stosowane są standardowe łaźnie do próbek Marshalla. Niestety ich minimalna nastawa temperatury zależy od temperatury otoczenia. Z reguły minimalna temperatura robocza pracy standardowej łaźni wodnej wynosi od 15 ℃ powyżej temperatury otoczenia, czyli typowo od 35 ℃. Dodatkowym błędem, który może być popełniany podczas badania jest umieszczanie dużej ilości próbek z zestawu kondycjonowanego w 60 ℃ i próba schłodzenia do 25 ℃ przy użyciu łaźni wodnej nie wyposażonej w układ chłodzenia wody. W celu utrzymania temperatury w łaźni wodnej na poziomie 25 ℃ po umieszczeniu próbek o temperaturze 60 ℃ w łaźni wodnej można umieścić lód (np. plastikowe butelki z zamrożoną wodą).Z.6: Łaźnia Marshalla niewyposażona w układ chłodzący wodę nie jest właściwym urządzeniem do termostatowania próbek w temperaturze 25 ℃ oraz do schłodzenia próbek o temperaturze 60 ℃ do 25 ℃ w wymagany m czasie).** Łaźnia powinna być wyposażona w perforowaną półkę umieszczoną na podkładkach na dnie łaźni, a pojemność łaźni powinna być taka, aby górne powierzchnie przechowywanych próbek znajdowały się co najmniej 20 mm poniżej poziomu wody. Opcjonalnie można użyć komory termoizolacyjnej z kontrolą termostatyczną, w której można utrzymać temperaturę (25±2) ℃ w otoczeniu próbki **(K.5: Nie każde laboratorium jest wyposażone w komorę mogącą utrzymać temperaturę 25 ℃. Urządzenie takie, aby móc w sposób stabilny utrzymać temperaturę termostatowania 25 ℃ powinno być wyposażane w układ chłodzenia i grzania. Minimalną temperaturę roboczą typowej suszarki laboratoryjnej bez układu chłodzenia producent określa na 10 ℃ powyżej temperatury otoczenia, czyli od 30 ℃)** .

– komora chłodnicza, w której można utrzymać temperaturę w (-18±3) ℃,

– waga oraz inny sprzęt potrzebny do określenia gęstości objętościowej zgodnie z normą PN-EN 12697-6,

– suwmiarka lub inne urządzenie do określenia wymiarów próbki zgodnie z normą PN-EN 12697-29,

– woda destylowana,

– strzykawka z podziałką (lub inne urządzenie) umożliwiające dozowanie (10 ±1 ml) wody,

– torebki plastikowe dopasowane do wielkości pojedynczej próbki, folia typu „stretch”.

Próbki do badań: Do określenia odporności na działanie wody i mrozu należy przygotować ~~co najmniej~~**(Z.7: dziesięć)** ~~sześć~~próbek cylindrycznych. Próbki powinny być symetryczne i o równych bokach. **Wysokość zagęszczonych próbek powinna wynosić (63,5±2,5) mm.** Próbki powinny być o średnicy **(101,6±0,1)**mm,(150±3) mm**Z.8:** ~~**lub (160±3) mm**~~**(K.6: Na cele badania typu, walidacji laboratoryjnej, próbki Marshalla powinny być przygotowane z mieszanki mineralno-asfaltowej wymieszanej ze składników w laboratorium wg normy PN-EN 12697-35. W ostatecznej wersji może być wprowadzona procedura kondycjonowania próbek niezagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej przed zagęszczaniem próbek. Należy również zwrócić uwagę na metodę mieszania w przypadku, gdy próbki wykonywane są z kruszywa o uziarnieniu do 22,4 mm oraz do 31,5 mm. Aby zminimalizować różnice między gęstościami objętościowymi w serii próbek, można wykonać pojedyncze porcje mieszanki na pojedyncze próbki stosując mieszanie ręczne. W przypadku walidacji produkcyjnej próbki Marshalla powinny być przygotowane z mieszanki mineralno-asfaltowej wymieszanej na wytwórni, o znanym składzie na podstawie ekstrakcji. Niezależnie, czy mieszankę mineralno-asfaltową przygotowuje się w laboratorium, czy na wytwórni, należy przed mieszaniem przeprowadzić ocenę czystości ziaren kruszywa i ich zapylenia. Zapylenie kruszywa i oblepienie go przez pył ma wpływ na wynik wodoodporności mm-a)**. W próbkach o średnicy **(101,6±0,1) mm** kruszywo w mieszance mineralno-asfaltowej nie powinno być większe niż 22,4 mm. **(Z.9: W przypadku mieszanki mineralno-asfaltowej o uziarnieniu do 31,5 mm prawidłową średnicą próbek jest 150 mm, a do wykonania tych próbek należy zastosować np. prasę żyratorową). K.7: metoda z prasą żyratorową wymaga weryfikacji przed wdrożeniem do stosowania).** Próbki w kształcie walca powinny być wykonane w warunkach laboratoryjnych zgodnie z normą PN-EN 12697-30 **(Z.10: ubijak Marshalla)**lub PN-EN 12697-31**(Z.11: prasa żyratorowa)** ~~**lub PN-EN 12697-32. Płyty, z których zostaną odwiercone próbki walcowe, powinny być wykonane zgodnie z normą PN-EN 12697-33, natomiast próbki z nawierzchni powinny być odwiercone zgodnie z PN-EN 12697-27**~~.

(Z.12: Temperatura zagęszczania próbek powinna odpowiadać temperaturom określonym przez producentów lepiszczy asfaltowych. Temperatury zagęszczania próbek zależą od zastosowanego lepiszcza asfaltowego. Należy przyjąć temperatury zagęszczania zgodne z zapisami WT-2 2010.)

Próbki powinny być zagęszczone do poziomu oczekiwanego po wbudowaniu. Typ próbki, średnicę oraz energię zagęszczenia należy dobrać odpowiednio do badanej mieszanki mineralno-asfaltowej **(K.8: W tym miejscu można umieścić wymaganie dotyczące stopnia nasycenia próbek mm-a wodą zgodnie z normą AASHTO, co będzie skutkowało eliminacją próbek, które mogą być nieprawidłowo lub niejednorodnie zagęszczone. Uwaga ta dotyczy mieszanek o dużej zawartości wolnych przestrzeni oraz o dużym wymiarze największego ziarna.** Gęstość objętościową odpowiadającą gęstości objętościowej uzyskiwanej

w warunkach polowych można uzyskać stosując następujące poziomy energii zagęszczenia:

- zagęszczanie w prasie żyratorowej (PN-EN 12697-31): 40 obrotów,
- zagęszczanie przez ubijanie (PN-EN 12697-30): 2 x 35 uderzeń,
- **Z:13~~zagęszczanie wibracyjne (PN-EN 12697-32): (80 ±5) sekund,~~**
- **~~zagęszczanie urządzeniem wałującym (PN-EN 12697-33): 12 przejść (procedura zagęszczenia oponą pneumatyczną).~~**

Procedura: Po wykonaniu próbek, należy określić wymiary i gęstość objętościową według PN-EN 12697-29 i PN-EN 12697-6. Zestaw próbek należy podzielić na dwie równe części: „zestaw mokry" i „zestaw suchy", o zbliżonych średnich wysokościach i gęstościach objętościowych. Różnica między średnimi wysokościami nie powinna być większa niż 5 mm. Różnica między średnimi gęstościami objętościowymi nie powinna być większa niż 15 kg/m^3. **(Z. 14 Próbki z zestawu suchego i mokrego dobrać tak, aby różnica średnich gęstości objętościowych tych zestawów była bliska zeru).**

Próbki należy przygotować w możliwie krótkim czasie, nie dłuższym niż jeden tydzień. Należy zapewnić co najmniej 16 godzinne pielęgnowanie próbek przed rozpoczęciem procedury kondycjonowania, polegające na przechowywaniu próbek z obu zestawów na płaskiej powierzchni w temperaturze pokojowej (20±5) ℃.

Kondycjonowanie próbek z „zestawu suchego" polega na przechowaniu ich na płaskiej powierzchni w temperaturze pokojowej (20±5) ℃. Kondycjonowanie próbek z „zestawu mokrego" rozpoczyna się od umieszczenia ich na perforowanej półce w zbiorniku próżniowym (komorze, suszarce próżniowej, itp.) wypełnionym wodą destylowaną o temperaturze (20±5) ℃. Górne powierzchnie próbek po zanurzeniu powinny znajdować się co najmniej 20 mm poniżej poziomu wody. Uruchomić aparaturę próżniową i uzyskać ciśnienie bezwzględne (6,7±0,3) kPa w ciągu (10±1) minut **Z.15** ~~(6,7 kPa odpowiada w przybliżeniu 50 mm Hg)~~. Aby uniknąć uszkodzenia próbki, ciśnienie należy obniżać powoli i równomiernie. Utrzymywać zadane ciśnienie przez okres (30±5) minut, a następnie podwyższać powoli i równomiernie do poziomu ciśnienia atmosferycznego. Pozostawić próbki zanurzone w wodzie na kolejne (30±5) minut. Po wyjęciu z wody zmierzyć wymiary próbek z zgodnie z normą PN-EN 12697-29 i obliczyć objętość próbek. Należy odrzucić próbki, które zwiększyły swoją objętość o więcej niż 2 %.

Z. 16 określić stopień nasycenia próbek wodą według wzoru:

$$Nw = \frac{B - A}{V(B - C)} \times 100\%$$

gdzie:

Nw – stopień nasycenia próbki wodą, %

A – masa próbki suchej w powietrzu przed nasączaniem próżniowym, g

B – masa próbki nasyconej w powietrzu, g (próbkę delikatnie osuszyć powierzchniowo tak, jak przy określaniu gęstości objętościowej metodą SSD)

C – masa próbki nasyconej w wodzie, g

V – zawartość wolnej przestrzeni w próbce wyrażona liczbą dziesiętną

Zanotować stopień nasycenia próbek wodą.

Umieścić próbki z „zestawu mokrego” w łaźni wodnej o temperaturze (40±1) ℃ na okres od 68 do 72 godzin. Temperatura kondycjonowania próbek w wodzie powinna zostać obniżona do (30±1) ℃, je żeli zastosowano asfalt rodzaju 100/150 lub bardziej miękki zgodnie z normą EN 1426.

Po wyjęciu z łaźni wodnej, unikając nadmiernego ociekania wody, próbki ściśle owinąć folią typu „stretch”. Każdą owiniętą próbkę umieścić w torbie plastikowej zawierającej (10±1) ml wody (odmierzonej przy użyciu strzykawki lub innego urządzenia) i szczelnie zamknąć. Plastikowe torby z próbkami umieścić w komorze chłodniczej w temperaturze (-18±3) ℃ i przechowywa ć przez minimum 16 godzin, licząc czas od momentu, gdy zamrażarka z próbkami osiągnie tą temperaturę.

Po wyjęciu próbek z zamrażarki umieścić je w łaźni z wodą o temperaturze (60±1) ℃. Wkrótce po umieszczeniu próbek w ła źni wodnej i rozmrożeniu opakowania, wyjąć je z plastikowej torebki i zdjąć z nich folię typu „stretch” najszybciej, jak to jest możliwe i ponownie umieścić w łaźni wodnej. Próbki przechowywać w łaźni wodnej przez (24±1) h, licząc od momentu pierwszego włożenia do łaźni po przechowywaniu w komorze chłodniczej.

Doprowadzić oba zestawy próbek do temperatury badania (25±2) °C. Próbki z „zestawu suchego” termostatować w warunkach powietrzno-suchych:

- w łaźni wodnej, ale izolowane od wody torebką z cienkiej **Z:17 wytrzymałej** folii,
- lub w komorze powietrznej,
- **Z. 18: nie dopuszcza się termostatowania próbek z zestawu suchego w warunkach wysokiej wilgotności, np. w łaźni wodnej ponad powierzchnią wody),**
- **zakładana temperatura badania wynosi 25 ℃ i nie dopuszcza się termostatowania próbek z zestawu suchego w innej temperaturze.**

Próbki z „zestawu mokrego” termostatować w łaźni wodnej **Z. 19:**~~**lub w szczelnej, miękkiej plastikowej torebce wypełnionej wodąlub wodoszczelnym naczyniu wypełnionym wodą, wstawionym do komory powietrznej)**~~**.(K.9: te metody nie zapewniają wystarczającej kontroli temperatury próbki i nie są zalecane).**

Próbki **(Z.20)** ~~**o średnicy mniejszej niż 150 mm**~~ przechowywać w łaźni wodnej lub w komorze powietrznej przez co najmniej **(Z.21: 4 godziny)** ~~**2 godziny, natomiast próbki o średnicy 150 mm i większej przez co najmniej 4 godziny**~~. W przypadku korzystania z komory powietrznej **Z. 22: i łaźni wodnej** należy razem z próbkami umieścić dodatkową próbkę z wprowadzonym w nią czujnikiem temperatury.

Osuszyć mokre próbki ręcznikiem i określić wytrzymałość próbek na rozciąganie pośrednie według PN-EN 12697-23. Badanie powinno być przeprowadzone w ciągu 1 minuty od wyciągnięcia próbki z wody.

Obliczenia: Obliczyć wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ITSR według poniższego wzoru:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

w którym:

- ITSR wskaźnik wytrzymałości próbki na rozciąganie pośrednie, w procentach (%),
- ITS_w średnia wytrzymałość oznaczona dla grupy próbek mokrych, zaokrąglona do liczby całkowitej, wyrażona w (kPa)
  - **Z.23:** $ITS_w = \frac{2 \times P_w}{\pi \times D \times H}$
- ITS_d średnia wytrzymałość wyznaczona dla grupy próbek suchych, zaokrąglona do liczby całkowitej, wyrażona w (kPa)
  - **Z.24:** $ITS_d = \frac{2 \times P_d}{\pi \times D \times H}$
- Pw, Pd – maksymalna wartość siły ściskającej, w kN
- D – średnica próbki w zaokrągleniu do 0,1 mm
- H – wysokość próbki w zaokrągleniu do 0,1 mm

Analiza wyników badań:

Zaakceptować uzyskane wartości jeśli różnica wytrzymałości na rozciąganie pośrednie pojedynczych próbek (wyniki częściowe) nie różni się więcej niż o 17 % wartości średniej.

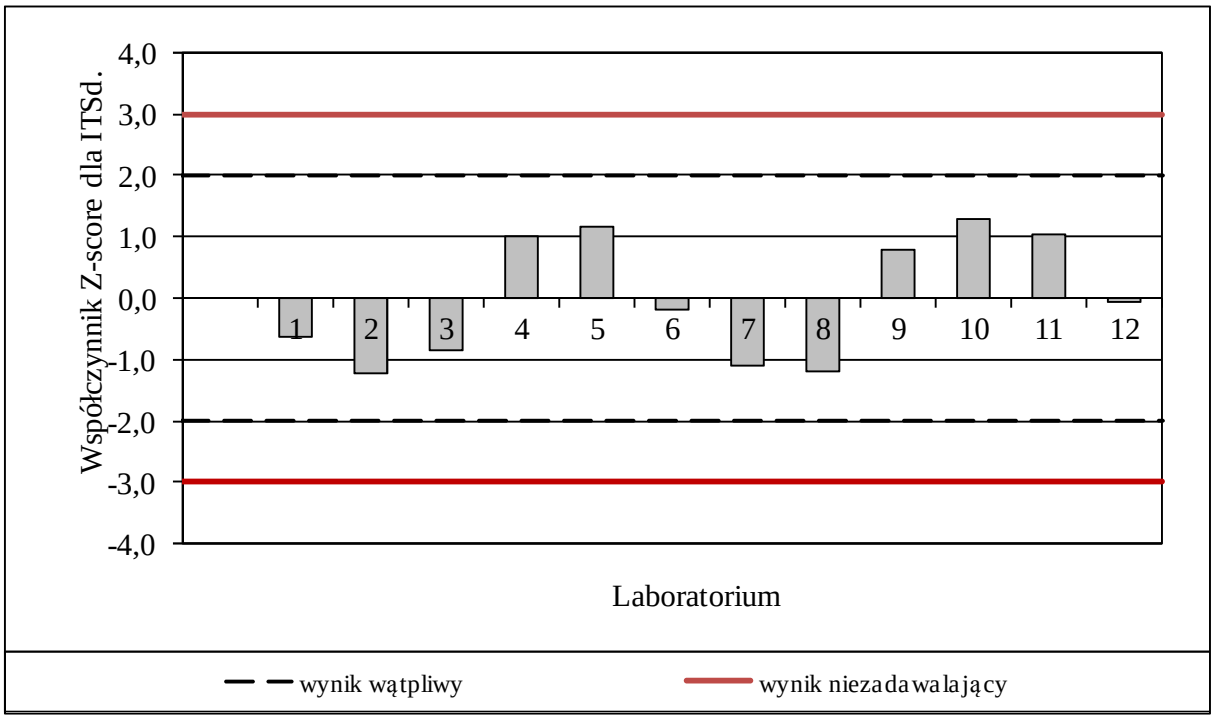
Zbadać dwie dodatkowe próbki, jeśli wyniki różnią się więcej niż o 17 % wartości średniej. Obliczyć odchylenie standardowe z wszystkich wyników. Odrzucić skrajne dane, zdefiniowane jako pojedyncze wyniki powodujące, że odchylenie standardowe jest większe niż 10 % średniej z wszystkich wyników.

6.2.4. Badania międzylaboratoryjne – tura III

Do przeprowadzenia kolejnej tury porównań międzylaboratoryjnych rozesłano próbki zgodnie z pierwszym zestawem wysłanym w ramach tury I i II. Badania miały być zrealizowane według zmodyfikowanej, ujednoliconej procedury. Wyniki do czasu zakończenia opracowywania niniejszego sprawozdania odesłało 12 laboratoriów.

Tablica 29 Wyniki ITSd uzyskane dla próbek mieszanki AC WMS 16 20/30

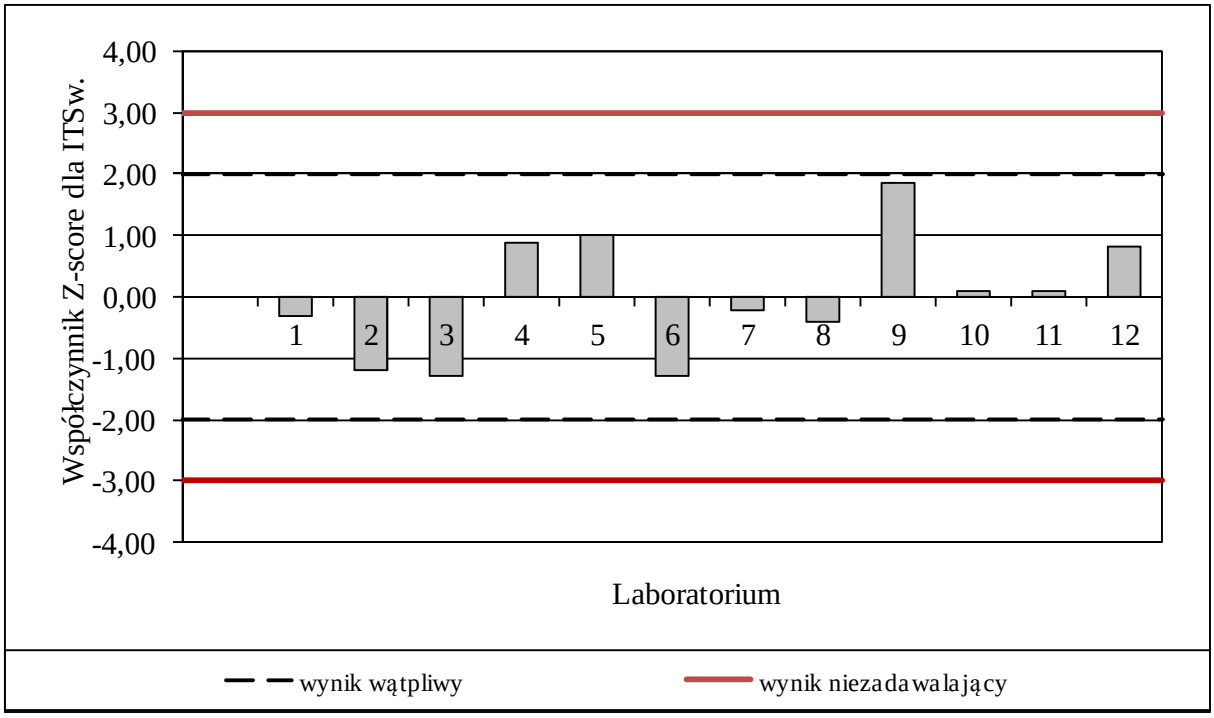
Laboratorium	Wynik ITS_d kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	1839,7	1956,1	181,43	0,093 (9 %)	-0,64
Lab2	1734,6				-1,22
Lab3	1802,0				-0,85
Lab4	2137,0				1,00
Lab5	2168,0				1,17
Lab6	1921,7				-0,19
Lab7	1757				-1,10
Lab8	1738				-1,20
Lab9	2098				0,78
Lab10	2188				1,28
Lab11	2144,9				1,04
Lab12	1944				-0,07



Rysunek 16. Współczynniki Z-score wyników ITSd dla masy AC WMS 16

Tablica 30 Wyniki ITSw uzyskane dla próbek mieszanki AC WMS 16 20/30

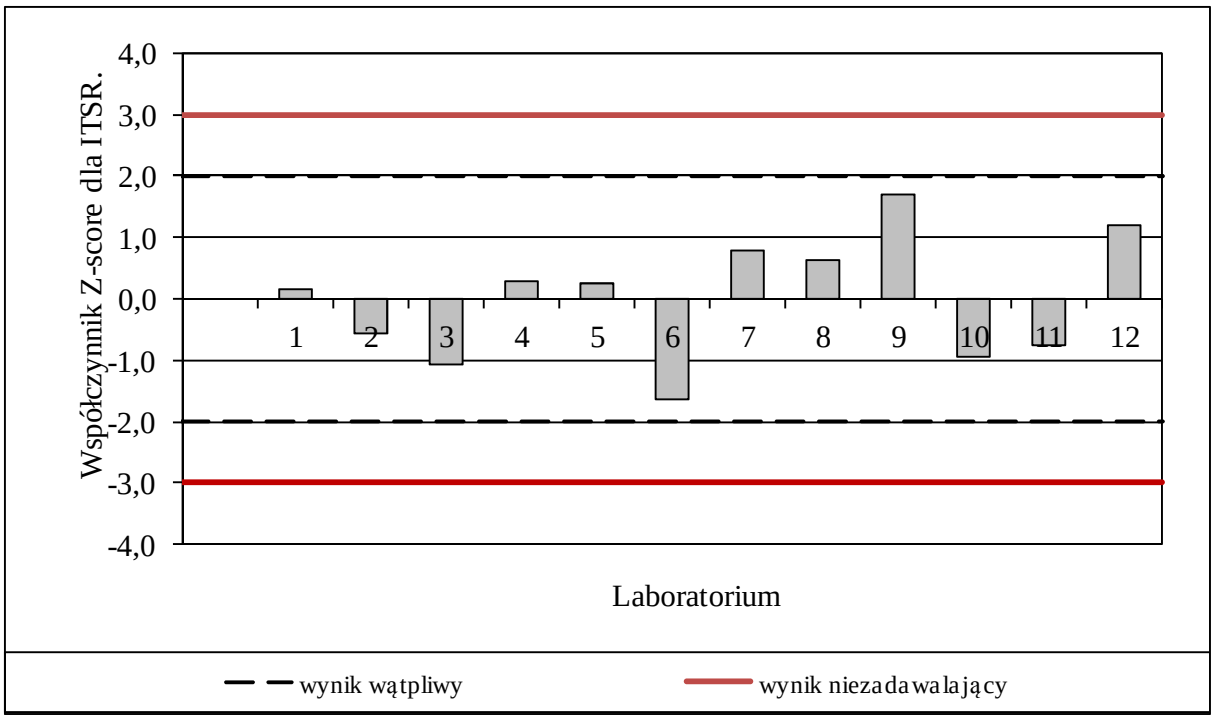
Laboratorium	Wynik ITS_W kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	1455,6	1524,6	210,01	0,13,8 (14 %)	-0,33
Lab2	1274,9				-1,19
Lab3	1253,0				-1,29
Lab4	1711,0				0,89
Lab5	1735,0				1,00
Lab6	1252,6				-1,30
Lab7	1476				-0,23
Lab8	1440				-0,40
Lab9	1914				1,85
Lab10	1542				0,08
Lab11	1545,3				0,10
Lab12	1696				0,82



Rysunek 17. Współczynniki Z-score wyników ITSw dla masy AC WMS 16

Tablica 31 Wyniki ITSR uzyskane dla próbek mieszanki AC WMS 16 20/30

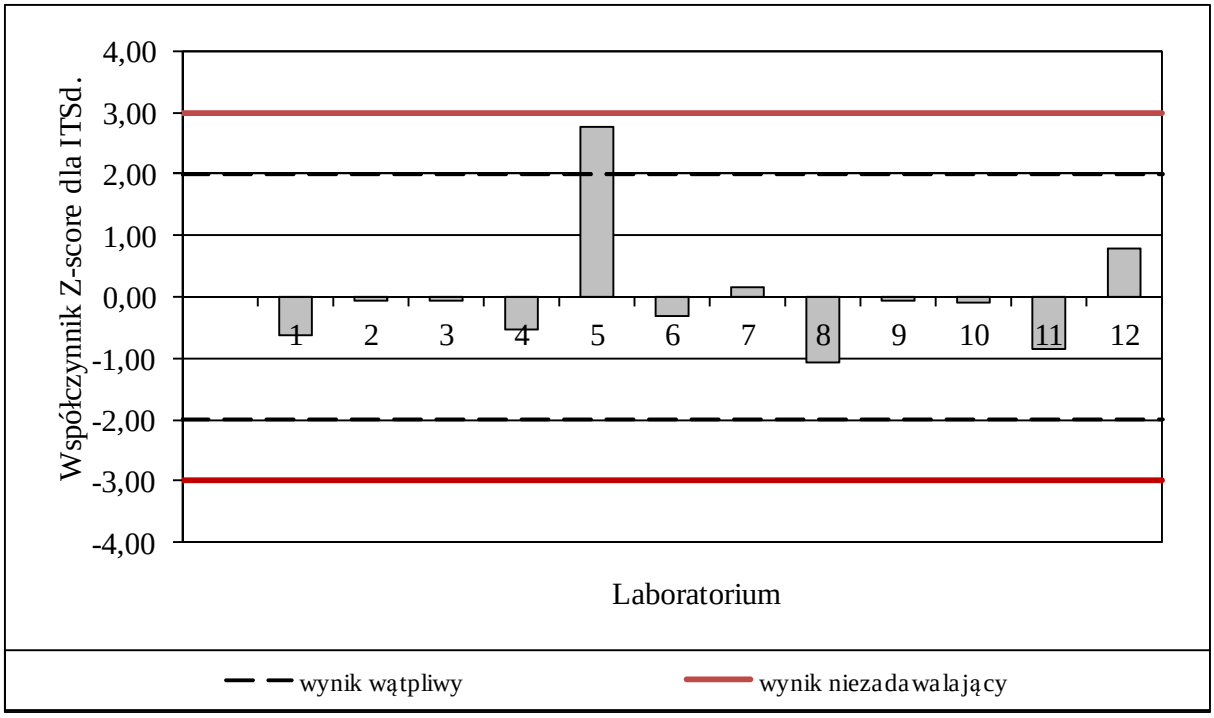
Laboratorium	Wynik ITSR kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	79,1	77,9	7,85	0,101 (10 %)	0,15
Lab2	73,5				-0,57
Lab3	69,5				-1,07
Lab4	80,1				0,27
Lab5	80,0				0,27
Lab6	65,2				-1,63
Lab7	84,0				0,77
Lab8	82,9				0,63
Lab9	91,2				1,69
Lab10	70,5				-0,95
Lab11	72,0				-0,75
Lab12	87,2				1,18



Rysunek 18. Współczynniki Z-score wyników ITSR dla masy AC WMS 16

Tablica 32 Wyniki ITSd uzyskane dla próbek SMA 8 S 45/80-65

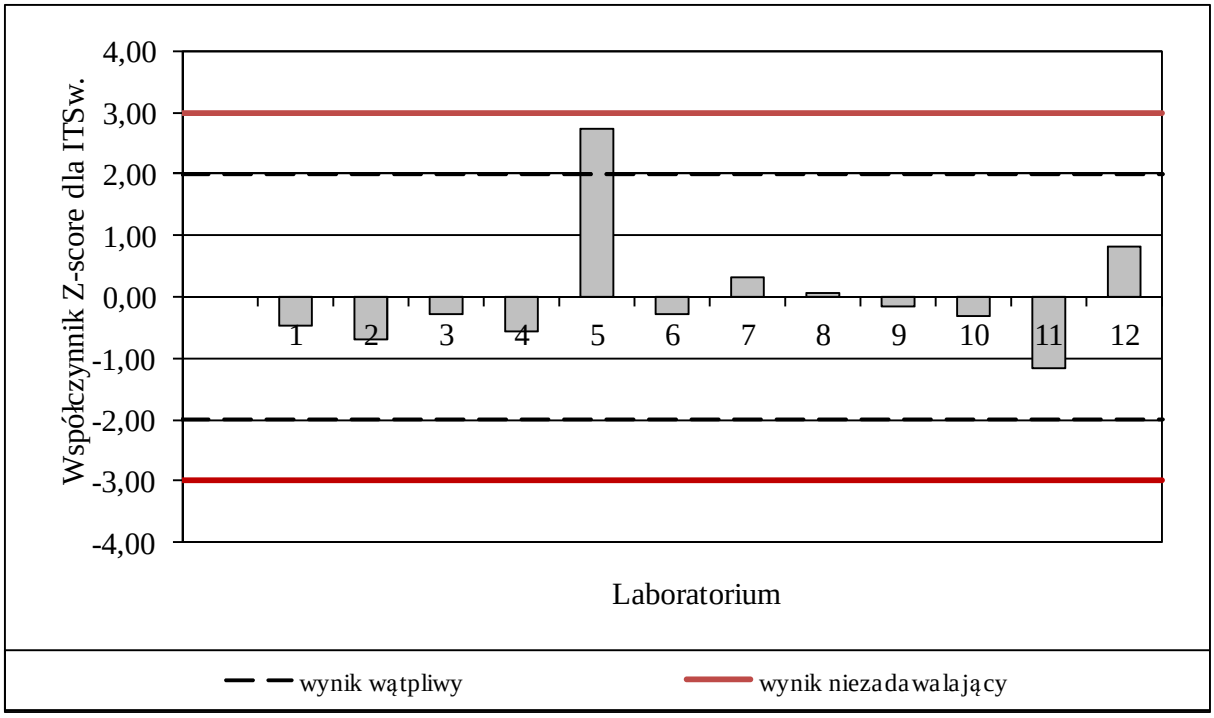
Laboratorium	Wynik ITS_d kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	1065,9	1148,6	129,00	0,112 (11 %)	-0,64
Lab2	1139,1				-0,07
Lab3	1142,0				-0,05
Lab4	1079,0				-0,54
Lab5	1506,0				2,77
Lab6	1106,4				-0,33
Lab7	1167				0,14
Lab8	1012				-1,06
Lab9	1140				-0,07
Lab10	1136				-0,10
Lab11	1039,1				-0,85
Lab12	1251				0,79



Rysunek 19. Współczynniki Z-score wyników ITSd dla mieszanki SMA 8 S

Tablica 33 Wyniki ITSw uzyskane dla próbek mieszanki SMA 8 S 45/80-65

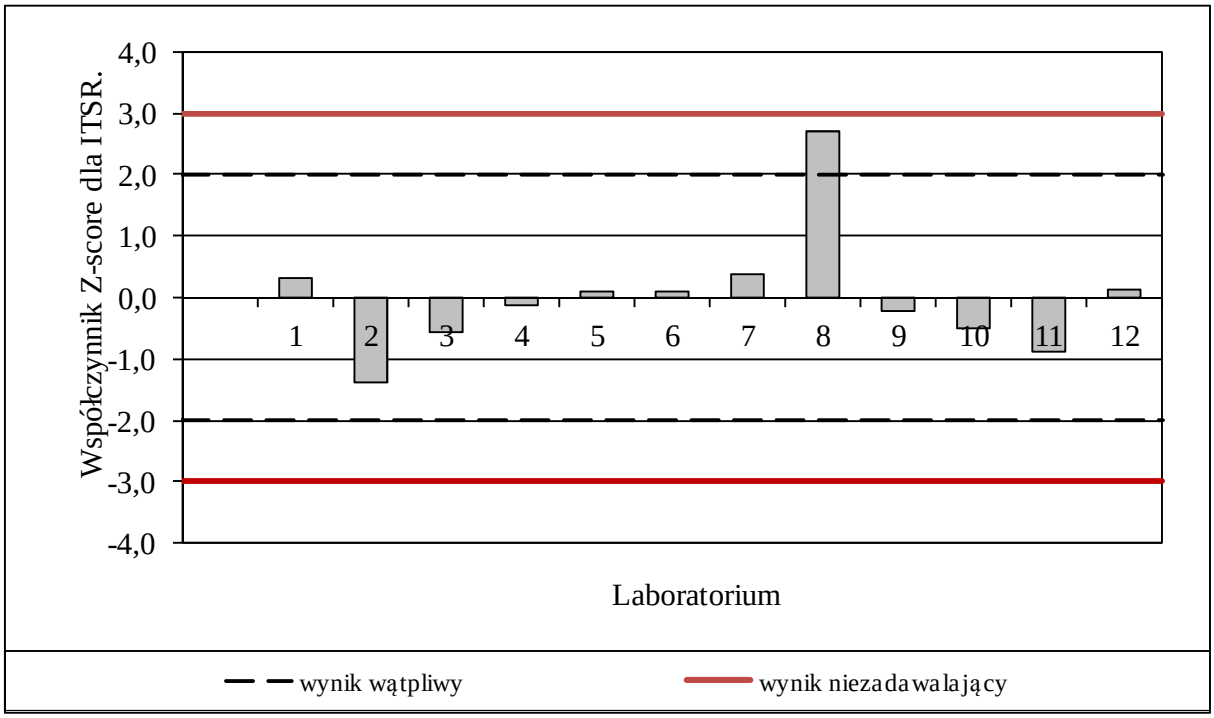
Laboratorium	Wynik ITS_w kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	979,3	1038,0	120,5	0,116 (12 %)	-0,49
Lab2	955,3				-0,69
Lab3	1002,0				-0,30
Lab4	970,0				-0,56
Lab5	1368,0				2,74
Lab6	1005,1				-0,27
Lab7	1077				0,32
Lab8	1045				0,06
Lab9	1020				-0,15
Lab10	1000				-0,32
Lab11	895,9				-1,18
Lab12	1138				0,83



Rysunek 20. Współczynniki Z-score wyników ITSw dla SMA 8 S

Tablica 34 Wyniki ITSR uzyskane dla próbek mieszanki SMA 8 S 45/80-65

Laboratorium	Wynik ITSR kPa	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Współczynnik Z-score
Lab1	91,9	90,4	4,73	0,052 (5 %)	0,30
Lab2	83,9				-1,39
Lab3	87,7				-0,57
Lab4	89,9				-0,11
Lab5	90,8				0,08
Lab6	90,8				0,09
Lab7	92,3				0,39
Lab8	103,3				2,71
Lab9	89,5				-0,20
Lab10	88,0				-0,51
Lab11	86,2				-0,89
Lab12	91,0				0,11



Rysunek 21. Współczynniki Z-score wyników ITSR dla SMA 8 S

W przypadku betonu asfaltowego o uziarnieniu do 16 mm, wszystkie laboratoria spełniły kryterium Z-score, czyli wyniki były zadowalające. Nie pojawił się żaden wynik wątpliwy lub niezadawalający. Polityka PCA, przy ocenie uzyskanych wyników porów-

nań międzylaboratoryjnych, dopuszcza 20% wyników w grupie wątpliwych oraz brak wyników w grupie niezadowalających. Badania wodoodporności spełniły zatem te wymagania.

W przypadku mieszanki SMA, większość laboratoriów również spełniła kryterium Z-score, czyli wyniki były zadowalające. Wynik wątpliwy pojawił się jedynie w laboratorium Lab5 dla parametru ITS_d i ITS_w oraz w laboratorium Lab9 dla ITSR. Żadne laboratorium nie uzyskało oceny niezadowalającej. Wyniki były zatem zgodne z polityką PCA, ponieważ brak było wyników z grupy niezadowalających, a wyników wątpliwych było maksymalnie 10 % (1 laboratorium w danej grupie wyników na 12 biorących udział).

Na podstawie porównań międzylaboratoryjnych wyznaczono współczynniki zmienności otrzymanych wyników badań. Współczynnik pokazuje zróżnicowanie rozkładu danej właściwości. W przypadku próbek mieszanki AC 16 W 20/30, współczynnik plasował się na poziomie odpowiednio 9 % i 10 % dla parametru ITS_d i ITSR, natomiast był wyższy (wyniósł ok. 14 %) dla parametru ITS_w. Zróżnicowanie wyników było zatem najwyższe dla właściwości ITS_w. Inaczej było w przypadku mieszanki SMA 8 S. Podczas gdy parametry ITS_d i ITS_w charakteryzowały się podobnym do siebie wskaźnikiem zmienności (na poziomie ok. 11-12 %), to wyznaczony wskaźnik dla wyników wodoodporności ITRS osiągnął stosunkowo dobrą wartość - wyniósł zaledwie 5 %. Oznacza to dużo mniejsze zróżnicowanie wyników dla stosunku ITS_w do ITS_d, niż dla samych tych wartości analizowanych pojedynczo. Porównując obydwie mieszanki, można też stwierdzić, że mniejszy rozrzut wyników ITSR następuje w przypadku mieszanki SMA niż AC WMS.

Następnie przeprowadzono analizę uzyskanych wyników badań w kontekście zgodności z wymaganiami WT-2 2010. Ponownie zestawiono wyniki badań obu mieszanek i przeprowadzono analizę.

Tablica 35 Wyniki badań międzylaboratoryjnych - mieszanka AC WMS 16

Rodzaj mieszanki	Kod laboratorium	ITSd, kPa	ITSw, kPa	ITSR, %
AC 16 WMS	1	1839,7	1455,6	79,1
	2	1734,6	1274,9	73,5
	3	1802,0	1253,0	69,5
	4	2137,0	1711,0	80,1
	5	2168,0	1735,0	80,0
	6	1921,7	1252,6	65,2
	7	1757	1476	84,0
	8	1738	1440	82,9
	9	2098	1914	91,2
	10	2188	1542	70,5
	11	2144,9	1545,3	72,0
	12	1944	1696	87,2
Średnia		**1956,1**	**1524,6**	**77,9**
Odchylenie standardowe		**181,4**	**210,01**	**7,85**
Niepewność pomiaru, przy poziomie ufności 95 %, k=2		**362,86**	**420,02**	**15,7**

Dotychczas obowiązującym wymaganiem ITSR w przypadku mieszanki AC WMS 16 było ITSR 80. Analizując wyniki badań mieszanki AC WMS 16 da się zauważyć, że tylko połowa laboratoriów biorących udział w porównaniach spełniła to wymaganie i osiągnęła wymaganą wartość 80 % (czcionka czarna). W pozostałych laboratoriach wyniki badań były niższe niż wymagane 80 % (czcionka czerwona). Kolejnym aspektem jest uwzględnienie niepewności pomiaru cechy, tzn. biorąc pod uwagę wartość niepewności pomiaru, to zgodnie z przewodnikiem ILAC dotyczącym wyrażania zgodności ze specyfikacją brak zgodności z wymaganiami zostanie orzeczony w przypadku wyników badań poniżej wartości 64,3 %. Wówczas żadne laboratorium nie stwierdziłoby braku zgodności ze specyfikacją, a 6 nie mogłoby stwierdzić zgodności ani niezgodności wyniku badania z wymaganiem.

Jeśli wymaganie dla tej mieszanki zmniejszono by do ITSR 70, to granica oceny niezgodności wyniku z wymaganiem wynosiłaby 54,3 %. W tym przypadku 10 na 12 laboratoriów spełniłoby wymagania, a tylko 2 laboratoria nie stwierdziłoby zgodności ani niezgodności wyniku badania z wymaganiami. Dopiero postawienie wymagania ITSR 60 spowodowałoby, że uzyskano by ocenę pozytywną zgodności z wymaganiami we wszystkich laboratoriach uczestniczących w porównaniach.

W poniższej tablicy przedstawiono wyniki badań próbek mieszanki SMA.

