

metru  $w_d$  wszystkich lepiszcz w temperaturze  $T = 10[^\circ\text{C}]$ , przy wyższych wartościach temperatury zauważalna jest przewaga asfaltów modyfikowanych, ponieważ parametr  $w_d$  w zakresie naprężeń  $\leq 1$  [kPa] utrzymuje się w przedziale od 0.2 do 0.6 a zatem jest wyraźnie większy od wartości bliskich 0 lub 0.1, które charakteryzują asfalty drogowe. Stąd wniosek, że badania, których wynikiem jest wartość parametru bliska 0 był przeprowadzany na substancji o własnościach zbliżonych do cieczy, a nie ciała sprężystego o własnościach lepkich. Lepiszcz modyfikowane wydają się być dużo bardziej odporne na wpływ temperatury, ale tylko w pewnym zakresie naprężeń, tj. od 0.1 do 10.0 [kPa]. Można przypuszczać, że przy wyższych poziomach naprężenia mikrostruktura polimerowa SBS w wyniku znacznych deformacji ulega zniszczeniu i lepiszcz modyfikowane zachowują się jak niemodyfikowane.

## Podsumowanie

Na tym etapie badań nie jest możliwe formułowanie wniosków w odniesieniu do odporności na koleinowanie mieszanek mineralno-asfaltowych, co będzie celem drugiej części artykułu. Niemniej jednak można stwierdzić, że na podstawie zaproponowanego parametru funkcjonalnego możliwe jest charakteryzowanie lepiszcz asfaltowych w szerokim zakresie odkształceń (naprężeń) i temperatury. Zastosowanie tego parametru pozwala na kompleksową ocenę lepiszcz asfaltowych drogowych i modyfikowanych, co przy zastosowaniu standardowych parametrów nie było możliwe. W ogólności funkcja  $w_d(T, \tau_o)$  ma maksimum w lepiszczu:

- 80B, przy  $T = 45[^\circ\text{C}]$  i  $\tau_o = 1.0$  [kPa],  $w_d$  jest bliskie 0.75,

- 30B, przy  $T = 10[^\circ\text{C}]$  i  $\tau_o = 1.0$  [kPa],  $w_d$  przekracza 0.55,
- 35/50, przy  $T = 10[^\circ\text{C}]$  i  $\tau_o = 1.0$  [kPa],  $w_d$  jest bliskie 0.4,
- 50/70, przy  $T = 10[^\circ\text{C}]$  i  $\tau_o = 1.0$  [kPa],  $w_d$  przekracza 0.4.

Wobec tego można przypuszczać, że do większości asfaltów badanie POP powinno się przeprowadzać w temperaturze  $T = 10[^\circ\text{C}]$  przy naprężeniu ścinania  $\tau_o = 1.0$  [kPa]. Weryfikacji tej hipotezy można dokonać poszukując korelacji między wynikami badania POP a wynikami koleinowania przeprowadzonymi na typowych mieszankach wykonanych z zastosowaniem analizowanych lepiszcz przy założeniu optymalnej recepty.

## Bibliografia

- [1] B. Gagliano, R. Blab, K. Kappl: *Models for permanent deformation for bituminous bound materials in flexible pavements*, SAMARIS – Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructure, SAM-05-DE11, 2004
- [2] J. D'Angelo, R. Kluttz, R. Dongré, K. Stephens, L. Zanzotto: *Revision of the Superpave High Temperature Binder Specification: The Multiple Stress Creep Recovery Test*, Journal of the Association Of Asphalt Paving Technologists, Vol.76, pp.123-157, 2007
- [3] T.G. Mezger: *The Rheology – Handbook, For users of rotational and oscillatory rheometers*, Vincentz Verlag, Hannover 2002
- [4] D. Sybilski: *Polimeroasfalty drogowe. Jakość funkcjonalna, metodyka i kryteria oceny*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, seria: Studia i materiały, zeszyt 45, Warszawa 1996
- [5] J.M. Ward: *Mechaniczne własności polimerów jako tworzyw konstrukcyjnych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1975
- [6] C. Nicholls (ed): *BitVal – Analysis of Available Data for Validation of Bitumen Tests*, Report on Phase 1 of the BitVal Project, FEH-RL, 2006
- [7] H.A. Barnes, J.F. Hutton, K. Walters: *An Introduction to Rheology*, Rheology Series, 3, Elsevier, 1989
- [8] G. Polacco, J. Stastna, L. Zanzotto: *Accumulated strain in polymer-modified asphalts*, Rheol Acta, 47, pp.491-498, 2008



