



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Drogowej

ul. G. Narutowicza 11
80-233 GDAŃSK

Tel: (0-58) 347 13 47
Fax: (0-58) 347 10 97

**BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH O
OBNIŻONEJ TEMPERATURZE OTACZANIA**

ANEKS DO RAPORTU KOŃCOWEGO

**BADANIA I BUDOWA ODCINKÓW DOŚWIADCZALNYCH Z
MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH WYPRODUKOWANYCH
Z DODATKAMI OBNIŻAJĄCYMI TEMPERATURĘ**

Opracowano na zlecenie:
Generalna Dyrekcja Dróg
Krajowych i Autostrad
ul. Żelazna 59
00-848 WARSZAWA

Opracowali:

Prof. dr hab. inż. Józef Judycki – autor kierujący

Mgr inż. Marcin Stienss

Kierownik Katedry Inżynierii Drogowej - Prof. dr hab. inż. Józef Judycki

Gdańsk, luty 2012

BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH O OBNIŻONEJ TEMPERATURZE OTACZANIA – ANEKS DO RAPORTU KOŃCOWEGO

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	3
1.1. PODSTAWA OPRACOWANIA.....	3
2. PROJEKT RECEPTY NA ODCINKI DOŚWIADCZALNE.....	3
3. WYKONANIE ODCINKA DOŚWIADCZALNEGO	8
3.1. PODSTAWOWE DANE.....	8
3.2. OPIS ROBÓT.....	9
3.3. WNIOSKI Z OBSERWACJI NA BUDOWIE	14
3. BADANIA MIESZANEK WYTWORZONYCH W WYTWÓRNI.....	14
3.1. ODPORNOŚĆ NA DZIAŁANIE WODY I MROZU.....	14
3.2. ODPORNOŚĆ NA STARZENIE	17
3.2.1. METODYKA BADANIA	17
3.2.2. OCENA ODPORNOŚCI NA STARZENIE.....	18
3.2.3. WYNIKI BADAŃ.....	18
3.3. ODPORNOŚĆ NA KOLEINOWANIE	23
3.3.1. KOLEINOMIERZ MAŁY (EUROPEJSKI).....	23
3.3.1.1. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK	23
3.3.1.2. OPIS BADANIA.....	23
3.3.1.3. WYNIKI BADAŃ.....	24
3.3.2. KOLEINOMIERZ DUŻY (FRANCUSKI)	27
3.4. ODPORNOŚĆ NA SPĘKANIA NISKOTEMPERATUROWE.....	30
4. BADANIA WYKONANEJ NAWIERZCHNI.....	32
4.1. OKREŚLENIE ZAWARTOŚCI WOLNYCH PRZESTRZENI I WSKAŹNIKÓW ZAGĘSZCZENIA.....	32
4.2. OKREŚLENIE RÓWNOŚCI PODŁUŻNEJ I POPRZECZNEJ	33
4.3. OCENA WIZUALNA WYKONANYCH NAWIERZCHNI.....	40
5. WNIOSKI KOŃCOWE	40

BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH O OBNIŻONEJ TEMPERATURZE OTACZANIA – ANEKS DO RAPORTU DO KOŃCOWEGO

1. WSTĘP

1.1. Podstawa opracowania

Niniejsze opracowanie wykonano jako aneks do końcowego raportu z programu badawczego „Badania mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze otaczania” realizowanego na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie (GDDKiA w Warszawie) w ramach umowy nr 2572/2009. Aneks zawiera wyniki badań uzyskane w trakcie wykonywania odcinków doświadczalnych z mieszanek mineralno-asfaltowych wyprodukowanych z dodatkami obniżającymi temperaturę. Badania obejmowały sprawdzenie następujących parametrów:

- w zakresie mieszanek mineralno-asfaltowych:
 - odporność na działanie wody i mrozu mieszanki wytworzonej w wytwórni,
 - odporność na starzenie,
 - odporność na koleinowanie,
 - odporność na spękania niskotemperaturowe.
- w zakresie wykonanej nawierzchni:
 - określenie zawartości wolnych przestrzeni i wskaźników zagęszczeń,
 - określenie równości podłużnej i poprzecznej,
 - przeprowadzenie oceny wizualnej.

Ponadto aneks zawiera również wstępne zalecenia dotyczące projektowania, produkcji i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkami obniżającymi temperaturę produkcji.

2. PROJEKT RECEPTY NA ODCINKI DOŚWIADCZALNE

Do zaprojektowania recept mieszanek mineralno-asfaltowych z dodatkami obniżającymi temperaturę wykorzystano receptę tradycyjnej mieszanki mastyksu grysowo-asfaltowego SMA 11 45/80-55 przeznaczoną do wbudowania na obszarze całego przebudowywanego Węzła Karczemki, na którego obszarze przewidziano wykonanie odcinków doświadczalnych. Modyfikacja polegała jedynie na wprowadzeniu do składu dodatków obniżających temperaturę, bez zmian ilościowych kruszywa czy zawartości lepiszcza.

Biorąc pod uwagę uwarunkowania zewnętrzne związane z czynnikami zewnętrznymi (dokładny opis w punkcie 4.3 raportu końcowego) do zastosowania na odcinku doświadczalnym wybrano następujące środki (z 5 badanych w laboratorium), tj.:

- Odpowiednik środka Sasobit, dodawany automatycznie do mieszalnika otaczarni w formie połączonej z włóknem celulozowym – stabilizatorem mastyksu (nazwa handlowa produktu ViaTop Plus CT 40), przy czym na etapie badań laboratoryjnych stosowano czysty Sasobit dodawany w proporcji 3% w stosunku do masy asfaltu. Dodanie 0,5% ViaTopu Plus CT 40 do

mieszanki mineralno-asfaltowej o zawartości 6,6% asfaltu jest praktycznie równoważne dodaniu 3% procent Sasobitu do masy asfaltu:

- Rediset WMX w postaci stałych granulek dodawany w postaci 2% w stosunku do masy asfaltu,
- Ceca Base RT w postaci płynnej dodawany w postaci 0,35% w stosunku do masy asfaltu.

Proporcje w jakich dozowano poszczególne środki oparto na podstawie zaleceń ich producentów.

Drugą przyczyną w wyborze mniejszej ilości dodatków był krótki czas trwania wbudowania, ze względu na warunki atmosferyczne (późna jesień) jak i ograniczenia związane z lokalizacją odcinka doświadczalnego.

W skład mieszanki mineralnej wchodziły kruszywa pochodzenia skandynawskiego oraz kruszywo wypełniające pochodzenia polskiego. Frakcje i pochodzenie poszczególnych kruszyw przedstawiono w tablicy 1. W tablicy 2 przedstawiono uziarnienie z każdego z użytych materiałów.

Tablica 1. Frakcje i pochodzenie poszczególnych kruszyw wchodzących w skład recepty mieszanki SMA przeznaczonych na odcinki doświadczalne

Lp.	Materiały	Pochodzenie materiału:
1	Kruszywo grube 5/11	Halsvik
2	Kruszywo grube 5/8	Halsvik
3	Kruszywo grube 2/5	Halsvik
4	Kruszywo łamane o ciągłym uziarnieniu 0/5	Glensanda
5	Kruszywo wypełniające	Wapienno

Tablica 2. Uziarnienie poszczególnych kruszyw wchodzących w skład recepty mieszanki SMA przeznaczonych na odcinki doświadczalne

Sito # [mm]	Numer materiału z listy				
	Kruszywo grube 5/11	Kruszywo grube 5/8	Kruszywo grube 2/5	Kruszywo łamane o ciągłym uziarnieniu 0/5	Kruszywo wypełniające
31,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11,2	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0
8,0	63,6	8,7	0,0	0,0	0,0
5,0	22,0	82,1	9,9	5,7	0,0
2,0	1,4	5,0	76,8	27,1	0,0
0,125	1,2	2,0	11,3	54,3	4,2
0,063	0,6	0,6	0,7	6,1	20,7
<0,063	1,3	1,6	1,3	6,8	75,1
SUMA:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Gęstość, [Mg/m ³]	2,71	2,71	2,74	2,65	2,73
-------------------------------	------	------	------	------	------

Zgodnie z zapisami SST Nr D-05.03.13. „Warstwa ścieralna z mieszanki mastykowo-grysowej (SMA)” zastosowano asfalt modyfikowany 45/80-55. Asfalt został wyprodukowany w firmie Lotos Asfalt. Minimalną ilość asfaltu w mieszance określono zgodnie z zasadami podanymi w Wymaganiach Technicznych WT-2 2010 stosując odpowiedni współczynnik korekcyjny oraz zwiększając otrzymaną wartość o 0,3%. Sposób określenia minimalnej zawartości asfaltu przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Określenie współczynnika korekcyjnego oraz minimalnej zawartości asfaltu w mieszance SMA przeznaczonej na odcinki doświadczalne

Lp.	Materiały	Wartość	Jednostka
1	Gęstość mieszanki mineralnej, ρ_a	2,700	[Mg/m ³]
2	Minimalna zawartość asfaltu, B_{min}	6,4	[%]
3	Współczynnik korekcyjny $\rho_a = 2,650 / \rho_a$	0,981	[-]
4	Minimalna zawartość asfaltu, B_{min} , po korekcje	6,3	[%]
5	Minimalna zawartość asfaltu, B_{min} , po korekcje zwiększona o 0,3 % wymagane w WT-2 2010	6,6	[%]

W tablicy 4 przedstawiono zastosowane proporcje kruszyw oraz ilość asfaltu w odniesieniu do samej mieszanki mineralnej oraz całej mineralno-asfaltowej.

Tablica 4. Proporcje kruszyw oraz ilość asfaltu w mieszance mineralnej oraz mineralno-asfaltowej przeznaczonej na odcinki doświadczalne

Lp.	Materiały	Pochodzenie materiału:	Mieszanka mineralna: [%]	Mieszanka mineralno-bitumiczna [%]
1	Kruszywo grube 5/11	Halsvik	54,0	50,4
2	Kruszywo grube 5/8	Halsvik	10,0	9,3
3	Kruszywo grube 2/5	Halsvik	10,0	9,3
4	Kruszywo łamane o ciągłym uziarnieniu 0/5	Glensanda	14,0	13,1
5	Kruszywo wypełniające	Wapienno	11,5	10,8
6	Dodatek stabilizujący ViaTop 80 lub ViaTop Plus CT40	Rettenmaier	0,5	0,5
7	Asfalt 45/80-55: • asfalt rozpuszczalny: • asfaltu wchłonięty przez kruszywo:	Lotos Asfalt		6,6 6,4 0,2

W składzie mieszanki przewidziano również stabilizator spływności w postaci włókien celulozowych o nazwie:

- ViaTop 80, jednakże tylko w przypadku mieszanek produkowanych z dodatkami Ceca Base RT oraz Rediset WMX,

- ViaTop Plus CT40, który zawierał jednocześnie w swoim składzie dodatek obniżający temperaturę (odpowiednik środka Sasobit).