Tablica 36 Wyniki badań międzylaboratoryjnych mieszanki SMA 8

Rodzaj mieszanki	Kod laboratorium	ITSd, kPa	ITSw, kPa	ITSR, %
SMA 8 S	1	1065,9	979,3	91,9
	2	1139,1	955,3	83,9
	3	1142,0	1002,0	87,7
	4	1079,0	970,0	89,9
	5	1506,0	1368,0	90,8
	6	1106,4	1005,1	90,8
	7	1167	1077	92,3
	8	1012	1045	103,3
	9	1140	1020	89,5
	10	1136	1000	88,0
	11	1039,1	895,9	86,2
	12	1251	1138	91,0
Średnia		**1149,3**	**1148,6**	**1038,0**
Odchylenie standardowe		**129**	**120,5**	**4,73**
Niepewność pomiaru, przy poziomie ufności 95 %, k=2		**258,00**	**241,00**	**9,5**

Wymaganie według WT-2 2010 w przypadku mieszanki SMA 8 wynosi ITSR 90. Z analizy wyników badań międzylaboratoryjnych wynika, że w połowie laboratoriów biorących udział w porównaniach uzyskano wynik większy od tego wymagania (czcionka czarna), a w pozostałych sześciu laboratoriach wyniki badań były niższe niż wymagane 90 % (czcionka czerwona). Uwzględniając jednak niepewności pomiaru cechy, brak zgodności z wymaganiami zostałaby stwierdzona w przypadku wyników badań poniżej wartości 80,5 %. W tym wypadku wszystkie laboratoria nie spełniające wymagania ITSR 90 nie mogłyby orzec zgodności ani niezgodności wyniku z wymaganiem przy zakładanym poziomie ufności 95 %. Jeśli wymaganie dla mieszanki SMA zostałoby obniżone do ITSR 80, to w tym układzie pełną zgodność z wymaganiem orzeczonoby we wszystkich 10 analizowanych laboratoriach.

6.2.5. Badania międzylaboratoryjne przed i po ujednoliceniu procedury

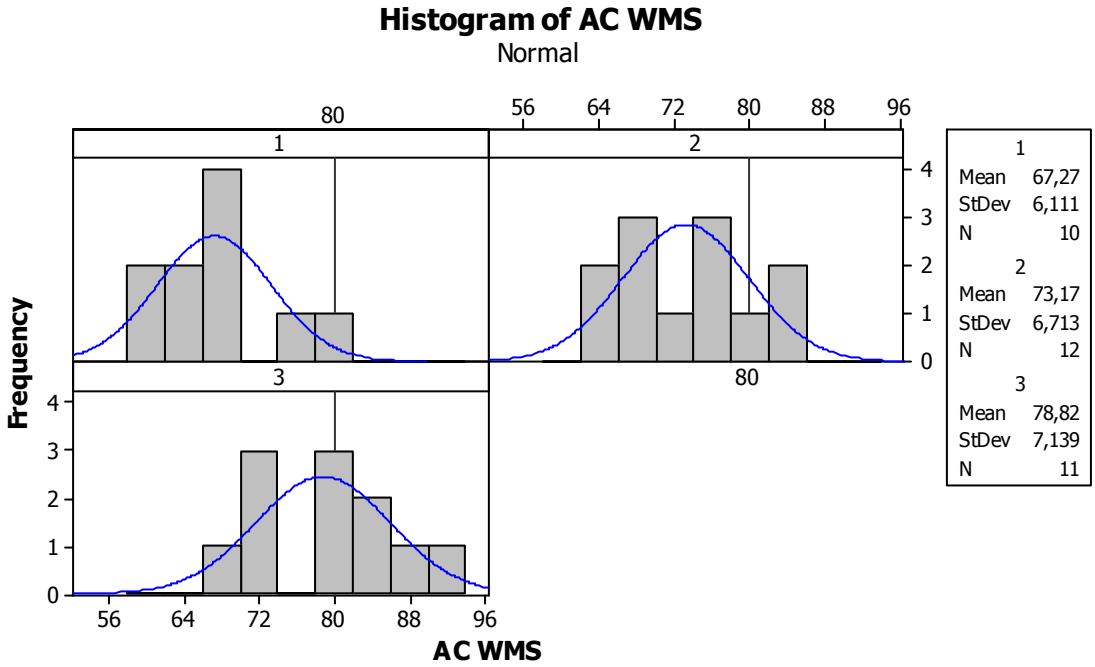
Na postawie przeprowadzonych porównań międzylaboratoryjnych przeprowadzono analizę wpływu ujednolicenia metody badania wodoodporności na otrzymane wyniki. Porównano otrzymane wyniki badań przed ujednoliceniem procedury, gdy każde labo-

ratorium być może w jakiś sposób modyfikowało metodę lub inaczej interpretowało zapisy normy oraz po ujednoliceniu metody, gdy teoretycznie sposób badania był ten sam, wszystkie laboratoria robiły oznaczenie w ten sam sposób, w tych samych temperaturach, w tych samych warunkach badawczych, wpisując pośrednie wyniki oznaczeń w ten sam przygotowany w IBDiM formularz.

W poniższych tablicach porównano otrzymane średnie wartości parametrów badawczych, wyniki z-score dla metody przed i po ujednoliceniu, odchylenia standardowe oraz wskaźniki zmienności. Miało to na celu sprawdzenie czy otrzymane po ujednoliceniu wyniki są bardziej spójne, mniej odbiegające od średniej, czy wychodzą podobne wyniki badań.

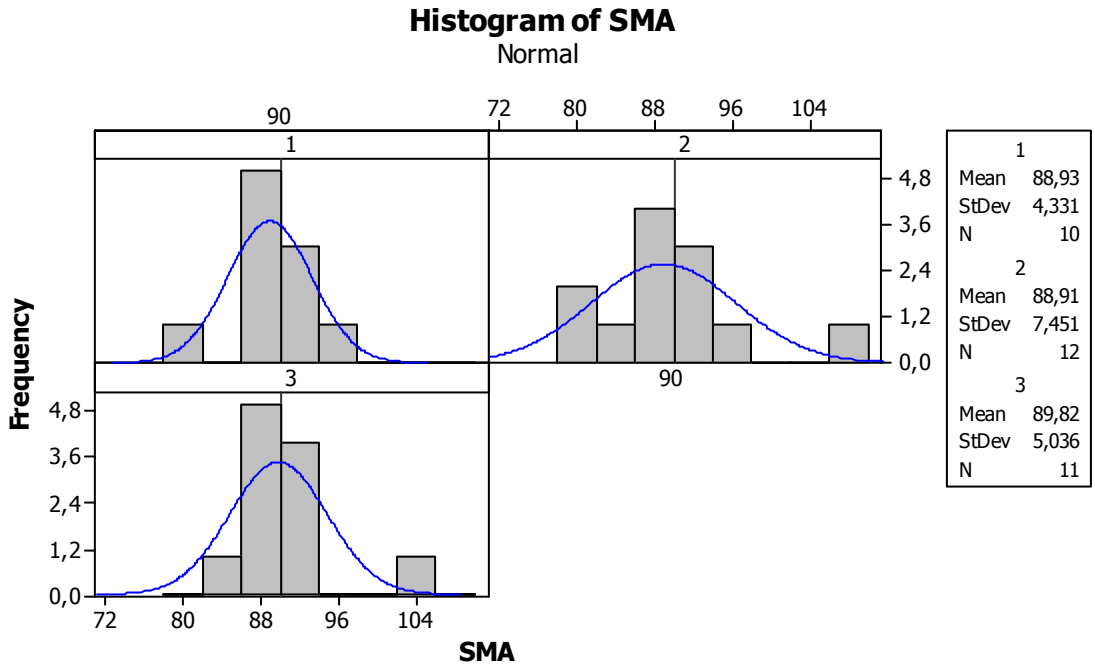
Tablica 37 Zestawienie średnich wartości

Rodzaj mieszanki	Tura badań	ITSd, kPa	ITSw, kPa	ITSR, %
SMA 8 S	1	1164,0	1032,3	88,9
	2	1081,3	963,6	89,5
	3	1148,6	1038,0	90,4
AC WMS 16	1	1985,6	1329,5	67,3
	2	2045,7	1488,1	72,9
	3	1956,1	1524,6	77,9



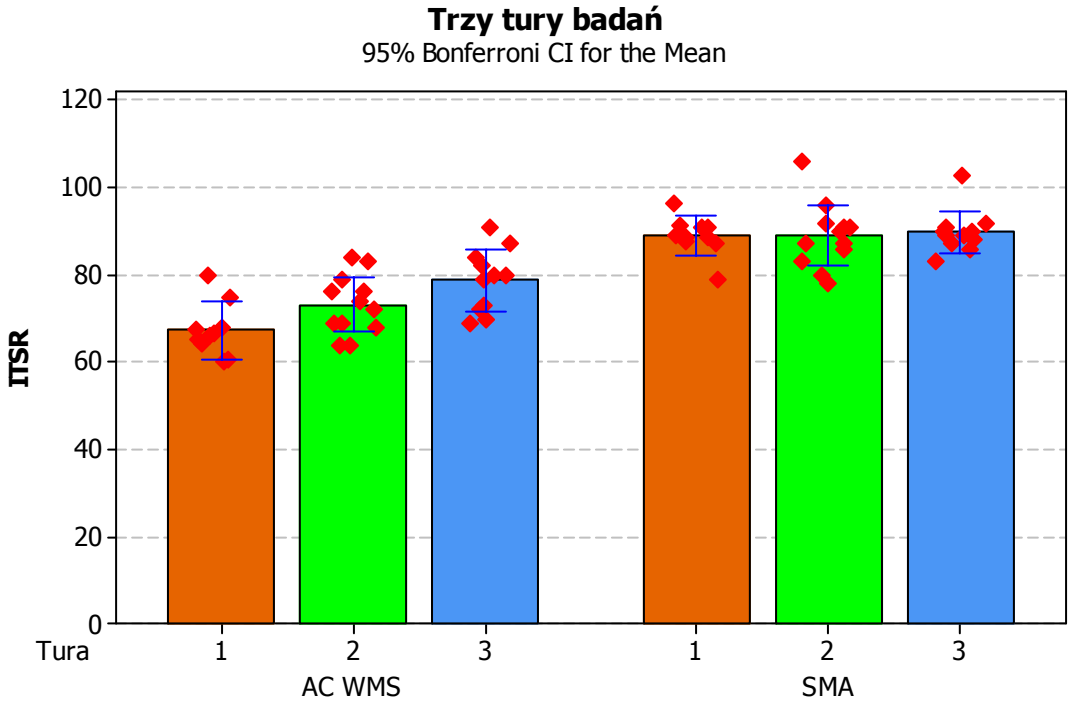
Panel variable: Tura

Rysunek 22. Histogram wyników ITSR dla mieszanki AC WMS

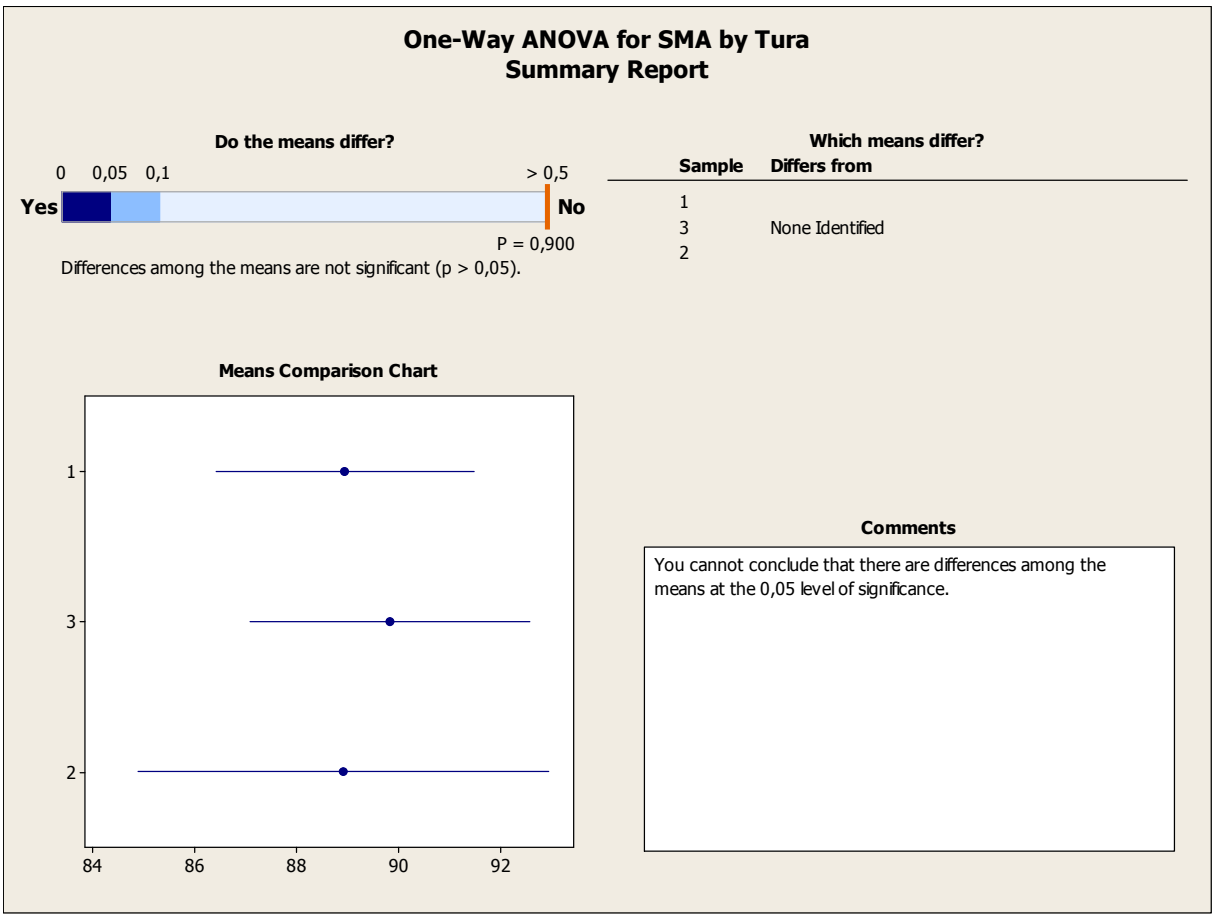


Panel variable: Tura

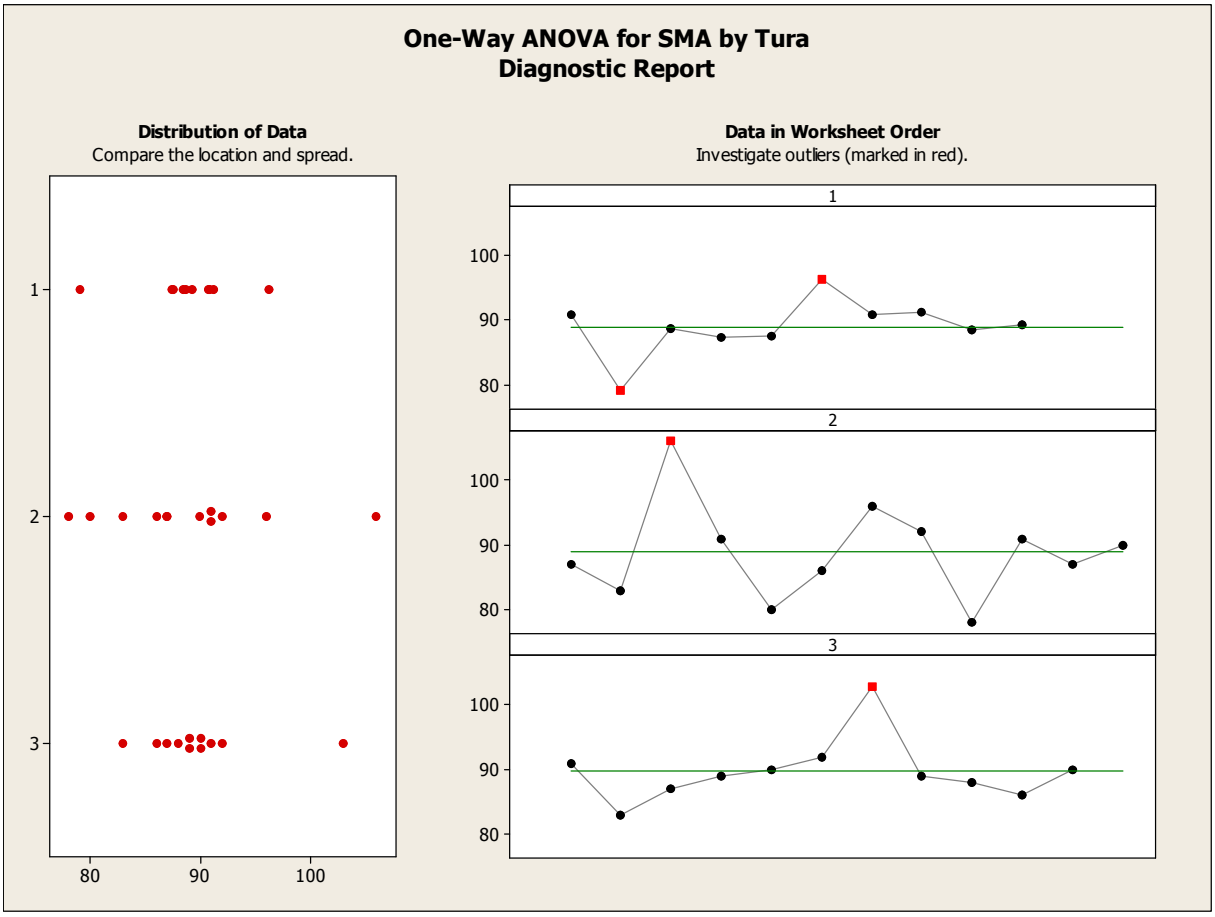
Rysunek 23. Histogram wyników ITSR dla mieszanki SMA



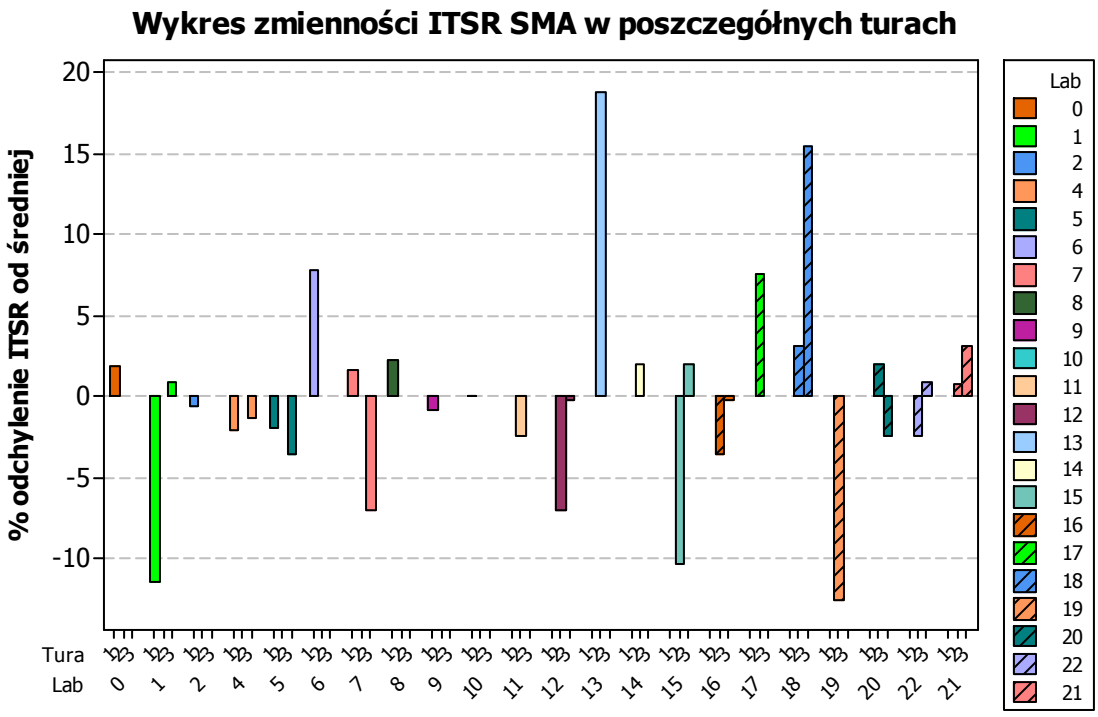
Rysunek 24. Zestawienie wyników ITSR dla obydwu mieszanek



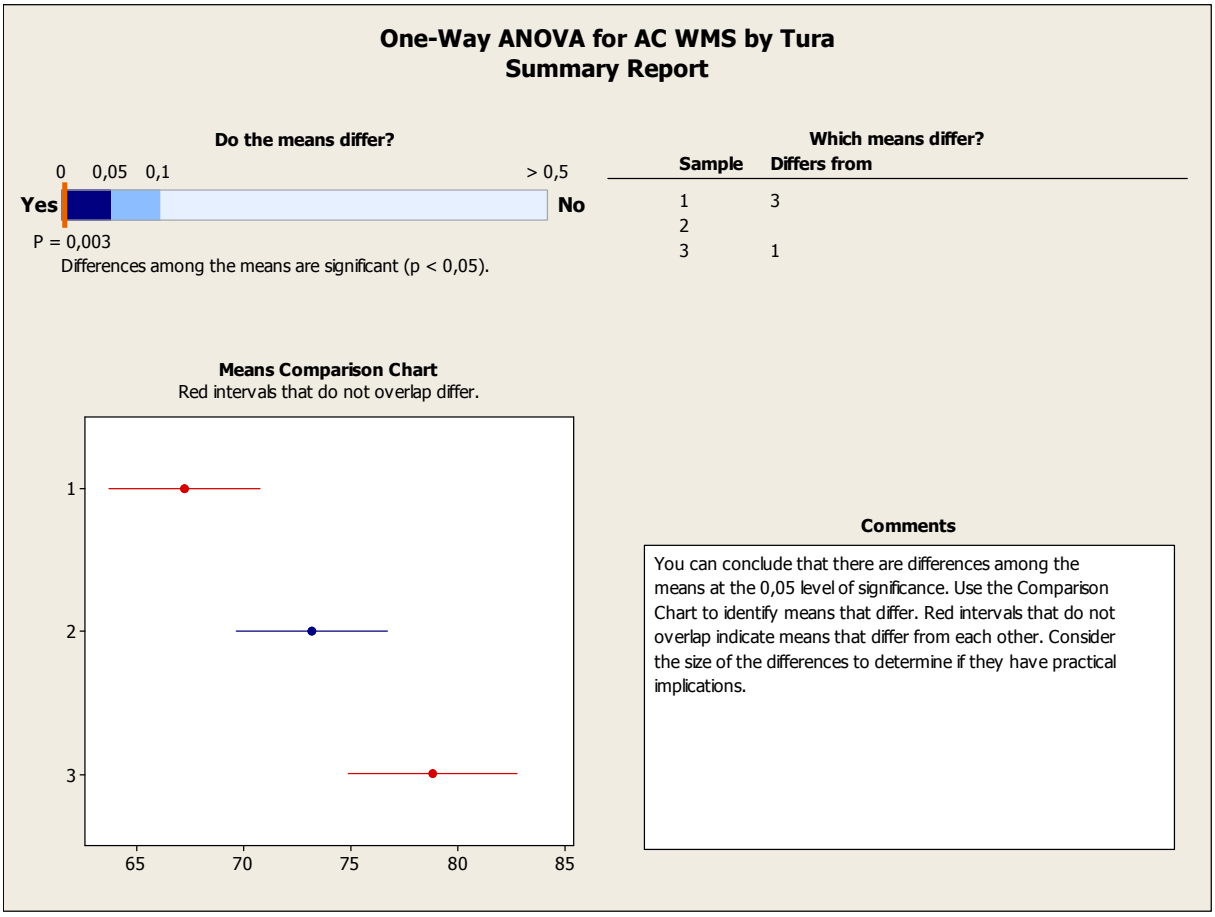
Rysunek 25. Podsumowanie wyników dla mieszanki SMA



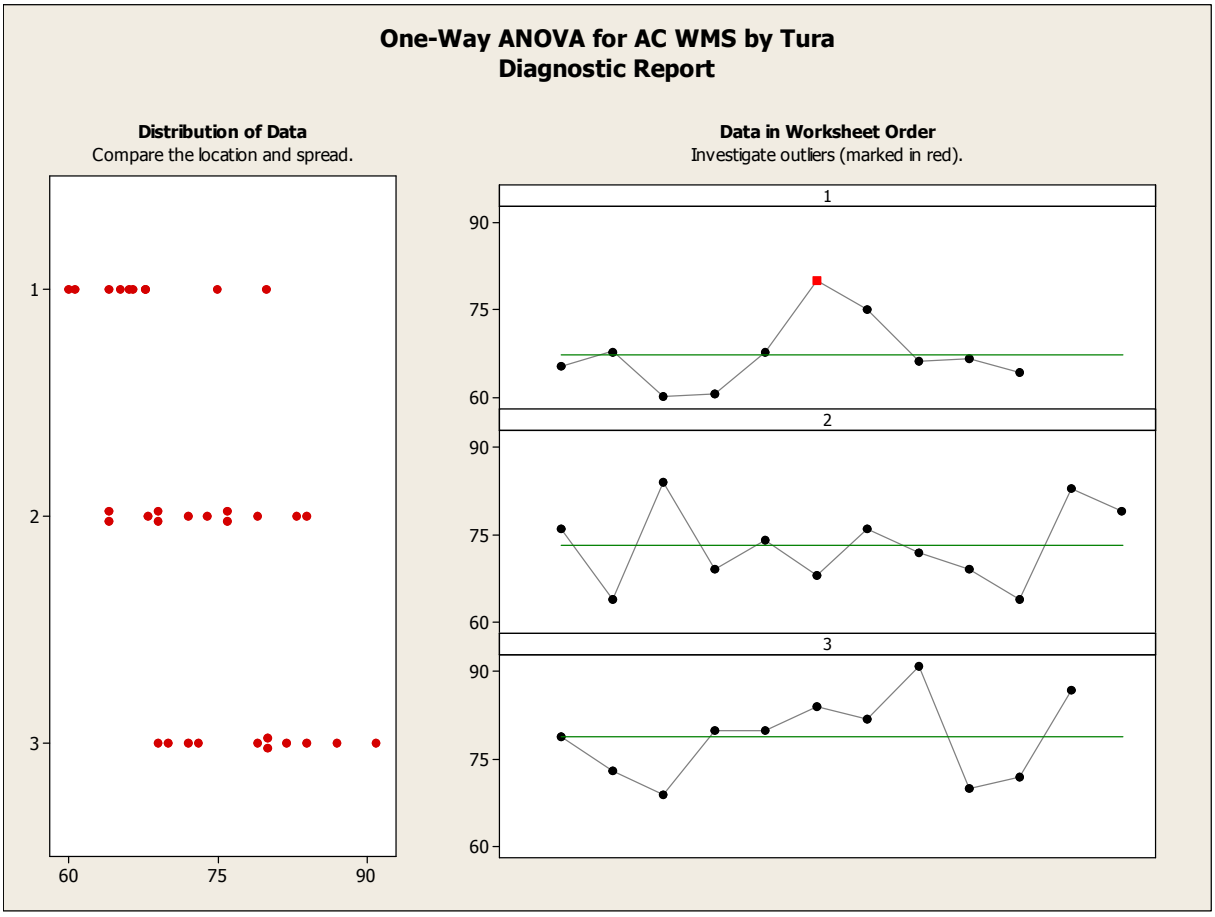
Rysunek 26. Zestawienie wyników dla mieszanki SMA



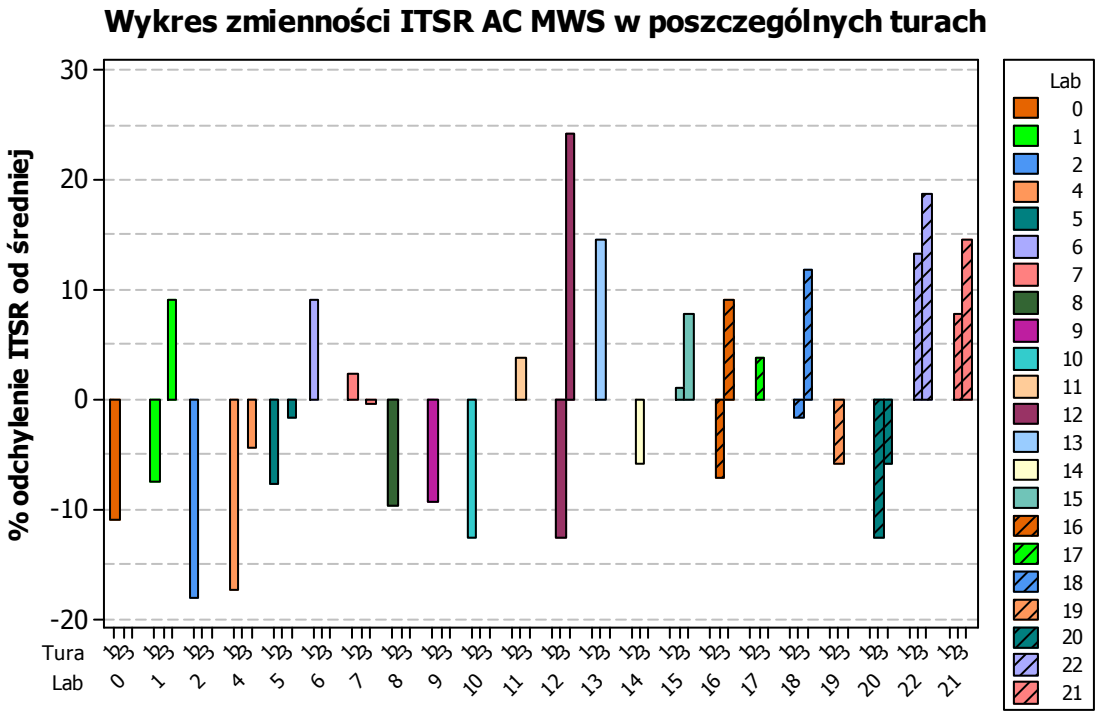
Rysunek 27. Wykres zmienności ITSR dla mieszanki SMA



Rysunek 28. Podsumowanie wyników dla mieszanki AC WMS



Rysunek 29. Zestawienie wyników dla mieszanki AC WMS



Rysunek 30. Wykres zmienności ITSR dla mieszanki AC WMS

Tablica 38 Zestawienie wskaźników Z-score

Rodzaj mieszanki	Tura badań	Średnie z-score dla:		
		ITSd	ITSw	ITSR
SMA 8 S	1	0,78	0,72	0,63
	2	0,63	0,62	0,58
	3	0,62	0,66	0,61
AC WMS 16	1	0,73	0,62	0,69
	2	0,76	0,89	0,71
	3	0,88	0,79	0,83

Tablica 39 Zestawienie wskaźników zmienności

Rodzaj mieszanki	Tura badań	Średnie wskaźniki zmienności [%] dla:		
		ITSd	ITSw	ITSR
SMA 8 S	1	14	12	5
	2	12	11	8
	3	12	12	5
AC WMS 16	1	10	9	9
	2	11	12	9
	3	9	14	10

Tablica 40 Zestawienie odchyleń standardowych

Rodzaj mieszanki	Tura badań	Średnie odchylenie standardowe dla:		
		ITSd	ITSw	ITSR
SMA 8 S	1	159,6	126,8	4,3
	2	133,8	106,7	7,1
	3	129,0	120,5	4,7
AC WMS 16	1	204,7	121,7	6,1
	2	224,0	183,3	6,9
	3	181,4	210,0	7,9

Na podstawie przedstawionych powyżej analiz stwierdzić można, że nie występowały istotne różnice pomiędzy poszczególnymi turami badań międzylaboratoryjnych dla warstwy ścieralnej. W przypadku warstwy wiążącej pierwsza tura badań różniła się statystycznie od trzeciej tury. Różnicę tą tłumaczy pominięcie etapu kondycjonowania

w 60 ℃ po cyklu mro żenia. W przypadku analizy średnich wyników otrzymanych w procesie wyznaczania wodoodporności stwierdzono, że w przypadku mieszanki SMA, w turze badań z ujednoliconą procedurą, wyniki były niejednoznaczne. Średnie wartości ITSR i ITS_w były wyższe, natomiast ITS_d okazało się wartością pośrednią pomiędzy turą pierwszą i drugą. W przypadku mieszanki AC WMS było podobnie. Średnie parametry ITSR i ITS_w w turze III (po ujednoliceniu procedury) były wyższe, natomiast ITS_d osiągnęło w turze III wartość najniższą. Generalnie, po ujednoliceniu metody, otrzymano wyniki odporności na wodę na podobnym poziomie, nie różniące się w sposób istotny.

Zależności nie znaleziono w przypadku wskaźników zmienności lub przy analizie wyznaczonych odchyleń standardowych wyników poszczególnych tur. Na przykład, podczas gdy przy jednym parametrze, w turze po ujednoliceniu procedury, dla obydwu mieszanek, odchylenie standardowe było zdecydowanie niższe (ITS_d), to już przy pozostałych parametrach takiej zależności nie znaleziono. Raz odchylenie było wyższe (dla mieszanki AC WMS dla parametru ITSR), w innym przypadku wyrażało wartość pośrednią.

Pewne nieznaczne układy wyników można było zauważyć w przypadku współczynników Z-score, ale nie wnosiły one nic do analizy metody badawczej. W przypadku mieszanki SMA, wskaźniki były najmniejsze w badaniach tury III dla parametru ITS_d, natomiast najwyższe były w przypadku mieszanki AC WMS i parametru ITS_d oraz ITSR.

Po przeprowadzonej analizie wyników badań międzylaboratoryjnych w trzech turach nie można jednoznacznie stwierdzić jak należałoby postępować z badaniem. Nawet po wprowadzeniu ujednoliconej procedury badawczej rozrzuty wyników nadal istniały. Z jednej strony badanie pokazało, że po ujednoliceniu procedury uzyskano wyższe wartości odporności na wodę bez względu na rodzaj badanej mieszanki, z drugiej jednak strony zdarzały się laboratoria, których wyniki znacznie wykraczały poza dopuszczalne granice. Badanie odporności na działanie wody nie jest badaniem prostym i szybkim w przeprowadzeniu. Wymaga wprawnej kadry, odpowiedniego sprzętu, czasu (kilku dni roboczych), itd. W badaniu występuje duża ilość duża ilość zmiennych mających wpływ na wyniki. Laboratoria dysponują różnym jakościowo sprzętem, nie zawsze wzorcowanym przez zewnętrzne jednostki metrologiczne. Może to wpływać na rozrzuty wyników badań.

6.3. Ankieta nt. wymagań ITSR w Europie

W analizie problemów dotyczących wyników badań ITSR z cyklem mrożenia nie można pominąć analizy wymagań. W tym celu rozesłano krótką ankietę dotyczącą wymagań ITSR w krajach będących sygnatariuszami porozumienia CEN w sprawie wdrażania wspólnych norm oraz innych krajów. Zapytanie przedstawiono w tablicy 41.

Tablica 41 Zapytanie do krajów CEN dotyczące wymagań na badanie według normy EN 12697-12

Mix type	Requirement	Freeze / thaw procedure*	Comments
AC – base course	> XX %	YES / NO	
AC – binder course			
AC – wearing course			
SMA – wearing course			
BBTM			
EME – base course			
EME – binder course			
PA			

* if freeze / thaw procedure is available please shortly specify conditions

Oprócz Polski odpowiedzi udzielili reprezentanci 14 krajów. Kraje, które wzięły udział w ankiecie przedstawiono na rysunku 31.

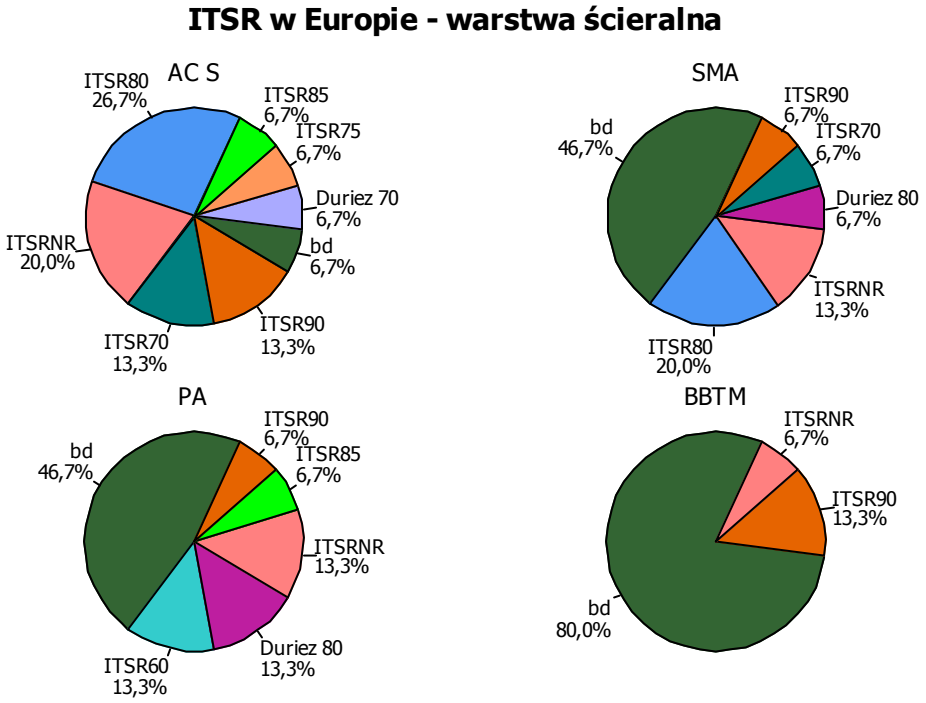
Odpowiedzi wraz z wymaganiami polskimi, przedstawiono w tablicy 42 i na rysunkach 32-34.

Rysunek 31. Kraje biorące udział w ankiecie dotyczącej ITSR*

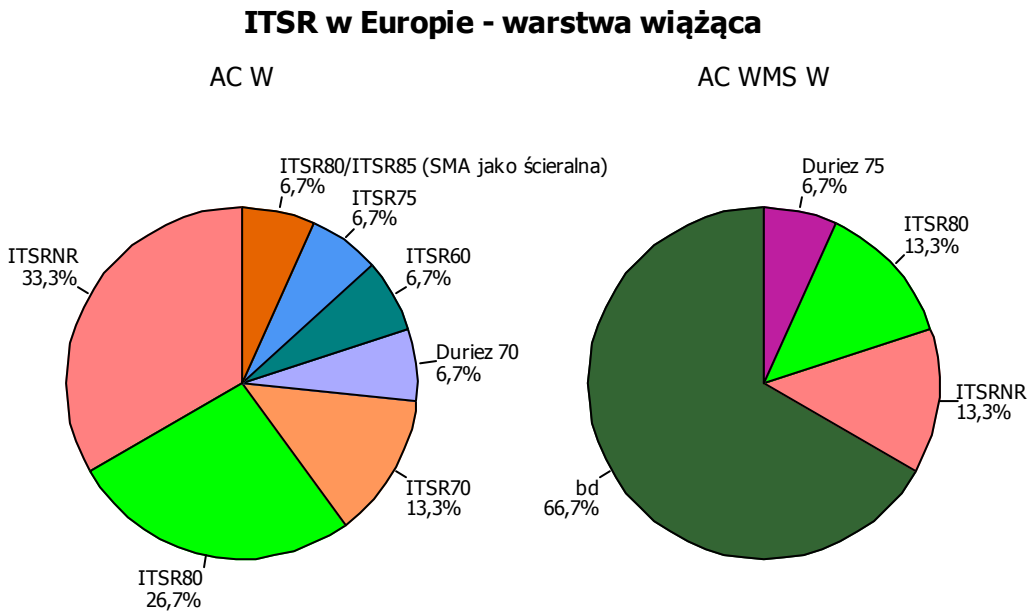
* źródło mapy pl.wikipedia.com, mapa poddana obróbce graficznej)

Tablica 42 Odpowiedzi krajów zrzeszonych w CEN na ankietę o ITSR

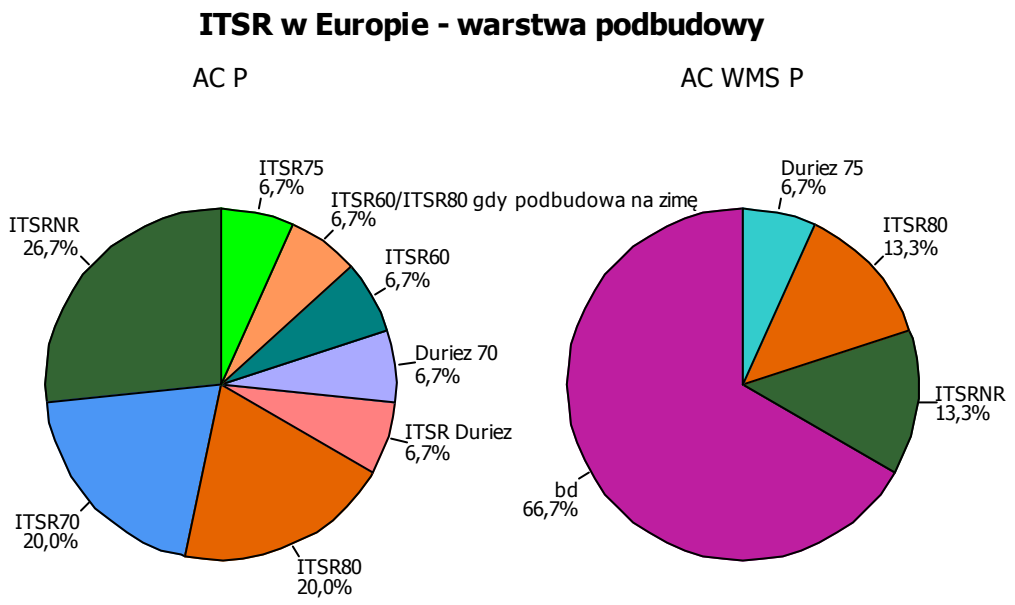
Kraj	UE/ nonUE	CEN	Wymaganie			Cykl mrożenia
			Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy	
Belgia	UE	TAK	ITSR70 (SMA 80)	ITSR60 (EME 80)	ITSR60 (EME 80)	NIE
Estonia	UE	TAK	ITSR90 ITSR60 (PA)	ITSR80 i ITSR85, gdy SMA jako ścieralna	ITSR60 i ITSR80 gdy podbudowa zostaje na zimę	bd
Finlandia	UE	TAK	ITSR80 (AC, SMA) ITSR60 (SA)	ITSRNR	ITSRNR	TAK
Francja	UE	TAK	Duriez 70 (80 BBTM, PA)	Duriez 70	Duriez 70	NIE
Hiszpania	UE	TAK	ITSR85 (90 BBTM, 85 PA)	ITSR80	ITSR80	NIE
Holandia	UE	TAK	ITSR80	ITSR70	ITSR70	NIE
Irlandia	UE	TAK	ITSR Duriez	ITSR Duriez	ITSR Duriez	NIE
Niemcy	UE	TAK	ITSRNR	ITSRNR	ITSRNR	NIE
Norwegia	non UE	TAK	ITSR70	ITSR70	ITSR70	NIE
Polska	**UE**	**TAK**	**ITSR90**	**ITSR80**	**ITSR70**	**WT-2 2010**
Słowacja	UE	TAK	ITSR80	ITSR80	ITSR80	NIE
Słowenia	UE	TAK	ITSRNR	ITSRNR	ITSRNR	NIE
Szwecja	UE	TAK	ITSR75	ITSR75	ITSR75	NIE
Turcja	non UE	NIE	ITSR80	ITSR80	ITSR80	AASHTO T283
Wielka Brytania	UE	TAK	ITSRNR	ITSRNR	ITSRNR	bd



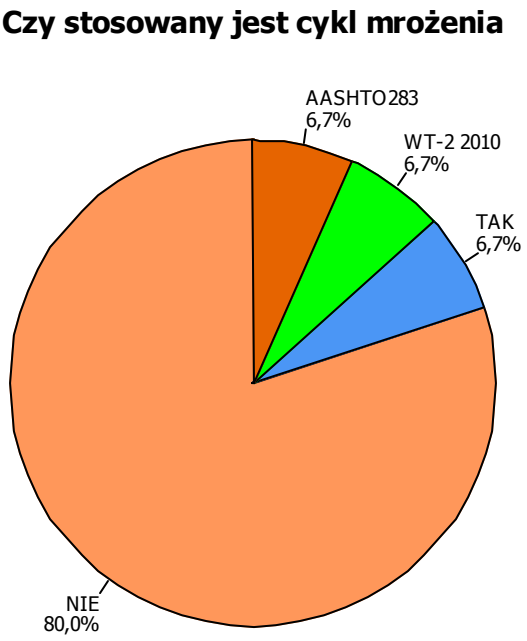
Rysunek 32. Wymagania ITSR w Europie – warstwa ścieralna



Rysunek 33. Wymagania ITSR w Europie – warstwa wiążąca



Rysunek 34. Wymagania ITSR w Europie – warstwa podbudowy



Rysunek 35. Wymagania w Europie wobec cyklu mrożenia

Z przeprowadzonej ankiety wynikało, że polskie wymagania były jednymi z najsurowszych spośród krajów biorących udział w ankiecie. Najistotniejszą różnicą w wy-

maganiach w porównaniu do pozostałych krajów było połączenie najwyższego poziomu wymagań w Polsce dla poszczególnych warstw z jednoczesnym stosowaniem kondycjonowania z cyklem mrożenia wg WT-2 2010. Oprócz Polski, jeszcze Turcja (AASHTO T283) i Finlandia (10 cykli zamrażania/rozmrażania) zadeklarowały stosowanie cyklu mrożenia. Pozostałe 80 % krajów nie stosuje cyklu zamrażania.