MARIA BOGACKA

Laboratorium Drogowe  
Wojciech Bogacki  
mariabogacka@  
badaniatypu.pl



HALINA SARLIŃSKA

POLIMEX-MOSTOSTAL  
S.A. halina.sarlińska@  
polimex.pl

## ITSR – wielka loteria

Odporność na wodę (ITSR) jest wymaganiem ogólnym wobec mieszanek mineralno-asfaltowych (mma) typu: beton asfaltowy, BBTM, SMA i asfalt porowaty, projektowanych i produkowanych zgodnie z Normami Europejskimi. W dokumentach aplikacyjnych opracowanych w Polsce, odnoszących się do tych norm, wymaganie zostało przedstawione jako obowiązujące z dodatkowym jednym cyklem zamrażania. Z dopuszczalnych normami kategorii ITSR wybrano trzy, przypisane do mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych na poszczególne warstwy konstrukcyjne:

- ITSR<sub>70</sub> – podbudowa
- ITSR<sub>80</sub> – warstwa wiążąca
- ITSR<sub>90</sub> – warstwa ścieralna

Wybór tych kategorii nie był poprzedzony w kraju żadnymi badaniami, ani w skali laboratoryjnej, ani na odcinkach doświadczalnych. Jedynym odniesieniem mogło być doświadczenie płynące z wcześniejszego wykonywania badania odporności na wodę i mróz według procedury opisanej w amerykańskiej normie AASHTO T 283 [3], która znacząco się różni od warunków badania stosowanych aktualnie.

Wymagania dotyczące ITSR zapisane w WT-2 2008 [4] były dość spójne z procedurą oznaczania tego parametru, ustaloną w Normie Europejskiej PN-EN 12697-12:2004 [1], natomiast w chwili wprowadzenia ich do praktyki krajowej laboratoria były zobowiązane do stosowania procedury zgodnej z nową wersją normy, tj. PN-EN 12697-12:2008 [2]. Nowe wydanie Wymagań Technicznych WT-2 2010 [5] zmieniło podejście do badania odporności mma na wodę i obecnie nakazuje stosowanie instrukcji badawczej stanowiącej załącznik nr 1 do WT-2-2010 [5]. Badanie wg tej instrukcji w sposób znaczący różni się od procedury opisanej w PN-EN 12697-12:2008 [2], jednak nie jest z nią niezgodne, ponieważ norma zezwala na zastosowanie dodatkowego kon-

Tabela 1. Sposób przygotowania, kondycjonowania i badania próbek do określenia odporności mma na wodę i mróz

Czynność/warunki	PN-EN 12697-12:2008 [2]	Załącznik nr 1 do WT-2 2010 [5]	Uwagi
Liczba i wielkość próbek	Minimum 6 szt. wykonanych zgodnie z normą: PN-EN 12697-30, PN-EN 12697-31 lub PN-EN 12697-32	Minimum 6 szt. wykonanych zgodnie z normą PN-EN 12697-31	WT-2 w punkcie 5.a załącznika wskazują jako obowiązujące zagęszczanie próbek w prasie żyrotorowej! W praktyce potraktowano ten zapis jako błąd edycyjny i stosuje się zgodnie z punktem 5.b ubijanie w aparacie Marshalla wg PN-EN 12697-30
Energia zagęszczania	2×35 uderzeń	2×35 uderzeń	WT-2 2008 2×25 uderzeń!
Dopuszczalne różnice w wysokości i gęstości objętościowej poszczególnych próbek w grupach przeznaczonych do jednorodnego przechowywania	Dla poszczególnych próbek nie może występować różnica od średniej o więcej niż: wysokość – 5 mm; gęstość objętościowa – 15 kg/m <sup>3</sup>	Dla poszczególnych próbek nie może występować różnica od średniej o więcej niż: wysokość – 5 mm; gęstość objętościowa – 15 kg/m <sup>3</sup>	
Okres przechowywania od uformowania próbek do rozpoczęcia badania	16 – 24 godzin	Brak wymagań	
Kondycjonowanie próbek „zestawu suchego”	Na płaskiej powierzchni w temperaturze pokojowej (20±5)°C	Na płaskiej powierzchni w temperaturze pokojowej (20±5)°C	
Nasycanie próbek „zestawu mokrego”	Komora w pompie próżniowej z półką perforowaną wypełniona wodą destylowaną o temperaturze (20±5)°C Pompa próżniowa o podciśnieniu (6,7±0,3) kPa; czas uzyskiwania podciśnienia: (10±1) min.; Czas pozostawiania pod działaniem podciśnienia: (30±5) min.; Powolne doprowadzenie do ciśnienia atmosferycznego; Czas pozostawiania pod normalnym ciśnieniem w wodzie: (30±5) min. Kontrola objętości próbek	Komora w pompie próżniowej z półką perforowaną wypełniona wodą destylowaną o temperaturze (20±5)°C Pompa próżniowa o podciśnieniu (6,7±0,3) kPa; czas uzyskiwania podciśnienia: (10±1) min.; Czas pozostawiania pod działaniem podciśnienia: (30±5) min.; Powolne doprowadzenie do ciśnienia atmosferycznego; Czas pozostawiania pod normalnym ciśnieniem w wodzie: (30±5) min. Kontrola objętości próbek	
Przechowywanie próbek „zestawu mokrego” Kondycjonowanie w wodzie – cykl opisany w PN-EN 12697-12:2008	Łaźnia wodna o temperaturze (40±1)°C; czas przechowywania 68 – 72 godz.	Łaźnia wodna o temperaturze (40±1)°C; czas przechowywania 68 – 72 godz.	
Przechowywanie próbek „zestawu mokrego” Dodatkowy cykl zamrażania	Norma dopuszcza dodatkowe kondycjonowanie próbek w wodzie i zastosowanie cykli zamrażania/odmrażania wg oddzielnych procedur	Cykl mrożenia w torebce foliowej z dodatkiem 10 ml wody próbek wyjętych bezpośrednio z łaźni wodnej (40±1)°C i przeniesionych do komory chłodzącej o temperaturze (-18±3)°C na min. 16 godz.	WT-2 2008 nie wskazują procedury cyklu zamrażania; laboratoria stosowały zapisy normy AASHTO T 283-89 – cykl analogiczny do opisu w WT-2 2010 załącznik nr 1
Przechowywanie próbek „zestawu mokrego” Dodatkowy cykl kondycjonowania w wodzie	Nie stosowano	Łaźnia wodna o temperaturze (60±1)°C; czas przechowywania (24±1)godz.	Próbki do łaźni o temperaturze 60°C przekłada się bezpośrednio z komory chłodniczej o temperaturze -18°C <b>Gradient temperatury 78°C!</b>
Przygotowanie próbek do badania	Łaźnia wodna lub komora powietrzna o temperaturze wybranej z zakresu 5 do 25 (±2) °C, przy czym temperatura rekomendowana wynosi 25°C Przechowywanie nie krócej niż 2 godz.	Łaźnia wodna lub komora powietrzna o temperaturze (25±2)°C Przechowywanie nie krócej niż 2 godz.	WT-2 2008 wskazują temperaturę 15°C