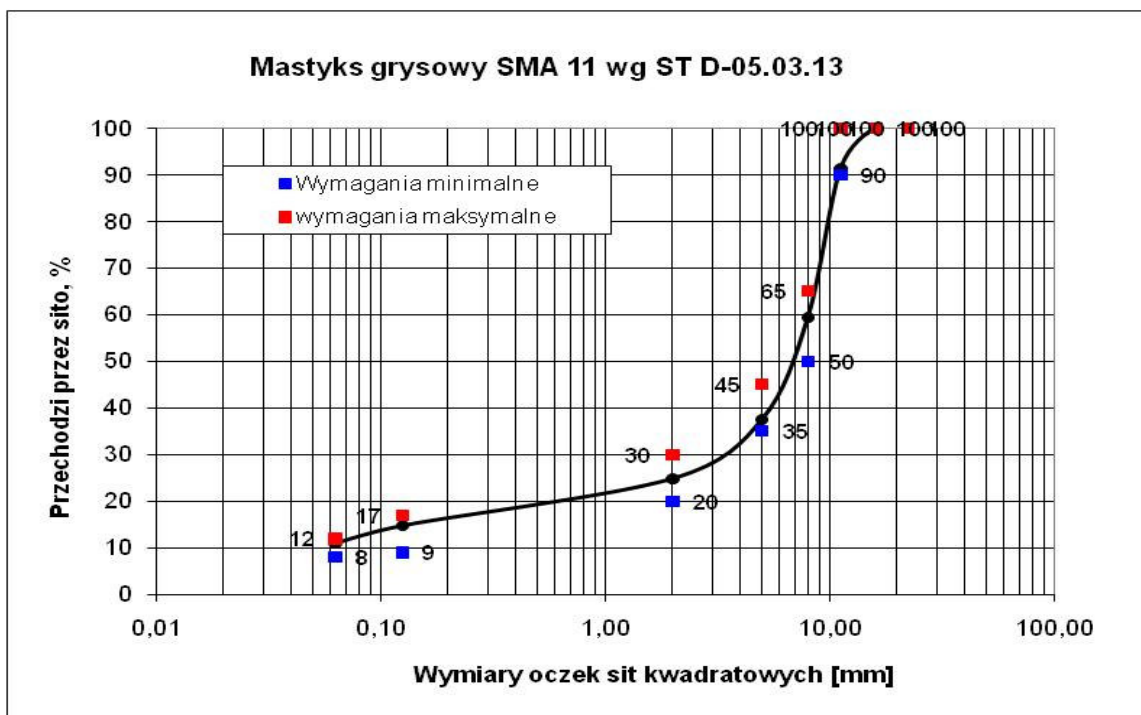
Dozowanie zarówno włókien ViaTop 80, jak i ViaTop Plus CT 40 przewidziano w proporcji 0,5% w stosunku do masy mieszanki mineralno-asfaltowej. Dodatek 0,5% ViaTop Plus CT40 w stosunku do masy mieszanki mineralno-asfaltowej odpowiadał 3% dodatkowi Sasobitu do masy asfaltu.

Recepta tradycyjnej mieszanki SMA którą wykorzystano do opracowania recept mieszanek z dodatkami obniżającymi temperaturę uwzględniała w swoim składzie również ciekły środek adhezyjny. Jednakże mając na uwadze doświadczenia uzyskane w trakcie etapu badań laboratoryjnych z betonami asfaltowymi, które pokazały że dodatki obniżające temperaturę pozytywnie wpływają na odporność na działanie wody i mrozu zdecydowano o niestosowaniu dodatkowego środka adhezyjnego.

W tablicy 5 oraz na rysunku 1 pokazano uziarnienie skomponowanej mieszanki mineralnej w odniesieniu do wymagań minimalnych i maksymalnych podanych w SST.

Tablica 5. Uziarnienie mieszanki mineralno-asfaltowej przeznaczonej do wbudowania na odcinki doświadczalne

Sito # [mm]	Odsiew [%]	Przesiew [%]	Wymaganie wg ST D-05.03.13	
			Wymagania minimalne	Wymagania maksymalne
31,5	0,0	100,0	100	100
22,4	0,0	100,0	100	100
16,0	0,0	100,0	100	100
11,2	5,3	94,7	90	100
8,0	35,2	59,5	50	65
5,0	21,8	37,6	35	45
2,0	12,9	24,8	20	30
0,125	10,1	14,7	9	17
0,063	3,7	11,0	8	12
<0,063	11,0			



Rys. 1 – Krzywa uziarnienia mieszanki mineralno-asfaltowej przeznaczonej do wbudowania na odcinki doświadczalne

Następnie wykonano próbné zaroby laboratoryjne w celu określenia wszystkich cech i przeprowadzenia pełnego zakresu badań przewidzianych w SST. Otrzymane wyniki przedstawiono w tablicy 6. Próbki mieszanek z dodatkami zagęszczano w temperaturze 125–130°C.

Tablica 6. Porównanie parametrów mieszanki mineralno-asfaltowej SMA przeznaczonej do wbudowania na odcinki doświadczalne

Lp.	Cecha	Wartość dla mieszanki z asfaltem			Wymaganie wg ST D-05.03.05.B dla ruchu KR3 – KR4*
		45/80-55 + 3% Sasobit	45/80-55 + 2% Rediset WMX	45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	
1	Gęstość, ρ_{mv} [Mg/m ³]	2,435	2,435	2,435	-
2	Gęstość objętościowa, ρ_b [Mg/m ³]	2,390	2,391	2,388	-
3	Zawartość wolnych przestrzeni V_m , [%]	1,9	1,8	1,9	$V_{min1,5} - V_{max3,5}^*$
4	Zawartość wolnych przestrzeni wypełnionych asfaltem VFB, [%]	89,2	89,4	88,9	-
5	Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej VMA, [%]	17,3	17,3	17,4	-

6	Odporność na deformacje trwałe wg PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, +60 °C, 10 000 cykli ▪ WTS ▪ PRD	0,05 5,5	0,07 10,3	0,06 8,8	WTS _{AIR0,3} PRD _{AIRDekl.}
7	Odporność na działanie wody i mrozu wg PN-EN 12697-12, przechowywania w +40 °C, z jednym cyklem zamrażania, badanie w +25 °C	90,5	92,8	97,2	ITSR ₉₀
8	Spływność lepiszcza wg PN-EN 12697-18, p.5	0,1	0,1	0,1	D _{0,3}
* Dla KR5-KR6 $V_{min2,0} - V_{max3,5}$					

Uzyskane wyniki zawartości wolnych przestrzeni w próbkach na poziomie 1,8 – 1,9% były nieznacznie niższe niż wymagane przez SST $V_{min2,0}$ dla kategorii ruchu KR5-6. Na etapie przygotowania recepty zakładano jednakże wykonanie odcinków z dodatkami jedynie na obszarze łącznic, gdzie minimalny wymagany poziom wolnych przestrzeni wynosił 1,5% z uwagi na obowiązującą na ich obszarze kategorię ruchu KR4. Z tego powodu nie korygowano ponownie składu mieszanki w celu osiągnięcia zawartości wolnych przestrzeni 2,0%.

Po uzyskaniu pozytywnych wyników potwierdzających możliwość zastosowania dodatków opracowano formalnie zmodyfikowane dokumenty recept i przekazano je wraz z programem odcinka doświadczalnego do zatwierdzenia Wykonawcy, tj. firmie BUDIMEX S.A.

3. WYKONANIE ODCINKA DOŚWIADCZALNEGO

3.1. Podstawowe dane

- **Położenie:**
- Węzeł Karczemki będący skrzyżowaniem Obwodowej Trójmiasta (droga ekspresowa S6) z ul. Kartuską (droga krajowa nr 7), na łącznicach stanowiących dojazd do centrum handlowego Auchan, fragmencie jezdni lewej drogi S6 oraz lewej jezdni drogi zbiorczo-rozprowadzającej,
- **Łączna długość odcinka:** 532,7 m (320,7 łącznice, 140 m jezdni S6, 72 m jezdni drogi zbiorczo-rozprowadzającej).
- **Szerokość odcinka:** na łącznicach 7,1 – 8 m, na jezdni drogi S6 7,5 m, na jezdni drogi zbiorczo-rozprowadzającej 4,0 m,
- **Rodzaj mieszanki:** SMA 11 45/80-55
- **Warstwa nawierzchni:** ścieralna
- **Zarządca drogi:** Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Gdańsku
- **Producent mieszanki mineralno – asfaltowej:** Masfalt Sp. z o.o., WMB Stara Piła k/Gdańska
- **Wykonawca nawierzchni:** Budimex S.A.
- **Projekt recept mma z dodatkami:** Katedra Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej
- **Nadzór:** Polski Rejestr Statków S.A.

- **Projekt odcinka doświadczalnego i nadzór naukowy:** Katedra Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej,
- **Badania laboratoryjne powykonawcze:** Katedra Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej przy współpracy z Laboratorium Drogowym Wydziału Technologii gdańskiego oddziału Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad

3.2. Opis robót

Przed rozpoczęciem robót zgromadzono na terenie wytwórni mas bitumicznych następujące ilości poszczególnych dodatków, wystarczające na wyprodukowanie każdorazowo ok. 300 ton mieszanki, co zapewniało dwukrotne zabezpieczenie planowanych do wbudowania ilości wynoszących ok. 150 ton dla jednego rodzaju mieszanki:

- ViaTop Plus CT 40 (odpowiednik Sasobitu) – 1 500 kg,
- Rediset WMX – 400 kg,
- Ceca Base RT – 70 kg.

Dodatek ViaTop Plus CT40 składa się z włókien celulozowych Arbocell ZZ 8/1 oraz wosku Fischera-Tropscha połączonych w proporcji 60:40. Dodanie 0,5% włókien celulozowych do mieszanki mineralno-asfaltowej o zawartości 6,6% asfaltu jest praktycznie równoważne dodaniu 3% procent Sasobitu do masy asfaltu:

$$1\ 000\text{ kg} \times 0,005 \times 0,40 = 2,00\text{ kg}$$

$$1\ 000\text{ kg} \times 0,066 \times 0,03 = 1,98\text{ kg}$$

Jednocześnie przyjęto – na podstawie informacji podanych w dostępnej literaturze – że z powodu przewidywanej temperatury otoczenia niższej od 5°C w trakcie wykonywania odcinka, temperatura produkcji i wbudowania nie będzie obniżona, natomiast dodatki zostaną wykorzystane jako środek umożliwiający właściwe zagęszczenie warstwy mieszanki SMA.

W całości działań uwzględniono również konieczność pobrania próbek oraz oznaczenia odcinków, na których zostanie wbudowana normalna mieszanka SMA, będąca referencyjną mieszanką porównawczą.

Prace nad odcinkiem doświadczalny trwały w następujących dniach:

- 22 listopad 2011 r. – wbudowanie mieszanek ze środkiem Ceca Base RT oraz ViaTop Plus CT 40,
- 23 listopad 2011 r. – wbudowanie tradycyjnej mieszanki SMA bez środków (odcinek porównawczy),
- 24 listopad 2011 r. – wbudowanie mieszanki ze środkiem Rediset WMX.

Powyższy podział wynikał z wewnętrznego harmonogramu prac Wykonawcy. Lokalizację mieszanek z danym środkiem pokazano na załączonym do raportu planie orientacyjnym i sytuacyjnym.

Całość mieszanki użytej do wykonania odcinka doświadczalnego została wyprodukowana w wytwórni mas bitumicznych Parker BlackMix 2000 należącej do firmy Masfalt Sp.z o.o., położonej w miejscowości Stara Piła k/ Gdańska. Jest to wytwórnia o konstrukcji wieżowej o wydajności 160 t/h. Maksymalna wielkość jednego zarobu mieszalnika wynosi 2000 kg.

Dodatek płynny Ceca Base RT wlewano ręcznie do wagi asfaltu. Dodatek ViaTop Plus CT40 dodawano za pośrednictwem instalacji dozowania włókien celulozowych.

Dodatek Rediset WMX (występujący w postaci granulek) planowano dodać bezpośrednio do zbiornika asfaltu. Niestety dzień przed wykonaniem ostatniego fragmentu odcinka ze środkiem Rediset WMX okazało się, że nie ma możliwości jego uprzedniego zadozowania do zbiornika asfaltu (co planowano wykonać w godzinach wieczornych 23 listopada 2011 r.) z uwagi na brak w nim odpowiedniego poziomu lepiszcza, wynikającego z nieco większej niż zakładano produkcji mieszanek w ciągu poprzedzających dni. Zdecydowano się zatem na próbę dozowania dodatku Rediset WMX wprost do wagi asfaltu, podobnie jak uczyniono to z dodatkiem płynnym Ceca Base RT dwa dni wcześniej. Niestety, po rozpoczęciu produkcji mieszanki 24 listopada okazało się, że środek Rediset WMX nie był całkowicie wypompowywany wraz z asfaltem z wagi do mieszalnika, z powodu niewystarczającego rozmieszania (zbyt krótki czas przebywania w asfalcie nie pozwalający na całkowite rozpuszczenie granulek w lepiszczu). Z tego powodu konieczne było zaprzestanie produkcji mieszanki ze środkiem Rediset WMX po wyprodukowaniu ok. 30 ton mieszanki SMA.

Na fotografiach 1-6 przedstawiono prace przy wykonywaniu odcinka doświadczalnego.