Poziom wymagań w przypadku mieszanki AC S w przeważającej liczbie odpowiedzi wynosił 80 %, 70 % oraz NR. Wymaganie ITSR90 zadeklarowały 2 kraje. Jeśli chodzi o warstwę SMA, albo nie była stosowana w ankietowanym kraju, a jeśli była, to wymaganie kształtowało się przeważnie na poziomie 80 % lub NR. Asfalt porowaty oraz mieszanka BBTM były mniej popularne i odpowiedzi potwierdzającej wymagania wobec odporności na działanie wody i mrozu zadeklarowało mniej niż połowa ankietowanych. W przypadku asfaltu porowatego PA najczęstszym wymaganiem było ITSR60 i Duriez 80; podano pojedyncze przypadki ITSR90 i ITSR85. Mieszanka BBTM, jeśli była stosowana, wymagano aby ITSR wynosiło powyżej 90 %.

Spośród ankietowanych krajów jedna trzecia nie postawiła wymagań wobec warstwy wiążącej, a jeśli ustalono kryterium, wynosiło ono 80 % lub niżej. Jeśli kraj stosował mieszankę AC WMS do warstwy wiążącej, to wymaganie wynosiło 80 %. W przypadku warstwy podbudowy ponad 25 % ankietowanych nie wymagało ITSR, natomiast pozostałe kraje wymagały głównie ITSR70 lub ITSR80. Jeśli w kraju stosowana była mieszanka AC WMS do warstwy podbudowy to wymaganie wynosiło 80 %.

Warte uwagi było stosowanie podniesienia wymagań wobec podbudowy, która miała być pozostawiona bez przykrycia na zimę (+20%) oraz wobec warstwy wiążącej, która miała być przykryta mieszanką SMA (+5 %). Poza tym we Francji oraz Irlandii na określanie poziomu ITSR zamiast metody A według PN-EN 12697-12, stosowana była metoda Durieza.

Wpływ cyklu mrożenia na wynik badania ITSR został szczegółowo przeanalizowany w rozdziale 8.3.

Biorąc pod uwagę odpowiedzi uzyskane od krajów europejskich, również tych o podobnym do Polski klimacie (Niemcy, Słowacja), bądź bardziej surowym (np. Finlandia, Szwecja, Estonia) proponuje się obniżenie poziomu wymagań ITSR.

7. Metodyka badań MMA

7.1. Cechy fizyczne

W ramach niniejszej pracy przewidziano oznaczenie następujących właściwości badanych mieszanek mineralno-asfaltowych:

- Gęstość objętościowa ρ_b (dawniej gęstość strukturalna bądź pozorna) próbek asfaltowych oznaczono wg normy PN-EN 12697-6 [8],
- Gęstość ρ_m (dawniej gęstość objętościowa bądź właściwa) próbek asfaltowych oznaczono w piknometrze z użyciem czterochloroetylenu wg normy PN-EN 12697-5 [9],
- Wolną przestrzeń V_m w zagęszczonej mieszance mineralno-asfaltowej obliczono zgodnie z normą PN-EN 12697-8 [10], wg równania 1:

$$P_p = \frac{\rho - \rho_o}{\rho} x100, \% \text{ (V/V)} \qquad \text{Równanie 1}$$

ρ - gęstość mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm3,
ρo - gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm3.
Zagęszczenie sprawdzono na próbkach sporządzonych w ubijaku Marshalla stosując 2 x 75 uderzeń na stronę (AC) i 2 x 50 uderzeń na stronę (SMA).

7.2. Wykonanie badań powinowactwa lepiszczy i kruszyw

Badanie przyczepności lepiszcza asfaltowego do kruszywa przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 12697-11 pt. Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco, Część 11: Określenie powiązania pomiędzy kruszywem i asfaltem . W tym przypadku wykorzystano metodę obracanej butelki opisaną w części A normy (Fot. 1). Badanie polega na ocenie, w normowych przedziałach, stopnia „odmytej" powierzchni ziaren kruszywa, które na początku są w całości powleczone asfaltem. Do badania pobrano reprezentatywną próbkę kruszywa o masie 510 g. Zgodnie z normą dla takiej ilości kruszywa potrzebna jest próbka lepiszcza o masie równej 16±0,2 g. Kruszywo, lepiszcze i miska mieszalnika są oddzielnie ogrzewane do temperatury o 25 ℃ wyższej od temperatury referencyjnej ustalonej dla danej mieszanki zgodnie z normą EN 12697-35 [11]. Kruszywo i lepiszcze są mieszane ręcznie w misce mieszalnika aż do osiągnięcia 100 % otoczenia kruszywa lepiszczem. Przygotowany do badania materiał jest przechowywany przez 12-64 h w temperaturze 20±5 ℃, rozłożony na płaskiej powierzchni, pokrytej silikonem, w taki sposób aby uniemożliwić sklejenie się ziaren. Przy przeprowadzaniu właściwego badania zadaje

się prędkość obrotową butelki jako 60 obr/min ±10 %. Na początku badania temperatura wody destylowanej, którą napełniona jest butelka w 50 % ma temperaturę 5±2 ℃. Jako, że temperatura, w jakiej wykonuje się badanie, należy do przedziału 15-25 ℃, to temperatura ta stopniowo rośnie, aż do osiągnięcia temperatury badania. Pierwszą ocenę wzrokową pokrycia kruszywa przeprowadza się po 6 h ±15 min, zaś kolejne po 24 h, 48 h i 72 h. Każda wzrokowa ocena pokrycia asfaltem jest przeprowadzana niezależnie przez dwóch operatorów. Na każdym etapie obliczana jest średnia wartość z wyników uzyskanych przez każdego operatora z trzech porcji próbek (trzech butelek) w zaokrągleniu do 5 %.

Fot 1. Urządzenie do obracania butelek

7.3. Odporność na działanie wody

Badanie odporności mieszanki ma działanie wody wykonano wg PN-EN 12697-12 [3]. Badanie wytrzymałości na rozciąganie pośrednie przeprowadzono na próbkach o średnicy 100 mm wg PN-EN 12697-23 [12]. W trakcie wykonywania badań wykorzystano instrukcję badawczą podaną w załączniku nr 1 do WT-2 2010. Wynikiem badania jest wskaźnik zmiany wytrzymałości podany równaniem:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_W}{ITS_d}$$ Równanie 2

w którym:

ITSR wskaźnik zmiany wytrzymałości,

ITSw wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek mokrych, [kPa]

ITSd wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek suchych, [kPa]

7.4. Koleinowanie (mały aparat)

Badanie odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na deformacje trwałe w małym koleinomierzu przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 12697-22. Odpowiednio obciążone koło, z gumową oponą, porusza się cyklicznie po próbce z mieszanki mineralno-asfaltowej z określoną prędkością. W komorze utrzymywana jest temperatura 60℃. Próbki poddane badaniom mog ą być przygotowane w zagęszczarce walcowej i mieć kształt płyty o wymiarach 260 na 320 mm oraz grubości od 30 do 100 mm, ewentualnie mogą być odwierconymi rdzeniami o średnicy 200 mm. Podczas typowego badania koło dociskane jest do próbki z siłą 700 ± 10 N, temperatura badania wynosi 60℃ ± 1,0℃, a przyrost koleiny jest stale monitor owany, za pomocą elektromagnetycznego czujnika w 35 punktach z dokładnością do 0,01 mm. Wynik oblicza się jako średnią arytmetyczną badania, z co najmniej 2 próbek, o tym samym składzie.

Poniżej przedstawiono aparat do koleinowania użyty w badaniach (fot 2).

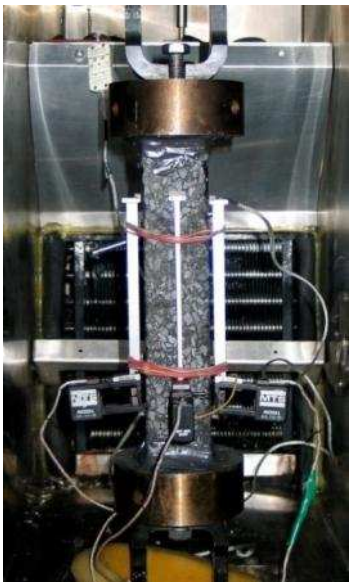
Fot 2. Koleinomierz w IBDiM (mały aparat)

7.5. Odporność na pękanie niskotemperaturowe

Badania odporności na pękanie niskotemperaturowe przeprowadzono metodą TSRST, którego koncepcja została opracowana przez Monismitha i in. [13], później zastosowana przez Fabba [14] i udoskonalona przez Aranda [15], który przeprowadził obszerne badania wpływu składu mieszanki mineralno-asfaltowej na jej odporność niskotemperaturową [16]. We współpracy z Arandem dokonano też po raz pierwszy

oceny właściwości niskotemperaturowych asfaltów drogowych stosowanych w Polsce [17]. Metodyka ta została zaakceptowana w programie badawczym SHARP w USA.

Badania przeprowadzane są zgodnie z normą AASHTO TP10-93 [18] na stanowisku pomiarowym MTS. Próbki do badań mają kształt prostopadłościenny o wymiarach 50 x 50 x 250 mm. Do górnej i dolnej podstawy próbki przykleja się stalowe krążki, które umożliwiają zamocowanie w ramie wytrzymałościowej (Fot. 3). Do bocznych krawędzi próbki mocuje się ekstensometry do pomiaru odkształceń wzdłużnych. Całość zamykana jest w komorze termicznej. Temperatura początkowa badania wynosi 5˚C, a następnie jest obniżana z prędkością 10˚C/h. Zadaniem ramy wytrzymałościowej jest niedopuszczenie do odkształcenia (skurczu) próbki. W takich warunkach w próbce indukowane są termiczne naprężenia rozciągające. Podczas badania rejestrowana jest temperatura, siła rozciągająca oraz odkształcenie. Koniec badania następuje w momencie pęknięcia próbki. Wynikiem badania jest naprężenie przy zniszczeniu oraz temperatura pęknięcia.

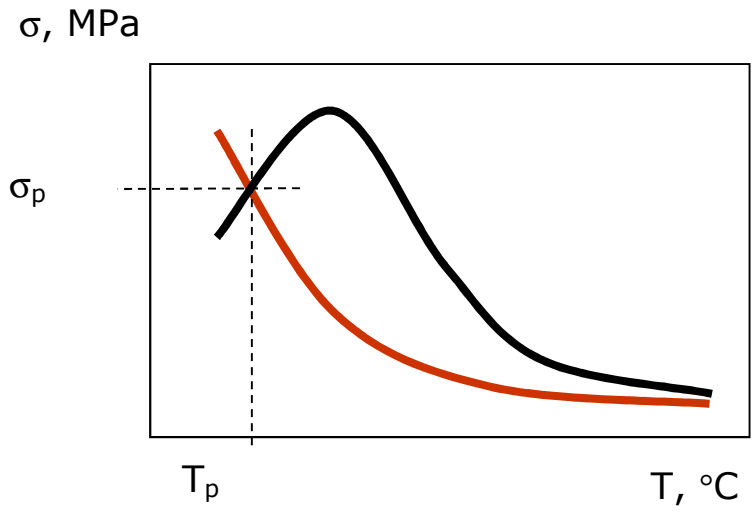


Fot. 3 Umocowanie próbki w badaniu TSRST

Spękania niskotemperaturowe należą do spękań indukowanych termicznie. Obniżenie temperatury do wartości ujemnych powoduje zesztywnienie warstwy, przejście ze stanu lepkoplastycznego w stan kruchy, sprężysty. Pojawiają się wówczas naprężenia rozciągające, których czas relaksacji w warunkach niskich temperatur jest wyraźnie wydłużony. Obniżenie temperatury oraz brak możliwości swobodnych odkształceń powoduje wzrost tych naprężeń. Wytrzymałość mieszanki mineralno-asfaltowej na rozciąganie początkowo rośnie, ale potem zaczyna spadać. W momencie przekrocze-

nia wytrzymałości na rozciąganie przez naprężenia rozciągające dochodzi do powstania spękań poprzecznych warstw nawierzchni (rys. 36).

Z powyższych zależności wynika, że mieszanka mineralno-asfaltowa jest tym bardziej odporna na spękania niskotemperaturowe, im w niższej temperaturze osiąga wytrzymałość na rozciąganie. Pojawienie się pęknięcia na powierzchni nawierzchni przyczynia się do powstania tzw. zjawiska karbu i koncentracji naprężeń oraz następuje propagacja pęknięcia.



Rysunek 36. Schemat przebiegu pękania niskotemperaturowego nawierzchnia

Powyżej, schemat przebiegu pękania niskotemperaturowego nawierzchnia asfaltowej: czerwona linia – naprężenie rozciągające termiczne, czarna linia – wytrzymałość na rozciąganie mieszanki mineralno-asfaltowej, σp – naprężenie niszczące, Tp – temperatura niszcząca

7.6. Sztywność- metoda belki czteropunktowo zginanej

Badanie sztywności przeprowadzono zgodnie z metodą belki czteropunktowo zginanej określoną w normie PN-EN 12697-24 [6]. Metoda polega na cyklicznym, czteropunktowym zginaniu próbki belkowej umieszczonym w aparacie zmęczeniowym przy stałej amplitudzie ugięcia. Podczas badania rejestrowana jest siła, ugięcie belki, kąt przesunięcia fazowego, liczba cykli, obliczana jest sztywność oraz naprężenia i odkształcenia rozciągające. Warunki badania sztywności przyjęto następujące:

temperatura: 10 ℃,

częstotliwość: 10 Hz,

odkształcenie: 50 μmm/mm.

7.7. Trwałość zmęczeniowa- metoda belki czteropunktowo zginanej

Badania zmęczeniowe zostały przeprowadzone wg normy PN-EN 12697-24 [7]. Metoda polega na cyklicznym, czteropunktowym zginaniu próbki belkowej umieszczonym w aparacie zmęczeniowym przy stałej amplitudzie ugięcia. Podczas badania rejestrowana jest siła, ugięcie belki, kąt przesunięcia fazowego, liczba cykli, obliczany jest zespolony moduł sztywności oraz naprężenia i odkształcenia rozciągające. Badanie przeprowadzono w trybie kontrolowanych odkształceń, w temperaturze 10 ℃, przy częstotliwości 10 Hz. Dla potrzeb niniejszej pracy badanie poszczególnych próbek było prowadzone przy ustalonej wartości odkształcenia odpowiadającej wymaganiom trwałości zmęczeniowej określonym w WT-2 2010 (130 μmm/mm). Badanie prowadzone było do osiągnięcia 1 mln cykli obciążenia. Wynikiem badania jest szkoda zmęczeniowa określona następującym równaniem:

$$D = 100 - \frac{E_n}{E_0} \times 100 \quad , \%$$

w którym:
En – moduł sztywności w n-tym cyklu obciążenia, MPa,
n – liczba cykli obciążenia (n = 1 000 000),
E0 – początkowy moduł sztywności, MPa.

Uważa się, że wymaganie trwałości zmęczeniowej jest spełnione, jeśli szkoda zmęczeniowa D nie przekracza 50 %.

8. Badania laboratoryjne

8.1. Wyniki badań archiwalnych IBDiM

Wyniki badań archiwalnych przedstawiono w sprawozdaniu przejściowym z 2011 roku. W podsumowaniu stwierdzono, że mieszanki mineralno-asfaltowe z kruszywem bazaltowym nie mają ITSR niższego niż 80 %, z reguły nie ma problemu z uzyskaniem wyniku ITSR ok. 100 %. Dotyczy to również połączenia kruszywa bazaltowego i innego. Nie ma tu znaczenia przeznaczenie mieszanki mineralno-asfaltowej. Po środku stawki plasują się recepty opracowane na kruszywach amfibolitowych oraz

kwarcytowych. Najniższe wyniki uzyskiwane są na kruszywach wapiennych oraz wapiennych w połączeniu z amfibolitem bądź kwarcytem.

8.2. Badania powinowactwa lepiszczy i kruszyw

Zakres pracy przewidywał sprawdzenie przyczepności asfaltów drogowych 35/50, 50/70 i 45/80-55 do wybranych kruszyw: amfibolitu, bazaltu, dolomitu, gabro, melafiru, wapienia, kwarcytu i granitu. Badania wykonano według PN-EN 12697-11 metodą butelkową (A). Badania przeprowadzono z zastosowaniem różnych środków adhezyjnych oraz bez dodatku środka adhezyjnego w celach porównawczych. Zastosowano 5 rodzajów płynnego środka adhezyjnego: Wetfix BE, Teramin 14, Ad-here, Interlene IN/400L i PE-31. Jako sypki środek adhezyjny zastosowano wapno hydratyzowane. Badania powinowactwa lepiszcza z kruszywem zostało zgodnie z planem przeprowadzone dla par lepiszczy i kruszyw uwzględnionych w receptach do badań ITSR.

Wykonano 56 wariantów z zakresu badań przyczepności, tj.: bazalt, gabro, granit, dolomit, amfibolit, kwarcyt, wapień, melafir razy 6 środków adhezyjnych i w każdym przypadku wariant bez środka adhezyjnego (tablica 43).

Zawartość środka adhezyjnego stanowiła 0,3% w stosunku do asfaltu, natomiast wapno hydratyzowane zastosowano w ilości 1,5% w stosunku do MMA. Ocenę przyczepności przeprowadzono po 6h i 24h.

Tablica 43 Oznakowanie próbek - Przyczepność - metoda butelkowa

Symbol mieszanki									
Asfalt:		45/80-55			50/70			35/50	
Kruszywo:		**BAZALT**	**GABRO**	**GRANIT**	**DOLOMIT**	**AMFIBOLIT**	**KWARCYT**	**WAPIEŃ**	**MELAFIR**
Bez środka adhezyjnego		B	G	GR	D	A	K	W	M
Środki adhezyjne	WETFIX BE	B/W	G/W	GR/W	D/W	A/W	K/W	W/W	M/W
	Teramin 14	B/T	G/T	GR/T	D/T	A/T	K/T	W/T	M/T
	AD-HERE	B/A	G/A	GR/A	D/A	A/A	K/A	W/A	M/A
	INTERLENE IN/400L	B/I	G/I	GR/I	D/I	A/I	K/I	W/I	M/I
	PE-31	B/P	G/P	GR/P	D/P	A/P	K/P	W/P	M/P
	Wapno hydratyzowane	B/WH	G/WH	GR/WH	D/WH	A/WH	K/WH	W/WH	M/WH

Dodatkowo z każdej grupy badanych MMA wytypowano jeden rodzaj kruszywa dla których oznaczono przyczepność wg PN-84 B-06714/22.

Wybrane do badań warianty kruszywo – lepiszcze stanowiły:

- gabro z asfaltem 45/80-55
- kwarcyt z asfaltem 50/70
- melafir z asfaltem 35/50

Do każdego kruszywa zastosowano zamiennie środki adhezyjne: Wetfix BE, Teramin 14, AD-Here, INTERLENE IN/400L, PE-31 w ilości 0,3 % w stosunku do asfaltu oraz wapno hydratyzowane w ilości 1,5 % w stosunku do MMA.

W załączniku 3 przedstawiono szczegółowe wyniki badań przyczepności.

Tablica 44 Przyczepność asfaltu 45/80-55 do kruszyw

Środek adhezyjny:	**wyjściowy**		**0,3% Wetfix BE***		**0,3% TERAMIN***		**0,3% AD-HERE***		**0,3% Interlene***		**0,3% PE-31***		**1,5% Wapno****	
Ocena po	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h
BAZALT 8/11 (45/80-55)														
Symbol	**B**		**B/W**		**B/T**		**B/A**		**B/I**		**B/P**		**B/WH**	
Średnia	83	57	90	69	72	55	68	45	72	35	67	35	69	27
Średnia wg PN-EN	85	55	90	70	70	55	70	45	70	35	65	35	70	25
GABRO 8/11 (45/80-55)														
Symbol	**G**		**G/W**		**G/T**		**G/A**		**G/I**		**G/P**		**G/WH**	
Średnia	60	13	78	35	65	25	63	25	53	5	67	31	57	8
Średnia wg PN-EN	60	15	80	35	65	25	65	25	55	5	65	30	55	10
GRANIT 8/11 (45/80-55)														
Symbol	**GR**		**GR/W**		**GR/T**		**GR/A**		**GR/I**		**GR/P**		**GR/WH**	
Średnia	45	0	82	53	80	47	74	52	54	5	59	8	28	0
Średnia wg PN-EN	**45**	**0**	**80**	**55**	**80**	**45**	**75**	**50**	**55**	**5**	**60**	**10**	**30**	**0**

Tablica 45 Przyczepność asfaltu 50/70 do kruszyw

Środek adhezyjny:	**wyjściowy**		**0,3% Wetfix BE***		**0,3% TERAMIN***		**0,3% AD-HERE***		**0,3% Interlene***		**0,3% PE-31***		**1,5% Wapno****	
Ocena po	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h
DOLOMIT 8/11 (50/70)														
Symbol	**D**		**D/W**		**D/T**		**D/A**		**D/I**		**D/P**		**D/WH**	
Średnia	70	30	64	27	63	33	66	39	65	39	68	43	65	35
Średnia wg PN-EN	**70**	**30**	**65**	**25**	**65**	**35**	**65**	**40**	**65**	**40**	**70**	**45**	**65**	**35**
AMFIBOLIT 8/11 (50/70)														
Symbol	**A**		**A/W**		**A/T**		**A/A**		**A/I**		**A/P**		**A/WH**	
Średnia	70	28	80	63	75	60	75	60	80	56	73	45	65	18
Średnia wg PN-EN	**70**	**30**	**80**	**65**	**75**	**60**	**75**	**60**	**80**	**55**	**75**	**45**	**65**	**20**
KWARCYT 8/11 (50/70)														
Symbol	**K**		**K/W**		**K/T**		**K/A**		**K/I**		**K/P**		**K/WH**	
Średnia	78	5	83	37	71	30	76	43	67	30	72	43	67	2
Średnia wg PN-EN	**70**	**5**	**80**	**35**	**70**	**30**	**75**	**45**	**65**	**30**	**70**	**45**	**65**	**0**

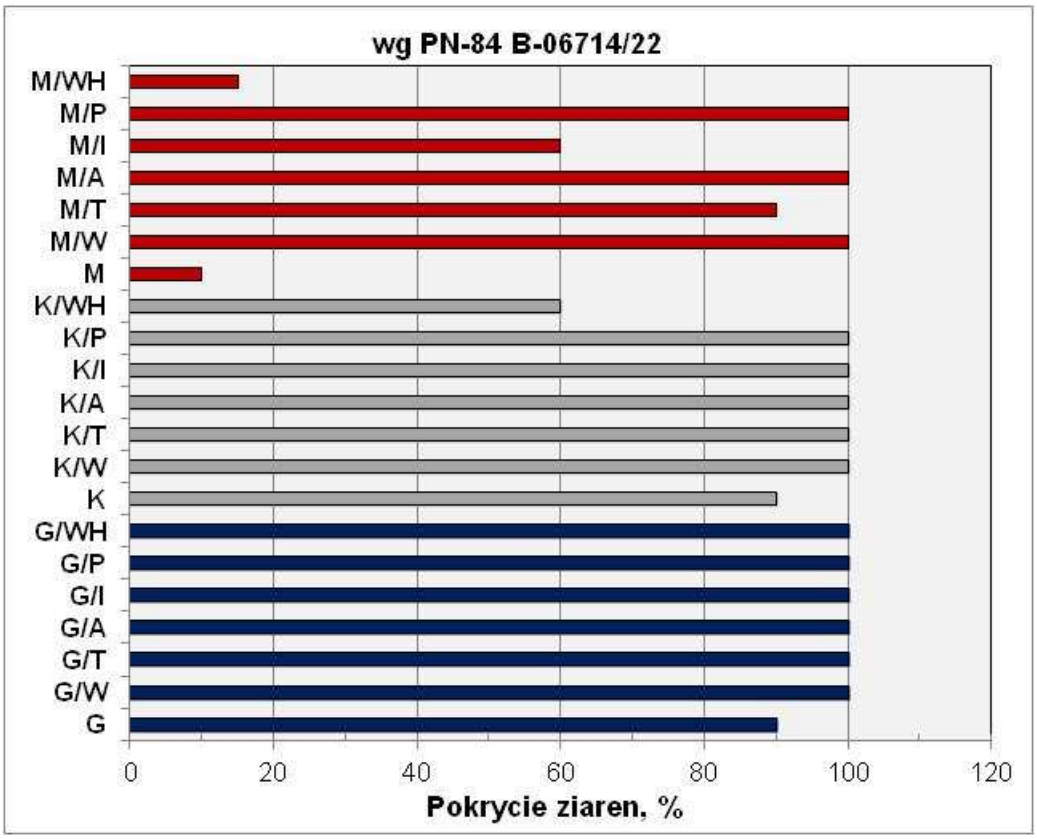
Tablica 46 Przyczepność asfaltu 35/50 do kruszyw

Środek adhe-zyjny:	**wyjściowy**		**0,3% Wetfix BE***		**0,3% TE-RAMIN***		**0,3% AD-HERE***		**0,3% Interlene***		**0,3% PE-31***		**1,5% Wapno****	
Ocena po	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h	6h	24h
WAPIEŃ 8/11 (35/50)														
Symbol	**W**		**W/W**		**W/T**		**W/A**		**W/I**		**W/P**		**W/WH**	
Średnia	70	45	70	53	65	53	70	53	68	48	70	54	73	38
Średnia wg PN-EN	**70**	**45**	**70**	**55**	**65**	**55**	**70**	**55**	**70**	**50**	**70**	**55**	**75**	**40**
MELAFIR 8/11 (35/50)														
Symbol	**M**		**M/W**		**M/T**		**M/A**		**M/I**		**M/P**		**M/WH**	
Średnia	40	0	67	28	65	28	62	25	58	17	65	24	64	0
Średnia wg PN-EN	**40**	**0**	**65**	**30**	**65**	**30**	**60**	**25**	**60**	**15**	**65**	**25**	**65**	**0**

Tablica 47 Przyczepność asfaltu do kruszyw wg PN

Środek adhe-zyjny:	wyjściowy	0,3% Wetfix BE*	0,3% TE-RAMIN*	0,3% AD-HERE*	0,3% Interlene*	0,3% PE-31*	1,5% Wapno**
GABRO 8/11 (45/80-55)							
Symbol	**G**	**G/W**	**G/T**	**G/A**	**G/I**	**G/P**	**G/WH**
Średnia	90	100	100	100	100	100	100
KWARCYT 50/70							
Symbol	**K**	**K/W**	**K/T**	**K/A**	**K/I**	**K/P**	**K/WH**
Średnia	90	100	100	100	100	100	60
MELAFIR 35/50							
Symbol	**M**	**M/W**	**M/T**	**M/A**	**M/I**	**M/P**	**M/WH**
Średnia	10	100	90	100	60	100	15

*) w stosunku do asfaltu
**) w stosunku do MMA



Rysunek 37. Wyniki badań przyczepności wg PN-84B-06714/22

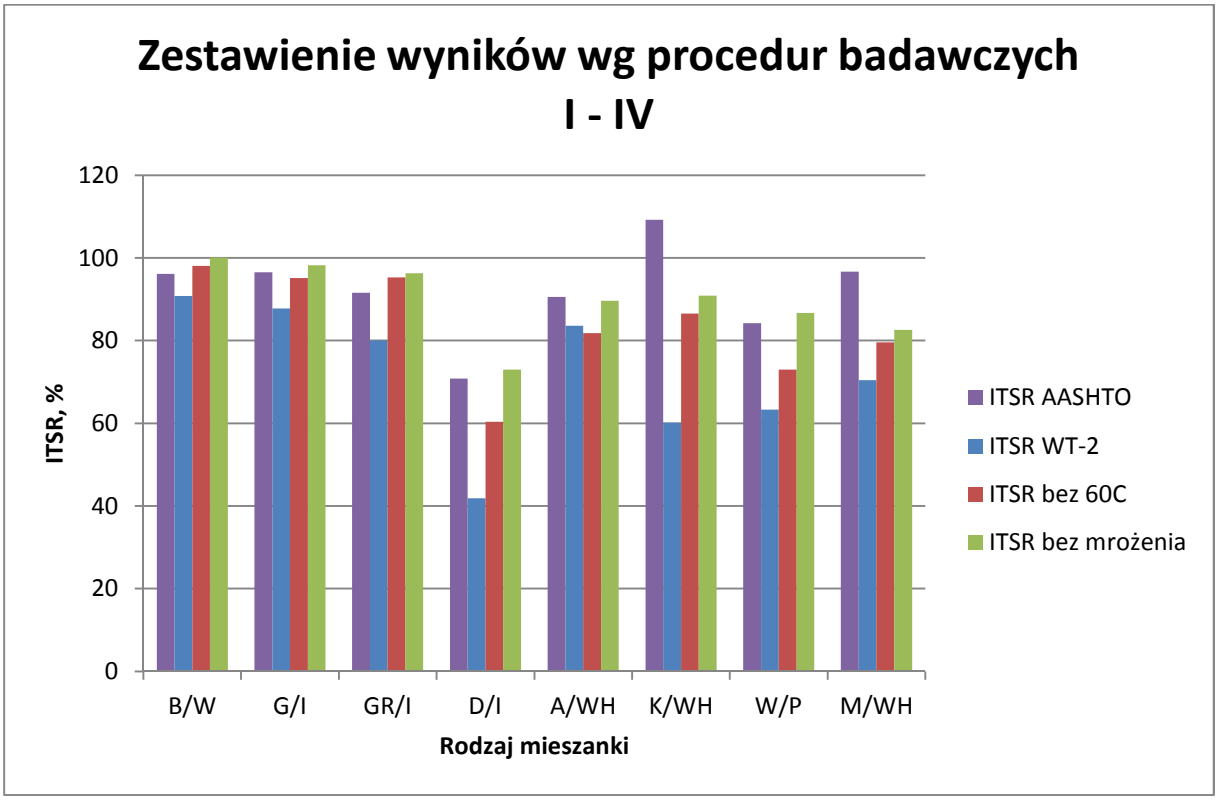
8.3. Wyniki badań wodoodporności – porównanie metod badawczych

W ramach pracy wykonano badania wodoodporności przy wykorzystaniu oryginalnej procedury badawczej wg WT-2 2010 (tabl. 48, wersja II) oraz kilku jej modyfikacji. Wykonanie badań ITSR tej samej mieszanki różnymi metodami miało na celu ustalenie jakie elementy procedury badawczej najbardziej wpływają na rozrzut wyników badań. Modyfikacje polegały na eliminowaniu z procedury badawczej wg WT-2 2010 niektórych etapów kondycjonowania. Pierwsza modyfikacja (tabl. 48, wersja III) polegała na eliminacji termostatowania w wodzie o temperaturze 60 ℃ po cyklu mrożenia w -18 ℃. Czyli bezpośrednio po cyklu mrożenia próbki były kondycjonowane w temperaturze badania, czyli 25 ℃. Kolejna modyfikacja polegała na rezygnacji z cyklu mrożenia (tabl. 48, wersja IV). W tym wydaniu procedura odpowiadała czystej procedurze normowej wg PN-EN 12697-12:2008. Ostatnim wariantem badawczym (tabl. 48, wersja V) było badanie ITSR według procedury WT-2 2010 ale w temperaturze 15 ℃. Przeprowadzono również, badania tych samych mieszanek mineralno-asfaltowych przy zastosowaniu procedury badawczej zgodnej z AASHTO T283-89 (tabl. 48, wersja I). W tablicy 48 zestawiono metodologię badań zrealizowanych w ramach pracy.

Tablica 48 Warianty metodologii badania ITSR

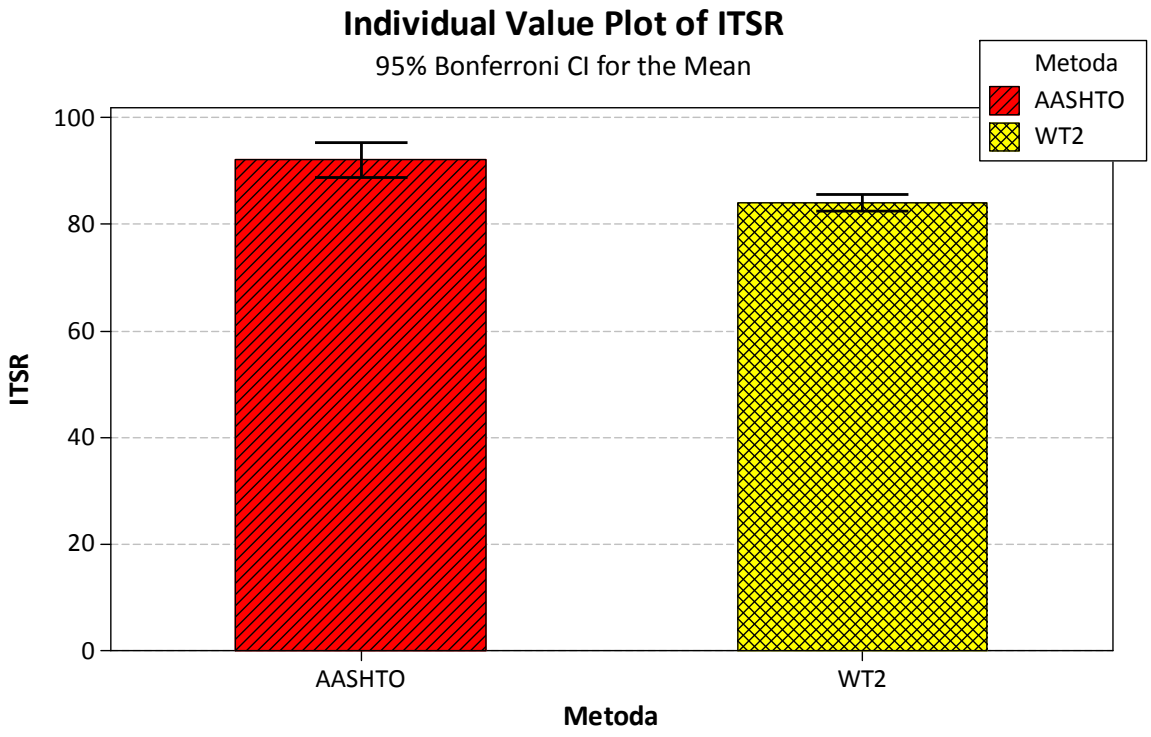
Wersja	Starzenie krótkotermi-nowe mm-a	Energia zagęszcza-nia	Nasącza-nie próż-niowe	Kondycjonowanie			Temperatura badania
				40 ℃	-18 ℃	60℃	
I AASHTO	Tak	Odpowiednia do uzyskania próżni 7 ±1 %	od 34 do 88 kPa (do uzyskania nasączenia 55-80%)	Nie	Tak	Tak	25 ℃
II WT-2 2010	2 h w tempera-turze zagęsz-czania lub brak w przypadku mm-a z WMB	2×35 ud.	6,7 kPa	Tak	Tak	Tak	25 ℃
III	2 h w tempera-turze zagęsz-czania lub brak w przypadku mm-a z WMB	2×35 ud.	6,7 kPa	Tak	Tak	Nie	25 ℃
IV	2 h w tempera-turze zagęsz-czania lub brak w przypadku mm-a z WMB	2×35 ud.	6,7 kPa	Tak	Nie	Nie	25 ℃
V	2 h w tempera-turze zagęsz-czania lub brak w przypadku mm-a z WMB	2×35 ud.	6,7 kPa	Tak	Tak	Tak	15 ℃

W pierwszej kolejności przedstawiono porównanie wartości uzyskanych według wariantu I-IV. Do badań wytypowano mieszanki mineralno-asfaltowe B/W, G/I, GR/I, D/I, A/WH, K/WH, W/P i M/WH, czyli po jednej mieszance z każdym rodzajem kruszywa. Wybór konkretnej pary środek adhezyjny – kruszywo podyktowany był uzyskaniem przez daną mieszankę najniższego wyniku badania ITSR według WT-2 2010. Zestawienie wyników badań przedstawiono na rysunku 38.



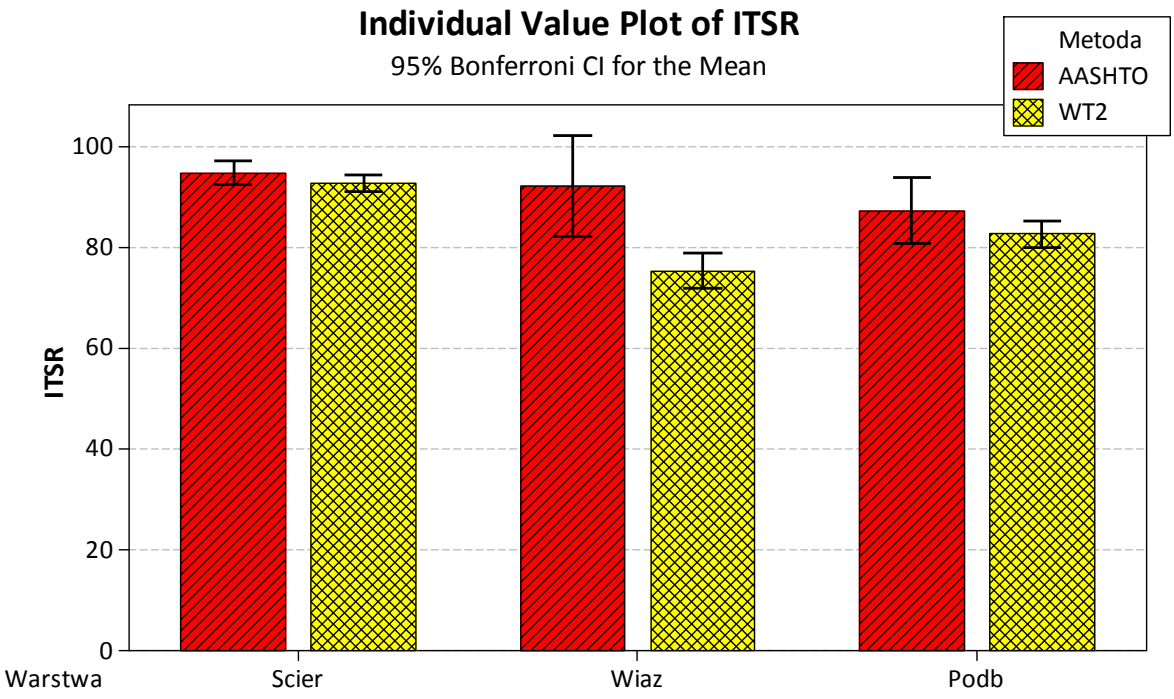
Rysunek 38. Zestawienie wyników badań uzyskanych różnymi metodami

Z zestawienia wynika, że każdorazowo badanie według metody AASHTO przynosiło wyższe wartości ITSR niż metoda wg WT-2 2010. Po uśrednieniu i analizie wszystkich wartości według metody AASHTO i WT-2 2010 stwierdzono, że występowała istotna różnica pomiędzy populacją wyników (rysunek 39), gdyż hipoteza zerowa została odrzucona.