dycjonowania w wodzie i stosowania cykli zamrażanie/roz-mrażanie. W tabeli 1 zestawiono sposób przygotowania, kondycjonowania i badania próbek opisany w obu ww. do- kumentach. Analizie poddano procedurę dotyczącą próbek przygotowanych w laboratorium, ponieważ cały artykuł do- tyczy właśnie takich badań.

## Ilustracja problemu z badaniem ITSR na przykładzie z praktyki

Problemy z powyższym badaniem najlepiej zobrazuje rocz- na „walka” z jedną receptą – AC 22 W PMB 25/45-60, zapro- jektowaną na bazie kruszyw dolomitowych. Kruszywo to

z powodzeniem było używane przez lata do budowy poprzednich odcinków autostrady. W tym czasie nie zaobserwowano żadnych oznak degradacji nawierzchni, wynikających z niskiej odporności mieszanek asfaltowych na oddziaływanie wody i mrozu. Wprowadzenie nowej procedury badania ITSR w 2010 r. z dnia na dzień zdyskwalifikowało materiał i receptę z powodzeniem stosowaną jeszcze dwa lata wcześniej.

Badaniom poddano mieszankę mineralno-asfaltową AC22W PMB 25/55-60 o następującym składzie:

- 16/22 dolomit 25,8%
- 8/16 dolomit 14,4%
- 4/8 dolomit 13,4%
- 0/4 dolomit 11,5%

- 2/5 gabro 11,0%
- 0/2 gabro 16,3%
- wypełniacz wapienny 3,4%
- asfalt PMB 25/55-60 4,3%

Od lutego do grudnia 2011 r. Laboratorium Bitumiczne Polimex-Mostostal S.A. wykonało 28 badań ITSR mma z zarobów laboratoryjnych i z kilku zarobów wykonanych w WMB. W tabeli 2 zestawiono uzyskane wyniki badań.

Każda mieszanka została przebadana w zakresie zgodności podstawowych parametrów z receptą. Wszystkie wyniki były zgodne z receptą w ramach dopuszczalnych tolerancji. Niestety, jeżeli chodzi o badanie ITSR, zaobserwowano niepokojące zjawisko: brak powtarzalności badania, co obrazuje przykładowe zestawienie w tabeli 3.