Wszystkie cztery fragmenty nawierzchni (SMA z dodatkiem Ceca Base RT, ViaTop Plus CT40, Rediset WMX oraz odcinek uznany za referencyjny) wykonano przy użyciu tego samego zespołu maszyn obsługiwanego przez niezmienny skład pracowników. W skład zespołu rozkładającego wchodziły:

- 2 układarki gąsienicowe Voegele Super 2100 oraz Super 1900,
- 6 walców stalowych:
 - 3 walce Dynapac CC 522 o masie 12,5 t,
 - 1 walec Hamm HD 120+ o masie 13 t,
 - 1 walec Dynapac CC 424HF o masie 11,6 t
 - 1 walec Hamm DV 85 o masie 9,5 t.

W trakcie układania mieszanek panowały następujące warunki otoczenia:

22 listopada – temperatura powietrza 7°C, temperatura podłoża 4°C,

23 listopada – temperatura powietrza 4°C, temperatura podłoża 3°C,

24 listopada – temperatura powietrza 2°C, temperatura podłoża 3°C.

Z tego powodu produkcję mieszanek z dodatkami wykonywano – zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami – w temperaturze jak dla mieszanki normalnej, tj. 165 – 170°C



Fot. 1 – Pierwszy załadunek samochodu ciężarowego mieszanką SMA wyprodukowaną ze środkiem Ceca Base RT



Fot. 2 – Widok mieszanki SMA wyprodukowanej ze środkiem Ceca Base RT po załadunku do skrzyni samochodu ciężarowego



Fot. 3 – Rozkładanie mieszanki SMA wyprodukowanej ze środkiem Ceca Base RT równocześnie przez dwie rozkładarki



Fot. 4 – Przygotowane do pobrania próbek mieszanki foremki stalowe



Fot. 5 – Jeden z pomiarów temperatury mieszanki w trakcie układania



Fot. 6 – Rozkładanie mieszanki SMA wyprodukowanej ze środkiem ViaTop Plus CT 40 równocześnie przez dwie rozkładarki

3.3. Wnioski z obserwacji na budowie

- Produkcja mma była najłatwiejsza i nie wymagała żadnych modyfikacji przy stosowaniu dodatku stanowiącego połączenie włókien celulozowych i wosku Fischera-Tropscha, o nazwie handlowej ViaTop Plus CT40.
- Produkcja mma z dodatkami Ceca Base RT i Rediset WMX wymagało ręcznego dozowania.
- Wbudowanie i zagęszczanie przebiegało normalnie bez jakichkolwiek utrudnień.

3. BADANIA MIESZANEK WYTWORZONYCH W WYTWÓRNI

3.1. Odporność na działanie wody i mrozu

Badania odporności mieszanki SMA na działanie wody i mrozu przeprowadzono opierając się na procedurach normy europejskiej PN-EN 12697-12 oraz procedury kondycjonowania opisanej w Wymaganiach Technicznych WT-2 2010 „Mieszanki mineralno-asfaltowe. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych”.

Badanie odporności na działanie wody i mrozu polegało na określeniu i ocenie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie po przejściu odpowiednich cykli kondycjonowania, symulujących warunki atmosferyczne panujące na drodze.

Badanie przeprowadzono na próbkach wytworzonych z mieszanki pobranej podczas wykonywania odcinka doświadczalnego i powtórnie rozgrzanej w laboratorium.

Próbki z mieszanki z asfaltem 45/80-55 bez dodatku obniżającego temperaturę produkcji zagęszczano w temperaturze 145 – 150°C, natomiast próbki z mieszanki zawierającej dodatki Ceca Base RT, ViaTop Plus CT40 oraz Rediset WMX w temperaturze 125 – 130° używając normowego ubijaka Marshalla. Ilość uderzeń wynosiła 35 uderzeń na stronę. Łącznie wytwarzano 10 próbek dla każdego rodzaju mieszanki.

Uformowane próbki dzielono na trzy grupy, tak by każda miała zbliżoną średnią gęstość pozorną i zbliżoną zawartość wolnych przestrzeni. Każdą grupę próbek (minimum 3 próbki) poddawano odpowiednim metodom przygotowania – kondycjonowania. Próbkę z najbardziej odchyloną wartością gęstości pozornej odrzucano i nie wykorzystywano do dalszych badań.

Próbki serii kontrolnej, bez kondycjonowania były przechowywane w laboratorium w warunkach pokojowych, do czasu badania wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, które odbywało się po zakończeniu kondycjonowania wszystkich próbek z danej serii.

Dla każdego rodzaju mieszanek przygotowano dwie serie próbek kondycjonowanych według następujących schematów:

- seria próbek bez cyklu zamrażania – procedura składała się z dwóch etapów:
 - próżniowego nasycania próbek wodą,
 - poddania próbek przedłużonemu oddziaływaniu wody w podwyższonej temperaturze.
- seria próbek z cyklem zamrażania – procedura składała się z trzech etapów:
 - próżniowego nasycania próbek wodą,

- poddania próbek przedłużonemu oddziaływaniu wody w podwyższonej temperaturze.
- poddania próbek 1 cyklowi zamrożenia-odmrożenia

Próżniowe nasycanie próbek wodą odbywało się poprzez zalanie próbek wodą o temperaturze 20°C i przechowywaniu ich w komorze próżniowej o ciśnieniu bezwzględnym 67 hPa przez 30 min. Następnie próbki obmierzone (wysokość i średnicę) i sprawdzono czy próbki nie zwiększyły swojej objętości. Jeżeli zwiększyły swoją objętość o więcej niż 2%, takie próbki odrzucano.

Poddanie próbek przedłużonemu oddziaływaniu wody w podwyższonej temperaturze polegało na umieszczeniu ich w łaźni wodnej o temperaturze 40°C i przechowywanie w tych warunkach przez 68 godz.

Następnie wybrane próbki jednej serii poddano 1-krotnemu zamrożeniu (-18°C przez 16 godz.) i odmrożeniu w łaźni wodnej (60°C w ciągu 24 godzin).

Łącznie do badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie przygotowano dla każdego z 4 rodzajów mieszanek (jedna referencyjna i trzy z różnymi dodatkami WMA) 9 próbek jednorodnych, razem 36 próbek:

- 3 próbki referencyjne, bez kondycjonowania,
- 3 próbki poddane cyklowi nasycania i działaniu wody, ale bez zamrażania,
- 3 próbki poddane cyklowi nasycania, działaniu wody oraz zamrażania.

Badanie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie przeprowadzono w temperaturze 25°C.

Odporność na działanie wody i mrozu charakteryzowana jest przez wskaźnik wytrzymałości na pośrednie rozciąganie (ang. Indirect Tensile Strength Ratio - ITSR):

$$ITSR = \frac{R2}{R1} * 100\%$$

gdzie:

R2 – średnia wytrzymałość próbek kondycjonowanych,

R1 – średnia wytrzymałość próbek bez kondycjonowania.

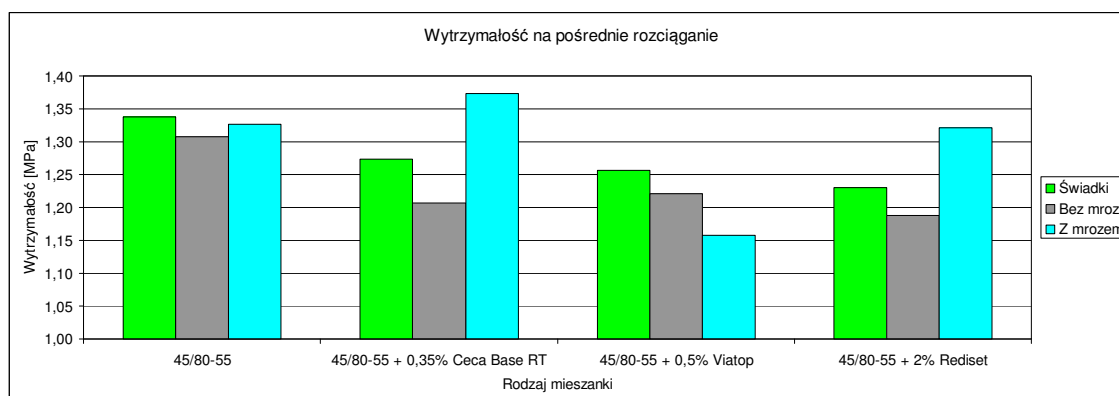
Im mieszanka uzyskuje mniejsze wartości ITSR, tym jest bardziej wrażliwa na działanie wody i mrozu.

Wymagania Techniczne „WT-2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych 2010” podawały, że dla mieszanki mastyksu grysowo-asfaltowego SMA wskaźnik ITSR nie powinien być mniejszy niż 90%.

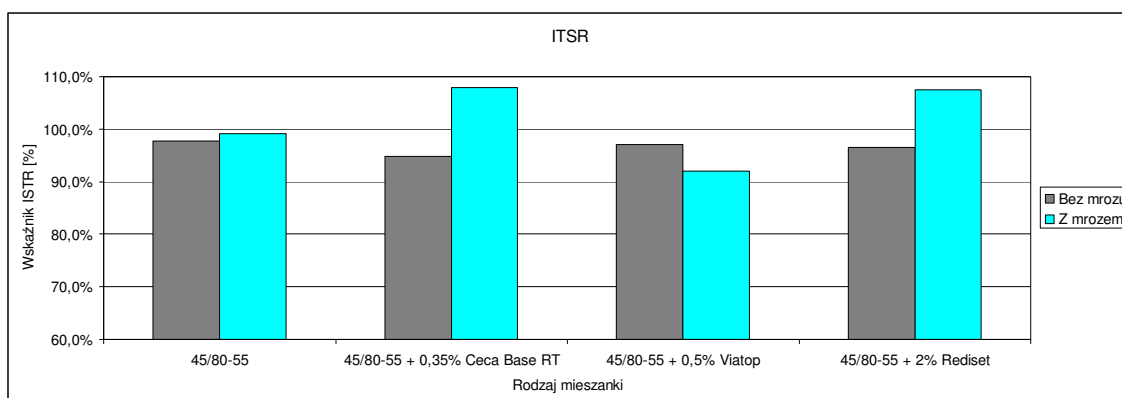
Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie i wskaźników ITSR przedstawiono w tablicy 7 oraz na rysunkach 2 i 3.

Tablica 7. Zestawienie wyników badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie oraz wskaźników ITSR dla mieszanki SMA wytworzonej z asfaltem czystym 45/80-55 oraz z dodatkami wg metody PN-EN 12697-12 oraz informacji podanych w WT-2 2010

Rodzaj mieszanki	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie:			Wskaźniki wytrzymałości ITSR	
	próbek świadków [MPa]	próbek bez cyklu zamrażania [MPa]	próbek z cyklem zamrażania [MPa]	dla próbek bez cyklu zamrażania	dla próbek z cyklem zamrażania
45/80-55	1,34	1,31	1,33	97,7%	99,1%
45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	1,27	1,21	1,37	94,8%	107,9%
45/80-55 + 0,5% Viatop Plus CT40	1,26	1,22	1,16	97,1%	92,1%
45/80-55 + 2% Rediset WMX	1,23	1,19	1,32	96,5%	107,5%



Rys. 2 – Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie mastyksu grysowo-asfaltowego SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami)



Rys. 3 – Zestawienie wskaźników ITSr wytrzymałości na pośrednie rozciąganie mastyksu grysowo-asfaltowego SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami)

Z analizy otrzymanych wyników, że żaden ze środków obniżających temperaturę produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych nie wpłynął negatywnie na zachowanie pod kątem odporności na działanie wody i mrozu, pomimo niższej temperatury produkcji i zagęszczania. Gorsze wyniki od innych, ale w normie, uzyskano dla ViaTop Plus CT40 (odpowiednik Sasobitu). Otrzymane wytrzymałości na pośrednie rozciąganie są nieco niższe dla mieszanek z dodatkami, lecz spadek ten jest niewielki i nie przekracza 10%. W dwóch przypadkach (Ceca Base RT i Rediset) uzyskano większą wytrzymałość dla próbek z cyklem zamrażania, niż dla próbek-świadców. Wzrost ten o wartości ok. 8% mieści się jednak w granicach dokładności metody badania.