Rysunek 39. Porównanie wyników badań wg AASHTO i WT-2 2010

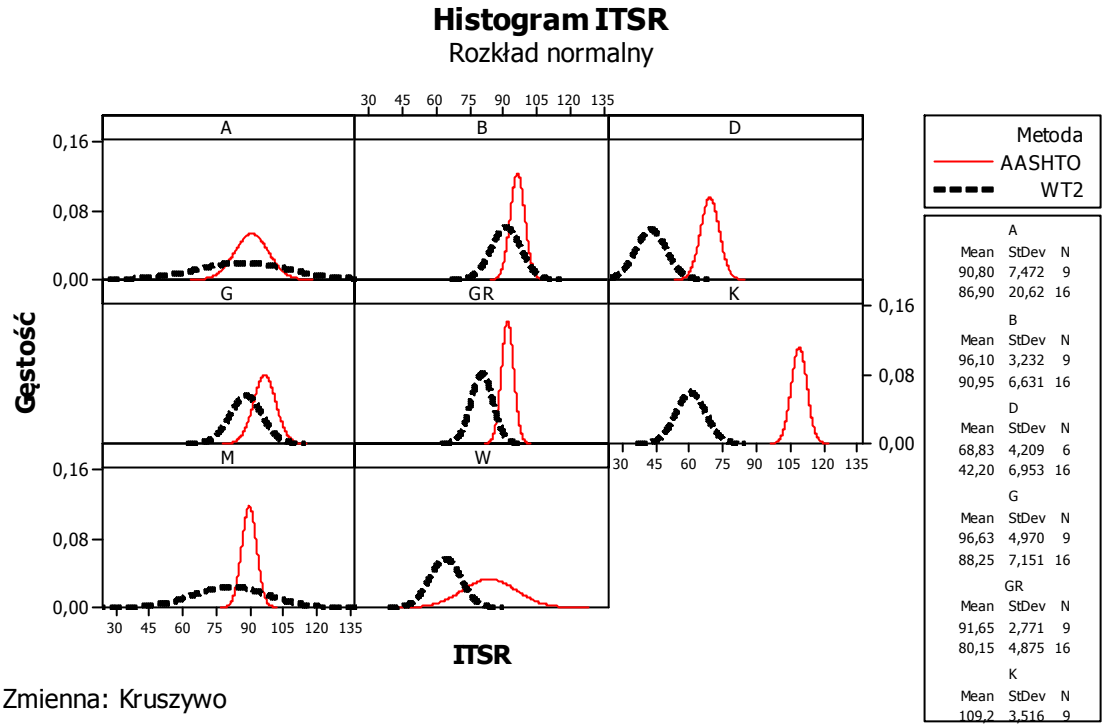
Podobne spostrzeżenia uzyskano porównując wyniki badań wg AASHTO i WT-2 2010 przy podziale na warstwy, przy czym nie wszystkie różnice były istotne statystycznie (rysunek 40).



Rysunek 40. Porównanie wyników badań wg AASHTO i WT-2 2010 w rozbiciu na warstwy

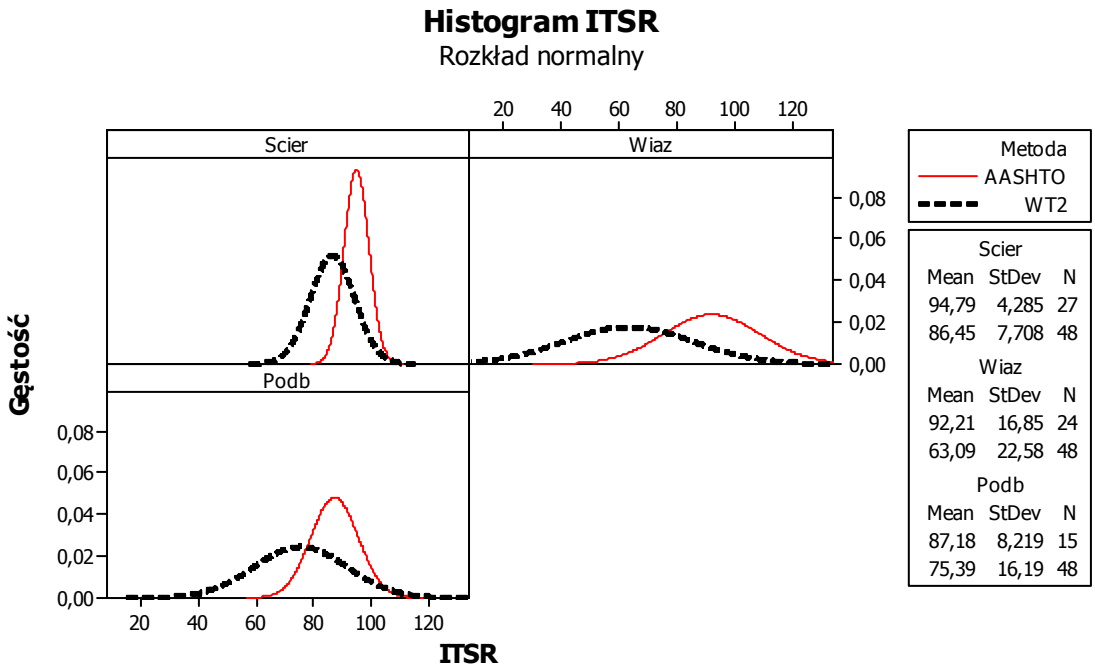
Podczas analizy wyników uzyskano ciekawe spostrzeżenie odnośnie rozrzutu wyników składowych ITSd i ITSw wpływających na wynik ITSR. W przypadku metody według AASHTO wyniki składowe ITSd i ITSw miały mniejszy rozrzut niż w metodzie według WT-2 2010. Obrazują to wykresy przedstawione na rysunku 41 i 42, przy czym wykresy wyższe i węższe reprezentują mniejszy rozrzut wyników, natomiast wykresy niższe i szersze oznaczają większy rozrzut wyników składowych.

Fakt ten można wyjaśnić analizując poszczególne wyniki badań ITSd oraz ITSw. Wyniki te w ramach metody według AASHTO przeważnie charakteryzowały się mniejszymi rozrzutami wartości, natomiast metoda WT-2 2010 przynosiła większy rozrzut pojedynczych wartości. Różnicę tą można tłumaczyć większą dbałością o próbkę i jej stan podczas nasączania próżniowego oraz wyższe ciśnienie próżni w przypadku metody AASHTO.



Zmienna: Kruszywo

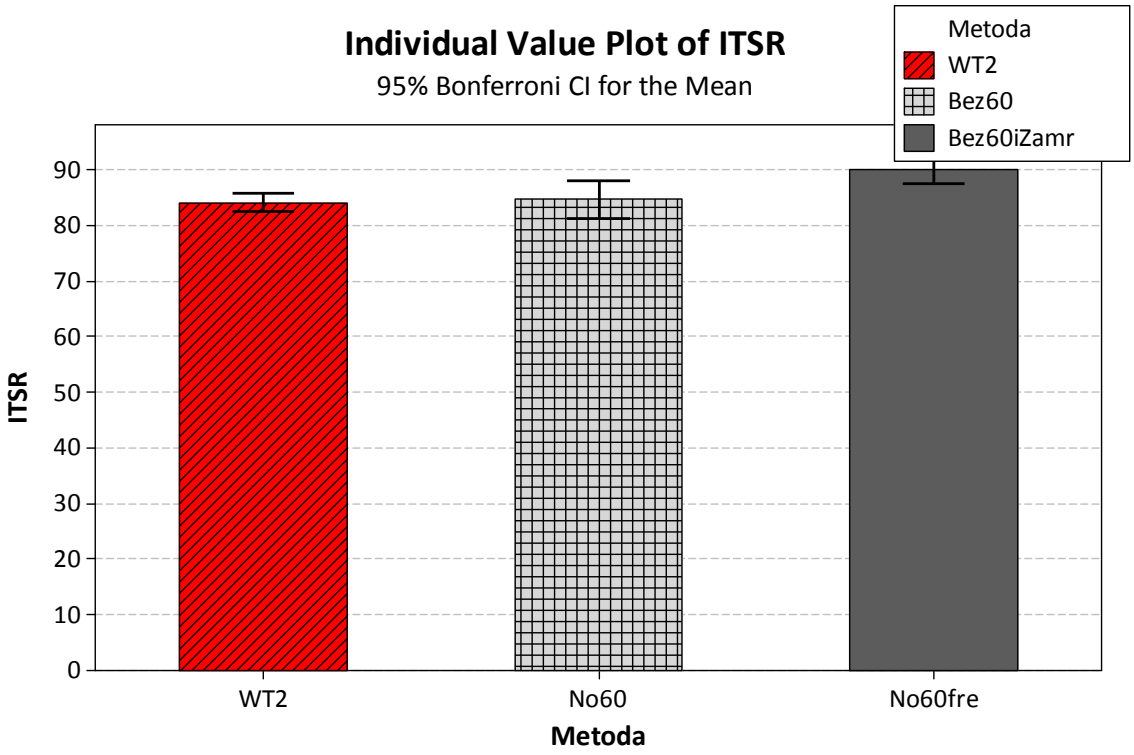
Rysunek 41. Histogram składowych wyników badań wg AASHTO i WT-2 2010 w rozbiciu na rodzaj kruszywa zaprezentowany w postaci wyników ITSR



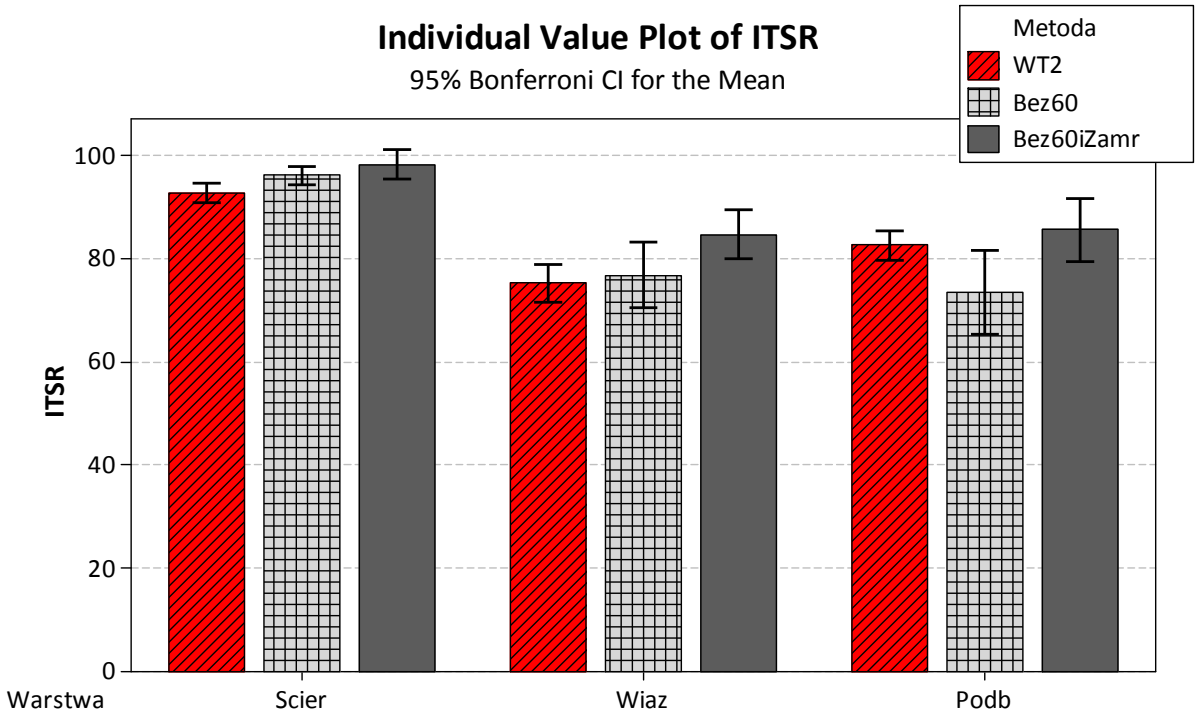
Zmienna: Warstwa

Rysunek 42. Histogram składowych wyników badań wg AASHTO i WT-2 2010 w rozbiciu na warstwę zaprezentowany w postaci wyników ITSR

Kolejnym spostrzeżeniem była poprawa wodoodporności wraz pomijaniem poszczególnych etapów kondycjonowania próbek z zestawu mokrego, tj. kondycjonowania w 60 ℃ oraz cyklu mro żenia (warianty II-IV). Z reguły większy wzrost wyniku ITSR obserwowano przy pominięciu termostatowania w 60 ℃ ni ż rezygnacji z cyklu mrożenia. Różnice wynikające z metodologii badania II-IV przedstawiono na rysunku 43 i 44.

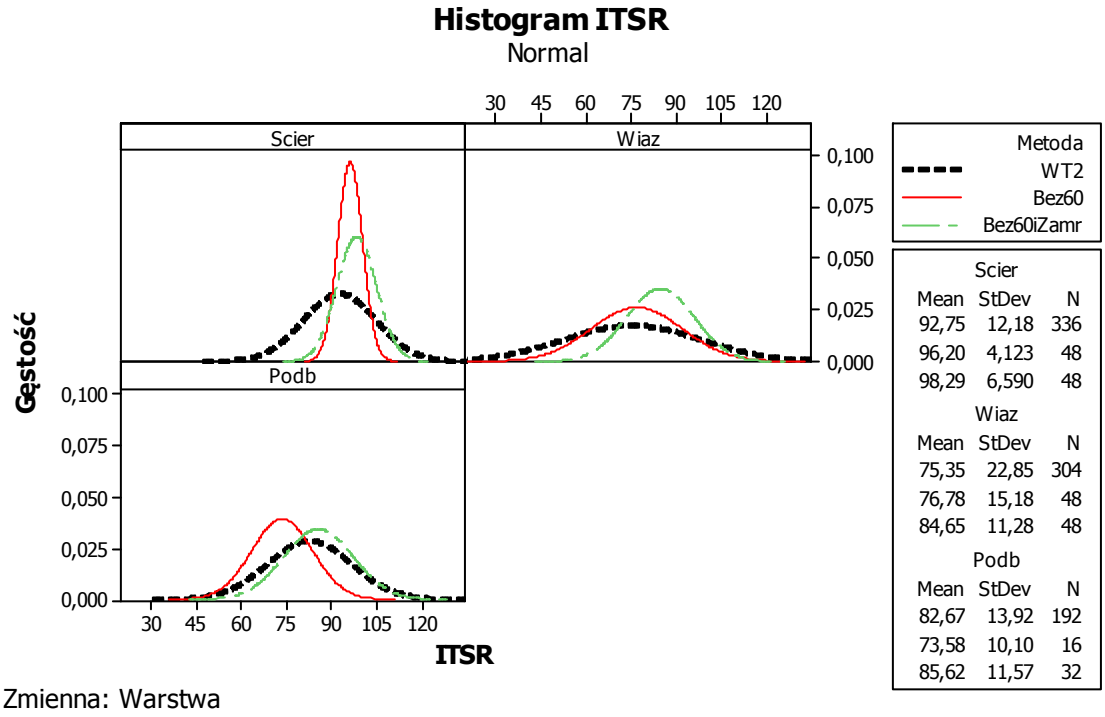


Rysunek 43. Różnice średnich wartości ITSR z podziałem na metodę badania II-IV



Rysunek 44. Różnice średnich wartości ITSR z podziałem na metodę badania II-IV oraz warstwę

Zaobserwowano również, że badanie według WT-2 2010 przynosi największy rozrzut wyników badań, a wraz z rezygnacją z kondycjonowania próbek w wodzie o temperaturze 60 ℃ oraz całkowitą rezygnacją z cyklu mrożenia, rozrzut wyników składowych ITSR zmniejszał się. Obrazuje to rysunek 45.



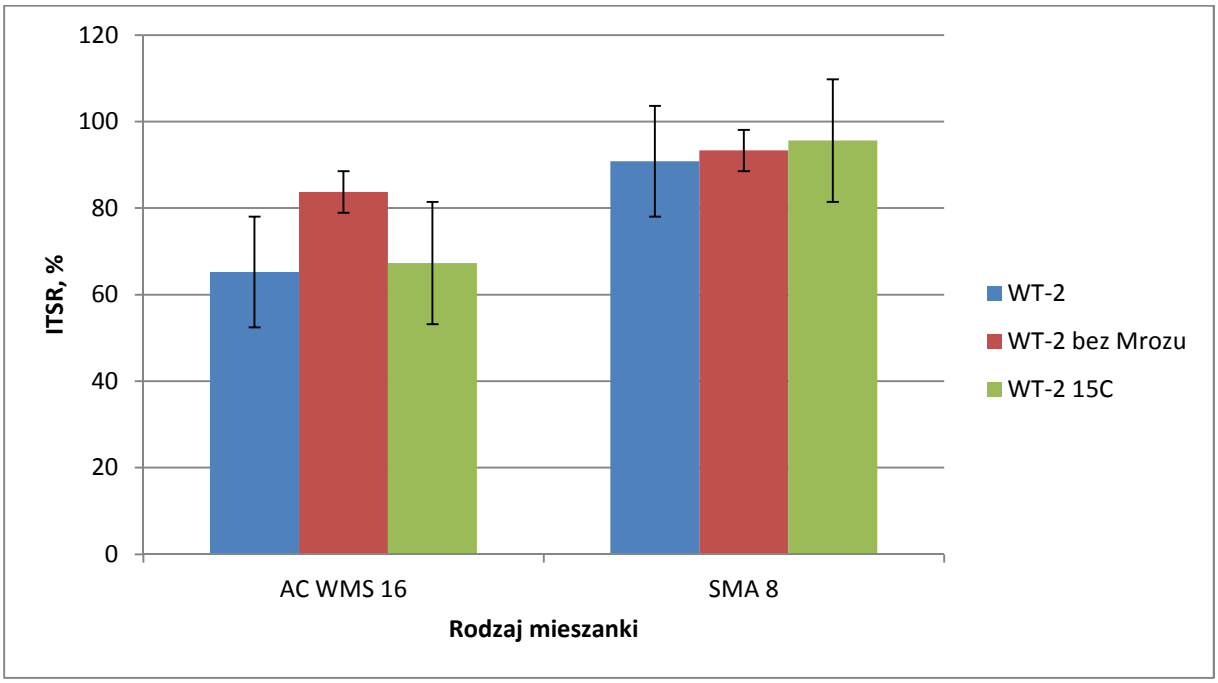
Rysunek 45. Histogramy ITSR w podziale na metodę badania II-IV oraz warstwę

Do analizy rozrzutów wyników badań odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody i mrozu w kontekście różnych metod badawczych wykonano również badania wg wymagań normy PN-EN 12697-12:2008, tj. bez cyklu zamrażania, a oznaczenie ITSR przeprowadzono w 25 ℃, czyli w tem peraturze zalecanej w normie. Następnie procedurę powtórzono dodając cykl mrożenia zgodny z WT-2 2010, a oznaczenie ITSR wykonano w temperaturze 15 ℃. Osta tnim wariantem były badania ITSR z cyklem mrożenia wg WT-2 2010, ale oznaczenie ITSR wykonano w 25 ℃.

Każdorazowo przygotowywano po 10 próbek w serii. Próbki podzielono na zestaw suchy i mokry zgodnie z zasadą minimalizacji różnicy średnich gęstości objętościowych z obu zestawów, czyli zgodnie z procedura zaproponowaną w punkcie 6.2.3. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tablicy 49 oraz rysunku 46.

Tablica 49 Podsumowanie wyników badań ITSR z zastosowaniem różnych warunków kondycjonowania i temperatur badania

Rodzaj mieszanki	Metoda			Zbadana właściwość		
	Norma	Temp. bad. ℃	Cykl mrożenia wg WT-2 2010	ITSd kPa	ITSw kPa	ITSR %
AC WMS 16	PN-EN	25	nie	2063,9	1727,8	83,7
AC WMS 16	PN-EN	15	tak	3005,4	2022,5	67,3
AC WMS 16	PN-EN	25	tak	1921,7	1252,6	65,2
SMA 8	PN-EN	25	nie	1130,3	1055,0	93,3
SMA 8	PN-EN	15	tak	1983,7	1897,4	95,6
SMA 8	PN-EN	25	tak	1106,4	1005,1	90,8



Rysunek 46. Różnice wartości ITSR z podziałem na metodę badania II, IV i V oraz rodzaj mieszanki

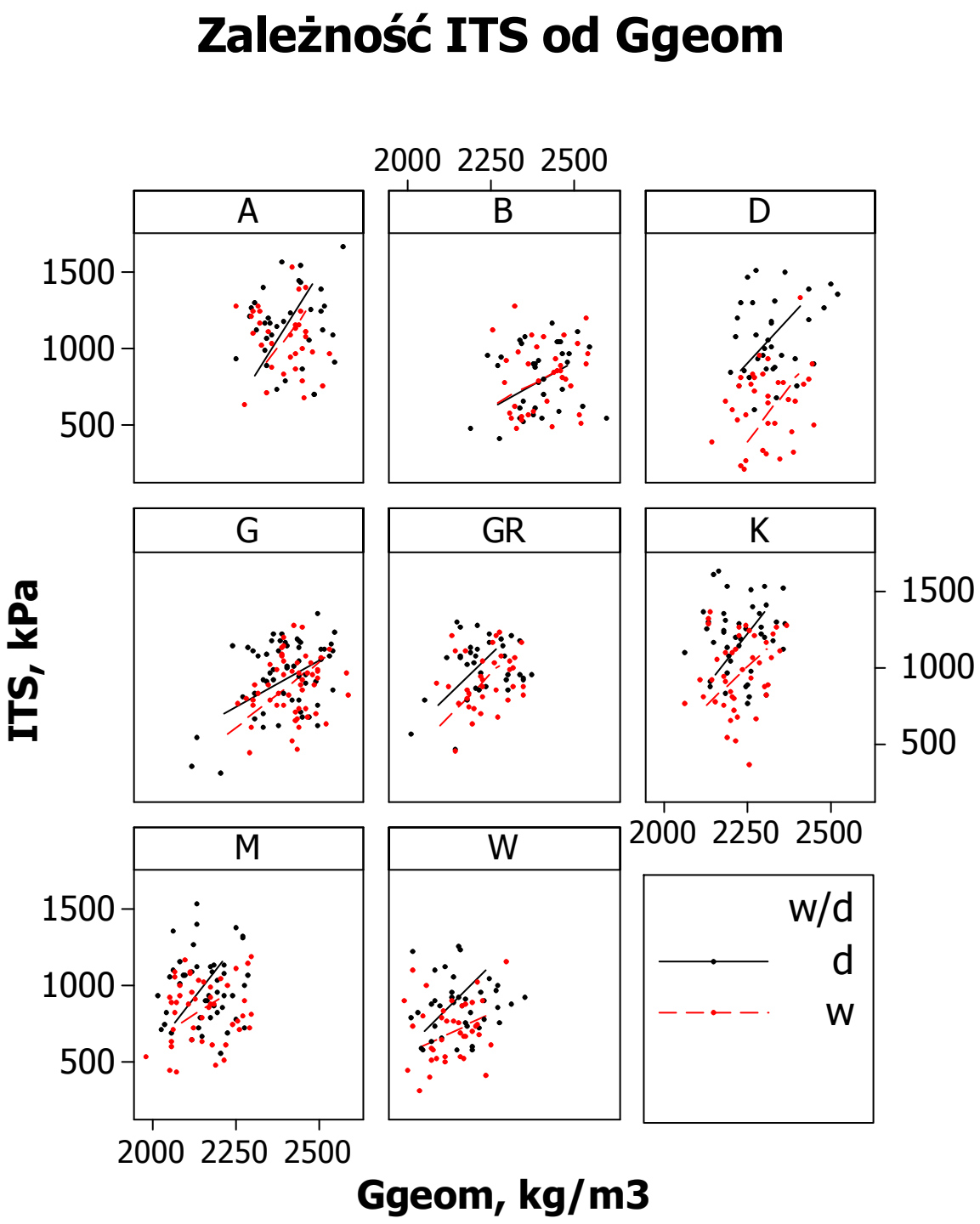
Kolejnym etapem analizy było selektywny wybór wyników badań. Jak już wspomniano, badania przeprowadzono na 10 próbkach w serii, czyli zestaw suchy i mokry składał się z 5 próbek. Analizę przeprowadzono na przykładzie mieszanki AC WMS 16 w temperaturze badania 25 ℃ i z cyklem zamrażania. Analiza polegała na odrzuceniu skrajnych wyników ITSR z zestawu suchego i mokrego. W wersji $ITSR_{min}$ odrzucono dwa wyniki maksymalne z zestawu mokrego oraz dwa wyniki minimalne z zestawu suchego. W wersji $ITSR_{max}$ na odwrót, czyli odrzucono 2 wyniki minimalne z zestawu

mokrego oraz 2 wyniki maksymalne z zestawu suchego. Uzyskano w ten sposób symulację przypadku, w którym laboratorium przygotowałoby jedynie 3 próbki na zestaw suchy i 3 próbki na zestaw mokry. Można przyjąć, że jest zarówno prawdopodobne uzyskanie wyniku określonego jako minimalny, jak i maksymalny. Różnica między kombinacją wyników w ramach jednej serii próbek wynosi ponad 10 % ITSR. Wyniki analizy przedstawiono w tablicy 48.

Tablica 50 Szczegółowa analiza wyniku badania ITSR AC WMS 16 w 25 ℃ z cyklem zamrażania wg WT-2 2010

ITS_w	ITS_d	$ITSR_{średnie}$	$ITSR_{min}$	$ITSR_{max}$
kPa	kPa	%	%	%
1225,1		1225,1	1225,1	1225,1
1389,6		1389,6		1389,6
1376,3		1376,3		1376,3
1124,2		1124,2	1124,2	
1148,0		1148,0	1148,0	
	1972,2	1972,2	1972,2	
	1860,6	1860,6		1860,6
	1883,9	1883,9		1883,9
	1896,1	1896,1	1896,1	1896,1
	1995,6	1995,6	1995,6	
1252,6	**1921,7**	**65,2**	**59,6**	**70,8**

W kolejnym etapie analizy sprawdzono jaki parametr najbardziej wpływa na rozrzut wyników składowych ITSd oraz ITSw, które bezpośrednio wpływają na wartość ITSR. Z analizy wynikało, że istotny wpływ na odchyłki obu wartości ITS mają cechy geometryczne próbki. Jednorodność cech geometrycznych próbek wynika z energii zagęszczania, sposobu ułożenia ziaren kruszywa przed zagęszczaniem i ogólnie jednorodności mieszanki. Geometria próbki reprezentowana jest przez wysokość oraz średnicę. Pośrednim parametrem wynikającym z geometrii próbki, ale uwzględniającym obydwie cechy jest gęstość objętościowa geometryczna $\rho_{b,ssd}$ próbki. Wynik analizy gęstości objętościowej geometrycznej w funkcji ITSw i ITSd dla różnych kruszyw przedstawiono na rysunku 47.

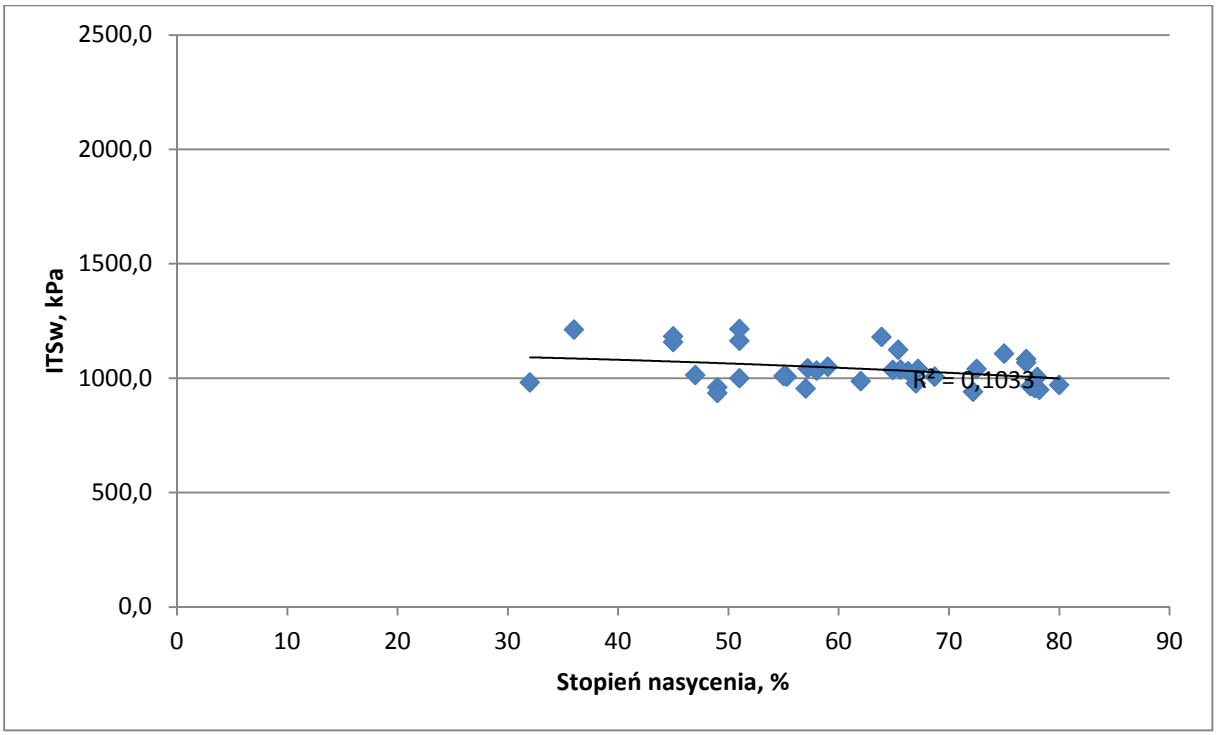


Zmienna: Kruszywo

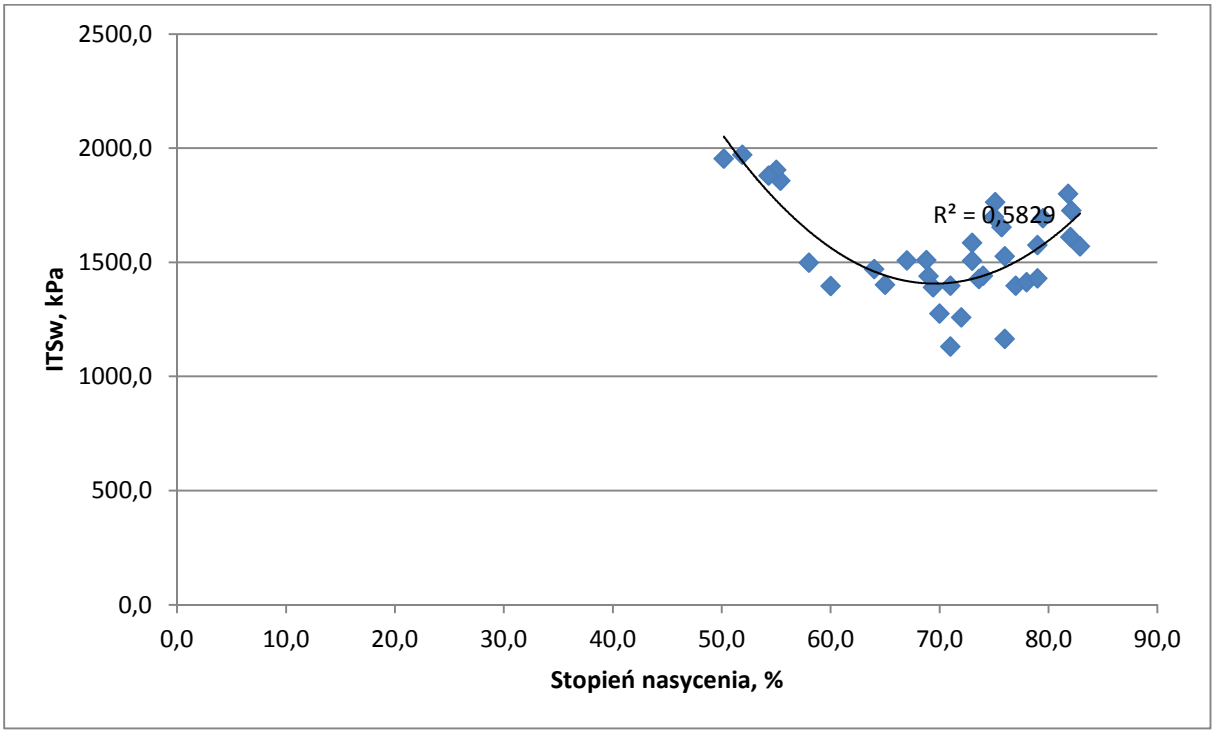
Rysunek 47. Różnice wartości ITSR z podziałem na metodę badania II, IV i V oraz rodzaj mieszanki

Analiza statystyczna regresji wykazała każdorazowo występowanie silnej korelacji między wartością ITSd (dane czarne) / ITSw (dane czerwone) a gęstością objętościową geometryczną. Korelacja ta była różna dla różnych kruszyw, ale indywidualne modele wykazywały liniową zależność. Wniosek z tej analizy jest taki, że żeby uzyskać bardziej jednorodne wyniki, należy zadbać, aby próbki przygotowywane były w sposób zapewniający powtarzalność wymiarów. Należy zatem oprócz normowych wymagań stosować dodatkową ocenę gęstości objętościowej geometrycznej, bądź ocenę wymiarów próbek.

Na zakończenie analizy wzięto pod uwagę wyniki badań stopnia nasycenia próbek wodą. Dane do tej analizy pochodziły z III tury badań międzylaboratoryjnych ITSR wykonanych według ujednoliconej procedury. Na rysunku 48 przedstawiono wyniki porównania parametru ITSw ze stopniem nasycenia dla mieszanki SMA, a na rysunku 49 przedstawiono takie samo zestawienie z tym, że dla mieszanki AC WMS.



Rysunek 48. Zależność ITSw od stopnia nasycenia próbki dla mieszanki SMA



Rysunek 49. Zależność ITSw od stopnia nasycenia próbki dla mieszanki AC WMS

W przypadku mieszanki SMA uzyskano zależność niemalże liniową, jednak o niskim stopniu korelacji. W przypadku AC WMS korelacja była nieco większa. Uzyskano minimum ITSw przy stopniu nasycenia próbek około 70 %. Normowy zakres 55 – 80 % przewidziany w AASHTO T283 potwierdza, że wato kontrolować ten parametr w celu uzyskania powtarzalnych wyników.

Podsumowując przeprowadzoną analizę, należy stwierdzić, że:

- metoda badania ITSR według AASHTO, traktowana jako referencyjna, potwierdziła uzyskiwanie mniejszych rozrzutów wyników badań oraz wyższych wartości ITSR niż według WT-2 2010,
- dodatkowa procedura kondycjonowania próbek według WT-2 2010 obniża wartości ITSR (w odniesieniu do metody według AASHTO oraz PN-EN 12697-22) oraz wprowadza nieco większy rozrzut wyników poszczególnych badań,
- stwierdzono wpływ geometrii próbki (poprzez gęstość objętościową geometryczną) na wynik badania rozciągania pośredniego ITSd i ITSw i zalecono kontrolowanie tego parametru do uzyskania lepszej jednorodności wyników,
- analiza kombinacji wyboru próbek z zestawu suchego i mokrego branych do obliczeń wykazała rozbieżności rzędu ±5 % od wartości średniej ze wszystkich próbek; zatem różnica 5 % dla pojedynczego oznaczenia ITSR jest nieistotna,
- kontrolowanie stopnia nasycenia poprawi powtarzalność wyników badań.

8.4. Wyniki badań wodoodporności – porównanie różnych mieszanek

Odporność na działanie wody określono zgodnie z WT-2 2010 oraz PN-EN 12697-12 [19] w temperaturze 25˚C na próbkach o średnicy (100±3) mm, zagęszczonych przez ubijanie wg PN-EN 12697-30 [20] (2x35 uderzeń na stronę). Do badań przeznaczono 8 próbek, które podzielono na dwie grupy:

grupa A – próbki pielęgnowane
grupa B – próbki suche

Próbki suche przechowuje się w temperaturze pokojowej bez termostatowania. Natomiast próbki pielęgnowane kondycjonuje się w wodzie w podwyższonej temperaturze, zamraża i ponownie kondycjonuje w wodzie. Po kondycjonowaniu określana jest wytrzymałość na rozciąganie pośrednie zgodnie z PN-EN 12697-23 [21]] i obliczony jest wyrażony procentowo wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ITSR. Szczegółowe wyniki badań zestawiono w załączniku 4.

Tablice 11-13 zawierają zbiorcze zestawienie wyników badań wodoodporności, natomiast szczegółowe wyniki badań oraz graficznie zilustrowanie zawarto w załączniku 4. Rysunki. 4-6 zawierają wyniki poszczególnych badanych grupach ze wskazaniem poziomu wymagań. Rysunki 7-9 przedstawiają poziom ITSR w poszczególnych grupach kruszyw z uwzględnieniem różnych środków adhezyjnych. W tablicy 14 przedstawiono dodatkowo wykonane badania wodoodporności uwzględniające wysokości próbek.

Zależności ITS (próbki pielęgnowane ‘w’, próbki suche ‘s’) od wysokości próbek zawierają rysunki 50-53.