Tabela 2. Zestawienie wyników ITSR AC 22 W PMB 25/55-60

#<0,063 mm	#0,063-2 mm	#.>2 mm	Zawartość asfaltu	Środek adhezyjny	Gęstość mm-a H <sub>2</sub> O	Gęst. obj.	V <sub>m</sub>	ITS <sub>w</sub>	ITS <sub>d</sub>	ITSR
[%]	[%]	[%]	[%]	[rodzaj/ilość %]	[Mg/m <sup>3</sup> ]	[Mg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[kN]	[kN]	[%]
6,9	22,6	70,5	4,4		2,630	2,502	4,9	780	1150	68
6,4	20,7	72,9	4,4		2,631	2,462	6,4	815	991	82
6,4	20,7	72,9	4,4	B 0,3	2,633	2,468	6,3	770	1090	71
6,4	20,7	72,9	4,4	A 03	2,625	2,470	5,9	960	1310	73
6,6	22,0	71,4	4,5		2,628	2,459	6,4	846	1149	74
6,8	22,4	70,8	4,5	1D 0,3	2,639	2,458	6,9	937	1077	87
6,9	22,8	70,3	4,5	1D 0,3	2,630	2,495	5,1	786	1120	70
7,0	22,5	70,5	4,6	1D 0,2	2,624	2,466	6,0	1031	1293	80
6,5	19,9	73,6	4,3		2,629	2,473	5,9	756	1112	68
6,7	20,6	72,7	4,3	D 0,15	2,631	2,480	5,7	881	1197	74
6,6	20,1	73,3	4,3	E 0,15	2,641	2,470	6,5	848	1055	80
6,7	21,3	72,0	4,3	E 0,15	2,634	2,471	6,2	924	1075	86
6,7	20,8	72,5	4,3	E 0,15	2,638	2,468	6,4	809	1035	78
7,6	20,5	71,9	4,1		2,624	2,474	5,7	692	1261	55
6,4	19,2	74,4	4,1		2,632	2,474	6,0	992	1218	81
6,5	19,2	74,3	4,2		2,628	2,480	5,6	978	1149	85
6,9	21,3	71,8	4,4	2D 0,5	2,635	2,483	5,8	1018	1081	94
6,9	21,0	72,1	4,4	2D 0,5	2,634	2,481	5,8	927	1082	86
7,1	24,3	68,6	4,2		2,649	2,499	5,7	844	1304	65
6,9	24,3	68,4	4,2		2,645	2,490	5,9	932	1149	81
6,8	22,1	71,1	4,4	A 0,5	2,613	2,484	4,9	982	1281	77
6,7	21,8	71,6	4,4	A 0,5	2,613	2,484	4,9	1035	1234	84
7,5	21,1	72,4	4,3	A 0,5	2,620	2,496	4,7	937	1221	77
6,7	20,5	72,8	4,3	F 0,5	2,625	2,490	5,1	908	1182	77
6,5	21,4	72,1	4,4		2,628	2,476	5,8	832	1115	75
6,9	20,7	72,4	4,3	G 0,5	2,630	2,481	5,7	717	985	73
7,0	19,7	73,3	4,2	H 0,5	2,632	2,493	5,3	866	1075	81
6,9	19,4	73,7	4,2	C 0,5	2,624	2,483	5,4	870	1095	80
<b>Średnie wartości</b>			<b>4,3</b>		5,8	881	1146	77		

Tabela 3. Powtarzalność badań ITSR AC 22 W PMB 25/55-60 z zarobów laboratoryjnych

ITSR [%]		
14.02.2011	23.03.2011	16.05.2011
68	82	74

Zaroby zostały wykonane z jednej, dużej partii kruszywa dostarczonego do laboratorium. Taki rozrzut wyników badań uzyskany w jednym laboratorium spowodował zainicjowanie badań międzylaboratoryjnych.

## Badania międzylaboratoryjne parametru ITSR

Warunki badań międzylaboratoryjnych:

- zaroby laboratoryjne mma zostały przygotowane i wykonane w jednym laboratorium,
- zarób mma nr 1 wykonano bez środka adhezyjnego,
- zarób mma nr 2 wykonano ze środkiem adhezyjnym,
- mieszankę mineralno-asfaltową podzielono i w każdym laboratorium zagęszczono po dwie serie prób,
- wymieniono się próbkami i przeprowadzono badanie ITSR. Uzyskane wyniki pokazane są w tabelach 4 i 5.

Tabela 4. Wyniki badań międzylaboratoryjnych ITSR – zarób nr 1 bez środka adhezyjnego

Badanie wykonane w laboratorium:	ITSR [%]	
	Próbki zagęszczane w laboratorium:	
	A	B
A	85	81
B	80	83

Tabela 5. Wyniki badań międzylaboratoryjnych ITSR – zarób nr 2 ze środkiem adhezyjnym

Badanie wykonane w laboratorium:	ITSR [%]	
	Próbki zagęszczane w laboratorium:	
	A	B
A	86	94
B	77	84

Jak widać z wyników podanych w tabelach 4 i 5, różnica w wartościach ITSR w przypadku zarobu nr 2, tj. ze środkiem adhezyjnym między laboratoriami wyniosła około 10%.

W czasie dwóch miesięcy w Wytwórni Mas Bitumicznych wykonano trzy zaroby technologiczne. Wyprodukowaną mieszankę mineralno-asfaltową poddano badaniom ITSR w dwóch laboratoriach. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Odtwarzalność badań ITSR AC 22 W PMB 25/55-60 z zarobów wykonanych w WMB

Badanie wykonane w laboratorium:	ITSR [%]		
	04.09.2011	15.09.2011	28.09.2011
A	55	81	84
B		74	68

W dniu 4 września 2011 r. mma była wyprodukowana po kilkunastu opadach deszczu, co mogło przyczynić się do osiągnięcia tak niskiego wyniku ITSR. Natomiast zaroby z 15 i 28 września 2011 r. były wykonane w sprzyjających warunkach atmosferycznych, co jednak nie wpłynęło pozytywnie na odtwarzalność badania ITSR. Różnice wartości ITSR między laboratoriami wyniosły w pierwszym przypadku 7%, w drugim 16%.