3.2. Odporność na starzenie

3.2.1. Metodyka badania

Określenie wpływu starzenia na parametry mieszanki SMA wykonano podobnie jak dla betonów asfaltowych badanych na etapie prac laboratoryjnych, jednakże biorąc pod uwagę fakt, że w mieszance pobranej w trakcie wykonywania odcinka doświadczalnego zaszło już starzenie krótkoterminowe mające miejsce w trakcie produkcji, transportu, wbudowywania i zagęszczania. Przygotowano następujące serie próbek według dwóch schematów:

- **próbki pobrane z warstwy po wbudowaniu mma Starzone Krótkoterminowo w Wytwórni (S.K.W.):** po starzeniu krótkoterminowym (technologicznym) jakie zaszło podczas produkcji w wytwórni oraz podczas transportu i wbudowania.
- **próbki pobrane z warstwy po wbudowaniu mma poddane laboratoryjnemu Starzeniu Długoterminowemu w Suszarce (S.D.S)** – próbki z mieszanki SMA poddanej procesowi starzenia krótkoterminowego w wytwórni, podczas transportu i układania, a po nim dodatkowo poddane procesowi starzenia długoterminowego w suszarce w warunkach laboratoryjnych.

Wszystkie próbki wykonano z powtórnie podgrzanej mieszanki pobranej w trakcie wykonywania odcinka doświadczalnego. Temperatura zagęszczania próbek z

mieszanki referencyjnej SMA z czystym asfaltem modyfikowanym 45/80-55 wynosiła 145-150 °C, natomiast próbek z mieszanką SMA z dodatkami 125-130 °C.

Przebieg procesu starzenia długoterminowego opisano dokładnie w raportach z 2 i 3 etapu prac nad raportem badawczym.

3.2.2. Ocena odporności na starzenie

Wpływ starzenia w pośrednim rozciąganiu określono poprzez wyznaczenie wskaźnika modułu sztywności sprężystej. Wskaźnik ten miał posłużyć do porównania zmian zachodzących w badanych mieszankach SMA podczas procesów starzenia. W przypadku kiedy dysponowano serią próbek po starzeniu krótkoterminowym w wytwórni oraz długoterminowym wskaźnik ten zdefiniowano w następującym wariancie:

Wskaźnik modułu sztywności sprężystej:

$$W_s = \frac{S_{SDS}}{S_{SKW}}$$

gdzie:

W_s - wskaźnik modułu sztywności,

S_{SDS} - moduł sztywności sprężystej po starzeniu długoterminowym w suszarce (w warunkach laboratoryjnych)

S_{SKW} - moduł sztywności sprężystej próbek po starzeniu krótkoterminowym w wytwórni.

Badania modułów sztywności sprężystej wykonywano dla 5 temperatur: -20, -10, 0, +10 oraz +20 °C. Dla każdej kombinacji 3 zmiennych – temperatury, rodzaju starzenia oraz danego składu – badano 3 próbki. Temperaturą miarodajną w tym badaniu jest temperatura +20°C. Badania w pozostałych temperatury stanowiły głębszą analizę danych.

3.2.3. Wyniki badań

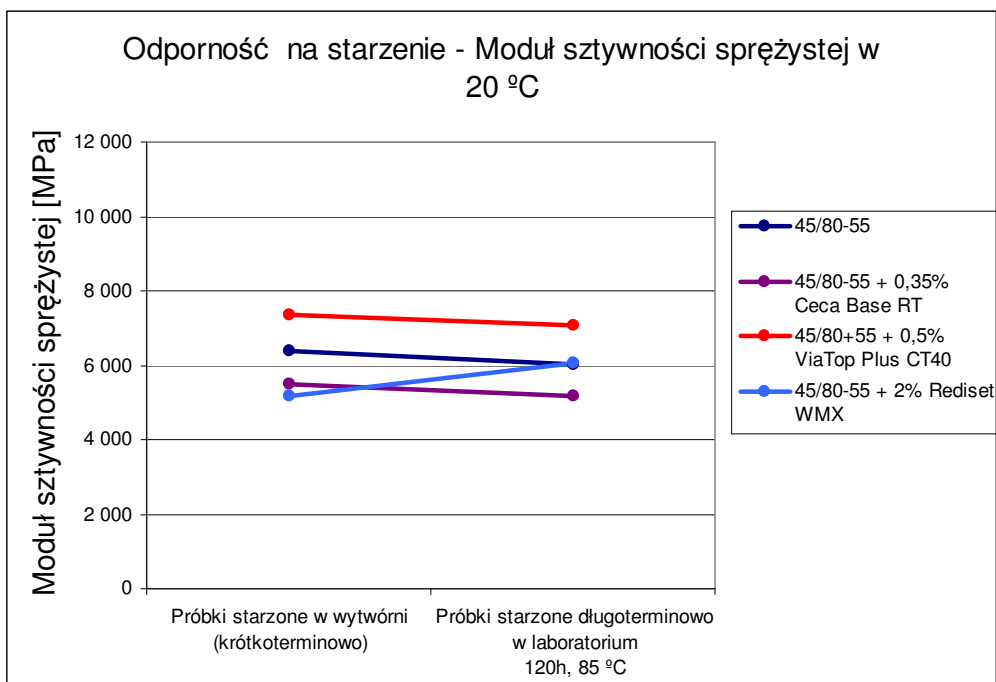
Wartości uzyskanych modułów sztywności sprężystej oraz wskaźników WS pokazano w tablicach 8-9, natomiast graficznie na rysunkach 4-8.

Tablica 8. Zestawienia średnich wartości modułów sztywności sprężystej w różnych temperaturach dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami)

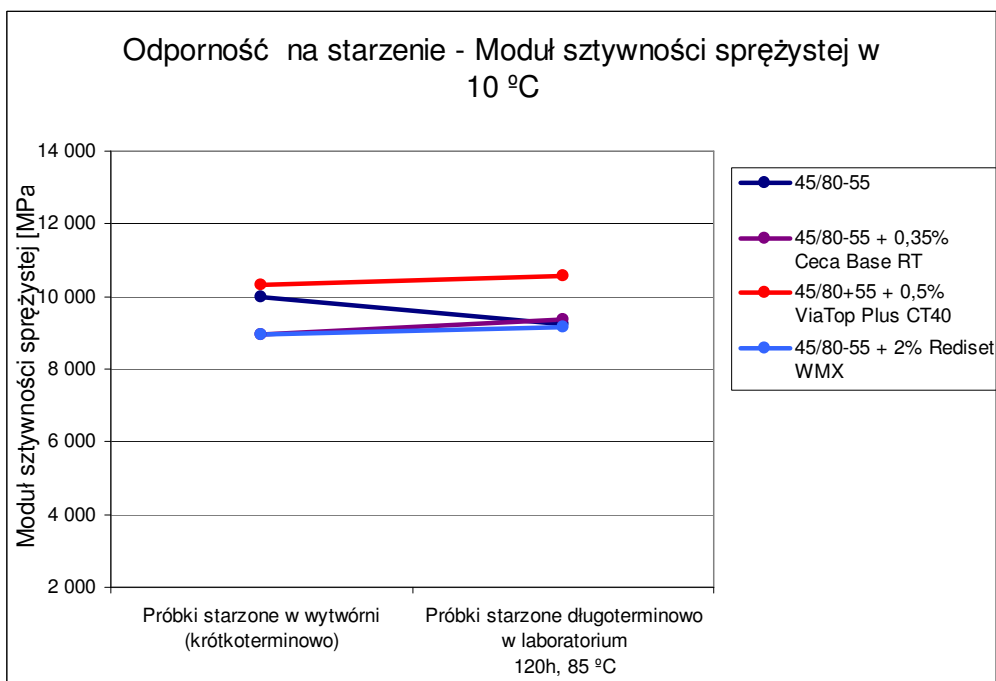
		Moduł sztywności sprężystej dla danego asfaltu/dodatku			
Rodzaj próbek	Temperatura badania modułu sztywności [°C]	45/80-55	45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	45/80-55 + 0,5% ViaTop Plus CT40	45/80-55 + 2% Rediset WMX
Próbki starzone w wytwórni (krótkoterminowo) S.K.W.	20	6 402	5 504	7 361	5 171
	10	9 969	8 956	10 334	8 960
	0	9 764	11 472	12 605	12 620
	-10	19 038	16 822	16 454	16 602
	-20	22 494	20 981	21 144	20 819
Próbki starzone długoterminowo w laboratorium 120h, 85 °C S.D.S.	20	6 006	5 157	7 088	6 053
	10	9 235	9 353	10 570	9 150
	0	14 529	14 971	14 901	14 676
	-10	18 003	18 053	18 388	17 811
	-20	24 545	22 395	22 248	21 818

Tablica 9. Zestawienia średnich wartości wskaźników modułów sztywności sprężystej w różnych temperaturach dla próbek z mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami)

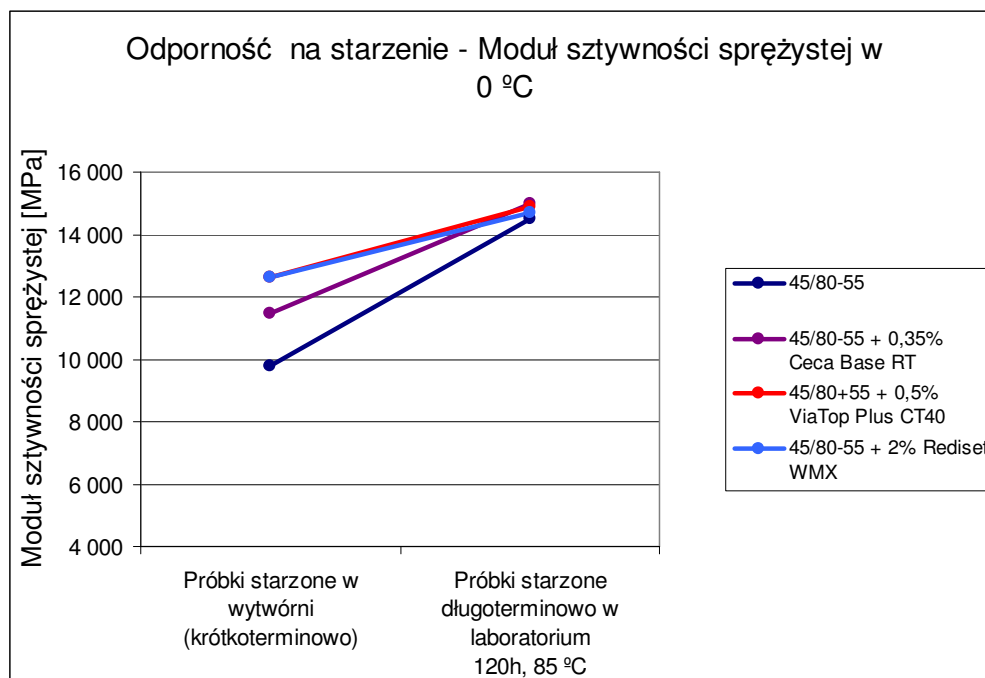
		Wskaźnik WS dla danego asfaltu/dodatku			
Rodzaj próbek	Temperatura badania modułu sztywności [°C]	45/80-55	45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	45/80-55 + 0,5% ViaTop Plus CT40	45/80-55 + 2% Rediset WMX
Starzenie długoterminowe S.D.S./S.K.W.	20	94%	94%	96%	117%
	10	93%	104%	102%	102%
	0	149%	131%	118%	116%
	-10	95%	107%	112%	107%
	-20	109%	107%	105%	105%