Tablica 51 Wyniki odporności na działanie wody (SMA11 S) – zestawienia zbiorcze

Próbki	Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, kPa		ITSR, %
	ITS_W	ITS_S	
	Próbki pielęgnowane	Próbki suche	
SMA11 S (45/80-55) BAZALT			
B/W	803,142	884,723	**90,8**
B/T	831,778	820,861	**101,3**
B/A	804, 145	787,173	**102,2**
B/I	780,011	827,050	**94,3**
B/P	838,435	744,341	**112,6**
B/WH	830,253	921,809	**111,0**
SMA11 S (45/80-55) GABRO			

G/W	818,505	919,303	**89,0**
G/T	841,532	878,658	**95,8**
G/A	809,475	874,853	**92,5**
G/I	834,153	949,557	**87,8**
G/P	980,305	886,976	**110,5**
G/WH	1016,409	969,289	**104,9**
SMA11 S (45/80-55) GRANIT			
GR/W	869,069	1063,793	**81,7**
GR/T	897,890	1063,487	**84,4**
GR/A	916,174	1037,374	**88,3**
GR/I	787,522	983,858	**80,0**
GR/P	894,778	1060,509	**84,4**
GR/WH	966,560	1129,049	**85,6**

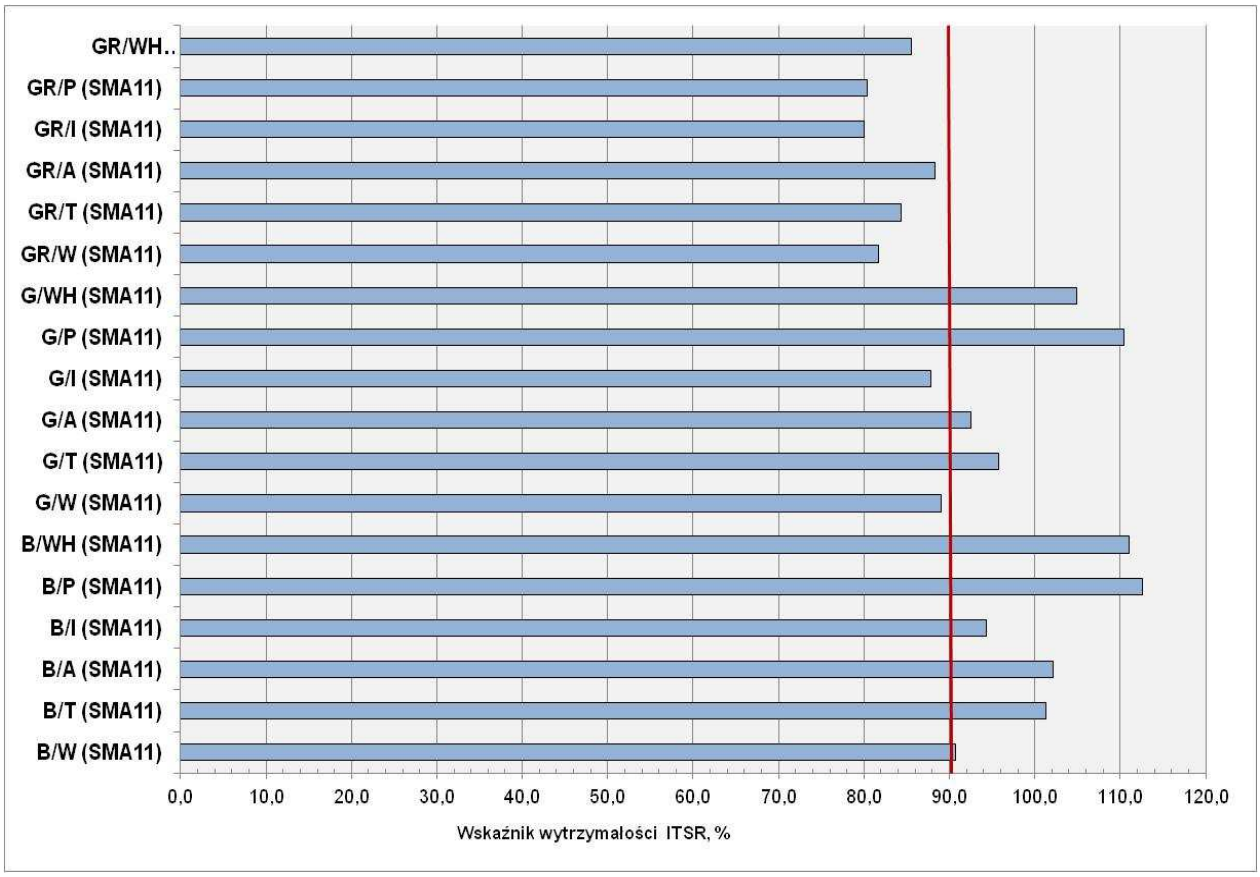
Tablica 52 Wyniki odporności na działanie wody (AC16 W) – zestawienia zbiorcze

Próbki	**Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, kPa**		**ITSR, %**
	ITS_W	**ITS_S**	
	Próbki pielęgnowane	Próbki suche	
AC16 W (50/70) DOLOMIT			
D	395,766	1011,988	**39,1**
D/W	470,367	1073,176	**43,8**
D/T	497,182	929,889	**53,5**
D/A	536,440	1038,424	**51,7**
D/I	461,129	1099,752	**41,9**
D/P	628,027	1096,024	**57,3**
D/WH	616,927	1129,236	**54,6**
AC16 W (50/70) AMFIBOLIT			
A/W	1083,943	1134,285	**95,6**
A/T	906,040	930,440	**97,4**
A/A	1169,103	1102,833	**106,0**
A/I	1035,438	1113,716	**93,0**
A/P	934,028	1013,890	**99,4**
A/WH	1006,526	1200,918	**83,6**
AC16 W (50/70) KWARCYT			
K	678,902	1083,166	**62,7**
K/W	842,706	1056,473	**79,8**
K/T	915,792	1138,522	**80,4**
K/A	1015,830	1062,920	**95,6**
K/I	1041,523	1256,421	**82,9**

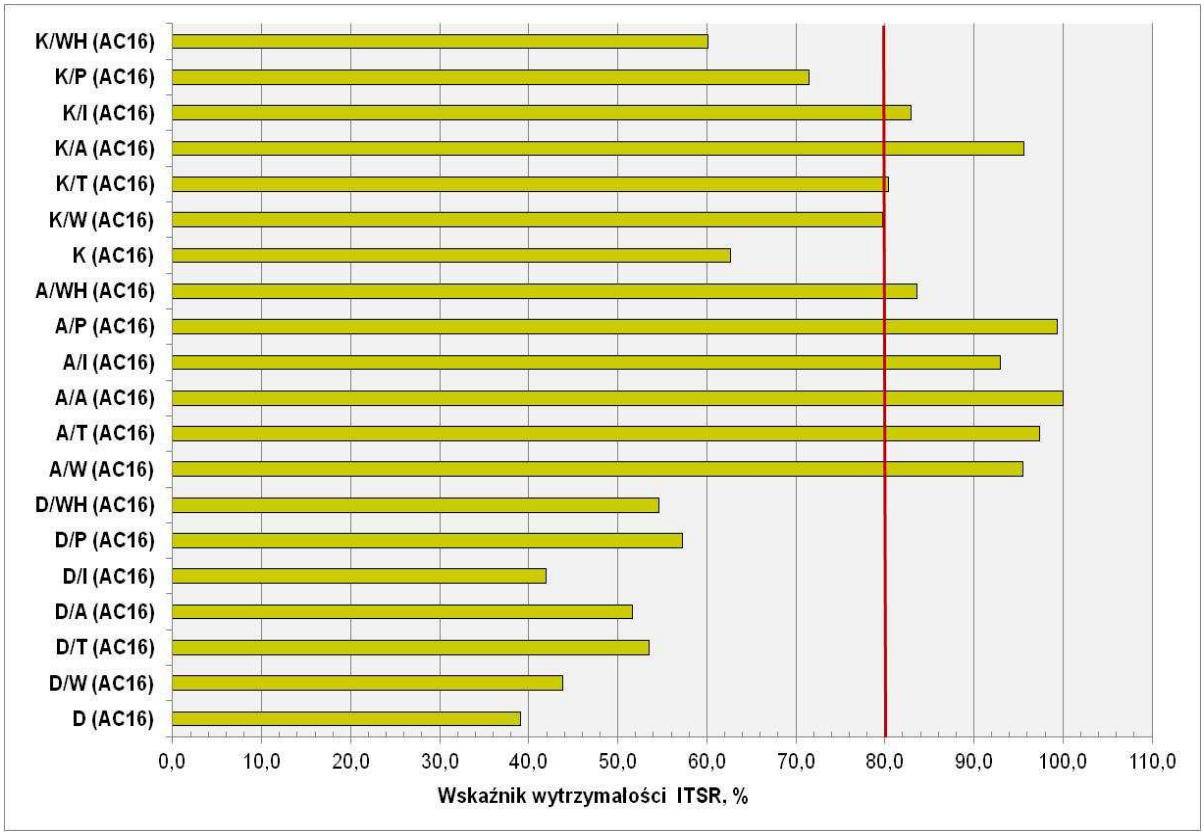
K/P	918,796	1284,702	**71,5**
K/WH	833,936	1388,042	**60,1**

Tablica 53 Wyniki odporności na działanie wody (AC22 P) – zestawienia zbiorcze

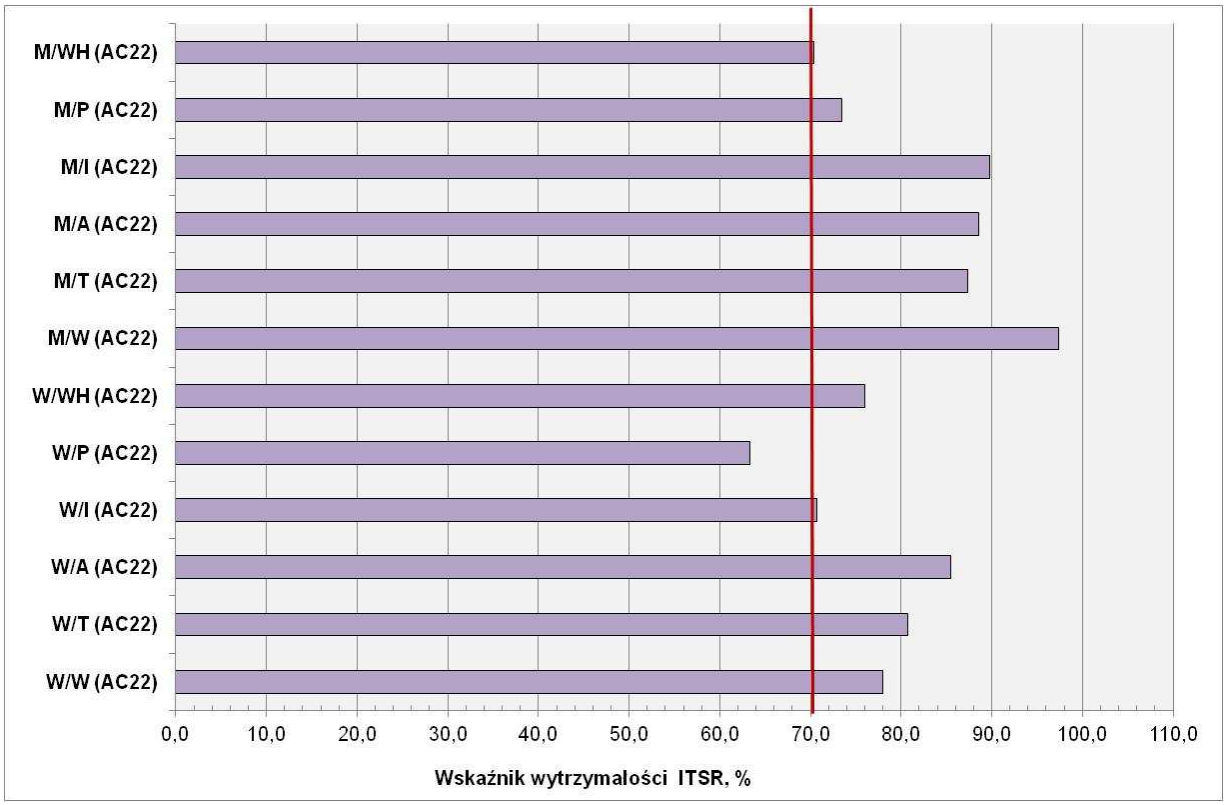
Próbki	**Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, kPa**		**ITSR, %**
	ITS_W	**ITS_S**	
	Próbki pielęgnowane	Próbki suche	
AC16 W (50/70) WAPIEŃ			
W/W	650,286	833,671	**78,0**
W/T	645,810	799,521	**80,8**
W/A	768,416	899,106	**85,5**
W/I	606,992	858,084	**70,7**
W/P	626,880	990,739	**63,3**
W/WH	711,544	936,234	**76,0**
AC16 W (50/70) MELAFIR			
M/W	884,864	908,897	**97,4**
M/T	849,091	972,559	**87,3**
M/A	870,338	982,650	**88,6**
M/I	852,474	949,110	**89,8**
M/P	715,181	973,533	**73,5**
M/WH	702,862	997,976	**70,4**



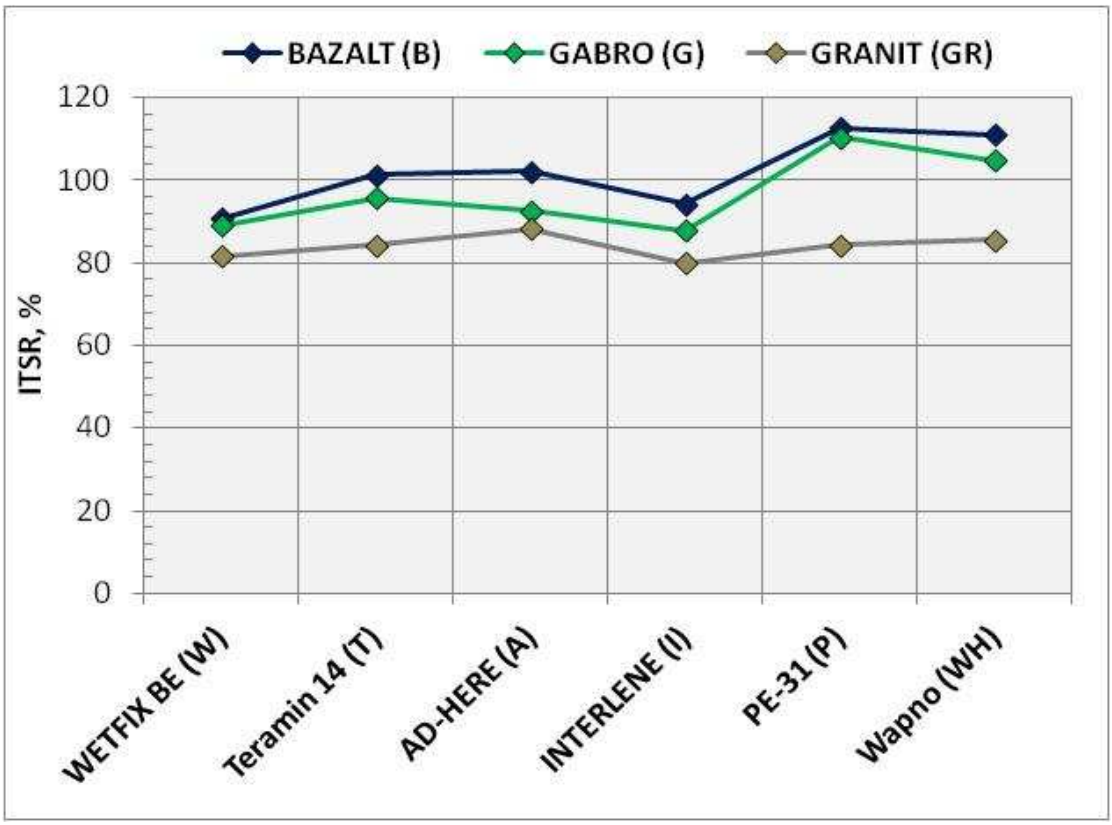
Rysunek 50. Wyniki odporności na działanie wody (SMA11 S)



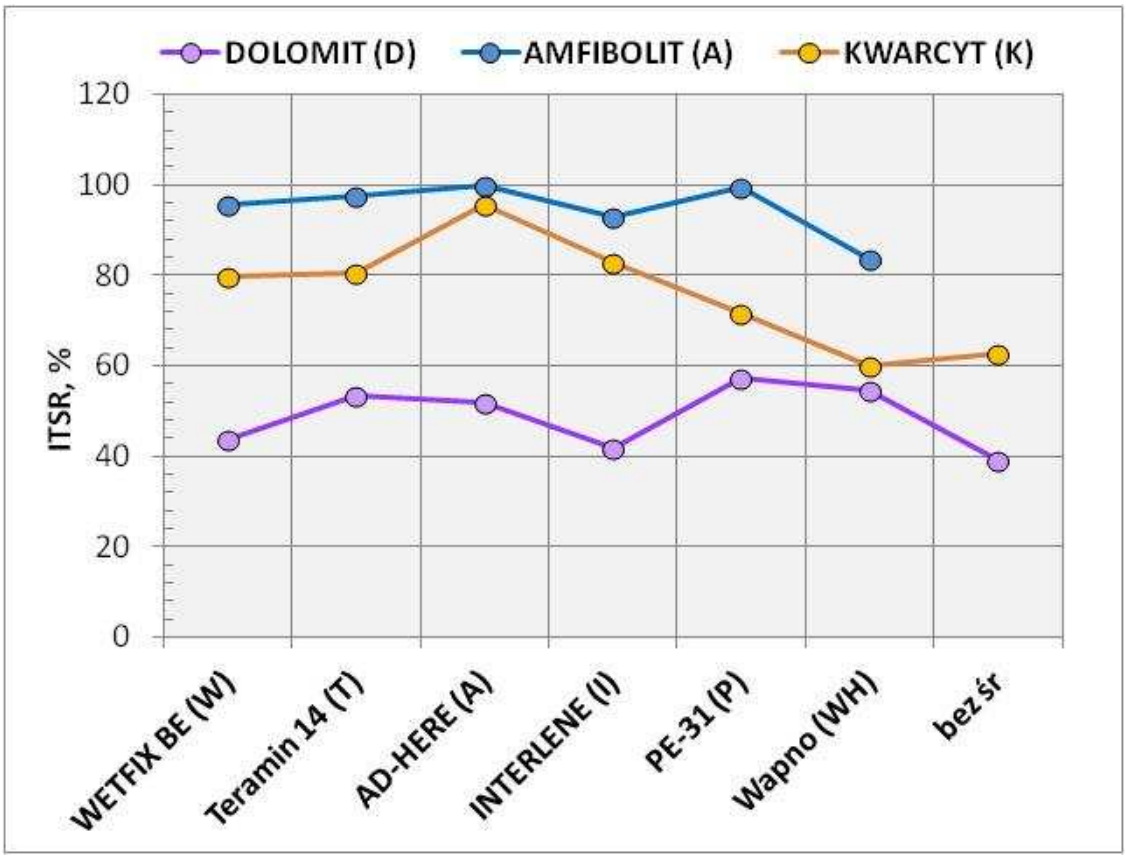
Rysunek 51. Wyniki odporności na działanie wody (AC16 W)



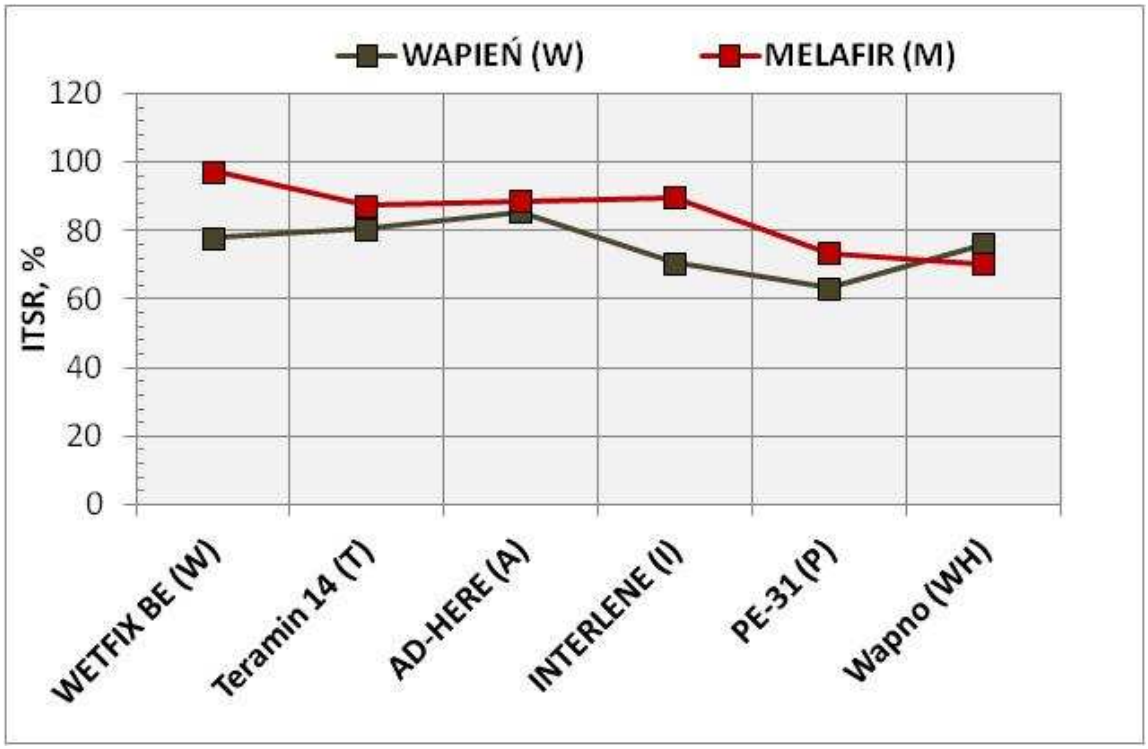
Rysunek 52. Wyniki odporności na działanie wody (AC22 P)



Rysunek 53. Wyniki odporności na działanie wody (SMA11 S)



Rysunek 54. Wyniki odporności na działanie wody (AC16 W)

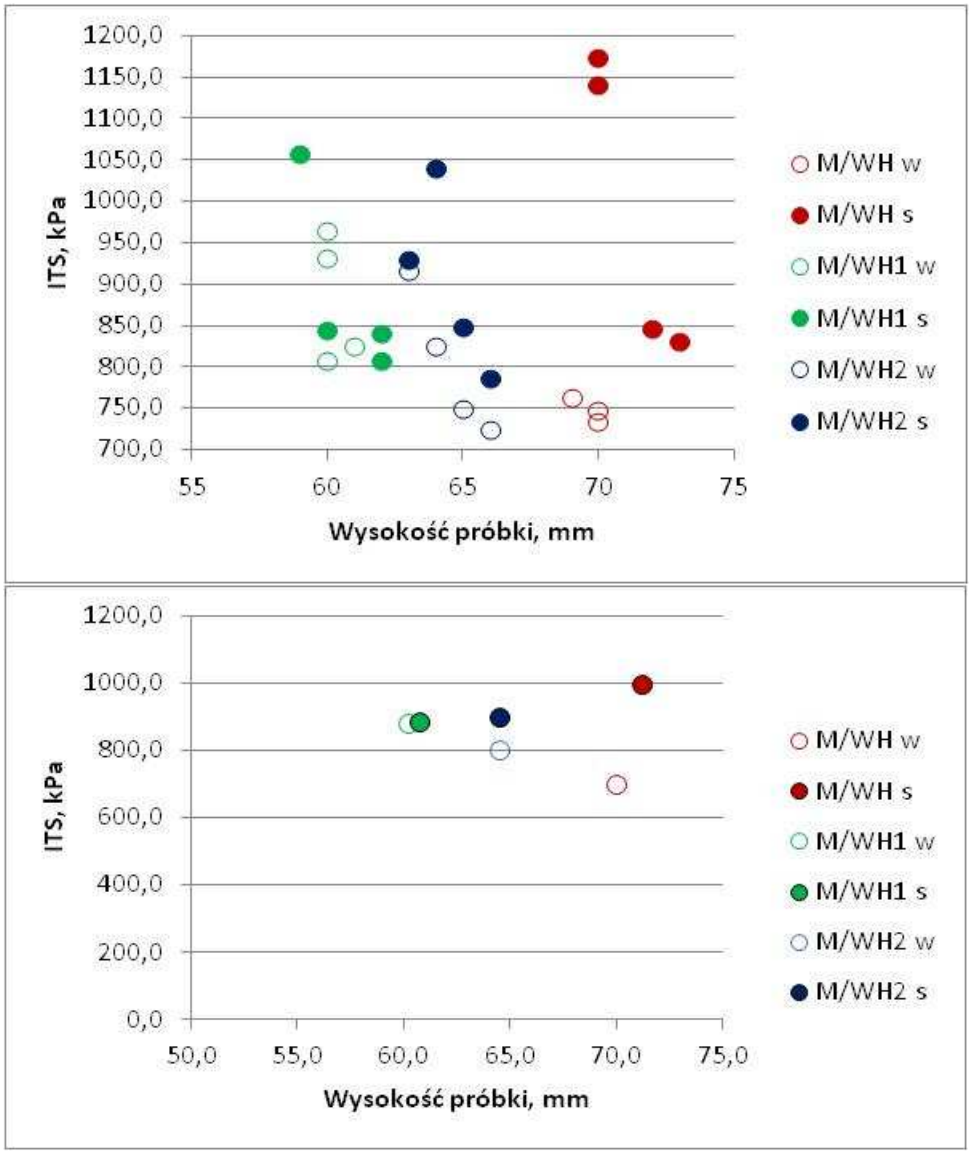


Rysunek 55. Wyniki odporności na działanie wody (AC22 P)

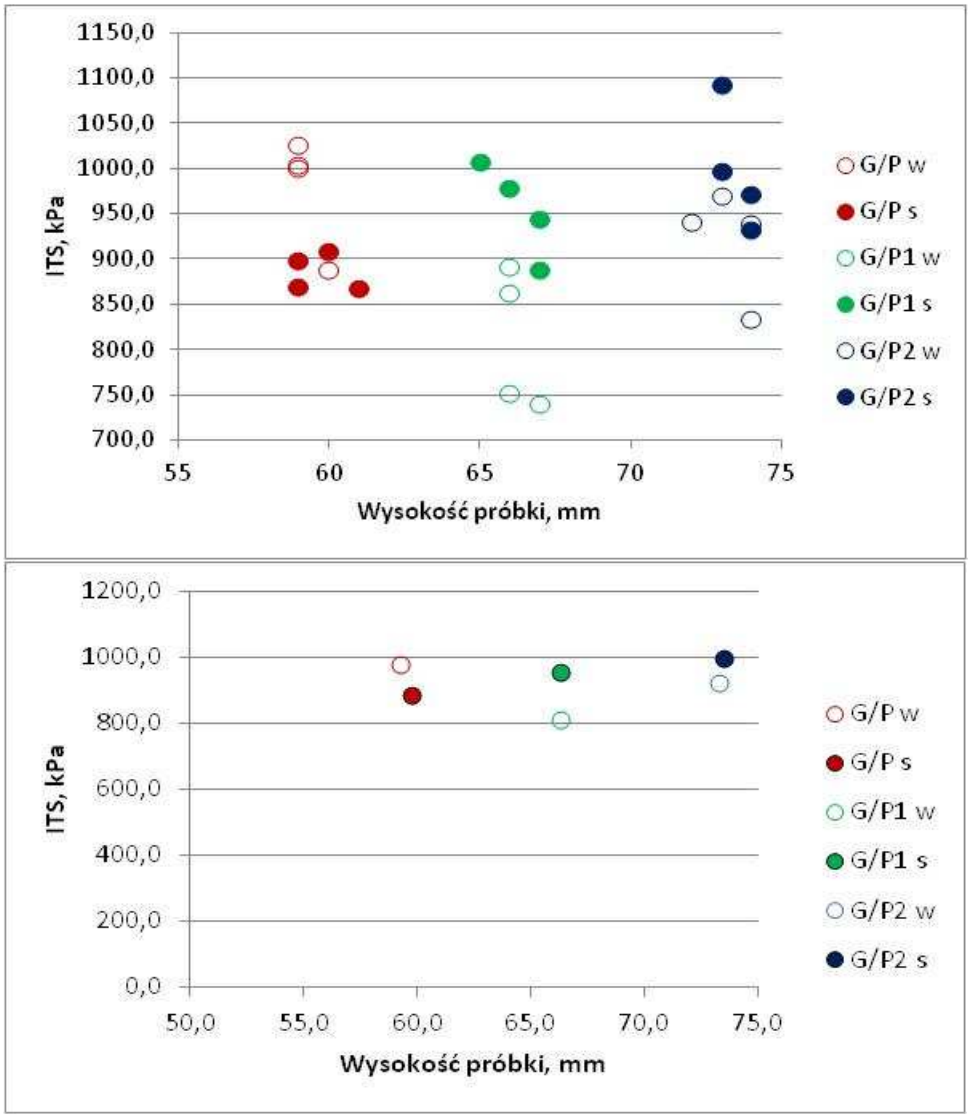
Wyniki badań dodatkowych ITSR uwzględniające różne wysokości próbek:

Tablica 54 Wyniki ITSR – różne wysokości próbek

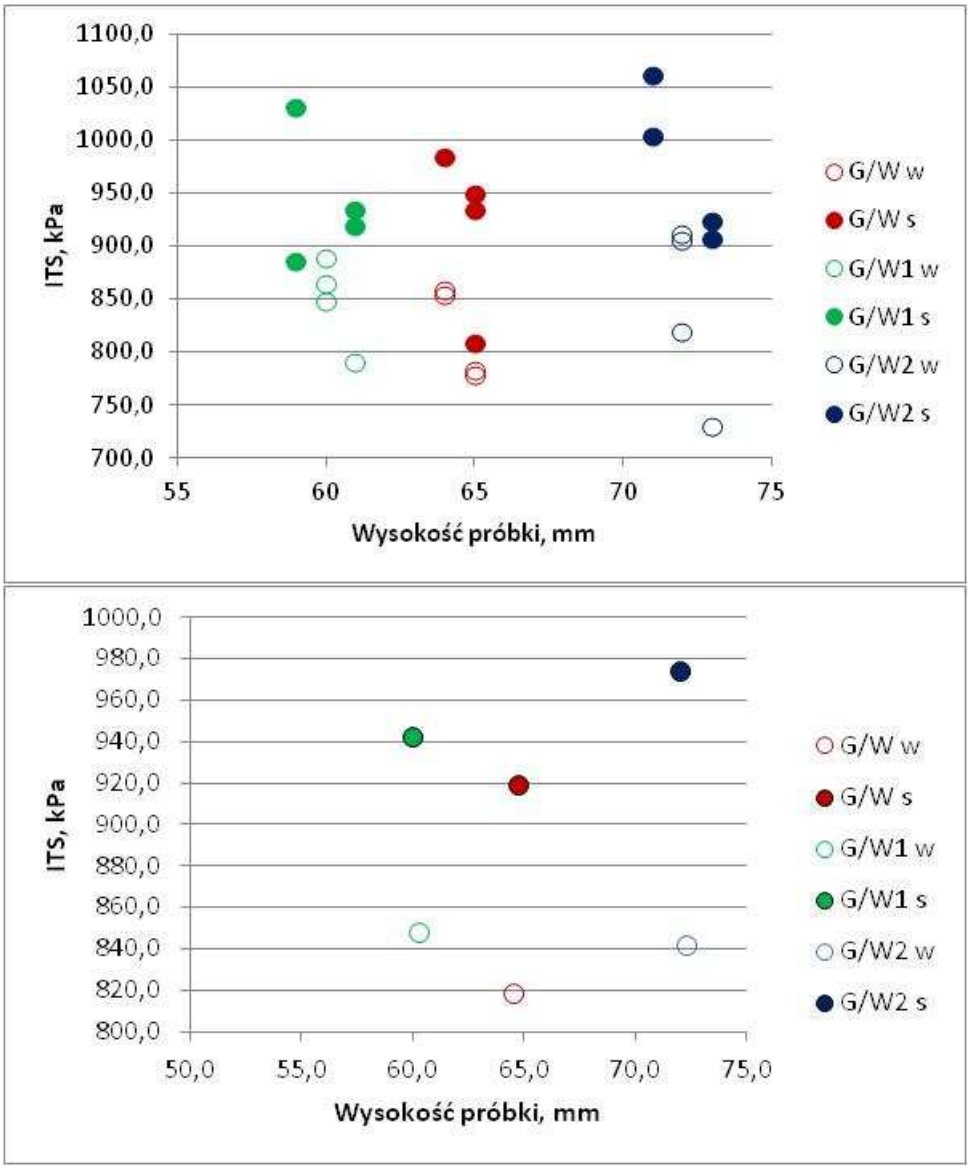
Próbki (wys.)	Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, kPa		ITSR, %
	ITS_W	ITS_S	
	Próbki pielęgnowane	Próbki suche	
SMA11 S (45/80-55) GABRO + Wetfix BE			
G/W (64,5mm, 64,8mm)	818,505	919,303	**89,0**
G/W1 (60,3mm, 60mm)	847,979	942,366	**90,0**
G/W2 (72,3mm, 72mm)	841,484	973,738	**86,4**
SMA11 S (45/80-55) GABRO + PE-31			
G/P (59,3mm, 59,8mm)	980,305	886,976	**110,5**
G/P1 (66,3mm, 66,3mm)	812,583	954,962	**85,1**
G/P2 (73,3mm, 73,5mm)	921,754	998,762	**92,3**
SMA11 S (45/80-55) GABRO + wapno hydr.			
G/WH (60,3mm, 61mm)	1016,409	969,289	**104,9**
G/WH1 (66mm, 65,8mm)	953,252	1037,889	**91,8**
AC16 W (50/70) KWARCYT + Wetfix BE			
K/W (67,3mm, 66,8mm)	842,706	1056,473	**79,8**
K/W1 (63,8mm, 63,5mm)	927,326	1065,188	**87,1**
AC16 W (50/70) MELAFIR +PE-31			
M/P (70,8mm, 70,8mm)	715,181	973,533	**73,5**
M/P1 (64mm, 64,5mm)	721,324	891,159	**80,9**
AC16 W (50/70) MELAFIR + wapno hydr.			
M/WH (70mm, 71,3mm)	702,862	997,976	**70,4**
M/WH1 (60,3mm, 60,8mm)	882,701	887,916	**99,4**
M/WH2 (64,5mm, 64,5mm)	804,066	901,031	**89,2**
AC16 W (50/70) WAPIEŃ+ Wetfix BE			
W/W (68,5mm, 68mm)	650,286	833,671	**78,0**
W/W (62,5mm, 62,3mm)	713,736	894,651	**79,8**



Rysunek 56. Wyniki ITS w zależności od wysokości próbki AC22 P – M/WH (pojedyncze próbki i wartości średnie)



Rysunek 57. Wyniki ITS w zależności od wysokości próbki SMA11 S – G/P (pojedyncze próbki i wartości średnie)



Rysunek 58. Wyniki ITS w zależności od wysokości próbki SMA11 S – G/W (pojedyncze próbki i wartości średnie)

8.5. Wyniki badań funkcjonalnych

Na etapie projektowania MMA wykonano badania koleinowania w małym aparacie wg PN-EN 12697-22 [22] oznaczone na próbkach mieszanek z zastosowaniem środka adhezyjnego Wetfix BE przygotowanych w laboratorium IBDiM. Wyniki przedstawiono w załączniku 3 (badania 8 MMA).

Po uzyskaniu wyników badań wodoodporności w poszczególnych grupach MMA (warstwa ścieralna SMA11, warstwa wiążąca AC16 i warstwa podbudowy AC22) zostały wytypowane mieszanki do kontynuacji badań funkcjonalnych. Przyjęto zasadę,

że w każdej grupie do badań funkcjonalnych zostaną wybrane MMA o najniższym i najwyższym wskaźniku wodoodporności. Dodatkowo wytypowano do badań funkcjonalnych MMA z tego samego rodzaju kruszywa ale z innym środkiem adhezyjnym, które charakteryzowały się największą różnicą w wynikach wodoodporności (kwarcyt, melafir). W przypadku mieszanek z kwarcytem wystąpiły największe różnice, co zdecydowało o rozszerzeniu analizy na warianty z uwzględnieniem kondycjonowania próbek do badań funkcjonalnych wg procedury zbliżonej do stosowanej w badaniu wodoodporności. W przypadku tej mieszanki do celów porównawczych badaniom poddano również próbki bez dodatku środka adhezyjnego.

Ostatecznie do badań przyjęto MMA:

- ✓ B/W – SMA11 S 45/80-55 (bazalt, Wetfix BE)
- ✓ B/P - SMA11 S 45/80-55 (bazalt, PE-31)
- ✓ G/I - SMA11 S 45/80-55 (gabro, Interlene)
- ✓ D/I – AC16 W 50/70 (dolomit, Interlene)
- ✓ A/A - AC16 W 50/70 (amfibolit, AD-HERE)
- ✓ K - AC16 W 50/70 (kwarcyt)
- ✓ K/A - AC16 W 50/70 (kwarcyt, AD-HERE)
- ✓ K/A-P - AC16 W 50/70 (kwarcyt, AD-HERE) próbki pielęgnowane
- ✓ K/WH - AC16 W 50/70 (kwarcyt, wapno hydratyzowane)
- ✓ K/WH-P - AC16 W 50/70 (kwarcyt, wapno hydr.) próbki pielęgnowane
- ✓ W/P – AC22 P 35/50 (wapno, PE-31)
- ✓ M/W – AC22 P 35/50 (melafir, Wetfix BE)
- ✓ M/WH – AC22 P 35/50 (melafir, wapno hydratyzowane)

W tablicy 55 przedstawiono wyniki wodoodporności z zaznaczeniem wariantów wytypowanych do badań funkcjonalnych.

Tablica 55 Wskazanie wariantów MMA wytypowanych do badań funkcjonalnych

MMA	SMA11			AC16W			AC22P	
Rodzaj asfaltu:	45/80-55			50/70			35/50	
Zawartość asfaltu	6,4	5,9	6,3	4,2	4,2	4,6	3,7	4,3
Rodzaj kruszywa:	BAZALT (B)	GABRO (G)	GRANIT (GR)	DOLOMIT (D)	AMFIBOLIT (A)	KWARCYT (K)	WAPIEŃ (W)	MELAFIR (M)
WETFIX BE (W)	90,8	89	81,7	43,8	95,6	79,8	78	**97,4**
Teramin 14 (T)	101,3	95,8	84,4	53,5	97,4	80,4	80,6	87,3
AD-HERE (A)	102,2	92,5	88,3	51,7	**100,0**	95,6	85,5	88,6
INTERLENE IN/400L (I)	94,3	87,8	**80**	**41,9**	93,0	82,9	70,7	89,8
PE-31 (P)	**112,6**	110,5	84,4	57,3	99,4	71,5	**63,3**	73,5
Wapno hydrat. (WH)	111	104,9	85,6	54,6	83,6	60,1	76	70,4
Bez środka adh.	-	-	-	-	-	62,7	-	-
Wartość średnia	**111,0**	**104,9**	**85,6**	**54,6**	**83,6**	**61,4**	**76,0**	**70,4**
Odchylenie stand.	**8,7**	**9,1**	**2,9**	**6,2**	**6,1**	**11,9**	**7,8**	**10,4**
Wartość maksymalna	**112,6**	**110,5**	**88,3**	**57,3**	**100**	**95,6**	**85,5**	**97,4**
Wartość minimalna	**90,8**	**87,8**	**80**	**41,9**	**83,6**	**60,1**	**63,3**	**70,4**
Różnica (max-min)	**21,8**	**22,7**	**8,3**	**15,4**	**16,4**	**35,5**	**22,2**	**27**
	SMA11			**AC16W**			**AC22P**	
max w grupie	**112,6**			**100,0**			**97,4**	
min w grupie	**80,0**			**41,9**			**63,3**	
Różnica (max-min)	**32,6**			**58,1**			**34,1**	

*) kolorem czerwonym zaznaczone zostały warianty MMA wytypowane do badań funkcjonalnych na podstawie oceny wyników ITSR, gdzie przyjęto zasadę MMA o najwyższej i najniższej wodoodporności w danej grupie (SMA11, AC16, AC22). Dodatkowe wybrane warianty zostały oznaczone kolorem szarym.

8.5.1. Odporności na koleinowanie w małym aparacie

W załączniku 3 przedstawiono szczegółowe wyniki badań koleinowania w małym aparacie wg PN-EN 12697-22 [23] oznaczone na próbkach mieszanek z zastosowaniem środka adhezyjnego Wetfix BE oraz wytypowanych do badań funkcjonalnych. Do wykonania oznaczenia wykonano po dwie próbki każdej MMA (płyty o wymiarach 260mm / 320 mm oraz grubości 40 mm lub 60 mm). W tablicy 56-58 i na rysunku 59-61 przedstawiono zestawienie zbiorcze zawierające wyniki badań koleinowania w małym aparacie oznaczone na próbkach przygotowanych w laboratorium IBDiM.