W tej sytuacji podjęto próbę znalezienia przyczyny braku powtarzalności i odtwarzalności badania ITSR.

## Opis przeprowadzonych prac związanych z powtarzalnością i odtwarzalnością badania ITSR

Po wielu dyskusjach i wymianie doświadczeń z technologami z całego kraju, wzięto pod uwagę następujące aspekty specyficznego zachowania się badanej mieszanki mineralno-asfaltowej:

1. mrozoodporność kruszywa
2. zawartość asfaltu w mma
3. wysoki stopień nasycenia wodą próbek poddanych mrożeniu
4. przyczepność asfaltu do kruszywa
5. zastosowanie środków adhezyjnych
6. sprawdzenie wpływu kruszywa drobnego

**Teza nr 1: wynik ITSR zależy od mrozoodporności kruszywa.**

**Założenie: dobra mrozoodporność kruszywa podstawą pozytywnego wyniku ITSR.**

Badanie mrozoodporności kruszywa dolomitowego wykonano według różnych procedur badawczych, tj. zgodnie z normami:

- PN-EN 1367-1 – w wodzie [6]
- PN-EN 1367-6 – w 1% roztworze soli NaCl [7]
- PN-B-06714-19 – 25 cykli mrożenia w wodzie i w 2% roztworze soli NaCl [8]

Tabela 7. Wyniki badania mrozoodporności frakcji 8/16 kruszywa dolomitowego wg PN-EN 1367-1 i PN-EN 1367-6 [6], [7]

	Wynik badania [%]	Kategoria	Wymagana kategoria wg WT-1 2010 [13]
H <sub>2</sub> O	0,2	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
1% NaCl	2,0	F <sub>2</sub>	F <sub>deklarowana</sub>

Tabela 8. Wyniki badania mrozoodporności grysów dolomitowych wg PN-B-06714-19 [8]

	Fracja 4/8	Fracja 4/8	Fracja 4/8	Wymagania klasa I wg PN-B-11112 [9]
	[%]			
H <sub>2</sub> O	0,6	0,3	0,6	≤2,0
2% NaCl	6,4	3,2	4,9	≤10,0

Badane kruszywo w zakresie mrozoodporności spełnia wymagania, zarówno starej, jak i nowej normy, wobec kruszyw stosowanych do mieszanek mineralno-asfaltowych na drogach o najwyższym obciążeniu ruchem KR5 - KR6.

Postawiona teza nr 1 nie została zweryfikowana pozytywnie.

**Teza nr 2: wynik ITSR zależy od zawartości asfaltu w mieszance.**

**Założenie: wynik ITSR wzrasta wraz ze wzrostem zawartości asfaltu w mma.**

Analizując zestawienie wszystkich wyników, znaleziono pozycje przeczące powyższej tezie i przedstawiono je w tabeli 9.

Tabela 9. Wybrane wyniki badania ITSR przeczące założeniu, że wartość ITSR rośnie proporcjonalnie do zawartości asfaltu w mma

Zawartość asfaltu w mma [%]	ITSR [%]
4,5	74
4,1	81

Teza nr 2 została zweryfikowana negatywnie.

**Teza nr 3: Wynik ITSR zależy od stopnia nasycenia wodą próbek poddanych mrożeniu**

**Założenie: im wyższy stopień nasycenia, tym gorszy wynik ITSR.**

Z tą tezą wiązano największe nadzieje na uchwycenie zależności wyniku ITSR od jakiegokolwiek parametru. Korzystając z wieloletnich doświadczeń badań odporności mma na wodę i mróz, wykonywanych wg normy AASHTO T 283 [3], w których określano stopień nasycenia wodą próbek poddawanych badaniu założono, że próbki o stopniu nasycenia powyżej 80% będą ulegać destrukcji, natomiast te, które osiągną stopień nasycenia w granicach 55–80% wykażą się pozytywnym wynikiem ITSR. Do każdej serii próbek poddanych badaniu ITSR liczonego stopień nasycenia. Niestety otrzymano również wyniki przeczące tezie nr 3 (tabela 10).

Tabela 10. Wyniki badania ITSR przy różnym stopniu nasycenia próbek

Stopień nasycenia próbek [%]	ITSR [%]
86	82
73	74

Wykonując badanie wg AASHTO [3] pierwsza próbka została odrzucona, druga byłaby poddana procedurze badawczej do końca, z dużym prawdopodobieństwem uzyskania pozytywnego wyniku. W naszym przypadku, stosując procedurę zgodną z załącznikiem nr 1 do WT 2 2010 [5] napotkano na niezrozumiałe zjawisko: próbka o dużym stopniu nasycenia uzyskała pozytywny wynik, natomiast próbka prawidłowo nasycona – negatywny.

Teza nr 3 została zweryfikowana negatywnie.