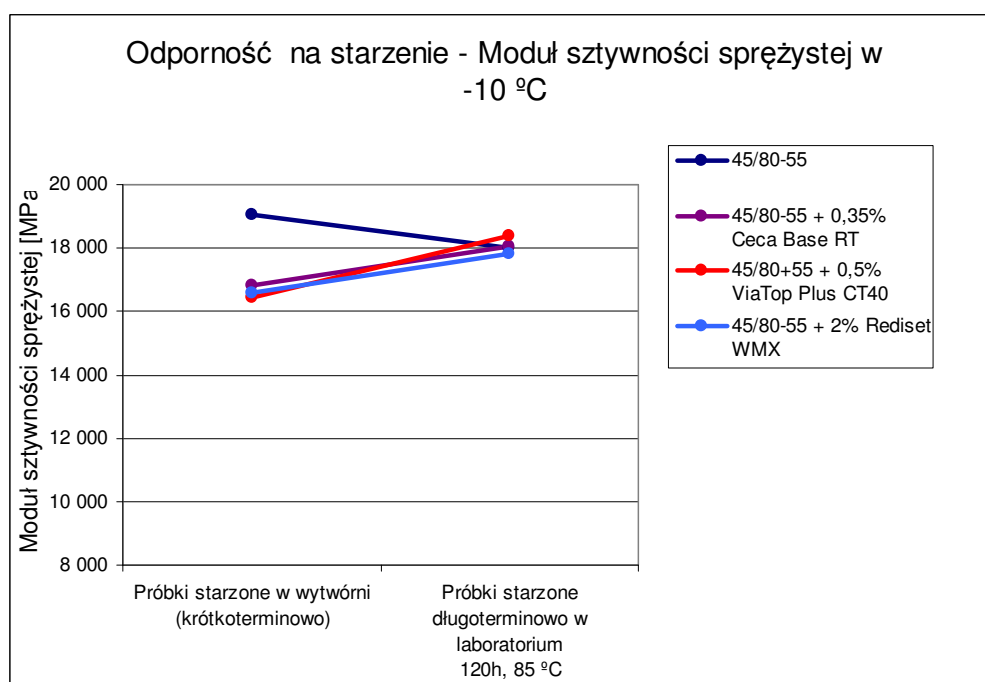
Rys. 4 – Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami) w temperaturze 20 °C



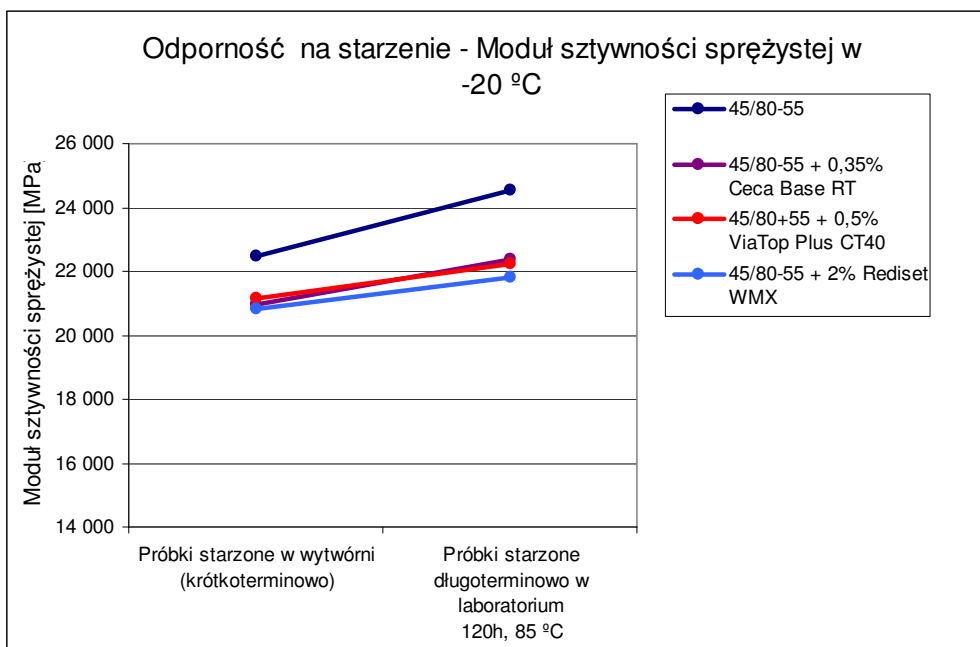
Rys. 5 – Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami) w temperaturze 10 °C



Rys. 6 – Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami) w temperaturze 0°C



Rys. 7 – Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami) w temperaturze -10°C



Rys. 8 – Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami) w temperaturze -20°C

Z analizy otrzymanych danych wynika:

- w 3 na 5 badanych temperatur próbki z mieszanki SMA referencyjnej z czystym asfaltem modyfikowanym 45/80-55 po łącznym starzeniu krótko- i długoterminowym charakteryzowały się mniejszym modułem sztywności, niż próbki poddane tylko starzeniu krótkoterminowemu. Spadek ten był niewielki i mieścił się w przedziale 5-7%.
- w temperaturze 20°C niemal wszystkie mieszanki (z wyjątkiem mieszanki z dodatkiem Rediset WMX) posiadały mniejszy moduł sztywności po łącznym starzeniu krótko- i długoterminowym, niż próbki poddane tylko starzeniu krótkoterminowemu, przy czym spadek ten był również niewielki i wynosił 4-6%. Jedynie moduł sztywności mieszanki SMA z dodatkiem Rediset WMX wzrósł o 17%. Spadek modułów sztywności po starzeniu może wiązać się ze zmianami struktury polimeroasfaltu, a nawet degradacją polimeru w czasie intensywnego długotrwałego wygrzewania w trakcie kondycjonowania (120h w temperaturze 85°C).
- temperaturą, w której próbki po starzeniu długoterminowym wykazywały największy przyrost modułów sztywności było 0°C. W tej temperaturze największy wzrost sztywności – niemal 1,5 krotny – odnotowała mieszanka referencyjna z czystym asfaltem modyfikowanym 45/80-55. Żadna z mieszanek SMA z dodatkami obniżającymi temperaturę nie odnotowała tak dużego wzrostu modułu sztywności po starzeniu długoterminowym. Stopień zwiększenia sztywności był mniejszy dla temperatury -10 i -20°C.
- Uzyskane wyniki pokazują, że wprowadzenie do mieszanki dodatków obniżających temperaturę powoduje różnice w oddziaływaniu długotrwałego wygrzewania zarówno pomiędzy różnymi dodatkami, jak i w stosunku do referencyjnej mma. Nie stwierdzono jednak wzrostu efektu starzenia po wprowadzeniu dodatków WAM.

3.3. Odporność na koleinowanie

Badanie odporności betonu asfaltowego na koleinowanie polegało na określeniu następujących cech w koleinomierzu kołowym:

a) małym (europejskim) wg normy PN-EN 12697-22 (metoda B):

- proporcjonalnej głębokości koleiny w 60 °C po 10 000 cyklach przejść koła,
- prędkości przyrostu koleiny w 60 °C.

Badania w koleinomierzu europejskim przeprowadzono dla próbek wykonanych w laboratorium z powtórnie rozgrzanej mieszanki oraz dla próbek o średnicy 200 mm odwierconych z nawierzchni.

b) dużym (francuskim) z oponą pneumatyczną wg normy PN-EN 12697-22:

- proporcjonalnej głębokości koleiny w 60 °C po 1 000, 3 000, 10 000 i 60 000 cyklach przejść koła.

Badania w koleinomierzu dużym przeprowadzono dla próbek wykonanych w laboratorium z powtórnie rozgrzanej mieszanki.

3.3.1. Koleinomierz mały (europejski)

3.3.1.1. Przygotowanie próbek

Jeden rodzaj próbek wykonano z mieszanki pobranej podczas wykonywania odcinka doświadczalnego, którą powtórnie podgrzano w laboratorium. Następnie przemieszczano ją w mieszarce mechanicznej, bez poddawania starzeniu krótkoterminowemu. Mieszanekę referencyjną z czystym asfaltem 45/80-55 zagęszczano w zagęszczarce walcowej w temperaturze 145 – 150 °C, natomiast mieszanki z dodatkiem Ceca Base RT, ViaTop Plus CT40 oraz Rediset WMX w temperaturze 125 – 130 °C.

Drugim rodzajem próbek były rdzenie o średnicy 200 mm odwiercone z nawierzchni, które w laboratorium zostały oddzielone od warstwy wiążącej, wysuszone i zmierzone. Przed przystąpieniem do wiercenia, na górnej powierzchni próbek oznaczano kierunek wałowania nawierzchni, aby w tym samym kierunku odbywały się przejazdy koła w koleinomierzu. Następnie próbki zostały zamocowane w formach stalowych umożliwiających umieszczenie ich w uchwytach aparatury badawczej.

W każdym przypadku badano po 2 próbki danego rodzaju (formowane w laboratorium lub odwierty) dla każdej mieszanki SMA.

3.3.1.2. Opis badania

Badanie wykonano zgodnie z normą PN-EN12697-22, metoda B, w powietrzu. Badanie polegało na pomiarze stopnia przyrostu koleiny oraz maksymalnej głębokości koleiny, wywołanej przemieszczaniem się stalowego koła w gumowej osłonie o znormalizowanych wymiarach i obciążeniu, po tym samym śladzie. Warunki badania były następujące:

- | | |
|--|---------------|
| • Szerokość koła | 50 mm, |
| • Średnica zewnętrzna | 200 mm, |
| • Obciążenie kołem | 700 N, |
| • Częstotliwość | 27 cykli/min, |
| • Całkowita droga przejścia koła po próbce | 230 mm, |
| • Czas trwania badania 10000 cykli | 370 minut, |

- Temperatura badania

60 °C.

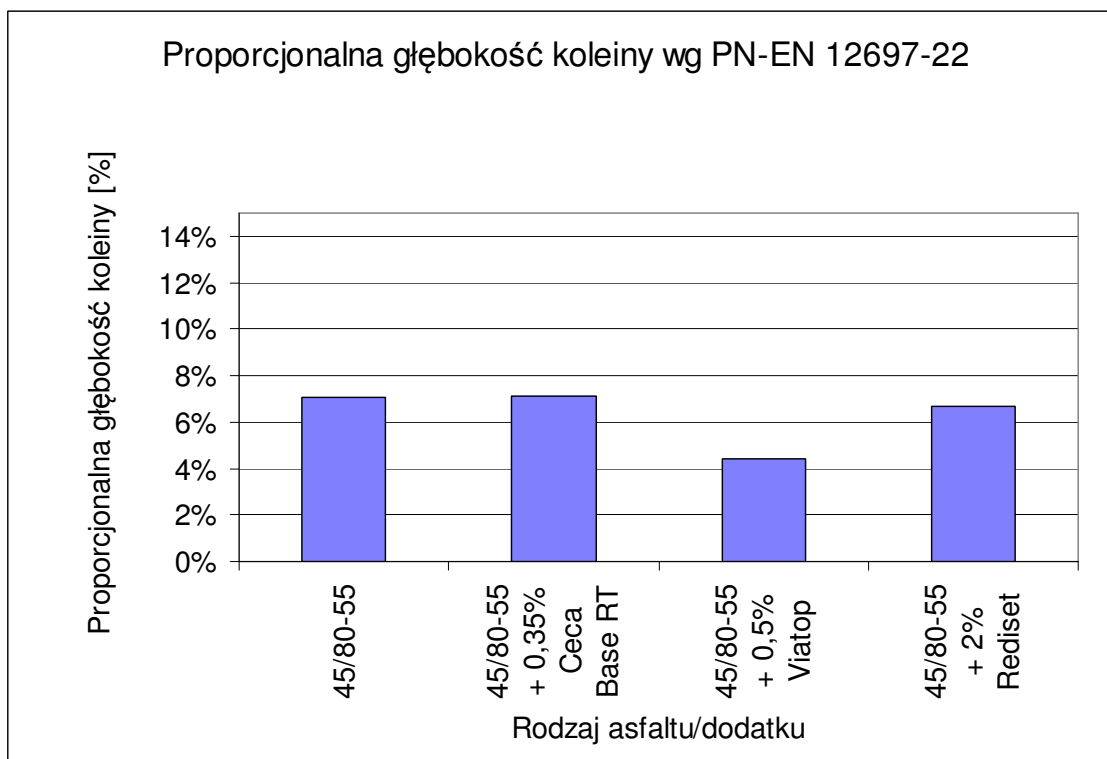
3.3.1.3. Wyniki badań

W tablicy 10 przedstawiono wyniki badania koleinowania (głębokość koleiny, proporcjonalna głębokość koleiny, prędkość przyrostu koleiny) według normy PN-EN 12697-22 dla mieszanek SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 badanych na próbkach wytworzonych w laboratorium. Graficznie przedstawiono je na rysunkach 9-10.