Tablica 56 Wyniki badania koleinowania w małym aparacie SMA11 S

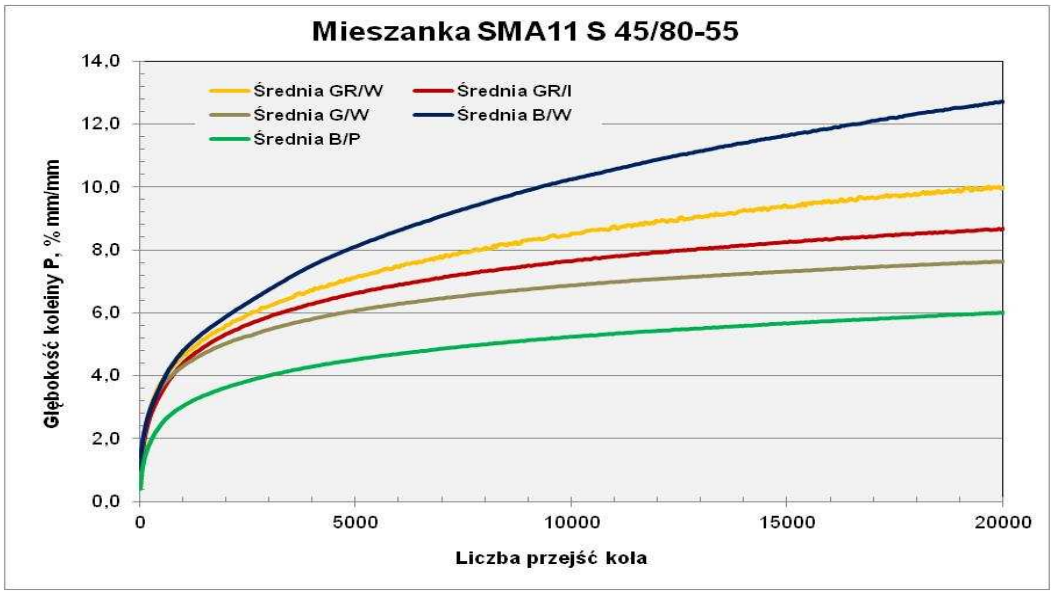
Rodzaj MMA / Właściwości	SMA11 45/80-55				
	B/W	B/P	G/W	GR/W	GR/I
PRD, %	12,70	6,00	7,60	10,00	8,70
WTS$_{(d10000-d5000)}$, [mm/1000 cykli]	0,202	0,064	0,062	0,116	0,084

Tablica 57 Wyniki badania koleinowania w małym aparacie AC16 W

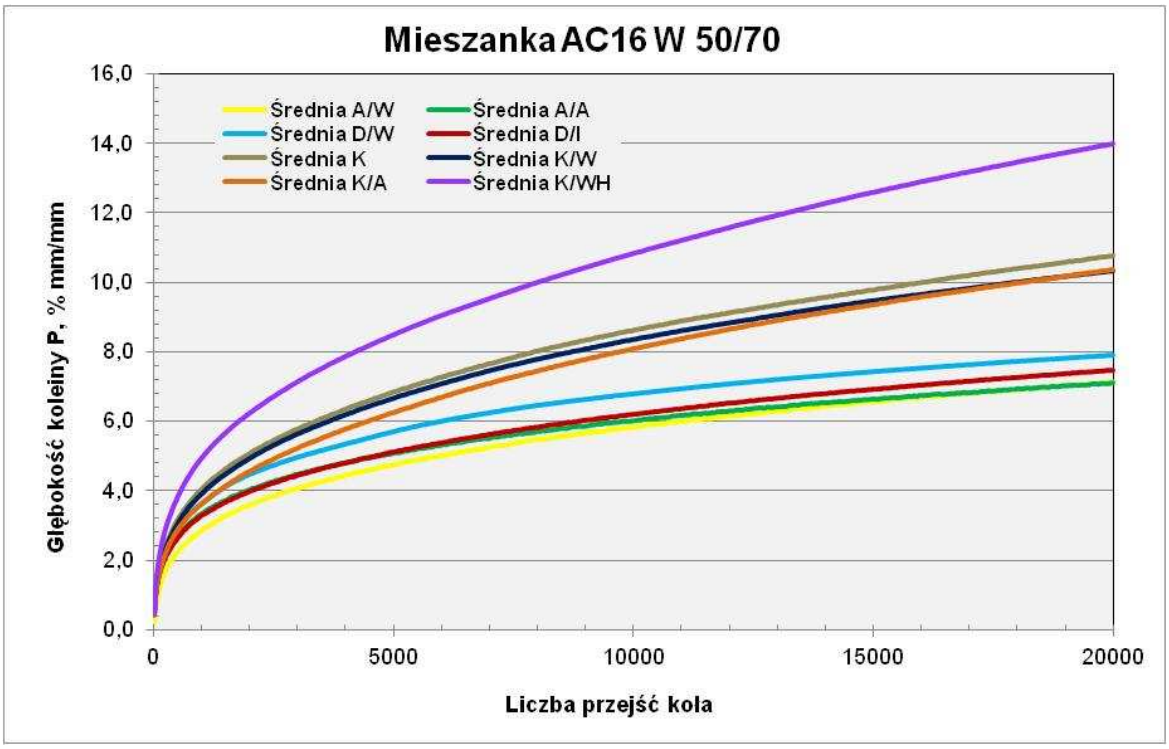
Rodzaj MMA / Właściwości	AC16 W 50/70							
	A/W	A/A	D/W	D/I	K/W	K	K/A	K/WH
PRD, %	7,20	7,10	7,90	7,40	10,30	10,80	10,40	14,00
WTS$_{(d10000-d5000)}$, [mm/1000 cykli]	0,156	0,134	0,136	0,154	0,234	0,254	0,270	0,380

Tablica 58 Wyniki badania koleinowania w małym aparacie AC22 P

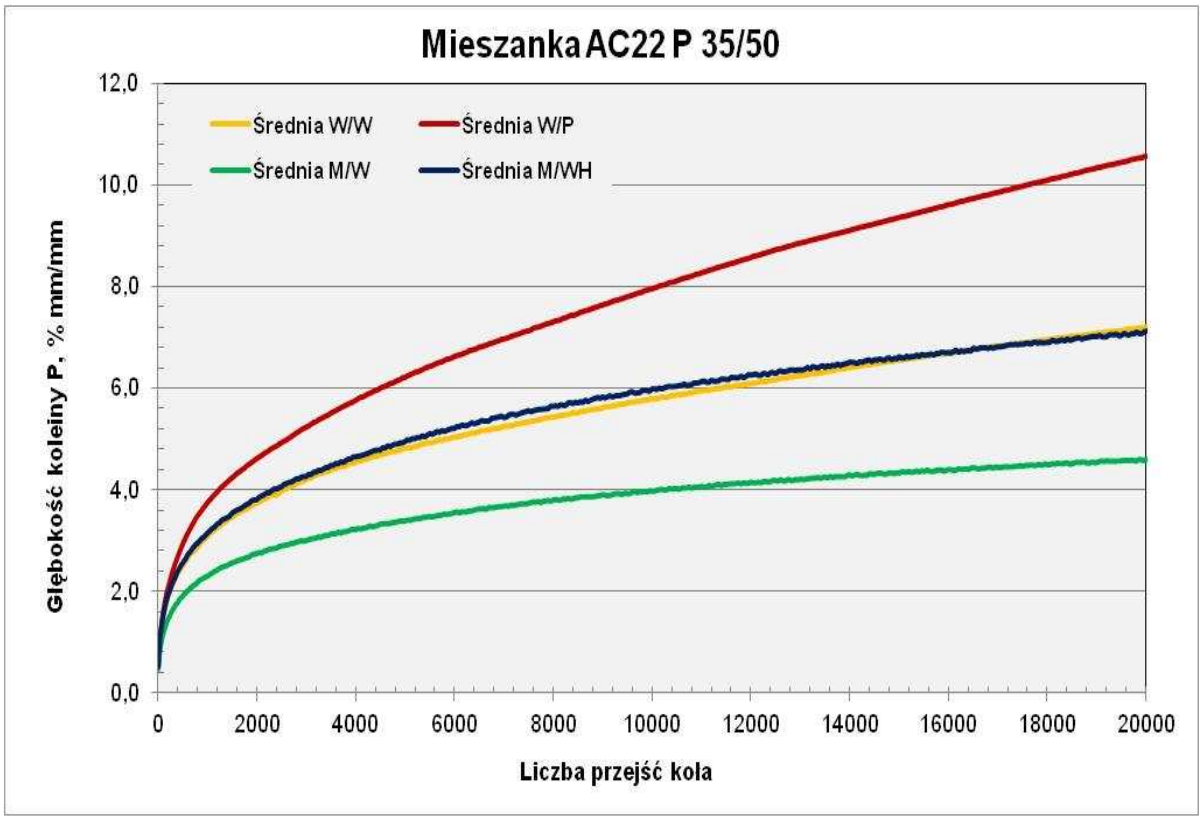
Rodzaj MMA / Właściwości	AC22 P 35/50			
	W/W	W/P	M/W	M/WH
PRD, %	7,20	10,60	4,60	7,10
WTS$_{(d10000-d5000)}$, [mm/1000 cykli]	0,172	0,312	0,076	0,138



Rysunek 59. Wyniki koleinowania – mieszanka SMA11 S



Rysunek 60. Wyniki koleinowania – mieszanka AC16 W



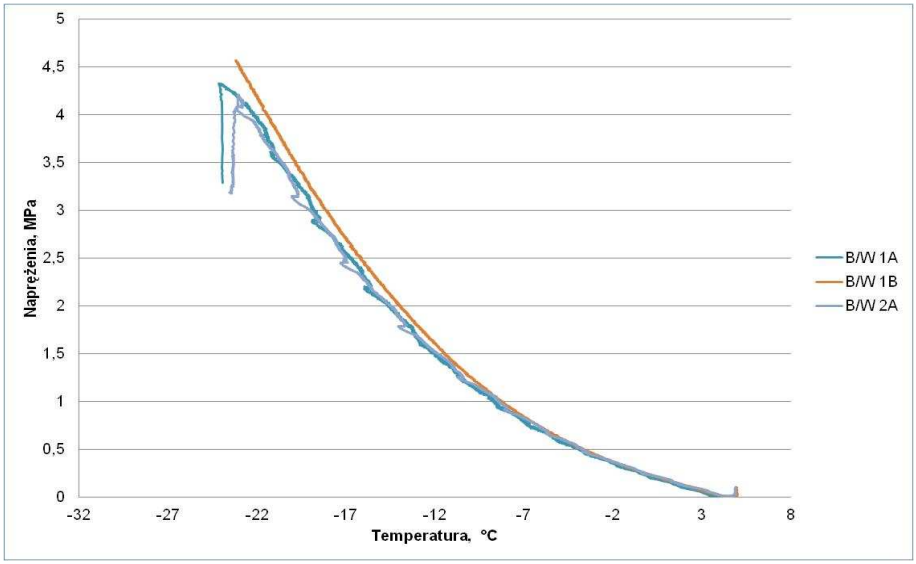
Rysunek 61. Wyniki koleinowania – mieszanka AC22 P

8.5.2. Badanie odporności na pękanie niskotemperaturowe (Zadanie 4)

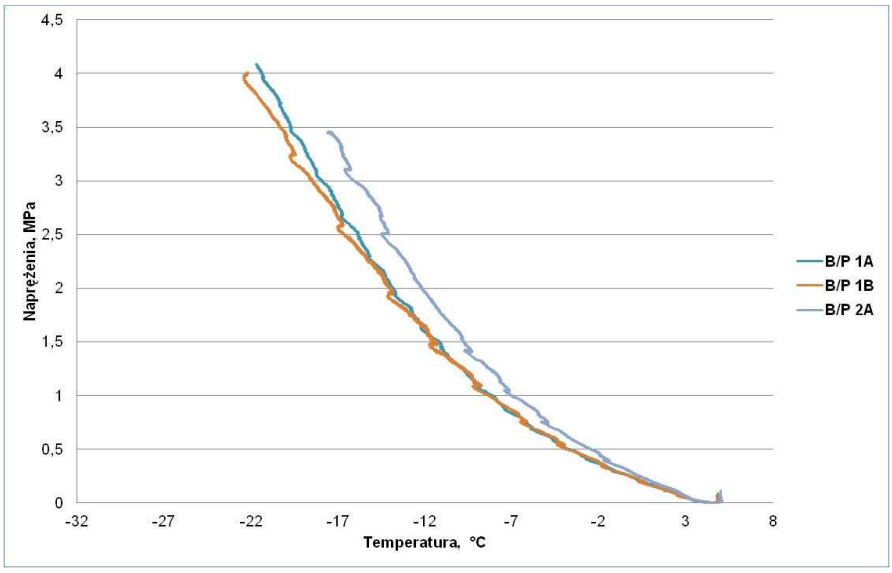
W tablicy 59 i na rysunkach 62-73 przedstawiono wyniki badań TSRST oznaczone na próbkach przygotowanych w laboratorium IBDiM.

Tablica 59 Wyniki badania TSRST

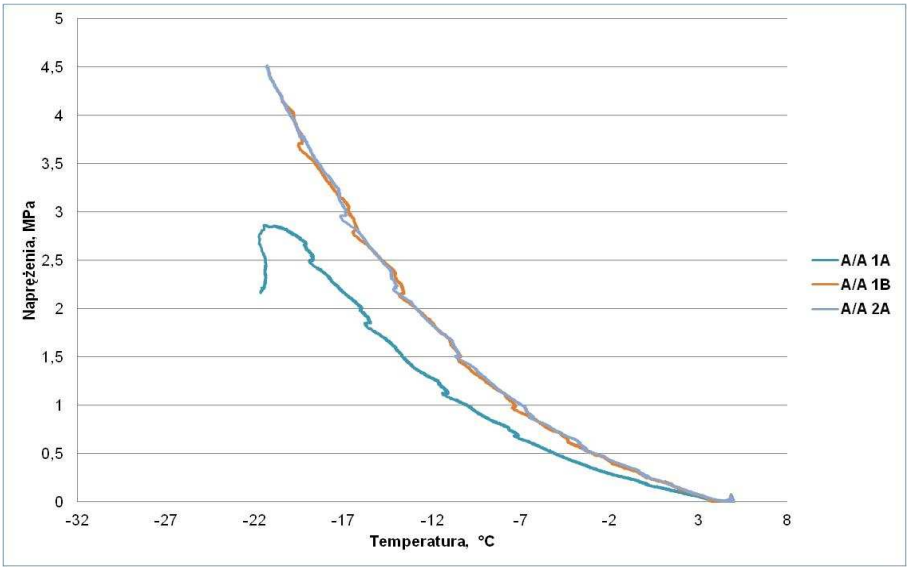
Rodzaj MMA	SMA11 S			AC16 W							AC22 P		
Próbka / Właściwość	**B/W**	**B/P**	**GR/I**	**D/I**	**A/A**	**K**	**K/A**	**K/WH**	**K/A-P.**	**K/WH-P**	**W/P**	**M/W**	**M/WH**
Kruszywo	Bazalt	Bazalt	Granit	Dolomit	Amfibolit	Kwarcyt	Kwarcyt	Kwarcyt	Kwarcyt	Kwarcyt	Wapień	Melafir	Melafir
Dodatek	Wetfix	PE-31	Interlene	Interlene	Ad-here	-	Ad-here	Wapno	Ad-here	Wapno.	PE-31	Wetfix	Wapno
Temperatura pęknięcia ℃	-23,46	-20,50		-21,95	-21,05	19,64	-20,88	-20,88	-20,83	-19,64	-22,39	-19,77	-21,69
Odchylenie standardowe	0,61	2,54		0,48	0,54	0,79	2,55	1,25	3,53	0,79	3,92	2,40	-
Naprężenie niszczące, MPa	4,36	3,85		4,22	3,84	3,55	4,70	4,58	3,25	3,55	2,23	3,10	4,48
Odchylenie standardowe	0,18	0,35		0,39	0,86	0,66	0,19	0,19	1,11	0,66	0,21	0,19	-



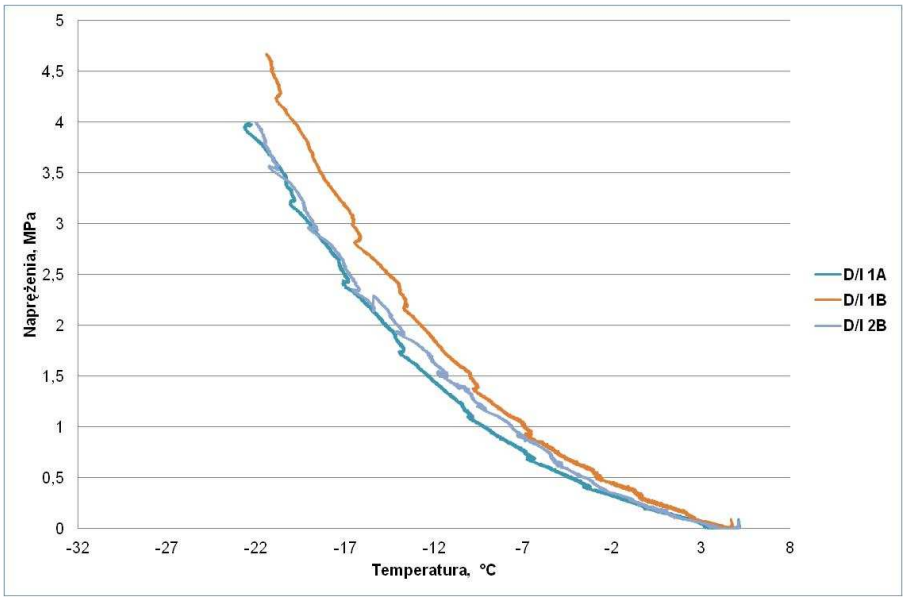
Rysunek 62. Wyniki badania TSRST – SMA11 S 45/80-55 (B/W)



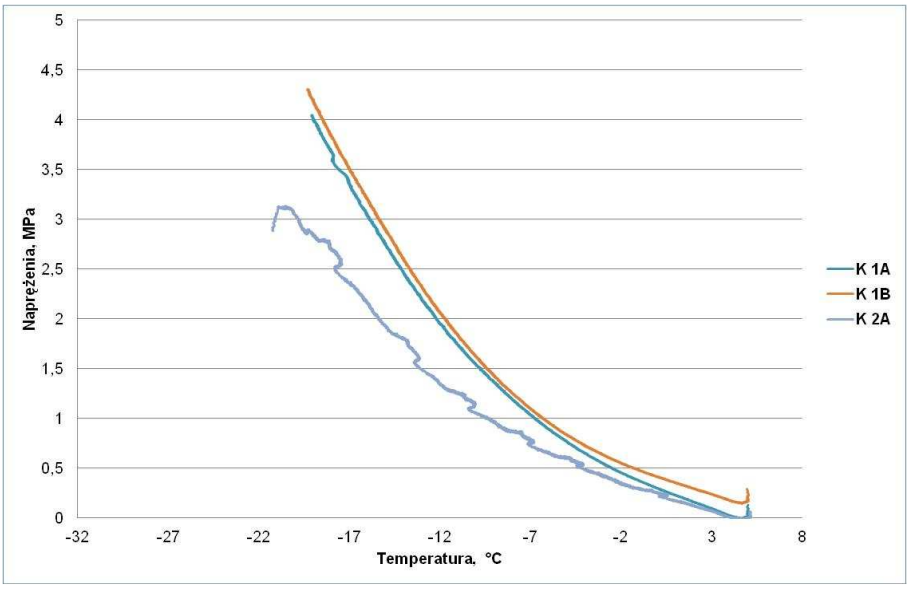
Rysunek 63. Wyniki badania TSRST – SMA11 S 45/80-55 (B/P)



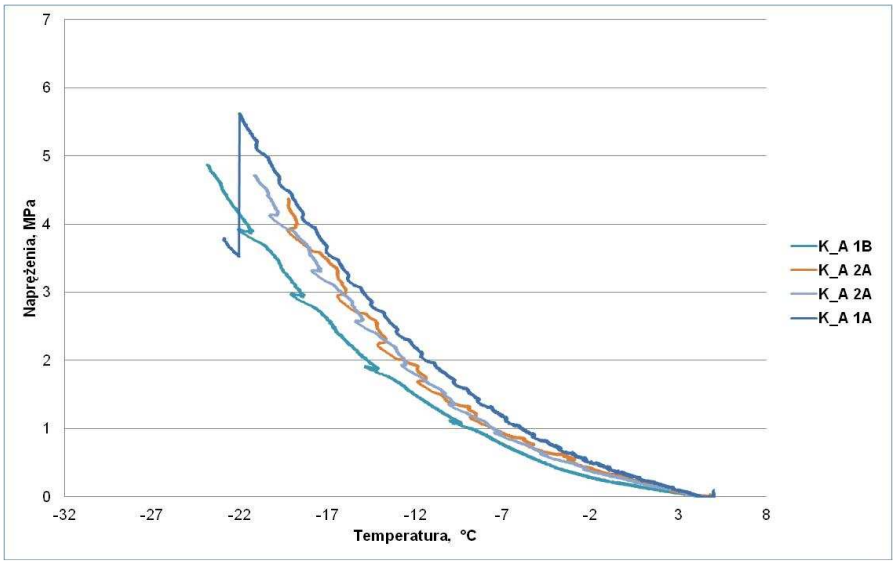
Rysunek 64. Wyniki badania TSRST – AC16 W 50/70 (A/A)



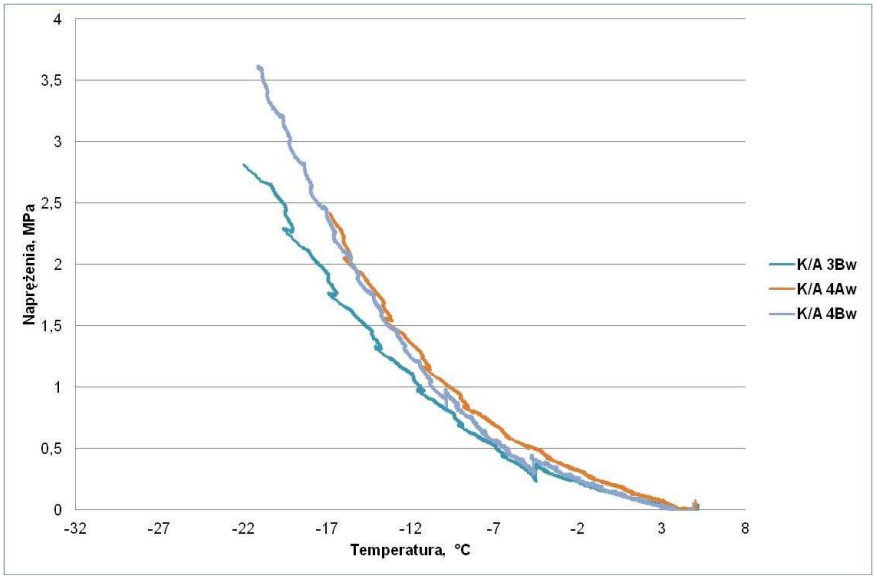
Rysunek 65. Wyniki badania TSRST – AC16 W 50/70 (D/I)



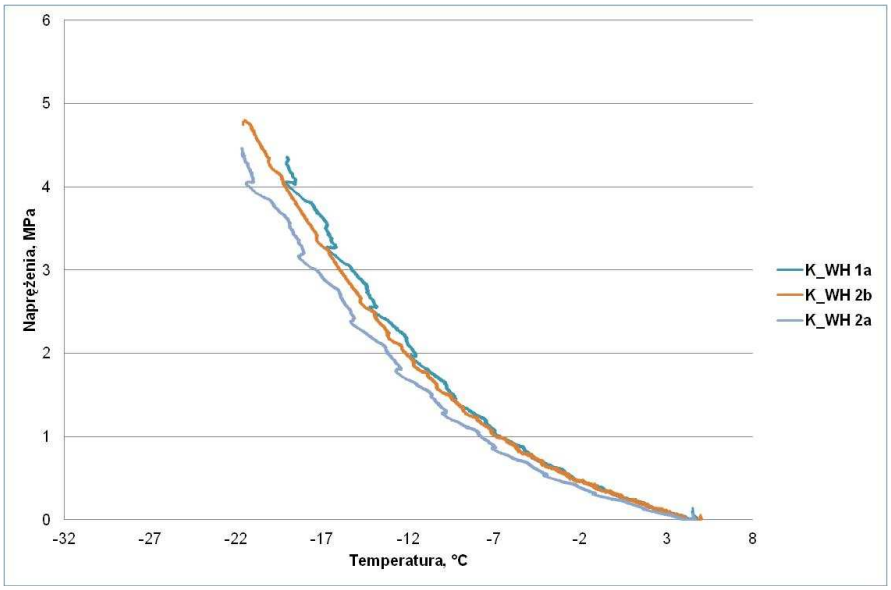
Rysunek 66. Wyniki badania TSRST – AC16 W 50/70 (K)



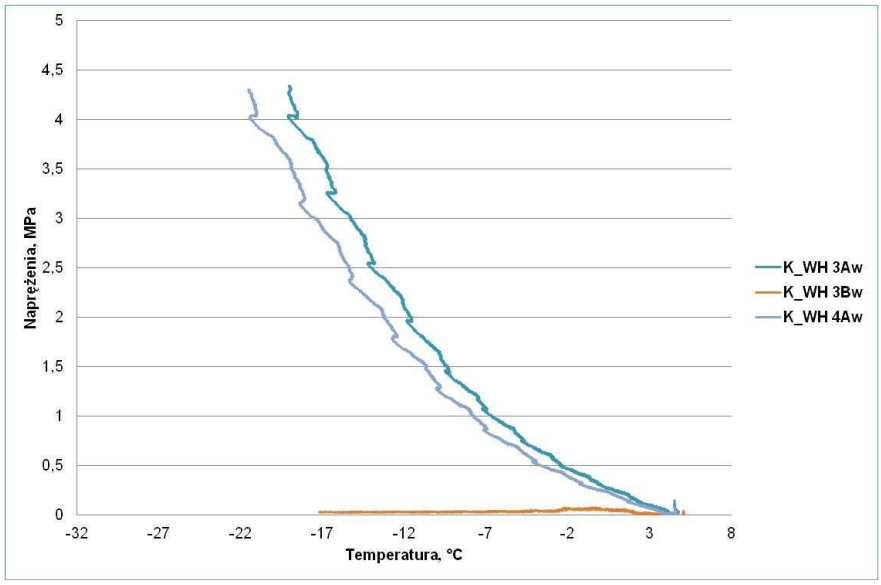
Rysunek 67. Wyniki badania TSRST – AC16 W 50/70 (K/A)



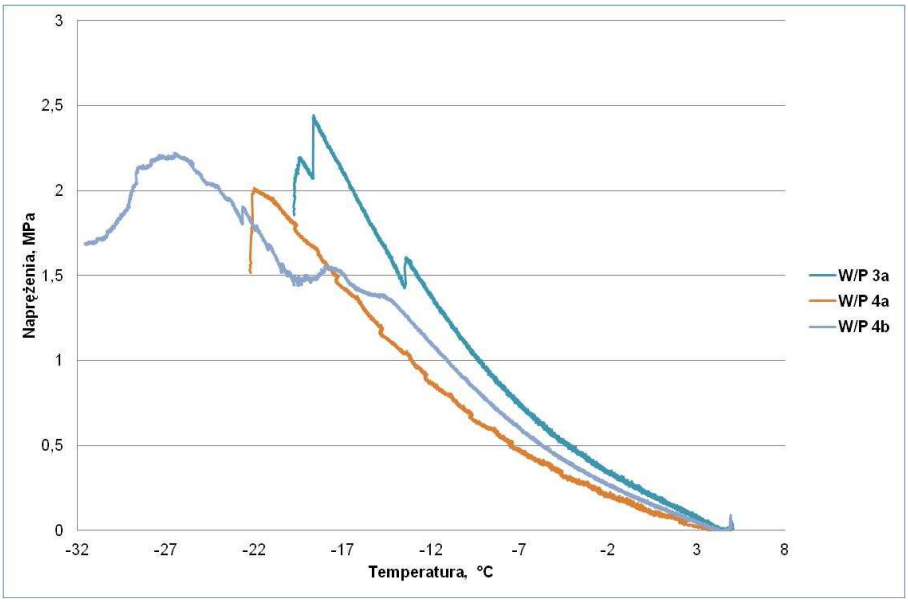
Rysunek 68. Wyniki badania TSRST – AC16 W 50/70 (K/A-P)



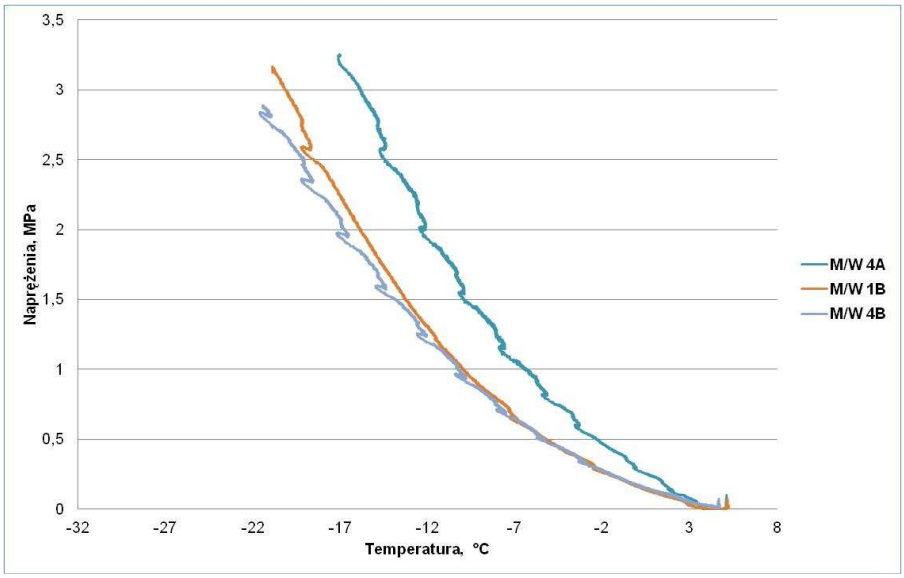
Rysunek 69. Wyniki badania TSRST – AC16 W 50/70 (K/WH)



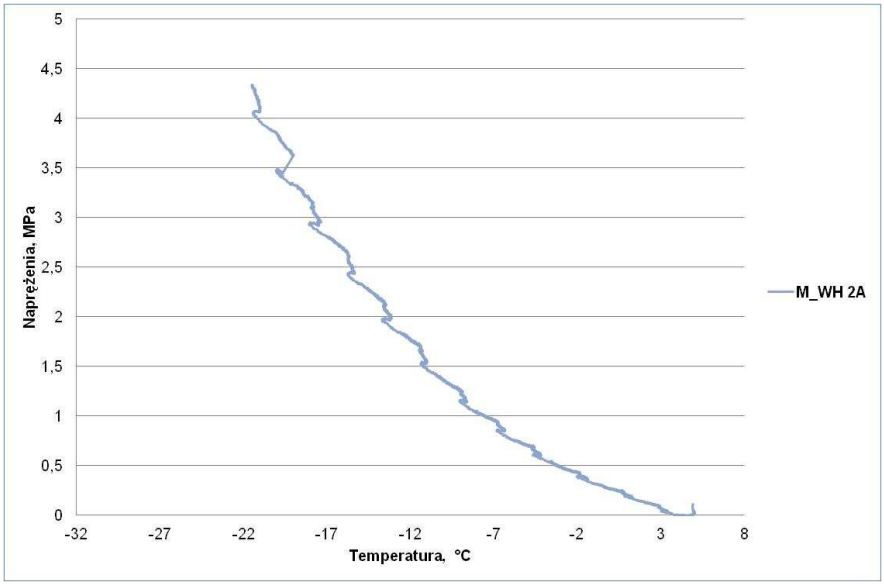
Rysunek 70. Wyniki badania TSRST – AC16 W 50/70 (K/WH-P)



Rysunek 71. Wyniki badania TSRST – AC22 P 35/50 (W/P)



Rysunek 72. Wyniki badania TSRST – AC22 P 35/50 (M/W)



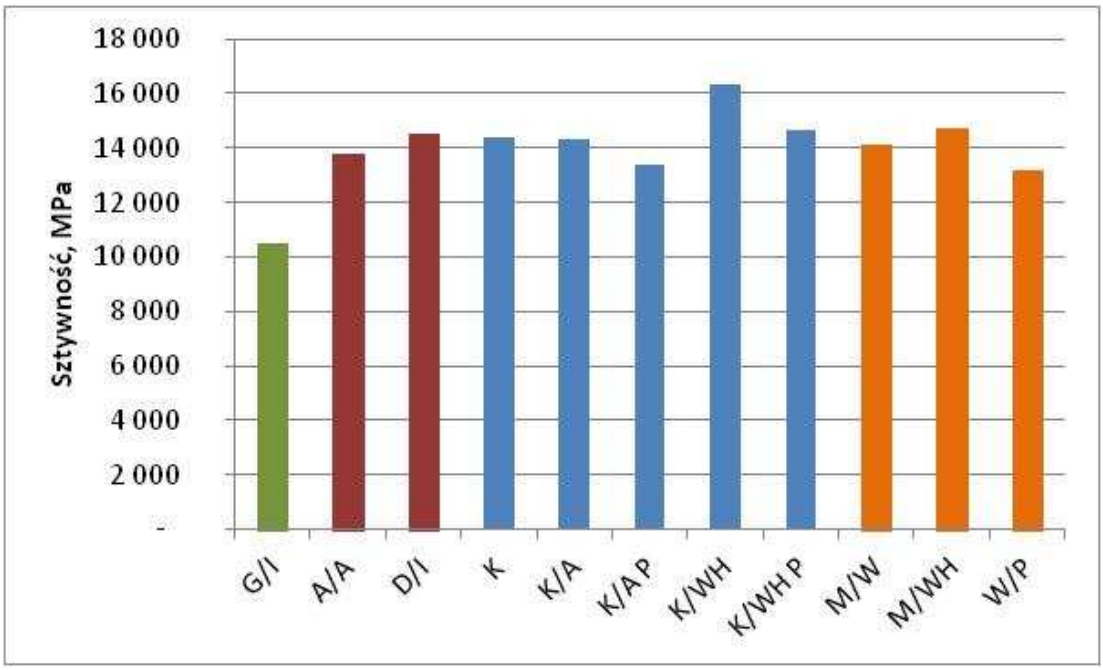
Rysunek 73. Wyniki badania TSRST – AC22 P 35/50 (M/WH)

8.5.3. Badanie odporności na zmęczenie (Zadanie 4)

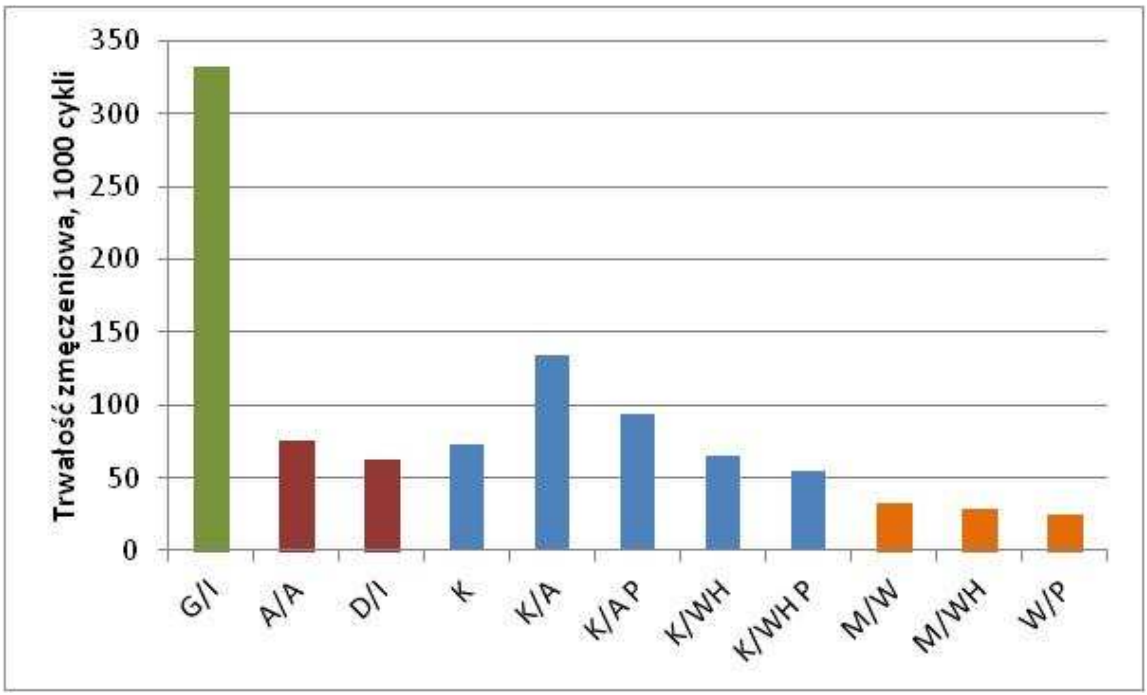
Wyniki badań zmęczenia i modułu sztywności wykonane metodą belki cztero-punktowo zginanej w temperaturze 10˚C przedstawiono w tablicy 60 i na rysunkach 74-75.

Tablica 60 Wyniki badań zmęczenia

Mieszanka	Sztywność, MPa	Odkształcenie, µm/m	Trwałość zmęczeniowa, cykle
G/I	10 506	350	332 153
A/A	13 756	190	74 916
D/I	14 526	190	62 406
K	14 400	190	73 507
K/A	14 300	190	134 561
K/A P	13 378	190	94 218
K/WH	16 356	190	65 263
K/WH P	14 630	190	54 189
M/W	14 147	210	33 059
M/WH	14 742	210	28 558
W/P	13198	210	24 143



Rysunek 74. Wyniki badania modułu sztywności



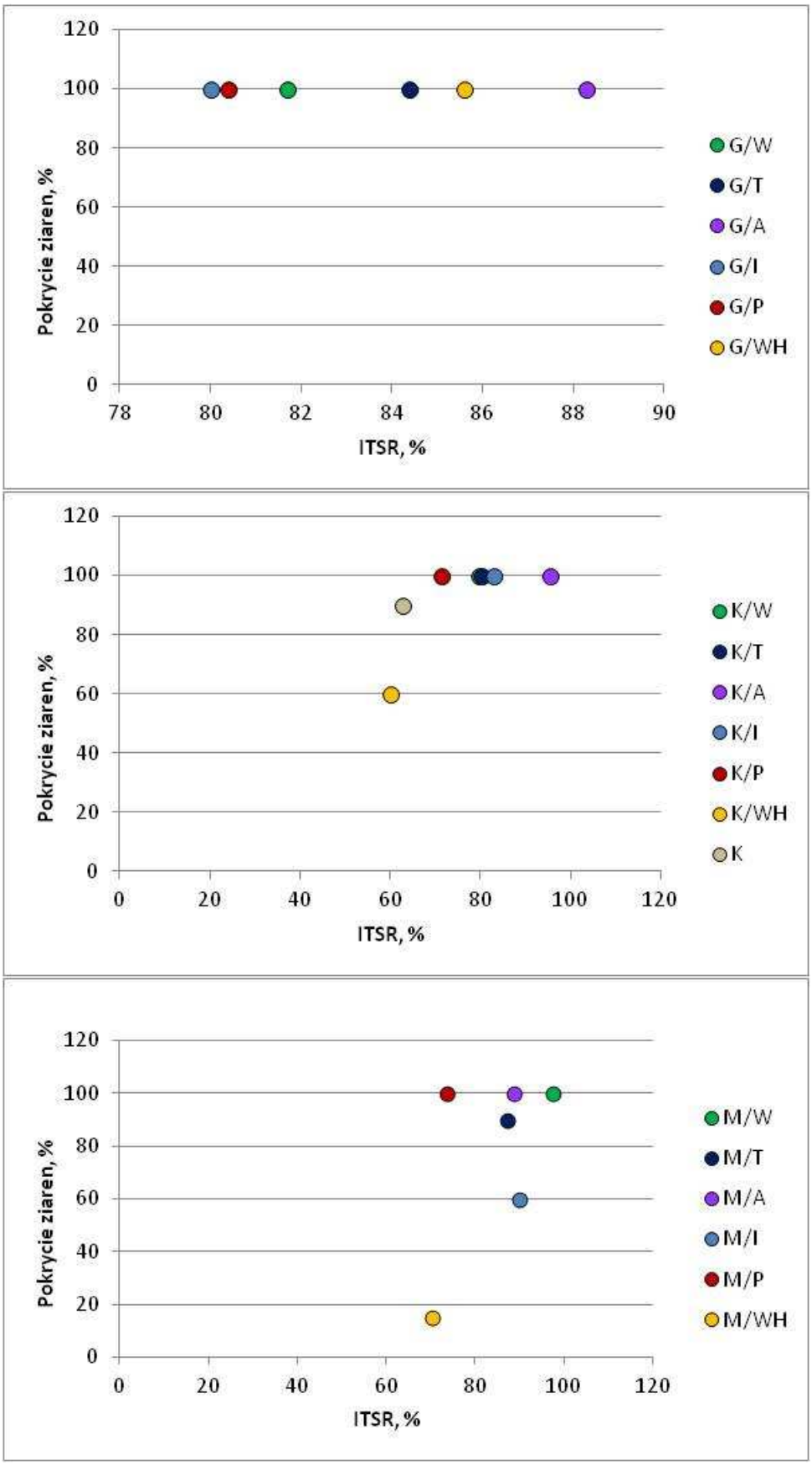
Rysunek 75. Trwałość zmęczeniowa

8.5.4. Analiza wyników badań MMA

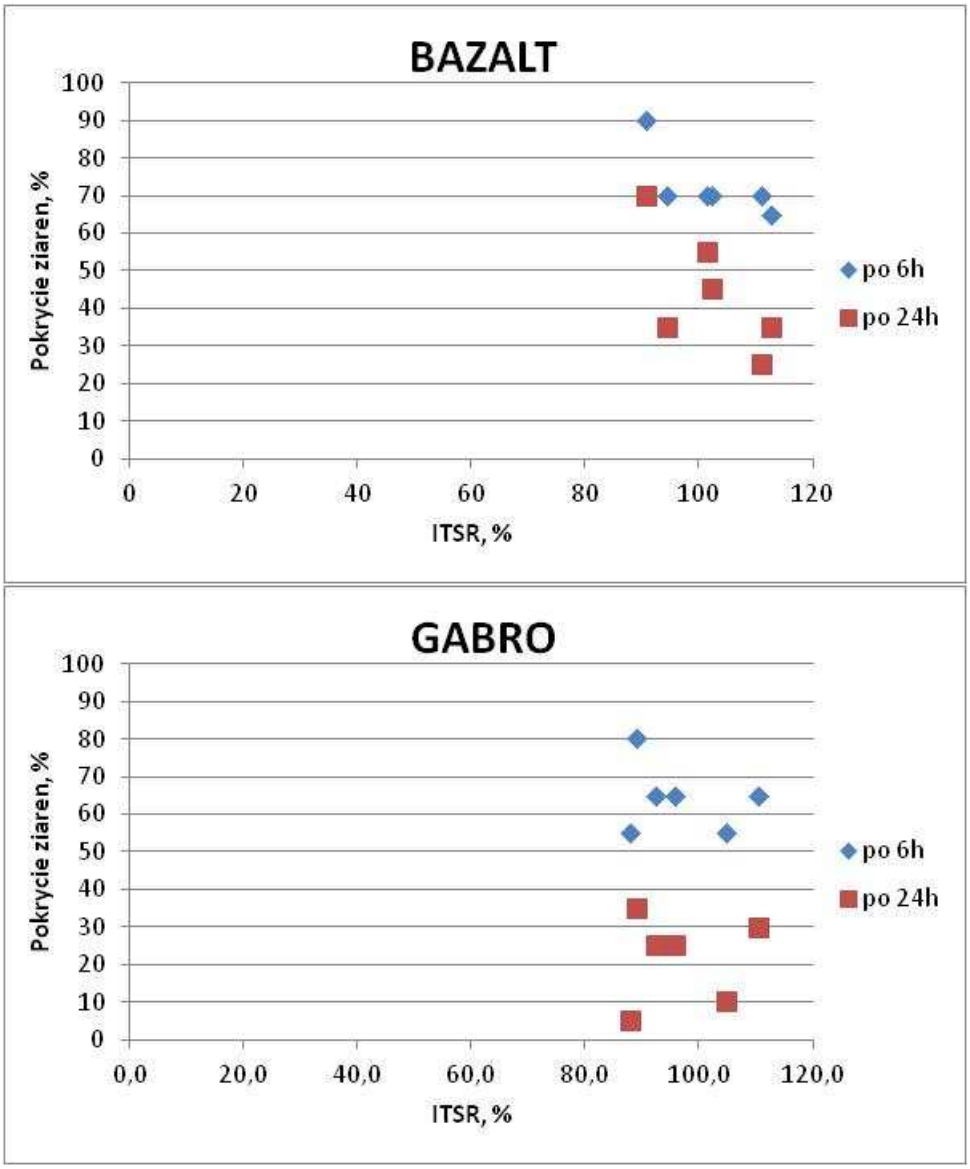
A - ITSR w odniesieniu do przyczepności

Rysunki 76-80 zawierają zależności ITSR od przyczepności wg PN i PN-EN.