**Teza nr 4: wynik ITSR zależy od przyczepności asfaltu do kruszywa.**

**Założenie: dobra przyczepność asfaltu do kruszywa gwarantuje pozytywny wynik ITSR.**

Badanie przyczepności asfaltu do kruszywa wykonano „starą metodą” gotowania wg PN-84/B-06714/22 [10]. Celem porównania badaniu poddano kruszywo dolomitowe z trzech

różnych kopalni oraz dwa kruszywa ze skał magmowych. Dolomit nr 1 stanowi szkielet mineralny badanej mieszanki asfaltowej. Uzyskane wyniki badań przedstawia tabela 10.

Tabela 10. Wyniki badania przyczepności asfaltu do kruszywa wg PN-84/B-06714/22 [10]

Dolomit nr 1	Dolomit nr 2	Dolomit nr 3	Kruszywo kwaśne A	Kruszywo kwaśne B
[%]				
90	95	97	35	30

Pomimo wysokiej przyczepności asfaltu do kruszywa dolomitowego uzyskano negatywne wyniki ITSR.

Teza nr 4 została zweryfikowana negatywnie.

**Teza nr 5: wynik ITSR zależy od stosowania odpowiedniego środka adhezyjnego.**

**Założenie: stosowanie odpowiednio dobranego środka adhezyjnego gwarantuje pozytywny wynik ITSR.**

Stosowanie środków adhezyjnych do kruszyw kwaśnych nie stanowi w tej chwili problemu. Mamy do dyspozycji całą gamę tych środków. Natomiast środki adhezyjne do dolomitów, skał zasadowych, są rzadkością, gdyż dotychczas panowało przekonanie, że skały osadowe nie wymagają stosowania środków adhezyjnych w związku z dobrą przyczepnością asfaltu do tego rodzaju skały. Przebadano wpływ na wynik badania ITSR dwóch dostępnych na rynku, środków adhezyjnych przeznaczonych do dolomitów. Wyniki badań zawiera tabela 11.

Tabela 11. Wyniki badań ITSR mma z użyciem środków adhezyjnych przeznaczonych do dolomitów

Środek adhezyjny/ ilość [%]	ITSR [%]	
	Badanie w laboratorium A	Badanie w laboratorium B
1D 0,3	87	
1D 0,3	70	
1D 0,2	80	
2D 0,5	94	84
2D 0,5	86	77

Duży rozrzut wyników wyeliminował tą przyczynę rozwiązania problemu. Wypróbowano również 8 innych środków adhezyjnych. Uzyskanie pozytywnego wyniku było podstawą do powtórzenia badania. Niestety wynik był nieprzewidywalny (tabela 12).

Zastosowanie środka adhezyjnego E wzbudziło największy entuzjazm, ale trzecie badanie z partii mma przygotowanej do badania w laboratorium kontrolnym spowodowało, że wszelkie nadzieje na rozwiązanie problemu legły w gruzach.

Jednym z najstarszych środków adhezyjnych jest wapno hydratyzowane. Na podstawie opracowania dotychczasowych doświadczeń stosowania wapna hydratyzowanego do mieszanek mineralno-asfaltowych [11], dostarczonego przez dostawcę wapna, wykonano w laboratorium zaroby mma z dodatkiem 1,0% i 1,5% wapna w stosunku do mieszanki

Tabela 12. Wyniki badań ITSR mma z użyciem różnych środków adhezyjnych

Środek adhezyjny / ilość [%]	ITSR [%]
A 0,3	73
A 0,5	84
A 0,5	77
B 0,3	71
C 0,5	80
D 0,15	74
E 0,15	80
E 0,15	86
E 0,15	78
F 0,5	77
G 0,5	73
H 0,5	81

mineralnej. Pozytywny wynik ITSR = 82% uzyskano przy zawartości 1,5% wapna. Badania w celu potwierdzenia powtarzalności wyniku trwają nadal. Są obiecujące. Jedno, co można na chwilę obecną niezaprzeczalnie stwierdzić to fakt, że dodatek wapna do mieszanki asfaltowej powoduje wzrost wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ( $ITS_w$ ).

**Teza nr 5 została zweryfikowana negatywnie.**

**Teza nr 6: wynik ITSR zależy od rodzaju kruszywa drobnego.**

**Założenie: zmiana piasku gabrowego na granitowy poprawi wynik ITSR.**

Z kilku źródeł uzyskano informację, że zastosowanie granitowego kruszywa drobnego poprawiło wyniki ITSR. Bazując na tych informacjach, przeprojektowano receptę na mma w celu wprowadzenia do mieszanki mineralnej drobnego kruszywa granitowego.