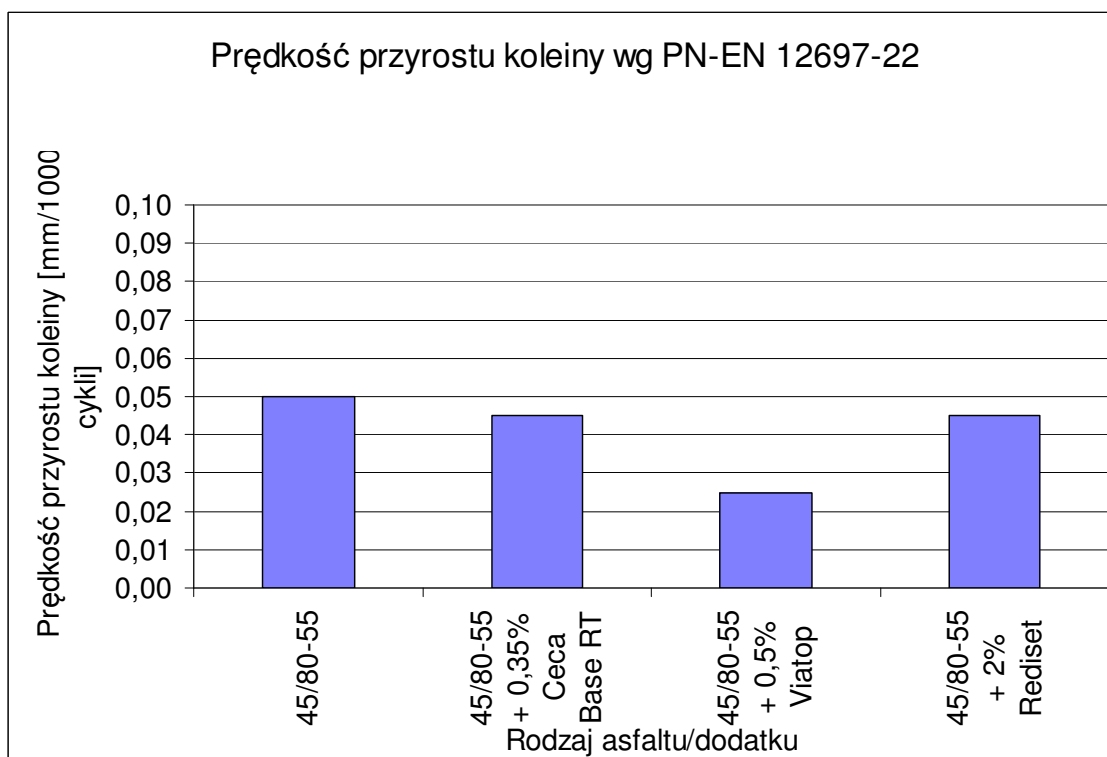
W tablicy 11 przedstawiono wyniki badania koleinowania (głębokość koleiny, proporcjonalna głębokość koleiny, prędkość przyrostu koleiny) według normy PN-EN 12697-22 dla mieszanek SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 badanych na próbkach odwierconych z nawierzchni. Graficznie przedstawiono je na rysunkach 11-12.

Tablica 10. Wyniki badań z koleinomierza małego dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami), temperatura 60 °C, wg PN-EN12697-22, metoda B – Próbkki formowane i zagęszczane w laboratorium

Rodzaj mieszanki	Nr próbki	Głębokość koleiny RD_{10000} [mm]		Prędkość przyrostu koleiny WTS_{AIR} [mm/1000/p]		Proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} [%]	
		Wyniki	Średnia	Wyniki	Średnia	Wyniki	Średnia
45/80-55	1405/1	2,74	2,84	0,05	0,050	6,85%	7,09%
	1405/2	2,93		0,05		7,33%	
45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	1407/1	2,68	2,84	0,04	0,045	6,70%	7,10%
	1407/2	3,00		0,05		7,50%	
45/80-55 + 0,5% Viatop	1408/1	2,01	1,78	0,04	0,025	5,03%	4,44%
	1408/2	1,54		0,01		3,85%	
45/80-55 + 2% Rediset	1406/1	2,78	2,67	0,05	0,045	6,95%	6,66%
	1406/2	2,55		0,04		6,38%	



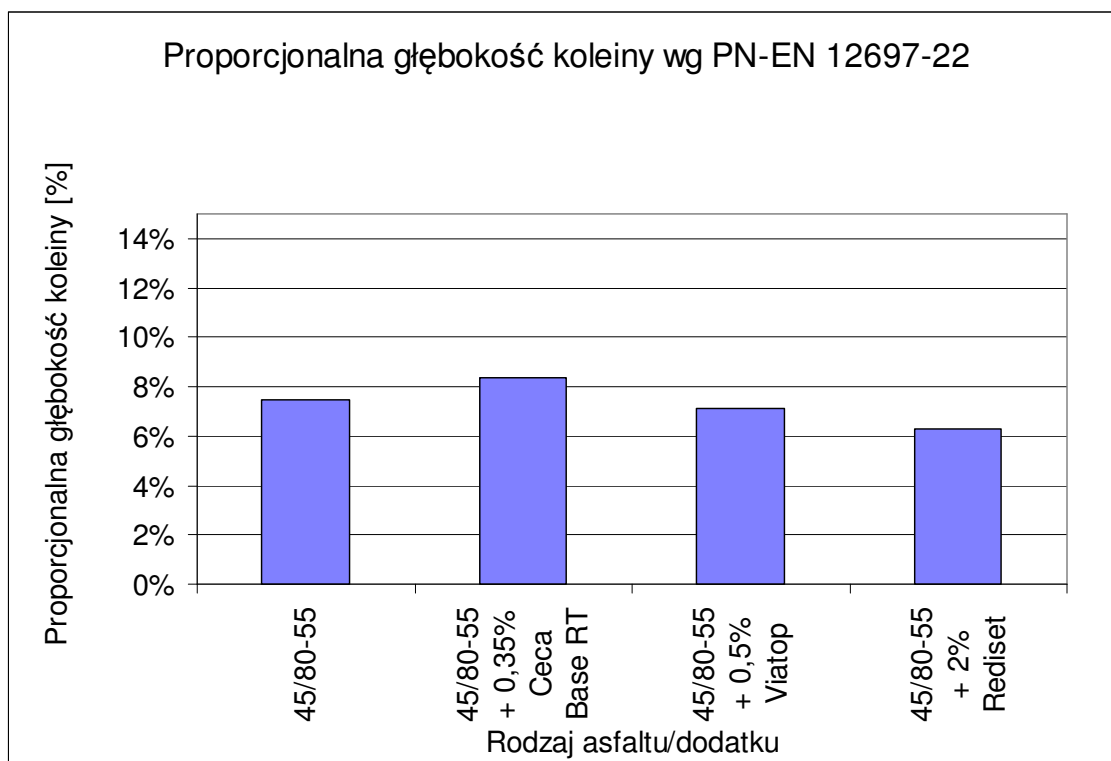
Rys. 9 – Wyniki badań proporcjonalnej głębokości koleiny z koleinomierza małego dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami), temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B – Próbki formowane i zagęszczane w laboratorium



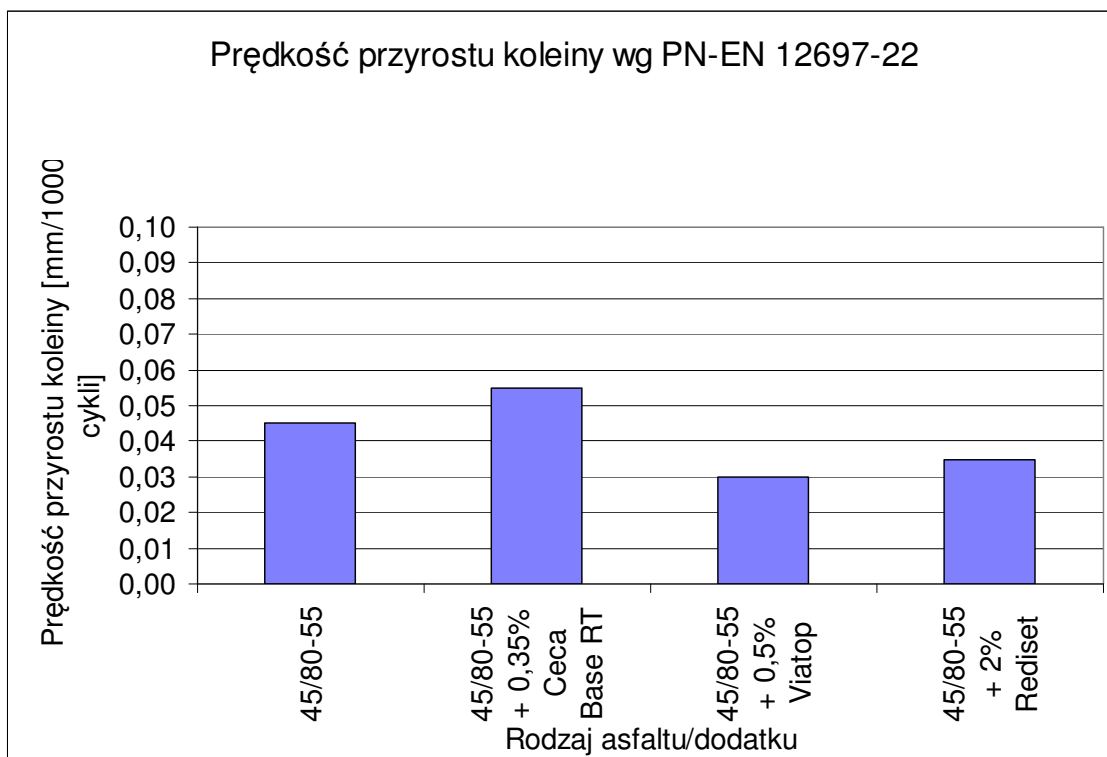
Rys. 10 – Wyniki badań prędkości przyrostu koleiny z koleinomierza małego dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami), temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B – Próbki formowane i zagęszczane w laboratorium

Tablica 11. Wyniki badań z koleinomierza małego dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami), temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B – Próbki odwiercone z nawierzchni

Rodzaj mieszanki	Nr próbki	Głębokość koleiny RD ₁₀₀₀₀ [mm]		Prędkość przyrostu koleiny WTS _{AIR} [mm/1000/p]		Proporcjonalna głębokość koleiny PRD _{AIR} [%]	
		Wyniki	Średnia	Wyniki	Średnia	Wyniki	Średnia
45/80-55	1437	2,34	3,46	0,02	0,045	5,44%	7,49%
	1438	4,58		0,07		9,54%	
45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	1423	2,34	3,45	0,03	0,055	5,85%	8,35%
	1426	4,56		0,08		10,86%	
45/80-55 + 0,5% Viatop	1431	2,10	3,00	0,02	0,030	5,12%	7,10%
	1432	3,90		0,04		9,07%	
45/80-55 + 2% Rediset	1466	2,95	2,51	0,05	0,035	7,38%	6,26%
	1467	2,06		0,02		5,15%	



Rys. 11 – Wyniki badań proporcjonalnej głębokości koleiny z koleinomierza małego dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami), temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B – Próbki odwiercone z nawierzchni



Rys. 12 – Wyniki badań prędkości przyrostu koleiny z koleiny z koleinomierza małego dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami), temperatura 60 °C, wg PN-EN12697-22, metoda B – Próbki odwiercone z nawierzchni

3.3.2. Koleinomierz duży (francuski)

Badanie odporności na koleinowanie w koleinomierzu francuskim przeprowadzono we współpracy z Laboratorium Drogowym Wydziału Technologii gdańskiego oddziału Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, do którego dostarczono próbki mieszanek pobranych w trakcie wykonywania odcinka doświadczalnego.