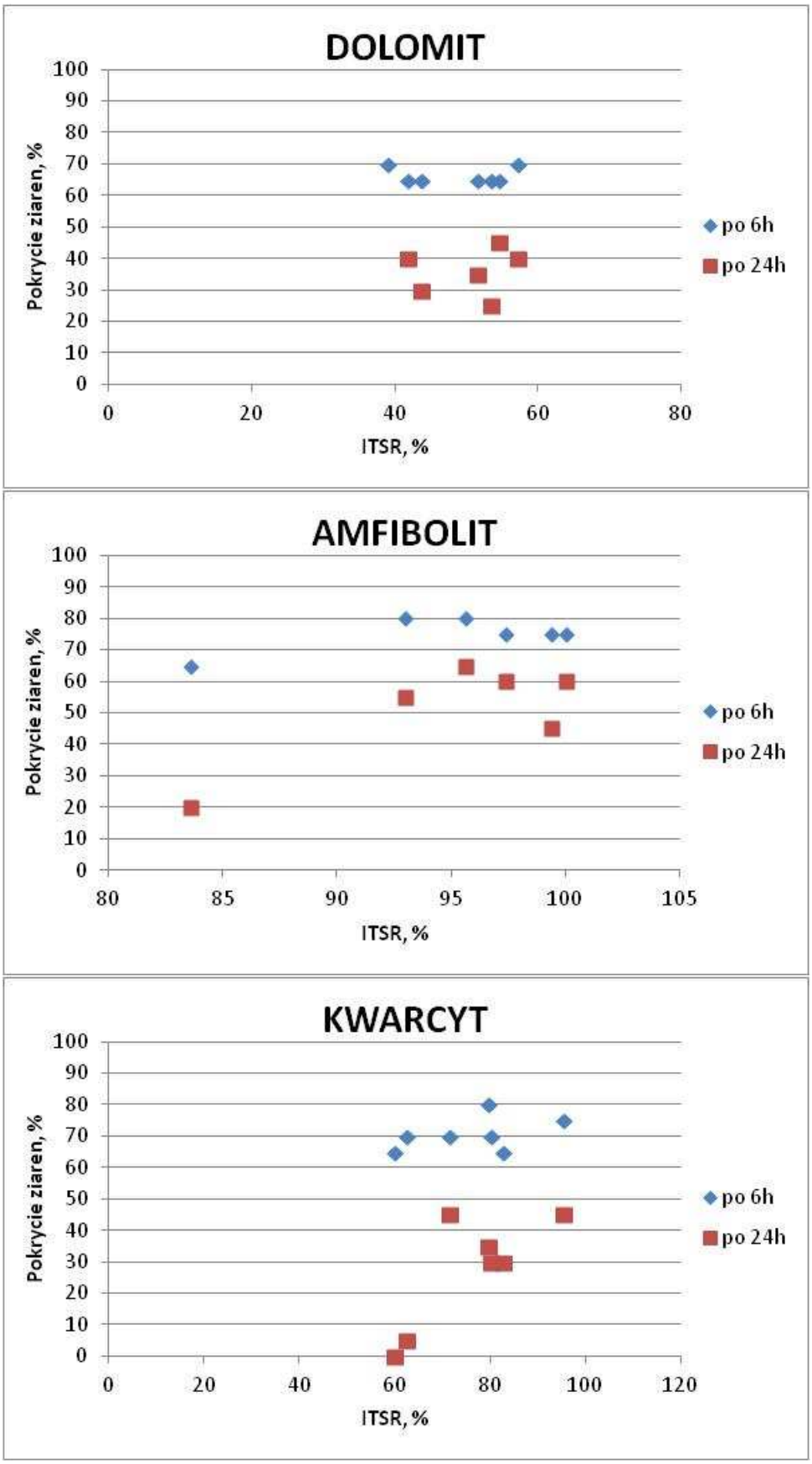
Wyniki są bardzo zróżnicowane i nie można jednoznacznie wskazać wpływu przyczepności na poziom ITSR. Badania przyczepności wg PN-EN w przypadku kruszyw amfibolit, melafir, kwarcyt niejednoznacznie wskazują na uzyskanie wyższego wskaźnika ITSR przy lepszej przyczepności. Natomiast pozostała grupa kruszyw raczej wskazuje odwrotną zależność.



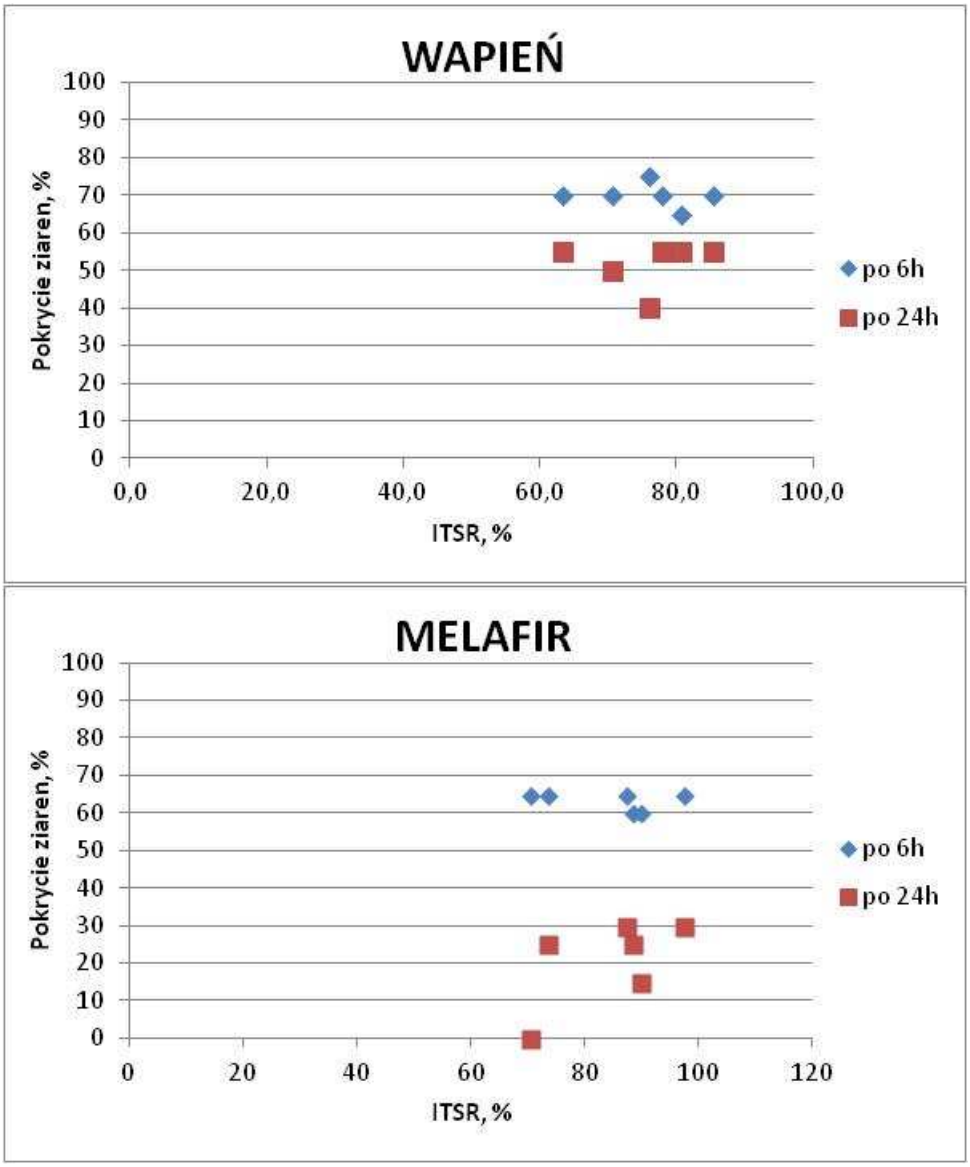
Rysunek 76. Zależność ITSR od przyczepności wg PN-84B-06714/22



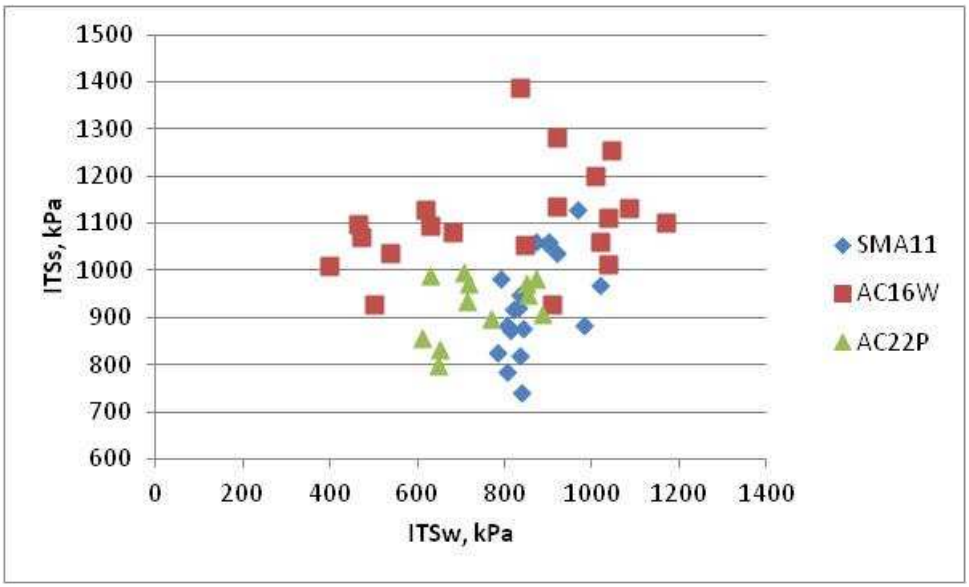
Rysunek 77. Zależność ITSR od przyczepności wg PN-EN (kruszywa do SMA11 S)



Rysunek 78. Zależność ITSR od przyczepności wg PN-EN (kruszywa do AC16 W)



Rysunek 79. Zależność ITSR od przyczepności wg PN-EN (kruszywa do AC22 P)



Rysunek 80. Rysunek 1 Zależność ITSw od ITSs

B - ITSR w odniesieniu do koleinowania

W tablicy 61-63 oraz na rysunkach 81-83 przedstawiono wyniki i wpływ poziomu ITSR na wyniki koleinowania w małym aparacie. Mieszanki SMA11 (B/P-max, GR/I – min) i AC22 (W/P-max, M/W-min) wskazują korzystną zależność tj. dla wyższego ITSR uzyskano lepsze (niższe) wyniki koleinowania. Natomiast w przypadku mieszanki AC16 W, gdzie wystąpiła największa różnica w wynikach ITSR skrajne wartości uzyskały A/A(106) i D/I (41,9) zaobserwowano wyniki koleinowania na takim samym poziomie. W odniesieniu do wszystkich wyników poziom jest zróżnicowany i nie można jednoznacznie stwierdzić wpływu poziomu ITSR na wyniki koleinowania.

Tablica 61 Wyniki badania koleinowania w małym aparacie SMA11 S

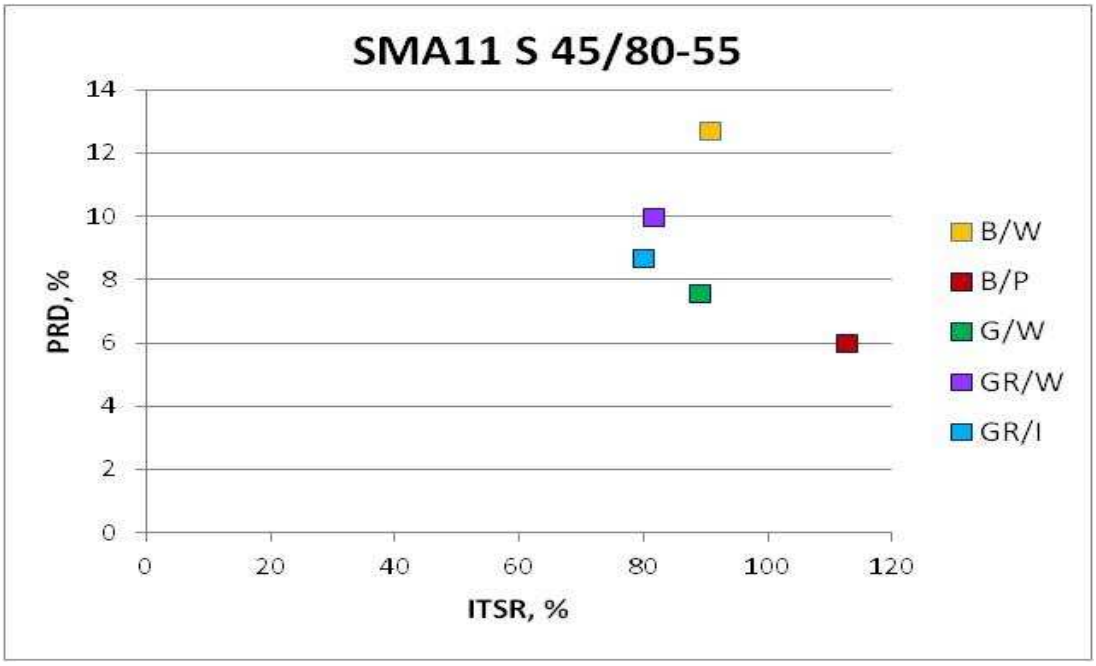
Rodzaj MMA / Właściwości	SMA11 45/80-55				
	B/W	B/P	G/W	GR/W	GR/I
ITSR, %	90,8	112,6	89	81,7	80,0
PRD, %	12,70	6,00	7,60	10,00	8,70
$WTS_{(d10000-d5000)}$, [mm/1000 cykli]	0,202	0,064	0,062	0,116	0,084

Tablica 62 Wyniki badania koleinowania w małym aparacie AC16 W

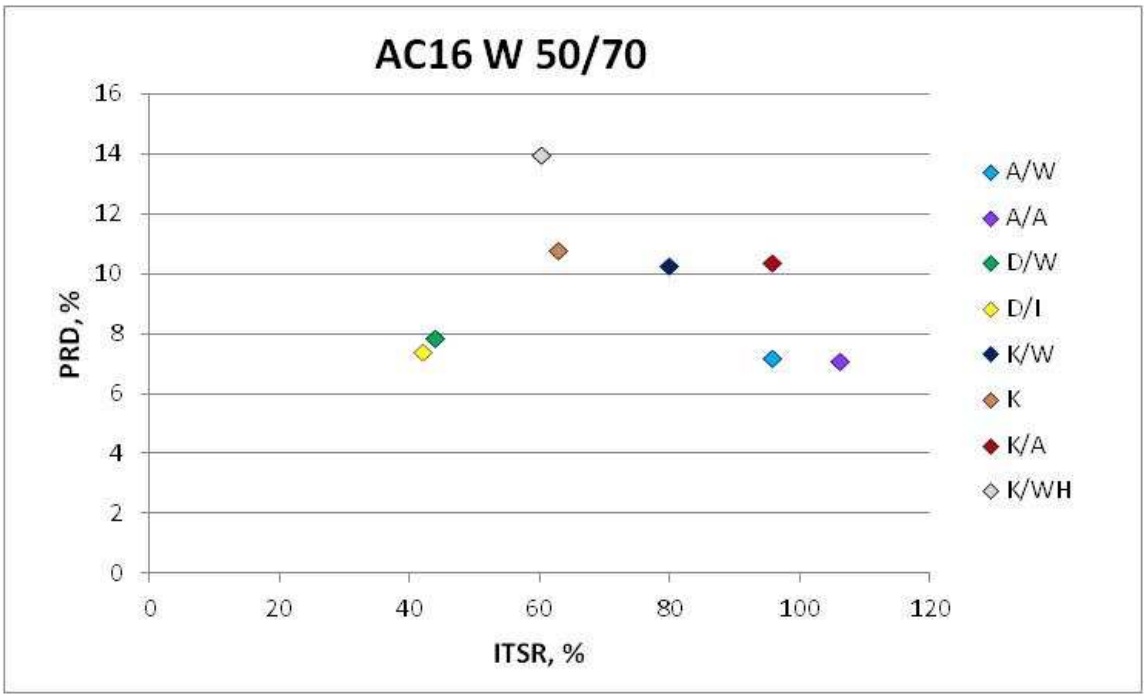
Rodzaj MMA / Właściwości	AC16 W 50/70							
	A/W	A/A	D/W	D/I	K/W	K	K/A	K/WH
ITSR, %	95,6	106,0	43,8	41,9	79,8	62,7	95,6	60,1
PRD, %	7,20	7,10	7,90	7,40	10,30	10,80	10,40	14,00
$WTS_{(d10000-d5000)}$, [mm/1000 cykli]	0,156	0,134	0,136	0,154	0,234	0,254	0,270	0,380

Tablica 63 Wyniki badania koleinowania w małym aparacie AC22 P

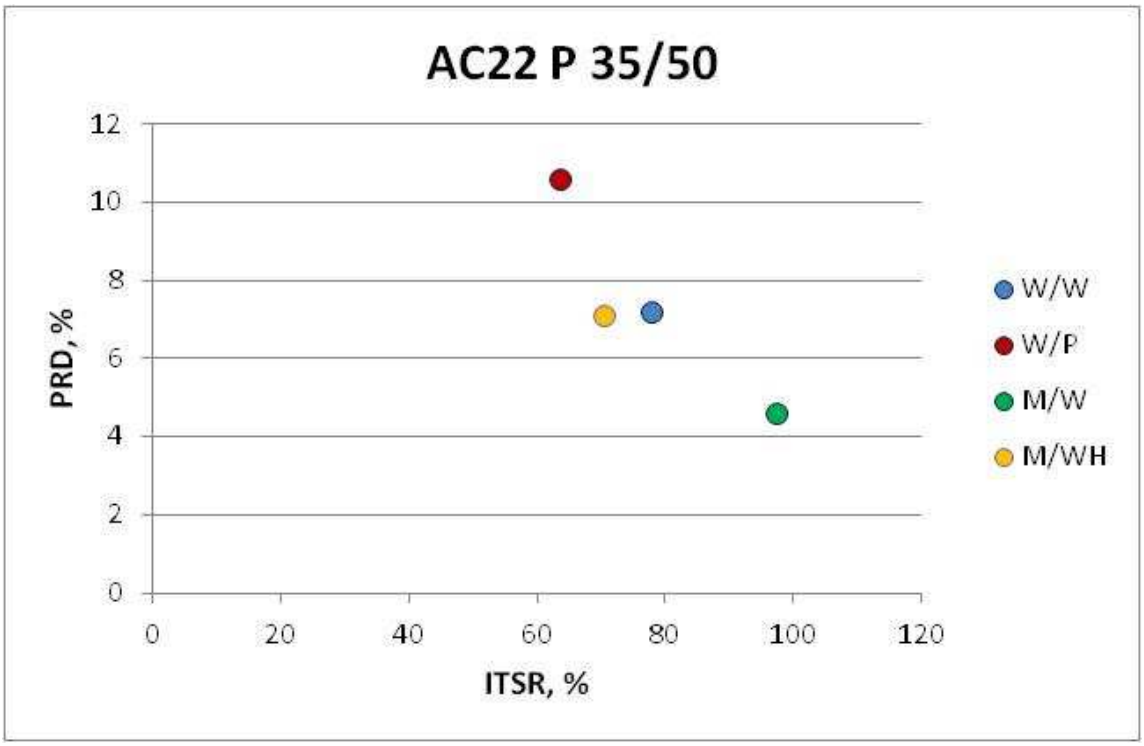
Rodzaj MMA / Właściwości	AC22 P 35/50			
	W/W	W/P	M/W	M/WH
ITSR, %	78,0	63,6	97,4	70,4
PRD, %	7,20	10,60	4,60	7,10
$WTS_{(d10000-d5000)}$, [mm/1000 cykli]	0,172	0,312	0,076	0,138



Rysunek 81. Zależność PRD od wskaźnika ITSR – mieszanka SMA11 S



Rysunek 82. Zależność PRD od wskaźnika ITSR – mieszanka AC16 W



Rysunek 83. Zależność PRD od wskaźnika ITSR – mieszanka AC22 P

C - ITSR w odniesieniu do TSRST

W tablicy 64-65 oraz na rysunkach 84-92 przedstawiono wyniki i wpływ poziomu ITSR na wyniki TSRST. Zaobserwowano brak zależności między wynikami TSRST a ITSR.

Tablica 64 Wyniki badania TSRST w odniesieniu do ITSR – AC16 W

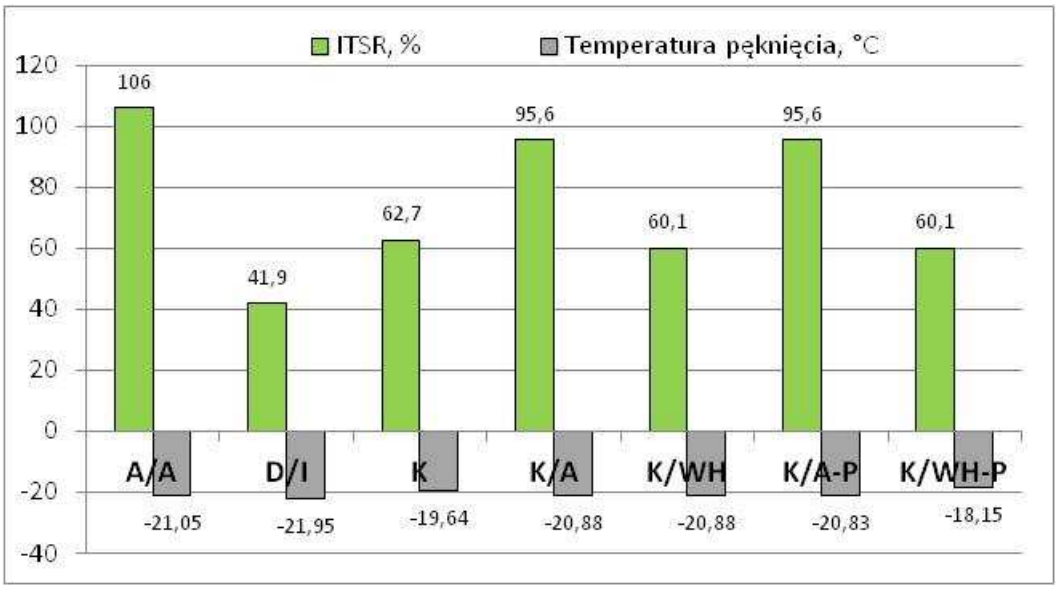
Rodzaj MMA / Właściwości	AC16 W 50/70						
	A/A	**D/I**	**K**	**K/A**	**K/WH**	**K/A-P**	**K/WH-P**
ITSR, %	106	41,9	62,7	95,6	60,1	95,6	60,1
Temperatura pęknięcia, ℃	-21,05	-21,95	-19,64	-20,88	-20,88	-20,83	-16,00
Naprężenia niszczące, MPa	3,84	4,22	3,55	4,70	4,58	3,25	3,50

Tablica 65 Wyniki badania TSRST w odniesieniu do ITSR – AC22 P

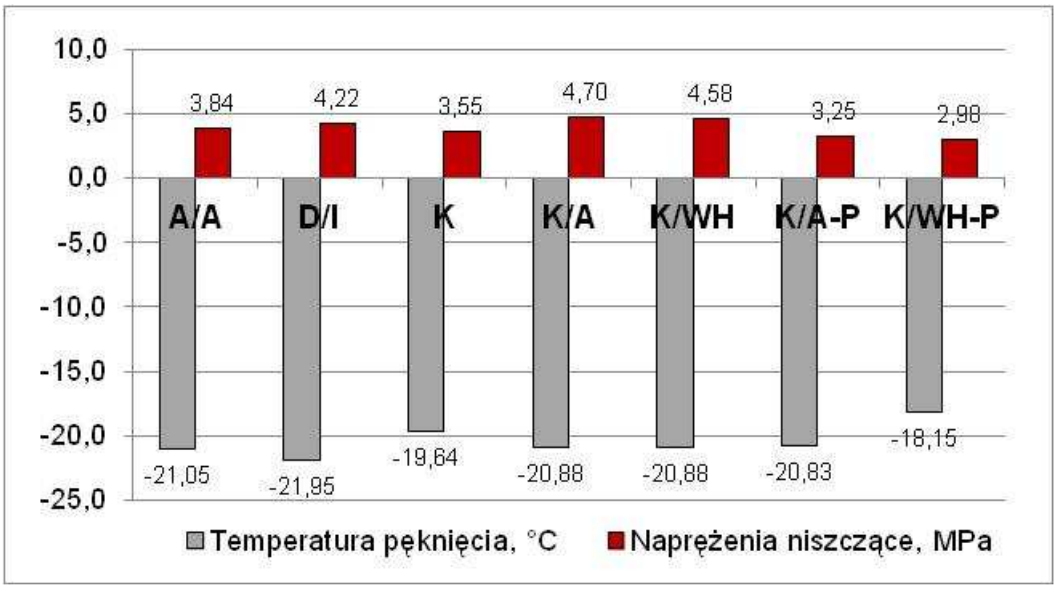
Rodzaj MMA / Właściwości	**AC22 P 35/50**		
	W/P	**M/W**	**M/WH**
ITSR, %	63,6	97,4	70,4
Temperatura pęknięcia, ℃	-22,39	-19,77	-21,69
Naprężenia niszczące, MPa	2,23	3,10	4,48

Tablica 66 Wyniki badania TSRST w odniesieniu do ITSR – SMA11 S

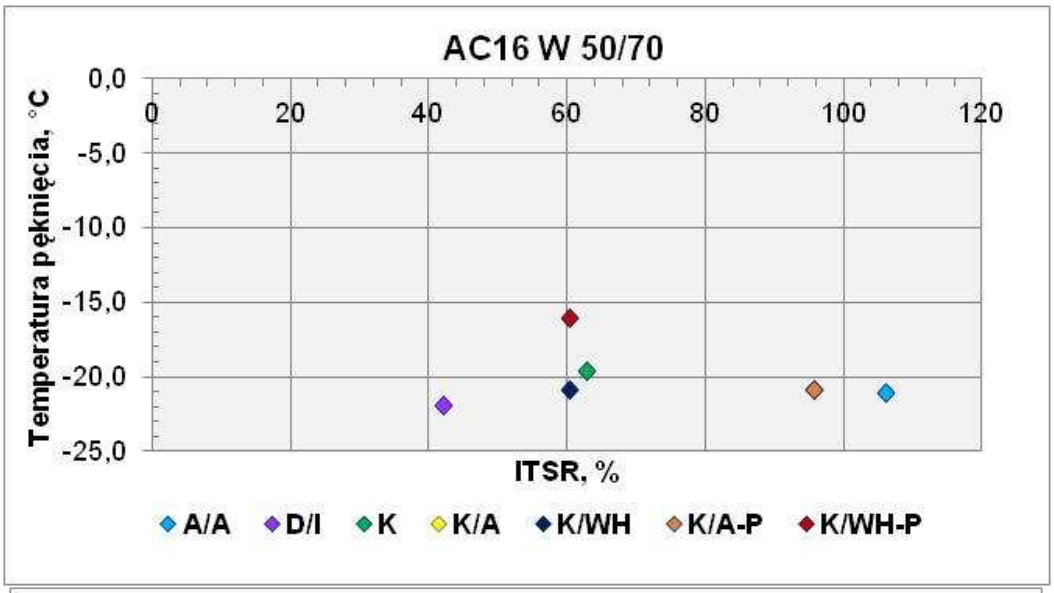
Rodzaj MMA / Właściwości	SMA11 45/80-55		
	B/P	**B/W**	**GR/I**
ITSR, %	**90,8**	**112,6**	**80**
Temperatura pęknięcia, ℃	-20,50	-23,46	
Naprężenia niszczące, MPa	3,85	4,36	

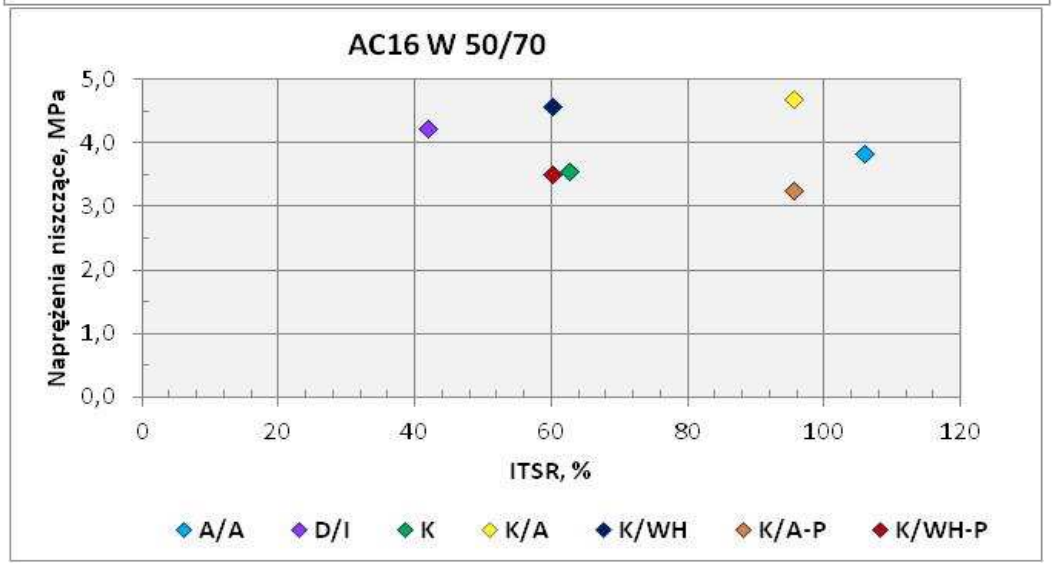


Rysunek 84. Zestawienie wyników badania TSRST z wynikami ITSR – AC16 W

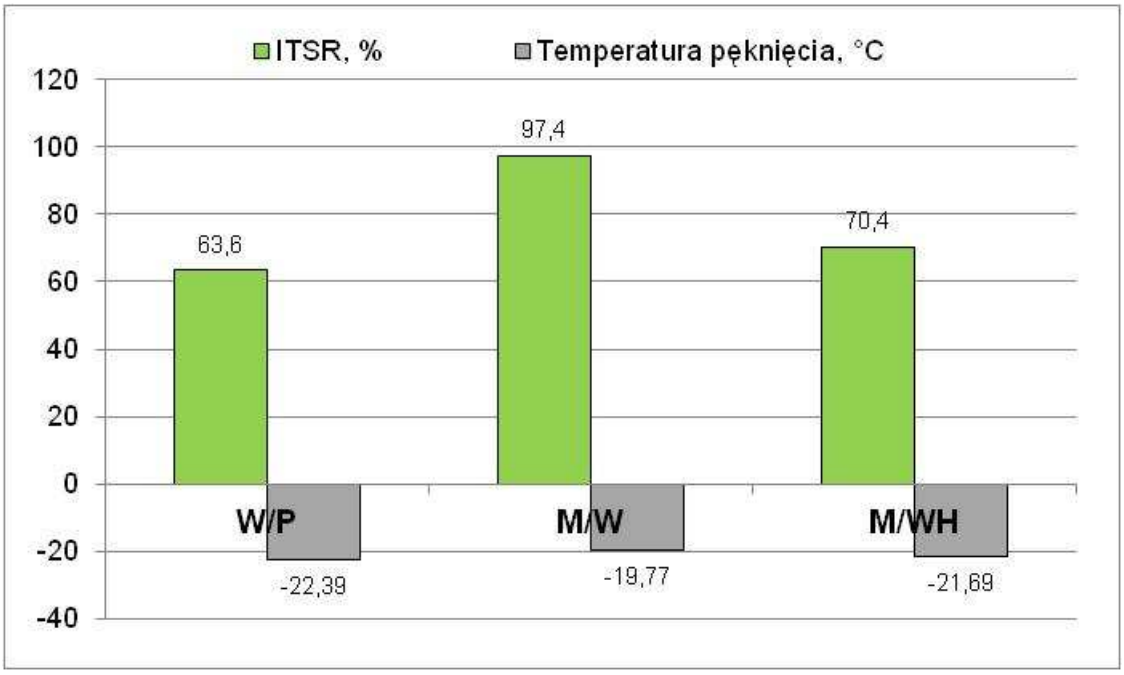


Rysunek 85. Zestawienie wyników badania TSRST – AC16 W

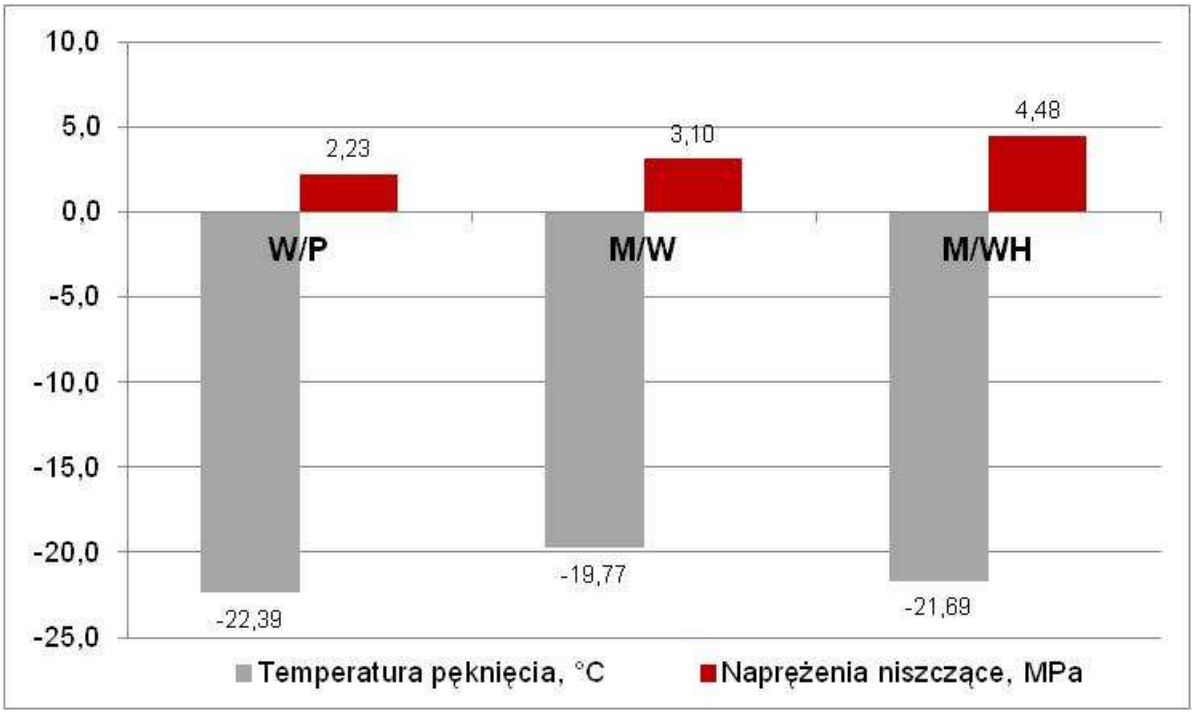




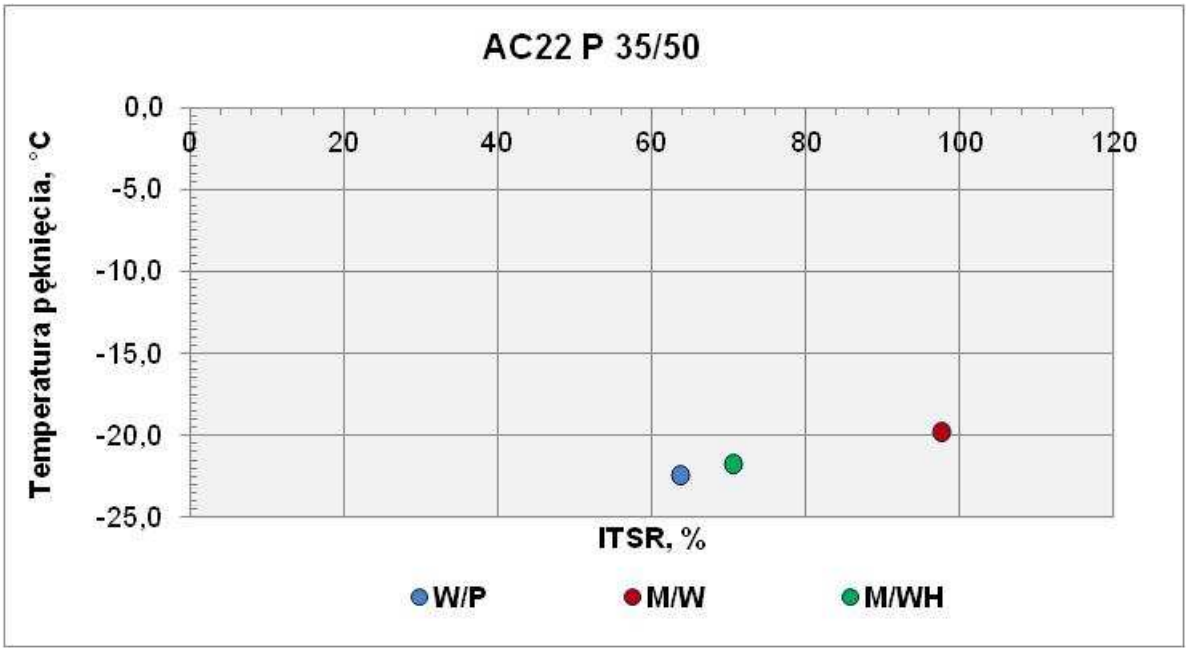
Rysunek 86. Zależność wyników badania TSRST i ITSR – AC16 W