Skład II mieszanki mineralno-asfaltowej AC 22 W PMB 25/55-60

- 16/22 dolomit 27,0%
- 8/16 dolomit 15,5%
- 4/8 dolomit 16,4%
- 0/4 dolomit 18,4%
- 0/2 granit 18,5%
- wypełniacz wapienny 2,9%
- asfalt PMB 25/55-60 4,3%
- środek adhezyjny A 0,5% w st. do zawartości asfaltu

Otrzymano właściwie nową mieszankę mineralno-asfaltową. W ciągu dwóch miesięcy wykonano cztery zaroby laboratoryjne. Z trzech uzyskano obiecujące wyniki ITSR: 84%; 90%; 81%; z czwartego: 79%. Następnie (w grudniu) wykonano zarób technologiczny na WMB. Uzyskano wynik 58%. Istnieje duże prawdopodobieństwo negatywnego wpływu warunków atmosferycznych na tak niski wynik badania.

**Teza nr 6 została zweryfikowana negatywnie.**

Po przeprowadzeniu tak wielu badań i ich wszechstronnej analizie nie tylko nie uzyskano pozytywnych, powtarzalnych

wyników, ale także nie znaleziono przyczyny takiego stanu rzeczy. Biorąc pod uwagę ilość przeprowadzonych kombinacji w celu osiągnięcia pozytywnego wyniku ITSR, można powyższe badanie z czystym sumieniem porównać do wielkiej loterii, ewentualnie do „rosyjskiej ruletki”.

Oprócz niejednoznacznej procedury, problematyczny jest również poziom wymagań przyjęty w Polsce. Wymagania  $ITSR_{70}$ ,  $ITSR_{80}$ ,  $ITSR_{90}$  zostały przyjęte na podstawie doświadczeń IBDiM związanych z wdrożeniem normy AASHTO T283 [3]. Logika wskazuje na to, że koniecznością jest weryfikacja poziomu wymagań w związku z wprowadzeniem nowej procedury badawczej. Na przykład w Słowacji przyjęto następujący poziom wymagań wobec mma stosowanych do budowy dróg obciążonych ruchem ciężkim (odpowiadający naszym KR5-KR6):  $ITSR_{60}$  (podbudowa),  $ITSR_{70}$  (warstwa wiążąca),  $ITSR_{80}$  (warstwa ścieralna) [12]. Obniżenie poziomu wymagań nie rozwiąże jednak problemu braku powtarzalności i odtwarzalności badania ITSR.

W celu szerszego zobrazowania problemów jakie wyniknęły z wprowadzenia procedury badawczej opisanej w WT-2 2010 [5] przeanalizowano wyniki badań mieszanek mineralno-asfaltowych w zakresie odporności na wodę z jednym cyklem zamrażania, przeprowadzonych w Laboratorium Drogowym Wojciech Bogacki (LDWB), specjalizującym się w badaniach typu mma od 2009 r. Zgodnie z zapisami publikacji WT-2 2008 [4] w latach 2009 – 2010 stosowano procedurę zgodną z normą PN-EN 12697-12:2008 [2] z jednym cyklem zamrażania, jak w normie AASHTO T 283 [3]. W połowie 2010 r., kiedy prace zespołu zajmującego się przygotowaniem nowej wersji WT-2 zmierzały ku końcowi, postanowiono przetestować nową procedurę badawczą i w drugiej połowie 2010 r. większość prowadzonych badań odporności mma na wodę było wykonywanych równolegle wg dwóch procedur. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazywały, że będą nas czekały bardzo duże kłopoty w najbliższej przyszłości. Syntetyczną analizę wyników z tego okresu, a także badań równolegle wykonywanych (w dwóch procedurach) w 2011 r. zawiera tabela 13.

Tabela 13. Zestawienie wyników badań równoległych odporności mma na działanie wody z jednym cyklem zamrażania

Rodzaj mieszanki / warstwy	Liczba wykonanych badań równoległych	Zakres zmniejszenia wskaźnika ITSR [%]	Liczba mieszanek niespełniających wymaganej kategorii ITSR wg WT-2 2010
AC P	3	5–38	2
AC W	9	2–23	7
AC S	8	12–21	7
SMA	2	4–13	1

W całym okresie lat 2009 – 2011 w LDWB wykonano badania odporności na wodę z jednym cyklem zamrażania w liczbie:

- 138 badań wg PN-EN 12697-12:2008 [2] z cyklem zamrażania wg AASHTO T 283-89,
- 204 badania wg załącznika nr 1 do WT-2 2010 [5],
- 22 badania – równolegle wg obu procedur.

Po przeanalizowaniu wszystkich badań uzyskano dane zestawione w tabelach 14, 15 i 16.