Podobnie jak w przypadku koleinomierza europejskiego, mieszanka każdego rodzaju została powtórnie podgrzana i przemieszana w mieszarce laboratoryjnej BBMAX 80, a następnie zagęszczona w formach stalowych o wymiarach 500x180x50 mm przy użyciu zagęszczarki PC-BBAC, w której elementem zagęszczającym jest koło z oponą penumatyczną.

Badanie przeprowadzono w koleinomierzu Vectra Orniereur wyposażonym w koło z oponą pneumatyczną. Budowa urządzenia umożliwia jednocześnie koleinowanie dwóch próbek.

Próbki były poddawane kondycjonowaniu polegającym na poddaniu próbek 1000 przejść koła w temperaturze 20 °C. Po cyklach kondycjonujących odbywał się tzw. pomiar zerowy głębokości koleiny. Następnie, po 12 godzinach przebywania próbek w komorze koleinomierza w temperaturze 60 °C rozpoczynano cykle obciążeniowe

właściwego badania. Po odbyciu 3 000, 10 000 i 30 000 cykli dokonywano odczytów głębokości koleiny. Pomiar odbywał się w 5 pięciu przekrojach, przy czym w każdym przekroju dokonuje się 3 odczytów. Dla każdej ilości cykli została wyliczona proporcjonalna głębokość koleiny według wzoru:

$$P_i = \frac{\sum j(m_{ij} - m_{ij0_j})}{15 \times E} \times 100\%$$

gdzie:

j – punkt pomiaru 1 ÷ 15,

m_{ij} - odczyt głębokości koleiny w poszczególnych punktach, mm,

m_{ij0_j} - odczyty zerowe w śladzie koła w poszczególnych punktach, mm,

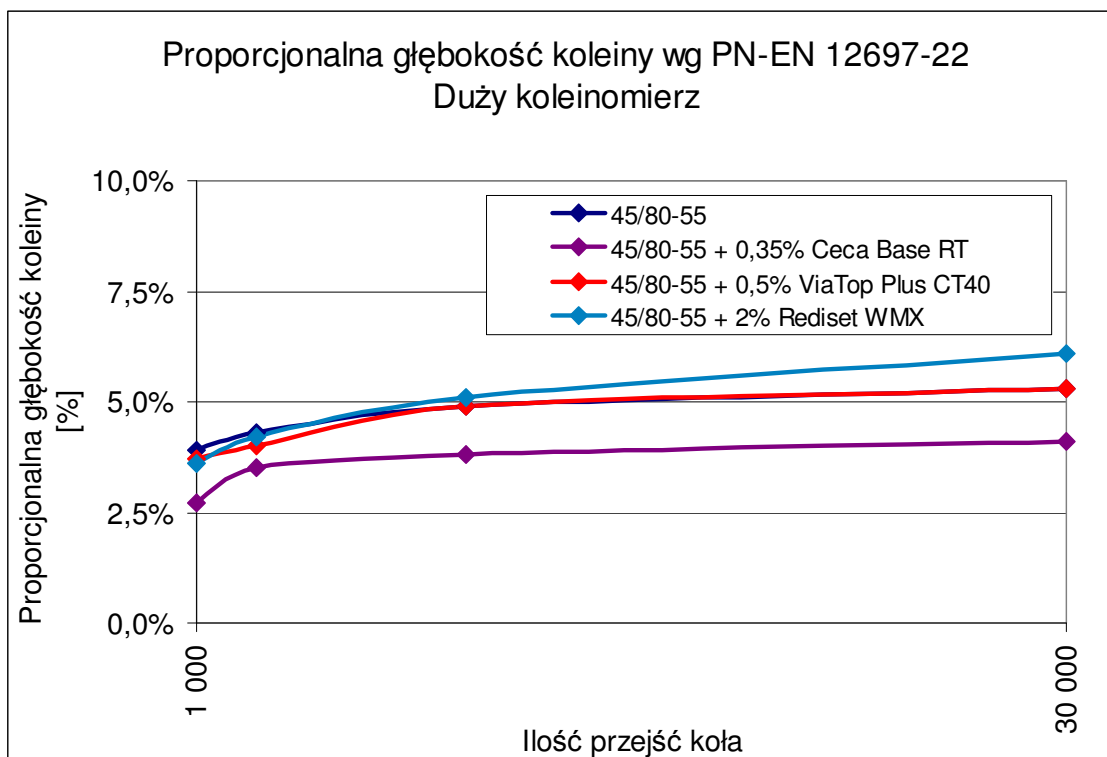
E – grubość próbki (50 mm).

Wynik obliczono jako średnią arytmetyczną z badania 2 próbek mieszanki SMA o tym samym składzie.

Wyniki badania koleinowania w koleinomierzu francuskim przedstawiono w tablicy 12 oraz graficznie na rysunku 13.

Tablica 12. Wyniki badań koleinowania w koleinomierzu dużym dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami), temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22

Rodzaj mieszanki	Ilość cykli	Głębokość koleiny [mm]	Proporcjonalna głębokość koleiny [%]
45/80-55	1 000	1,9	3,9%
	3 000	2,1	4,3%
	10 000	2,4	4,9%
	30 000	2,6	5,3%
45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	1 000	1,4	2,7%
	3 000	1,8	3,5%
	10 000	1,9	3,8%
	30 000	2,0	4,1%
45/80-55 + 0,5% ViaTop Plus CT40	1 000	1,8	3,7%
	3 000	2,0	4,0%
	10 000	2,5	4,9%
	60 000	2,6	5,3%
45/80-55 + 2% Rediset	1 000	1,7	3,6%
	3 000	2,1	4,2%
	10 000	2,5	5,1%
	30 000	3,1	6,1%



Rys. 13 – Wyniki badań proporcjonalnej głębokości koleiny z koleinomierza dużego dla próbek mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami), temperatura 60 °C, wg PN-EN12697-22

Z analizy otrzymanych danych wynika:

- w przypadku badań odporności na koleinowanie w małym koleinomierzu żadna z mieszanek z dodatkami obniżającymi temperaturę nie wykazała praktycznie pogorszonej odporności na koleinowanie, zarówno w stosunku do mieszanki referencyjnej, jak i do tożsamyh mieszanek z dodatkami wytworzonych na etapie przygotowania recepty w laboratorium. Dotyczyło to zarówno wyników otrzymanych na próbkach wytworzonych z powtórnie podgrzewanej mieszanki w laboratorium, jak i próbkach odwierconych z nawierzchni, jednakże rozrzut wyników próbek odwierconych z nawierzchni jest większy.
- w badaniu w małym koleinomierzu zaznaczył się pozytywny wpływ dodatku ViaTop Plus CT40 (odpowiednik Sasobitu) na odporność na deformacje trwałe. Dotyczyło to zwłaszcza próbek przygotowywanych w laboratorium z powtórnie podgrzewanej mieszanki. Potwierdza to wyniki uzyskane na etapie badań laboratoryjnych.
- natomiast rezultaty z badania w dużym koleinomierzu są nieco inne. W tym przypadku najmniejszą proporcjonalną głębokość koleiny otrzymano dla mieszanki z dodatkiem Ceca Base RT. Pozostałe mieszanki (referencyjna, ViaTop Plus CT40 oraz Rediset WMX) w początkowej fazie badania 1 000 – 10 000 cykli różnią się bardzo niewiele. W dalszej fazie 10 000 – 30 000 cykli krzywe mieszanki referencyjnej i mieszanki z dodatkiem ViaTop Plus CT40 niemal się pokrywają, natomiast prędkość przyrostu koleiny dla mieszanki z dodatkiem Rediset WMX ulega zwiększeniu.

- Kąt nachylenia krzywej (odzwierciedlający prędkość przyrostu koleiny) w dalszej fazie 10 000 – 30 000 cykli dla mieszanki referencyjnej z czystym asfaltem 45/80-55, oraz mieszanek z dodatkiem ViaTop Plus CT40 oraz Ceca Base RT jest bardzo zbliżony, natomiast większy jest dla mieszanki z dodatkiem Rediset WMX.

3.4. Odporność na spękania niskotemperaturowe

Określenie odporności mieszanki mineralno-asfaltowej SMA na spękania niskotemperaturowe przeprowadzono jak w etapie badań laboratoryjnych, stosując procedurę opracowaną na Politechnice Gdańskiej polegającą na zginaniu belki wolnopodpartej, obciążonej siłą skupioną w środku rozpiętości, o wymiarach 50x50x300 mm, w prasie ze stałym przesuwem tłoka wynoszącym 1,25 mm/min. Rejestracji podlega zależność pomiędzy przykładaną siłą a wywołowanym odkształceniem próbki.

Odształcenie graniczne i wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu określa się z następujących zależności:

$$\varepsilon_{\text{gran}} = \frac{p_{\text{max}}}{e} \times \frac{c}{a}$$

$$R_{\text{rz}} = \frac{3}{2} \frac{F_{\text{max}} l}{b h^2}$$

gdzie:

- $\varepsilon_{\text{gran}}$ - średnie odkształcenie występujące na spodzie belki na odcinku bazy pomiarowej o długości e ,
- p_{max} - przemieszczenia czujnika LVDT, przy maksymalnej sile F_{max} spowodowane zginaniem belki [mm],
- e - długość bazy pomiarowej – osiowa odległość pomiędzy płytkami bazowymi, [mm],
- a - odległość od spodu belki do osi czujnika LVDT [mm],
- c - połowa wysokości belki [mm].
- R_{rz} - wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa],
- F_{max} - siła niszcząca [kN],
- h - wysokość belki [mm],
- l - rozpiętość belki między podporami [mm],
- b - szerokość belki [mm],
- σ - naprężenia występujące na spodzie belki w środku jej rozpiętości [MPa].

Ocena badanych mieszanek SMA z czystym asfaltem modyfikowanym 45/80-55 oraz asfaltem 45/80-55 z dodatkami przeprowadzona została w oparciu o odkształcenie graniczne i wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu.

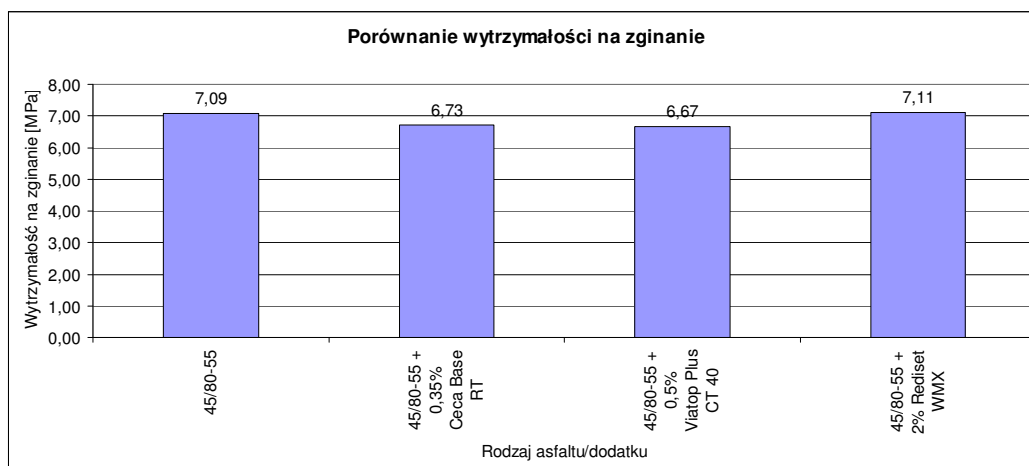
W każdej serii badano po 5 próbek, odrzucając wyniki niemiernodajne (np. pęknięcie belki poza bazą pomiarową czujnika LVDT). Belki do badania zostały wycięte z płyt o wymiarach 300 x 300 x 50 mm zagęszczonych w zagęszczarce walcowej z powtórnie podgrzanej mieszanki pobranej w trakcie wykonywania odcinka doświadczalnego.

Badanie przeprowadzono dla wszystkich belek w temperaturze -20°C.