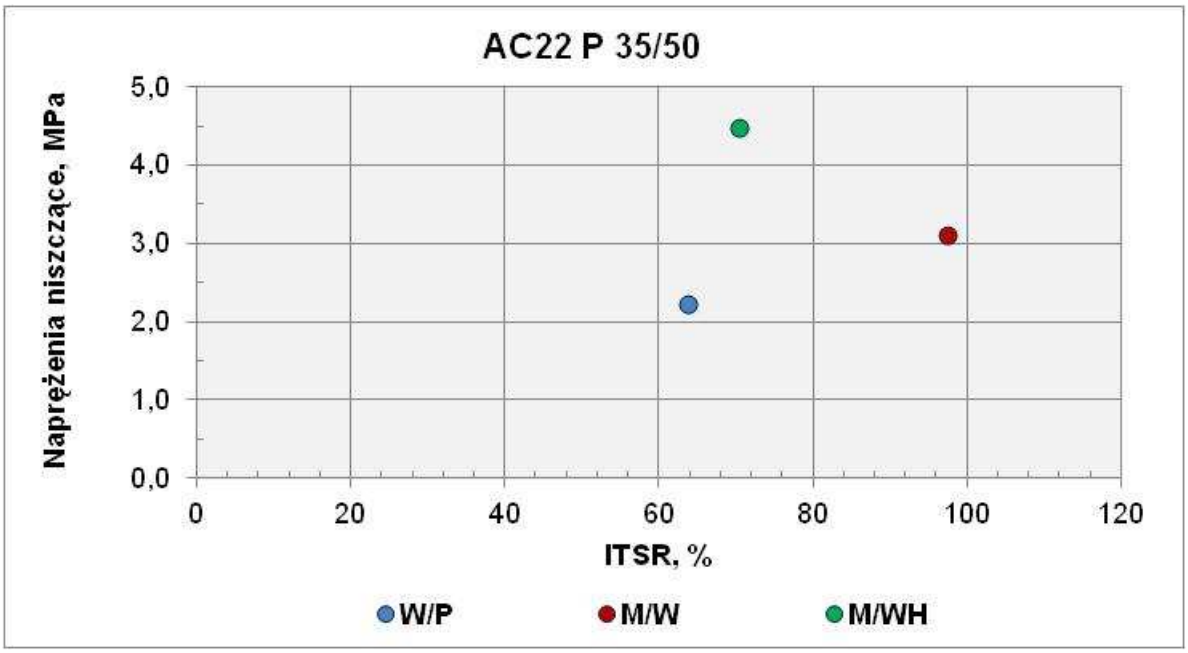


Rysunek 87. Zestawienie wyników badania TSRST z wynikami ITSR – AC22 P 35/50

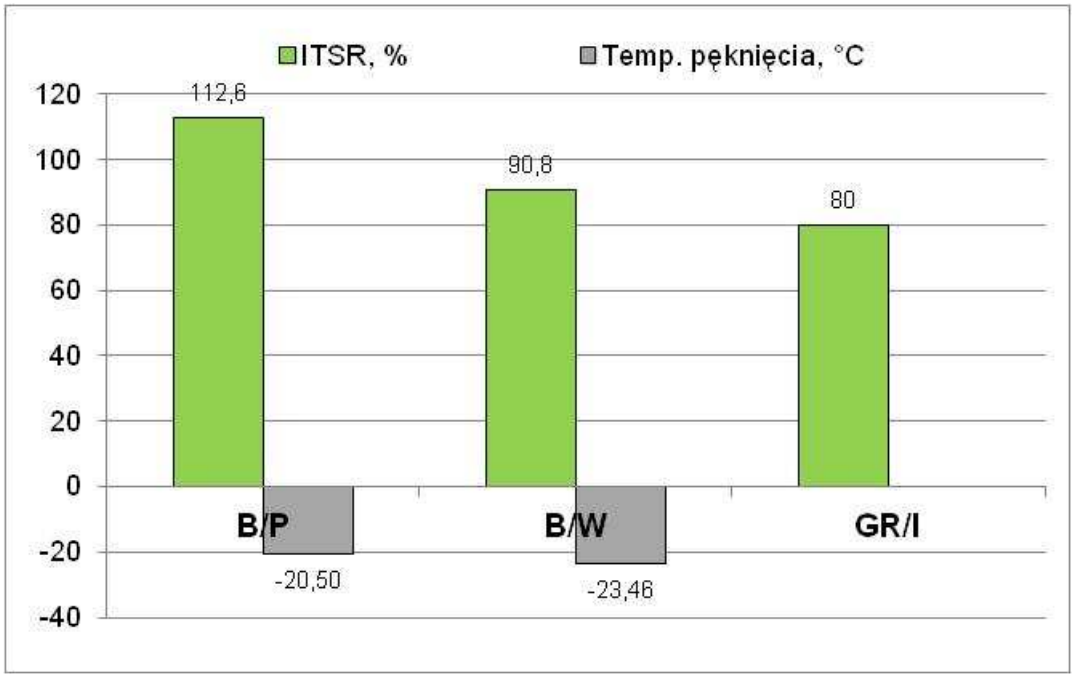


Rysunek 88. Zestawienie wyników badania TSRST – AC22 P

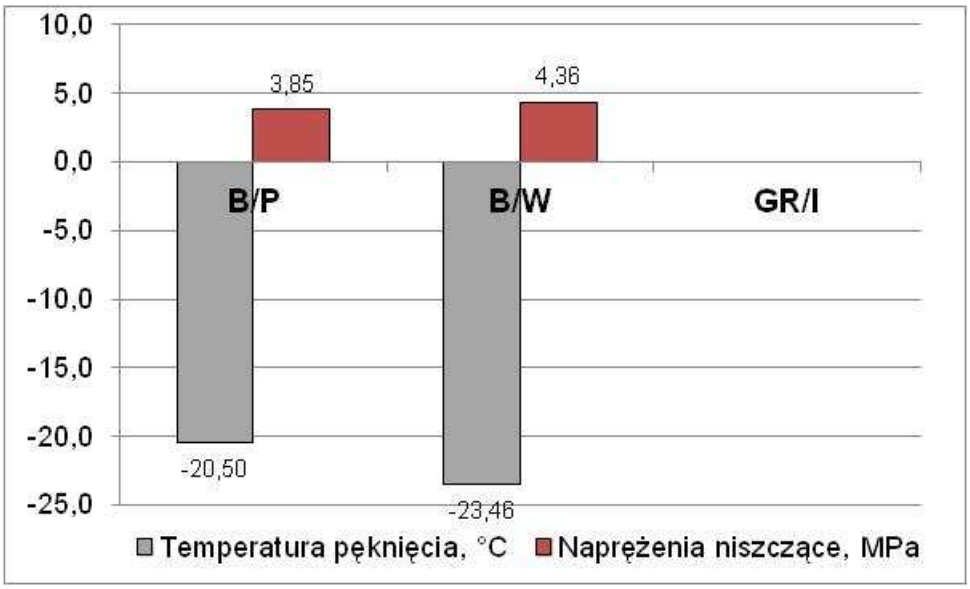




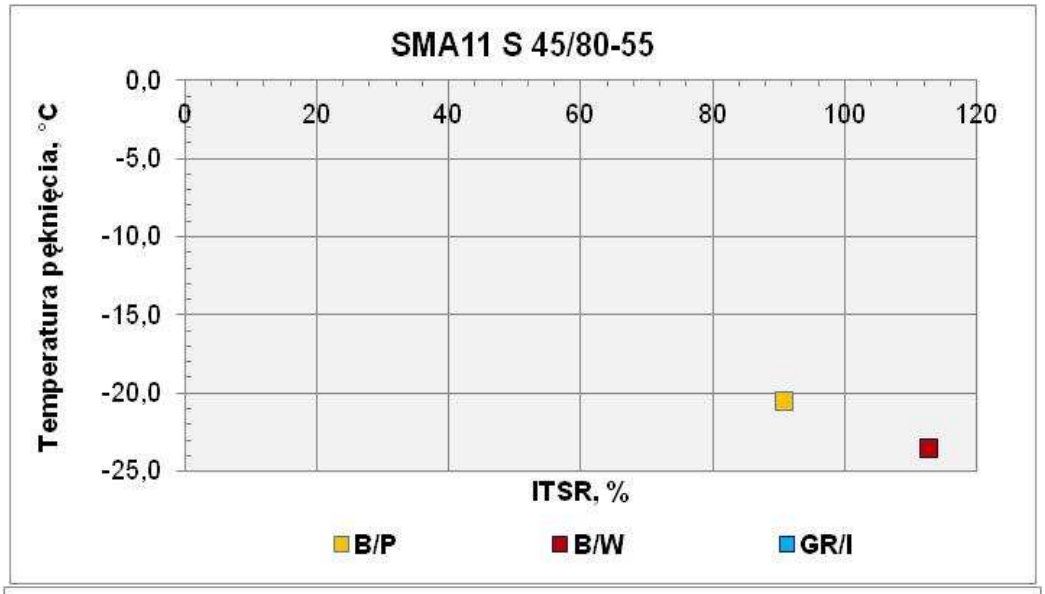
Rysunek 89. Zależność wyników badania TSRST i ITSR – AC22 P

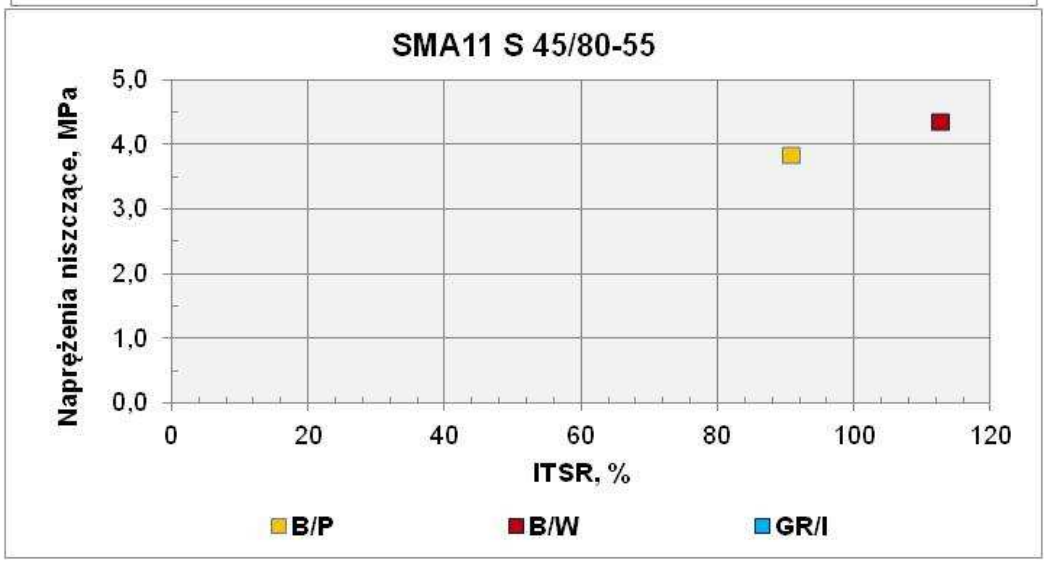


Rysunek 90. Zestawienie wyników badania TSRST z wynikami ITSR – SMA11 S



Rysunek 91. Zestawienie wyników badania TSRST – SMA11 S

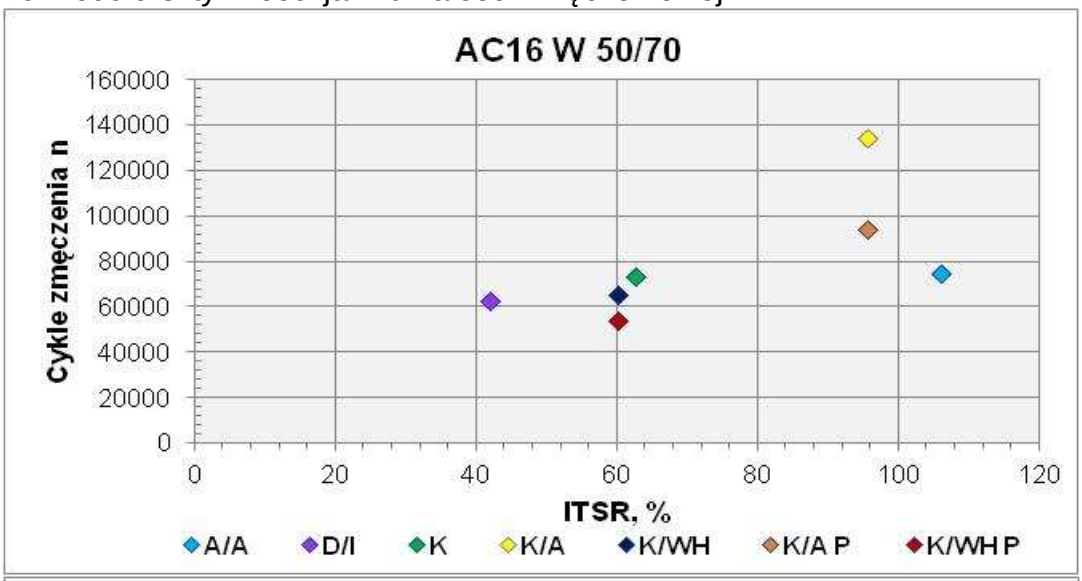


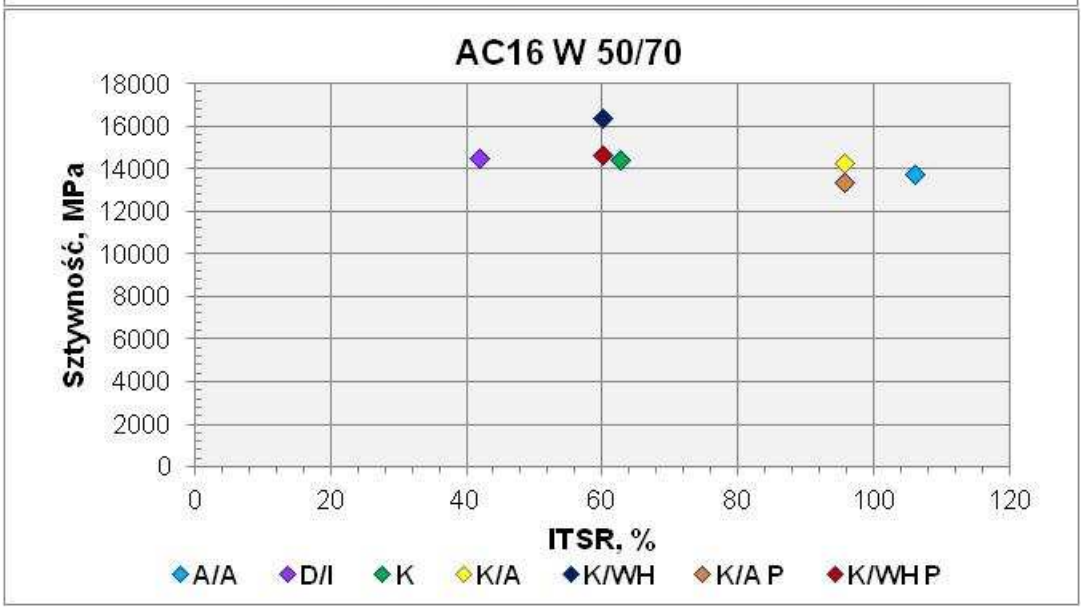


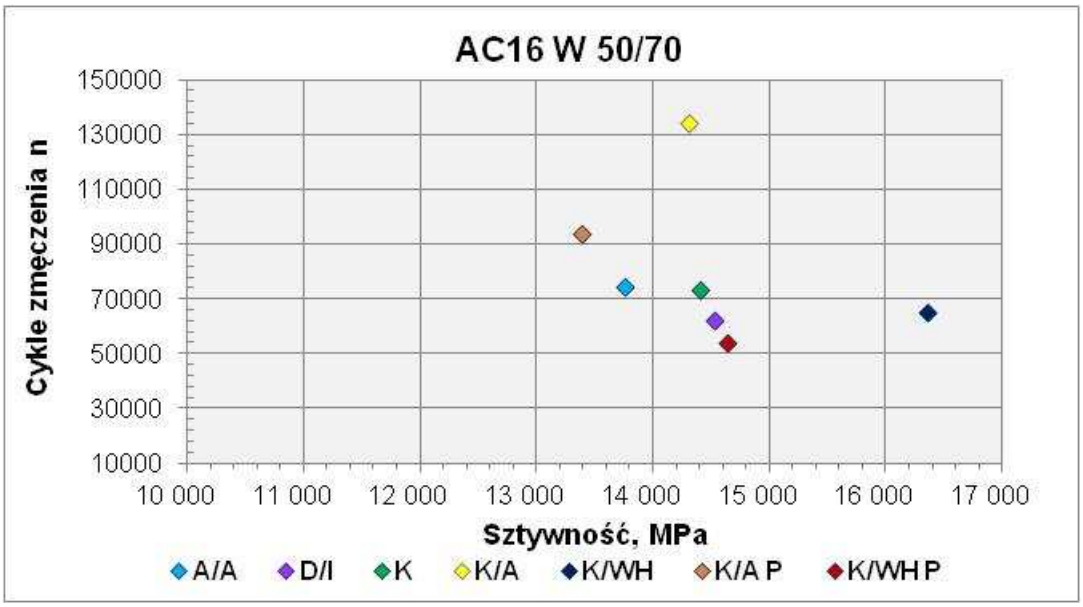
Rysunek 92. Zależność wyników badania TSRST i ITSR – SMA11 S

D - ITSR w odniesieniu do zmęczenie i sztywności

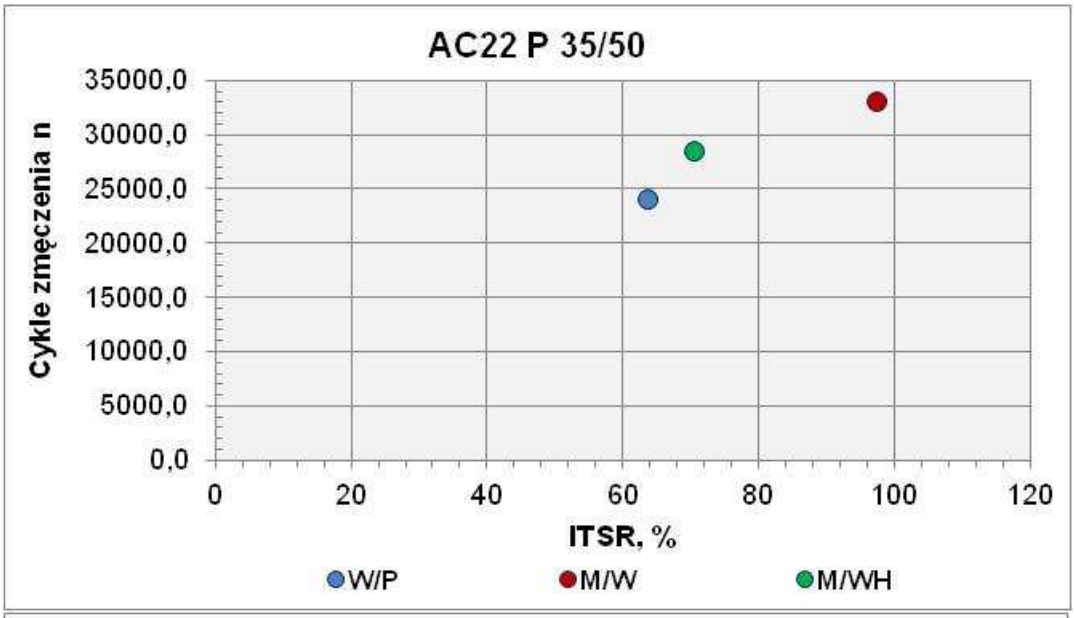
W badaniach zmęczeniowych można zaobserwować negatywny wpływ warunków pielęgnacji próbek niższe moduły i trwałość zmęczeniowa. Natomiast próbki bez pielęgnacji niezależnie od poziomu ITSR wykazują nieistotne różnice w wynikach zarówno modułu sztywności jak i trwałości zmęczeniowej.

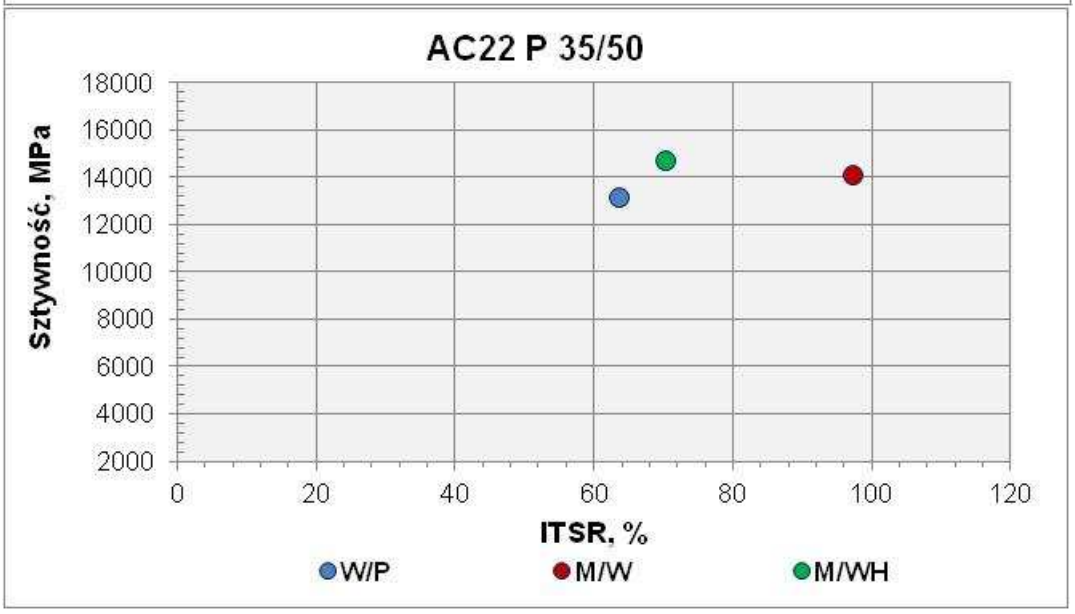


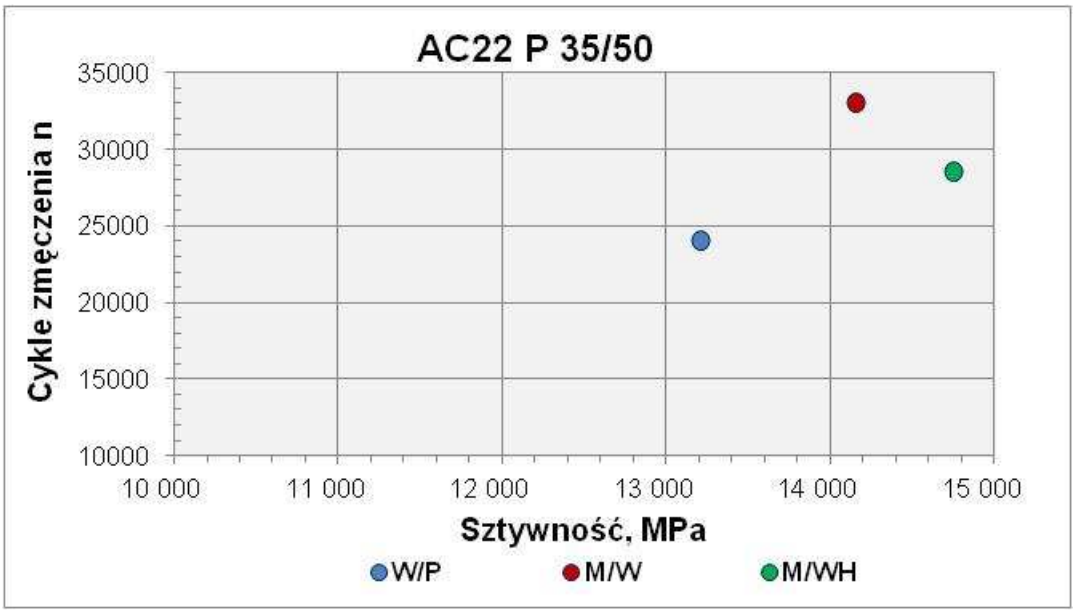




Rysunek 93. Wyniki zmęczenia z zależności od ITSR – AC16 W







Rysunek 94. Wyniki zmęczenia z zależności od ITSR – AC22 P

9. Podsumowanie pracy

9.1. Wnioski

W podsumowaniu pracy przedstawiono najważniejsze wnioski:

- metoda badania ITSR według AASHTO, traktowana jako referencyjna, potwierdziła uzyskiwanie mniejszych rozrzutów wyników badań oraz wyższych wartości ITSR niż według WT-2 2010,
- dodatkowa procedura kondycjonowania próbek według WT-2 2010 obniża wartości ITSR (w odniesieniu do metody według AASHTO oraz PN-EN 12697-22) oraz wprowadza nieco większy rozrzut wyników poszczególnych badań,
- stwierdzono wpływ geometrii próbki (poprzez gęstość objętościową geometryczną) na wynik badania rozciągania pośredniego ITSd i ITSw i zalecono kontrolowanie tego parametru do uzyskania lepszej jednorodności wyników,
- w celu polepszenia powtarzalności i odtwarzalności wyników badań należałoby:
    - ustalić wspólną metodologię badań,
    - uszczegółowić procedurę badania ITSR w kierunku AASHTO T283,
    - kontrolować temperatury oraz czas termostatowania próbek,
    - kontrolować stopień nasycenia próbek,
    - sprawdzać / kalibrować prasy wytrzymałościowe,
    - wykonywać próbki o zbliżonej geometrii (gęstości objętościowej geometrycznej)

- analiza kombinacji wyboru próbek z zestawu suchego i mokrego branych do obliczeń wykazała rozbieżności rzędu ±5 % od wartości średniej ze wszystkich próbek; zatem różnica 5 % dla pojedynczego oznaczenia ITSR jest nieistotna,
- kontrolowanie stopnia nasycenia poprawi powtarzalność wyników badań,
- poziom wymagań ITSR postawionych w Polsce jest niespotykany w skali Europy, i nie musi być aż tak radykalny,
- laboratoria biorące udział w porównaniach dysponowały zróżnicowanym sprzętem, nie zawsze odpowiadającym wymaganiom normy,
- Niniejsza praca badawcza ma charakter unikalny i pionierski w skali europejskiej, dlatego pracę należy kontynuować w formie badań i obserwacji odcinków doświadczalnych.

9.2. Procedura

Ujednolicona procedura określania wrażliwości na działanie wody i mrozu
Instrukcja ta została opracowana na podstawie norm: PN-EN 12697-12:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 12: Określanie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę oraz AASHTO T283-89 „Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage” (procedura zamrażania) i norm serii PN-EN 12697.
Streszczenie metody badawczej: Zestaw próbek dzieli się na dwie równe części i kondycjonuje. Połowę próbek przechowuje się w temperaturze pokojowej, bez dodatkowego kondycjonowania (tzw. „zestaw suchy”). Drugą połowę próbek (tzw. „zestaw mokry”) kondycjonuje się w wodzie o temperaturze 40 ℃, a następnie zamraża i kondycjonuje w wodzie o temperaturze 25 ℃. Po kondycjonowaniu określana jest wytrzymałość na rozciąganie pośrednie wszystkich próbek zgodnie z normą PN-EN 12697-23. Następnie określa się wyrażony procentowo stosunek wytrzymałości na rozciąganie pośrednie uzyskanych na próbkach z „zestawu mokrego” do wytrzymałości próbek z „zestawu suchego”.
Sprzęt: Do przeprowadzenia badania wymagany jest odpowiedni sprzęt Ilekroć podawana jest wymagana wartość wybranego parametru oraz tolerancja

poprzedzona znakiem „±" zamierzeniem jest, aby nastawa na urządzeniu była równa wartości parametru, a tolerancja zachowywana przez automatykę urządzenia. Czyli jeśli podano temperaturę termostatowania 25 ± 2 ℃, nastawiamy urządzenie na 25 ℃, a automatyka powinna zapewnia ć, że zmienność temperatury podczas pracy urządzenia będzie nie większa niż ±2 ℃). Zaleca si ę, aby temperatura termostatowania próbek w wodzie bądź powietrzu była monitorowana poprzez umieszczenie w komorze / łaźni dodatkowej próbki z umieszczonym w niej czujnikiem temperatury.

Operator przed rozpoczęciem badania powinien sprawdzić, czy sprzęt laboratoryjny wykorzystywany przy badaniu zaopatrzony jest w aktualne świadectwa wzorcowania, ewentualnie sprawdzić go zgodnie z procedurą sprawdzania (gdy wzorcowanie nie jest możliwe). Do określenia odporności na działanie wody i mrozu wymagane są:

–prasa wytrzymałościowa typu Marshalla, zgodna z normą PN-EN 12697-34 i przystawka do badania wytrzymałości na rozciąganie pośrednie (średnica próbek 100 mm lub 150 mm,

– aparatura próżniowa (pompa, ciśnieniomierz ciśnienia bezwzględnego, itp.), za pomocą której możliwe jest uzyskanie w zbiorniku próżniowym (komorze, suszarce próżniowej, itp.), ciśnienia pozostałego) (6,7±0,3) kPa w ciągu (10±1) minut i utrzymanie takiego ciśnienia w czasie (30±5) minut, zbiornik próżniowy (komora, suszarka próżniowa, itp.) z perforowaną półką umieszczoną na dnie zbiornika.

– łaźnia wodna z kontrolą termostatyczną, w której można utrzymać temperaturę kondycjonowania (25±2) ℃ i (40 ±1) ℃ w otoczeniu próbki. W przypadku łaźni Marshalla niewyposażonej w układ chłodzący wodę może być konieczne stosowanie dodatkowych zabiegów koniecznych do utrzymania temperatury wody w łaźni, np. umieszczanie lodu. Łaźnia powinna być wyposażona w perforowaną półkę umieszczoną na podkładkach na dnie łaźni, a pojemność łaźni powinna być taka, aby górne powierzchnie przechowywanych próbek znajdowały się co najmniej 20 mm poniżej poziomu wody. Opcjonalnie można użyć komory termoizolacyjnej z kontrolą termostatyczną, w której można utrzymać temperaturę (25±2) ℃ w otoczeniu próbki.

– komora chłodnicza, w której można utrzymać temperaturę (-18±3) ℃,

– waga oraz inny sprzęt potrzebny do określenia gęstości objętościowej zgodnie z normą PN-EN 12697-6,
– suwmiarka lub inne urządzenie do określenia wymiarów próbki zgodnie z normą PN-EN 12697-29,
– woda destylowana,
– strzykawka z podziałką (lub inne urządzenie) umożliwiające dozowanie (10 ±1 ml) wody,
– torebki plastikowe dopasowane do wielkości pojedynczej próbki, folia typu „stretch”.

Próbki do badań: Do określenia odporności na działanie wody i mrozu należy przygotować dziesięć próbek cylindrycznych. Próbki powinny być symetryczne i o równych bokach. Wysokość zagęszczonych próbek powinna wynosić (63,5±2,5) mm. Próbki powinny być o średnicy (101,6±0,1)mm lub (150±3) mm. Na cele badania typu, walidacji laboratoryjnej, próbki Marshalla powinny być przygotowane z mieszanki mineralno-asfaltowej wymieszanej ze składników w laboratorium wg normy PN-EN 12697-35.
W przypadku mieszanki mineralno-asfaltowej przygotowanej ze składników w laboratorium, należy ją poddać procesowi kondycjonowania w suszarce laboratoryjnej z zamkniętym obiegiem powietrza przez 2 godziny od wymieszania, w temperaturze 135 ℃, ewentualnie w temperaturze zagęszczania. Należy również zwrócić uwagę na metodę mieszania w przypadku, gdy próbki wykonywane są z kruszywa o uziarnieniu do 22,4 mm oraz do 31,5 mm. Aby zminimalizować różnice między gęstościami objętościowymi w serii próbek, można wykonać pojedyncze porcje mieszanki na pojedyncze próbki stosując mieszanie ręczne. W próbkach o średnicy (101,6±0,1) mm kruszywo w mieszance mineralno-asfaltowej nie powinno być większe niż 22,4 mm. W przypadku mieszanek o nominalnym wymiarze ziarna większym niż 22,4 mm ubijak Marshalla nie jest właściwym urządzeniem do zagęszczania próbek. W przypadku mieszanki mineralno-asfaltowej o uziarnieniu do 31,5 mm prawidłową średnicą próbek jest 150 mm, a do wykonania tych próbek należy zastosować np. prasę żyratorową). Próbki walcowe powinny być wykonane w warunkach laboratoryjnych zgodnie z normą PN-EN 12697-30 (ubijak Marshalla) lub PN-EN 12697-31 (prasa żyratorowa).

Temperatura zagęszczania próbek powinna odpowiadać temperaturom określonym przez producentów lepiszczy asfaltowych. Temperatury zagęszczania próbek zależą od zastosowanego lepiszcza asfaltowego. Należy przyjąć temperatury zagęszczania zgodne z zapisami WT-2 2010.

Próbki powinny być zagęszczone do poziomu oczekiwanego po wbudowaniu. Typ próbki, średnicę oraz energię zagęszczenia należy dobrać odpowiednio do badanej mieszanki mineralno-asfaltowej. Gęstość objętościową odpowiadającą gęstości objętościowej uzyskiwanej w warunkach polowych można uzyskać stosując następujące poziomy energii zagęszczenia:

- zagęszczanie w prasie żyratorowej (PN-EN 12697-31): 40 obrotów,
- zagęszczanie przez ubijanie (PN-EN 12697-30): 2 x 35 uderzeń.

Procedura: Po wykonaniu próbek, należy określić wymiary i gęstość objętościową według PN-EN 12697-29 i PN-EN 12697-6. Zestaw próbek należy podzielić na dwie równe części: „zestaw mokry” i „zestaw suchy”, o zbliżonych średnich wysokościach i gęstościach objętościowych. Różnica między średnimi wysokościami nie powinna być większa niż 5 mm. Różnica między średnimi gęstościami objętościowymi metodą B (ssd) i D (geom) nie powinna być większa niż 15 kg/m^3. (Z. 14 Próbki z zestawu suchego i mokrego dobrać tak, aby różnica średnich gęstości objętościowych tych zestawów była bliska zeru).

Próbki należy przygotować w możliwie krótkim czasie, nie dłuższym niż jeden tydzień. Przed rozpoczęciem procedury kondycjonowania należy zapewnić co najmniej 16 godzinne pielęgnowanie próbek, polegające na przechowywaniu próbek z obu zestawów na płaskiej powierzchni w temperaturze pokojowej (20±5) ℃.

Kondycjonowanie próbek z „zestawu suchego” polega na przechowaniu ich na płaskiej powierzchni w temperaturze pokojowej (20±5) ℃. Kondycjonowanie próbek z „zestawu mokrego” rozpoczyna się od umieszczenia ich na perforowanej półce w zbiorniku próżniowym (komorze, suszarce próżniowej, itp.) wypełnionym wodą destylowaną o temperaturze (20±5) ℃. Górne powierzchnie próbek po zanurzeniu powinny znajdować się co najmniej 20 mm poniżej poziomu wody. Uruchomić aparaturę próżniową i uzyskać ciśnienie bezwzględne (6,7±0,3) kPa w ciągu (10±1) minut. Aby uniknąć uszkodzenia próbki, ciśnienie należy obniżać powoli i równomiernie. Utrzymywać zadane ciśnienie przez okres (30±5) minut, a następnie

podwyższać powoli i równomiernie do poziomu ciśnienia atmosferycznego. Pozostawić próbki zanurzone w wodzie na kolejne (30±5) minut. Po wyjęciu z wody zmierzyć wymiary próbek z zgodnie z normą PN-EN 12697-29 i obliczyć objętość próbek. Należy odrzucić próbki, które zwiększyły swoją objętość o więcej niż 2 %.

Określić stopień nasycenia próbek wodą według wzoru:

$$Nw = \frac{B - A}{V(B - C)} \times 100\%$$

gdzie:

Nw – stopień nasycenia próbki wodą, %

A – masa próbki suchej w powietrzu przed nasączaniem próżniowym, g

B – masa próbki po nasączaniu próżniowym w powietrzu, g (próbkę delikatnie osuszyć powierzchniowo tak, jak przy określaniu gęstości objętościowej metodą SSD)

C – masa próbki w wodzie po nasączaniu próżniowym, g

V – zawartość wolnej przestrzeni w próbce wyrażona liczbą dziesiętną

Zanotować stopień nasycenia próbek wodą. Odrzucić próbki, które mają stopień nasycenia powyżej 80 %. Jeśli próbka uzyskała stopień nasycenia poniżej 55 %, powtórzyć procedurę nasączania.

Umieścić próbki z „zestawu mokrego” w łaźni wodnej o temperaturze (40±1) ℃ na okres od 68 do 72 godzin. Temperatura kondycjonowania próbek w wodzie powinna zostać obniżona do (30±1) ℃, je żeli zastosowano asfalt rodzaju 100/150 lub bardziej miękki zgodnie z normą EN 1426.

Po wyjęciu z łaźni wodnej, unikając nadmiernego ociekania wody, próbki ściśle owinąć folią typu „stretch”. Każdą owiniętą próbkę umieścić w torbie plastikowej zawierającej (10±1) ml wody (odmierzonej przy użyciu strzykawki lub innego urządzenia) i szczelnie zamknąć. Plastikowe torby z próbkami umieścić w komorze chłodniczej w temperaturze (-18±3) ℃ i przechowywa ć przez minimum 16 godzin, licząc czas od momentu, gdy zamrażarka z próbkami osiągnie tą temperaturę.

Po wyjęciu próbek z zamrażarki umieścić je w łaźni z wodą o temperaturze (25±2) ℃. Wkrótce po umieszczeniu próbek w ła źni wodnej i rozmrożeniu opakowania, wyjąć je z plastikowej torebki i zdjąć z nich folię typu „stretch” najszybciej, jak to jest możliwe i ponownie umieścić w łaźni wodnej. Próbki przechowywać w łaźni wodnej przez (24±1) h, licząc od momentu pierwszego włożenia do łaźni po

przechowywaniu w komorze chłodniczej.

Doprowadzić oba zestawy próbek do temperatury badania (25±2) °C. Próbki z „zestawu suchego” termostatować w warunkach powietrzno-suchych:

- w łaźni wodnej, ale izolowane od wody torebką z cienkiej wytrzymałej folii,
- lub w komorze powietrznej,
- nie dopuszcza się termostatowania próbek z zestawu suchego w warunkach wysokiej wilgotności, np. w łaźni wodnej ponad powierzchnią wody,
- zakładana temperatura badania wynosi 25 ℃ i nie dopuszcza się termostatowania próbek z zestawu suchego w innej temperaturze, np. pokojowej.

Próbki z „zestawu mokrego” termostatować w łaźni wodnej lub torebkach z wodą w komorze powietrznej przez co najmniej kolejne 4 godziny. W przypadku korzystania z komory powietrznej i łaźni wodnej należy razem z próbkami umieścić dodatkową próbkę z wprowadzonym w nią czujnikiem temperatury.

Osuszyć mokre próbki ręcznikiem i określić wytrzymałość próbek na rozciąganie pośrednie według PN-EN 12697-23. Badanie powinno być przeprowadzone w ciągu 1 minuty od wyjęcia próbki z wody.

Obliczenia: Obliczyć wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ITSR według poniższego wzoru:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

w którym:

- ITSR wskaźnik wytrzymałości próbki na rozciąganie pośrednie, w pełnych procentach (%)
- ITS_w średnia wytrzymałość oznaczona dla grupy próbek mokrych, zaokrąglona do liczby całkowitej, wyrażona w (kPa)
  - $ITS_w = \frac{2 \times P_w}{\pi \times D \times H}$
- ITS_d średnia wytrzymałość wyznaczona dla grupy próbek suchych, zaokrąglona do liczby całkowitej, wyrażona w (kPa)
  - $ITS_d = \frac{2 \times P_d}{\pi \times D \times H}$
- Pw, Pd – maksymalna wartość siły ściskającej, w kN

- D – średnica próbki w zaokrągleniu do 0,1 mm
- H – wysokość próbki w zaokrągleniu do 0,1 mm

Analiza wyników badań:

Zaakceptować uzyskane wartości jeśli różnica wytrzymałości na rozciąganie pośrednie pojedynczych próbek (wyniki częściowe) nie różni się więcej niż o 17 % wartości średniej.

Zbadać dwie dodatkowe próbki, jeśli wyniki różnią się więcej niż o 17 % wartości średniej. Obliczyć odchylenie standardowe z wszystkich wyników. Odrzucić skrajne dane, zdefiniowane jako pojedyncze wyniki powodujące, że odchylenie standardowe jest większe niż 10 % średniej z wszystkich wyników.

9.3. Wymagania

Proponuje się wprowadzenie następujących zweryfikowanych wymagań ITSR określanych zgodnie z nową procedurą:

- AC S – $ITSR_{80}$
- SMA – $ITSR_{80}$
- PA – $ITSR_{85}$
- BBTM – $ITSR_{85}$
- AC W – $ITSR_{70}$
- AC WMS – $ITSR_{75}$
- AC P – $ITSR_{60}$

Bibliografia

[1] *AASHTO T283-89 „Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage”*

[2] *PN-S-96025 2000 - Drogi samochodowe i lotniskowe -- Nawierzchnie asfaltowe – Wymagania*

3 WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne – 2010

[4] PN-EN 12697-27 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 27: Pobieranie próbek
[5] PN-EN 12697-6 PN-EN 12697-6, Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej
[6] Sprawozdanie z realizacji pracy TN-187 „Opracowanie metodyki badania odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na wpływ czynników niszczących: wody i mrozu"
[7] ILAC-G8:03/2009, Wytyczne dotyczące przedstawiania zgodności ze specyfikacją
8 PN-EN 12697-6, Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej próbek mieszanki mineralno-asfaltowej
9 PN-EN 12697-5, Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 5: Oznaczanie gęstości
10 PN-EN 12697-8, Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 8: Oznaczenie zawartości wolnej przestrzeni.
11 PN-EN 12697-35 +A1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 35: Mieszanie laboratoryjne
12 PN-EN 12697-23, Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 23: Określenie pośredniej wytrzymałości na rozciąganie próbek asfaltowych
13 Monismith C.L., Secor G.A., Secor K.E.: Temperature Induced Stresses and Deformations in Asphalt Concrete. Proc. AAPT 34, 1965
14 Fabb T.T.J.: The Influence of Mix Composition, Binder Properties and Cooling Rate on Asphalt Cracking at Low Temperature. Proc. AAPT. 43, 1974
15 Arand W.: Verhalten von Asphalt bei tiefen Temperaturen. Die Asphaltstrasse 3, 1983.
16 Arand W.: Einfluss der Zusammensetzung von Walzasphalt auf das Verhalten bei Kälte. Strasse und Autobahn 8, 1987
17 Arand W., Sybilski D.: Wpływ zastosowania polskich asfaltów drogowych na właściwości betonu asfaltowego w niskiej temperaturze. Prace IBDM 3, 1992
18 AASHTO TP10-93 "Standard test method for thermal restrained specimen tensile strenght"
19 PN-EN 12697-12, Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 12: Określenie wrażliwości próbek asfaltowych na działanie wody
20 PN-EN 12697-30 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 30: Przygotowanie próbek zagęszczonych przez ubijanie

21 PN-EN 12697-23 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 23: Oznaczanie wytrzymałości mieszanki mineralno-asfaltowej na rozciąganie pośrednie
22 PN-EN 12697-22, +A1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 22: Koleinowanie
23 PN-EN 12697-22, +A1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 22: Koleinowanie