Tabela 14. Zestawienie statystyczne wyników badań odporności na wodę z jednym cyklem zamrażania w podziale na warstwy i procedurę badawczą

Rodzaj mieszanki	Liczba badań	Liczba wyników negatywnych	Udział wyników negatywnych
PN-EN 12697-12:2008 [2] z cyklem zamrażania wg AASHTO T 283-89 [3]			
podbudowa	25	2	8%
wiążąca	53	2	4%
ścieralna AC	35 <sup>1)</sup>	2	6%
ścieralna SMA	25 <sup>2)</sup>	0	0%
1) – 40% wyników ITSR > 100% 2) – 44% wyników ITSR > 100%			
Załącznik nr 1 do WT-2 2010 [5]			
podbudowa	37	15	41%
wiążąca	80	44	55%
ścieralna AC	55 <sup>3)</sup>	19	35%
ścieralna SMA	32 <sup>4)</sup>	4	12%
3) – 9% wyników ITSR > 100% 4) – 16% wyników ITSR > 100%			

Tabela 15. Zestawienie statystyczne wyników badań odporności na wodę z jednym cyklem zamrażania, wykonane wg załącznika nr 1 do WT-2 2010 [5], w podziale na warstwy i rodzaj asfaltu

Rodzaj mieszanki	Asfalt drogowy 35/50	Asfalt drogowy 50/70	Asfalt modyfikowany
podbudowa	29%	0%	–
wiążąca	67%	38%	33%
ścieralna AC	50%	38%	11%
ścieralna SMA	50% <sup>1)</sup>	0% <sup>2)</sup>	6% <sup>3)</sup>
1) – asfalt wielorodzajowy 35/50 2) – 2 wyniki – oba pozytywne 3) – 1 wynik negatywny			

Tabela 16. Zestawienie wyników badań odporności na wodę z jednym cyklem zamrażania wykonane wg załącznika nr 1 do WT-2 2010 [5] dla AC 16 W 35/50 z kruszywa dolomitowego (100%) przy zastosowaniu różnych środków adhezyjnych

Dozowanie [% do asfaltu]	Próbka 1	Próbka 2	Próbka 3	Próbka 4	Inny producent	Bez środka
0,3	79	77	74	78	74	69
0,5	63			61		

## Wnioski

Oba laboratoria (Laboratorium Bitumiczne Polimex-Mostostal i Laboratorium Drogowe Wojciech Bogacki) wykonały bardzo wiele badań odporności mma na wodę z jednym cyklem zamrażania. Liczba uzyskanych wyników stanowi dość pokaźną bazę danych, pozwalającą na sformułowanie następujących wniosków:

1. Procedura opisana w załączniku nr 1 do WT-2 2010 [5] została wprowadzona do stosowania bez badań jej przydatności do oceny mieszanek mineralno-asfaltowych.
2. Przyjęty (w WT-2 2010) poziom wymaganych kategorii ITSR nie został dostosowany do obowiązującej procedury, natomiast oparto go na doświadczeniach wypływających z badań prowadzonych wcześniej wg procedury normowej AASHTO T 283-89.
3. Mieszanki mineralno-asfaltowe zaprojektowane z kruszyw stosowanych od lat i nie wzbudzających do tej pory żadnych zastrzeżeń nie przechodzą pozytywnie nowej procedury badawczej ITSR.
4. Nie określono odtwarzalności i powtarzalności badania ITSR w warunkach polskich; norma PN-EN 12697-12:2008 określa powtarzalność na 15% a odtwarzalność na 23%, co wydaje się być zbliżone do rzeczywistości, ale dyskwalifikuje metodę jako odpowiednią do oceny rzeczywistych właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych.
5. Brak jednoznacznych zależności wyniku badania ITSR od mierzalnych parametrów kruszywa, asfaltu i mieszanki asfaltowej.
6. Pomimo wykonania i przeanalizowania bardzo wielu badań nie znaleziono klucza prowadzącego do projektowania mieszanek asfaltowych, które spełniałyby postawione kryteria parametru ITSR, sprawdzane zgodnie z wprowadzoną procedurą badawczą.

## Bibliografia:

- [1] PN-EN 12697-12:2004 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 12: Określenie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę (oryg.) – norma wycofana, zastąpiona normą PN-EN 12697-12:2008
- [2] PN-EN 12697-12:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 12: Określenie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę (oryg.)
- [3] AASHTO T 283: Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage
- [4] WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008 Wymagania techniczne. Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych – dokument rekomendowany (26.02.2009 r.) przez Ministra Infrastruktury do stosowania na drogach publicznych
- [5] Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych – WT-2 2010 Mieszanki mineralno- asfaltowe. Wymagania techniczne – załącznik nr 2 do zarządzenia nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 19.11.2010 r
- [6] PN-EN 1367-1 Badanie właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 1: Oznaczenie mrozoodporności
- [7] PN-EN 1367-6 Badanie właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 6: Mrozoodporność w obecności soli
- [8] PN-B-06714-19:1978 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie mrozoodporności metodą bezpośrednią
- [9] PN-B-11112 – 1996 Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych
- [10] PN-84/B-06714/22 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie przyczepności bitumów
- [11] „Wapno hydratyzowane sprawdzony dodatek do trwałych nawierzchni asfaltowych” przegląd literatury, Raport Europejskiego Stowarzyszenia Wapna/Zespół ds. Nawierzchni Asfaltowych, grudzień 2011 r
- [12] Katalogowe Listy Asfaltowych Zmiesi (2.11.2010 r.) – słowackie wytyczne techniczne
- [13] WT-1 2010 Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych. Wymagania Techniczne