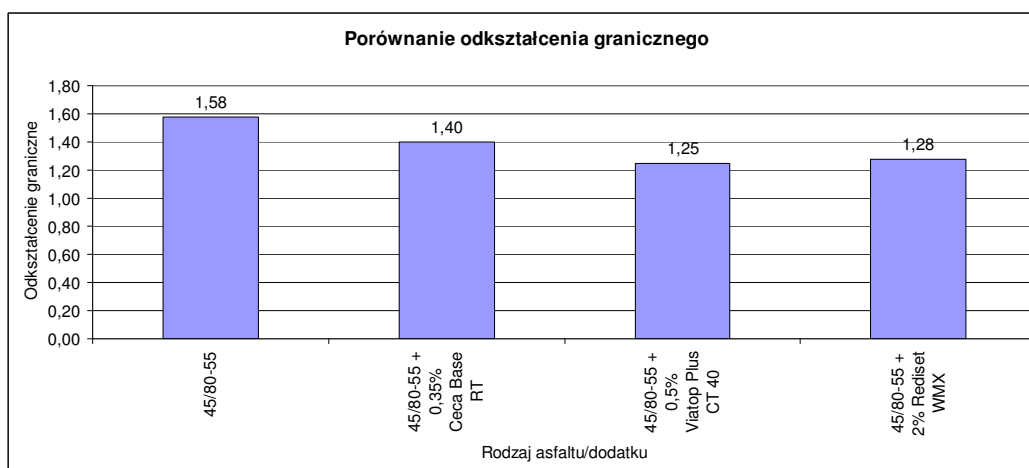
Wyniki badań wytrzymałości na zginanie przedstawiono w tablicy 13 oraz na rysunkach 14-15.

Tablica 13. Wyniki badań trójpunktowego zginania belek z mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i dodatkami)

Rodzaj mieszanki	Nr próbek	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa]	Odkształcenie graniczne [%]
45/80-55	1405	7,09	1,58
45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	1407	6,73	1,40
45/80-55 + 0,5% Viatop Plus CT 40	1408	6,67	1,25
45/80-55 + 2% Rediset WMX	1406	7,11	1,28



Rys. 14 – Porównanie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu dla próbek wytworzonych z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami)



Rys. 15 – Porównanie odkształcenia granicznego przy zginaniu dla próbek wytworzonych z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i z dodatkami)

Z przeprowadzonych badań wynika, że żaden z zastosowanych dodatków nie spowodował znaczącego spadku wytrzymałości na pośrednie rozciąganie lub odkształcenia granicznego. Odnotowane różnice w większości mieszczą się w granicach błędu pomiaru. Jedynie w przypadku mieszanek SMA z dodatkami ViaTop Plus CT40 (odpowiednik Sasobitu) oraz Rediset WMX zaobserwowano nieco mniejsze odkształcenie graniczne, którego spadek był rzędu ok. 20%, jednakże nie jest to podstawą do dyskwalifikacji niniejszych dodatków.

4. BADANIA WYKONANEJ NAWIERZCHNI

4.1. Określenie zawartości wolnych przestrzeni i wskaźników zagęszczenia

Określenie zawartości wolnych przestrzeni i wskaźników zagęszczenia określono na podstawie badań próbek o średnicy 150 mm odwierconych z nawierzchni oraz próbek Marshalla wykonanych z mieszanki pobranej podczas wykonywania odcinka doświadczalnego i powtórnie podgrzanej w laboratorium. Temperatura zagęszczania próbek Marshalla dla mieszanki referencyjnej wynosiła 145 – 150 °C, natomiast mieszanki z dodatkiem Ceca Base RT, ViaTop Plus CT40 oraz Rediset WMX w temperaturze 125 – 130°C. Gęstość samej mieszanki określano na jej porcjach pobranych w trakcie wykonywania odcinka doświadczalnego.

Wyniki badania gęstości oraz ilości wolnych przestrzeni w próbkach oraz wskaźników zagęszczenia przedstawiono w tablicach 14 i 15.

Tablica 14. Wyniki badań gęstości mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i dodatkami)

Rodzaj asfaltu/dodatku	Gęstość próbki [g/cm³]	Gęstość średnia [g/cm³]	Gęstość średnia wszystkich [g/cm³]
45/80-55 Mieszanka referencyjna	2,466	2,458	2,450
	2,450		
45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	2,446	2,443	
	2,439		
45/80-55 + 0,5% ViatopPlus CT40	2,442	2,446	
	2,451		
45/80-55 + 2% Rediset WMX	2,456	2,453	
	2,450		

Tablica 15. Wyniki badań gęstości objętościowej, wolnych przestrzeni i wskaźników zagęszczenia mieszanki SMA z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 (czystym i dodatkami)

Rodzaj asfaltu/dodatku	Nr odwiertu	Gęstość obj. [g/cm ³]	Gęstość [g/cm ³]	Gęstość obj. z Marshalla [g/cm ³]	Wolna przestrzeń w próbce [%]	Wolna przestrzeń średnia [%]	Wskaźnik zagęszczenia w próbce [%]	Wskaźnik zagęszczenia średni [%]
45/80-55	1 435	2,316	2,450	2,369	5,46%	4,70%	97,8%	98,6%
	1 436	2,325	2,450	2,369	5,09%		98,2%	
	1 439	2,364	2,450	2,369	3,52%		99,8%	
	1 440	2,334	2,450	2,369	4,72%		98,5%	
45/80-55 + 0,35% Ceca Base RT	1 424	2,357	2,450	2,361	3,81%	4,42%	99,8%	99,2%
	1 425	2,316	2,450	2,361	5,49%		98,1%	
	1 427	2,343	2,450	2,361	4,37%		99,2%	
	1 428	2,352	2,450	2,361	4,00%		99,6%	
45/80-55 + 0,5% ViaTop Plus CT40	1 429	2,328	2,450	2,358	4,99%	4,69%	98,7%	99,0%
	1 430	2,368	2,450	2,358	3,34%		100,4%	
	1 433	2,308	2,450	2,358	5,80%		97,9%	
	1 434	2,337	2,450	2,358	4,62%		99,1%	
45/80-55 + 2% Rediset WMX	1 464	2,384	2,450	2,368	2,68%	2,39%	100,7%	101,0%
	1 465	2,390	2,450	2,368	2,46%		100,9%	
	1 468	2,391	2,450	2,368	2,41%		101,0%	
	1 469	2,401	2,450	2,368	1,99%		101,4%	

Wszystkie badane próbki spełniały wymogi narzucane wykonanej warstwie ścieralnej przez szczegółową specyfikację techniczną obowiązującą na kontrakcie, która wymagała osiągnięcia przez warstwę ścieralną SMA zawartości wolnych przestrzeni w przedziale 2 – 6% (dla kategorii ruchu KR5-6) lub 1,5 – 6% (dla kategorii ruchu KR3-4) oraz wskaźnika zagęszczenia większego od 97%. Dla mieszanek z dodatkami obniżającymi temperaturę stwierdzono nieco większy wskaźnik zagęszczenia, szczególnie dla mieszanki z dodatkiem środka Rediset WMX. W tym przypadku osiągnięto również istotnie mniejszą zawartość wolnych przestrzeni w stosunku do pozostałych mieszanek (niemal dwukrotną), jednakże nie jest ona mniejsza niż dopuszczalna przez SST wartość minimalna.

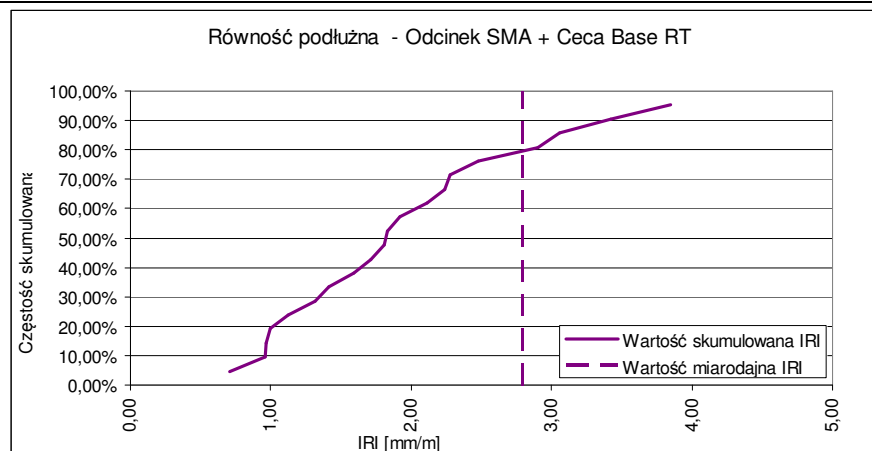
4.2. Określenie równości podłużnej i poprzecznej

We współpracy z Laboratorium Drogowym Wydziału Technologii gdańskiego oddziału Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad wykonano również badania równości podłużnej i poprzecznej. Pomiaru dokonano automatycznie za pomocą urządzenia Dynatest Road Surface Profilometer RSP 5051 Mark III.

Wyniki badania równości podłużnej metodą wskaźnika IRI przedstawiono w tablicach 16-18 oraz na rysunkach 16-18, natomiast równości podłużnej – głębokości kolein – w tablicach 19-21 oraz na rysunkach 19-21. Z uwagi na relatywnie niewielkie długości poszczególnych odcinków pomiary przeprowadzono w przedziałach 10 m, zamiast stosowanych tradycyjnie 50 m. Badania przeprowadzono 4 stycznia 2012 r.

Tablica 16. Wyniki badań wskaźnika IRI na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem Ceca Base RT

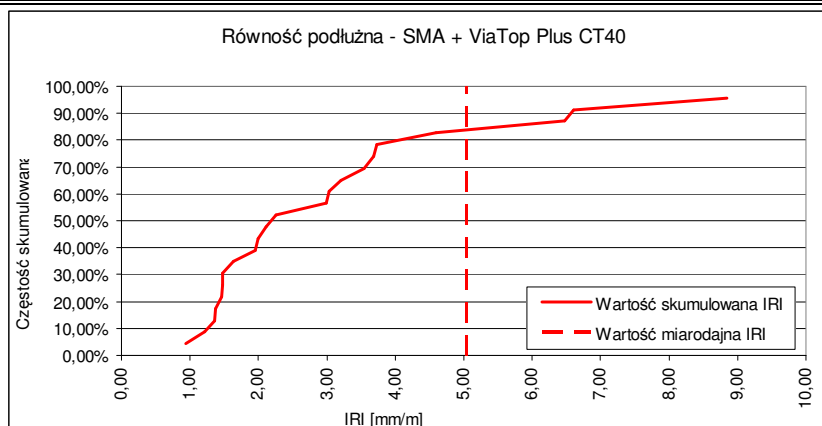
Wartości pomierzone	Kilometraż	IRI w przedziale	Analiza danych	IRI rosnąco	Częstość występowania wyniku	Numer pomiaru	Procent wyników
	0+020						
	0+030	2,90		0,71	1	1	4,76%
	0+040	2,48		0,96	1	2	9,52%
	0+050	2,11		0,97	1	3	14,29%
	0+060	1,81		1,00	1	4	19,05%
	0+070	1,32		1,12	1	5	23,81%
	0+080	1,92		1,32	1	6	28,57%
	0+090	0,97		1,41	1	7	33,33%
	0+100	1,83		1,59	1	8	38,10%
	0+110	2,28		1,71	1	9	42,86%
	0+120	3,06		1,81	1	10	47,62%
	0+130	1,59		1,83	1	11	52,38%
	0+140	1,41		1,92	1	12	57,14%
	0+150	1,00		2,11	1	13	61,90%
	0+160	0,96		2,24	1	14	66,67%
	0+170	0,71		2,28	1	15	71,43%
	0+180	1,12		2,48	1	16	76,19%
	0+190	3,42		2,90	1	17	80,95%
	0+200	3,85		3,06	1	18	85,71%
	0+210	1,71		3,42	1	19	90,48%
	0+216	2,24		3,85	1	20	95,24%
Wartość średnia dla wszystkich przedziałów				E		1,93	mm/m
Odchylenie standardowe				D		0,87	mm/m
Wartość średnia + odchylenie standardowe				E + D		2,80	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 50% długości odcinka				IRI _{50%}		1,82	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 80% długości odcinka				IRI _{80%}		2,82	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 100% długości odcinka (największy)				IRI _{100%}		3,85	mm/m



Rys. 16 – Graficzna interpretacja wyników badań wskaźnika IRI na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem Ceca Base RT

Tablica 17. Wyniki badań wskaźnika IRI na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem ViaTop Plus CT40

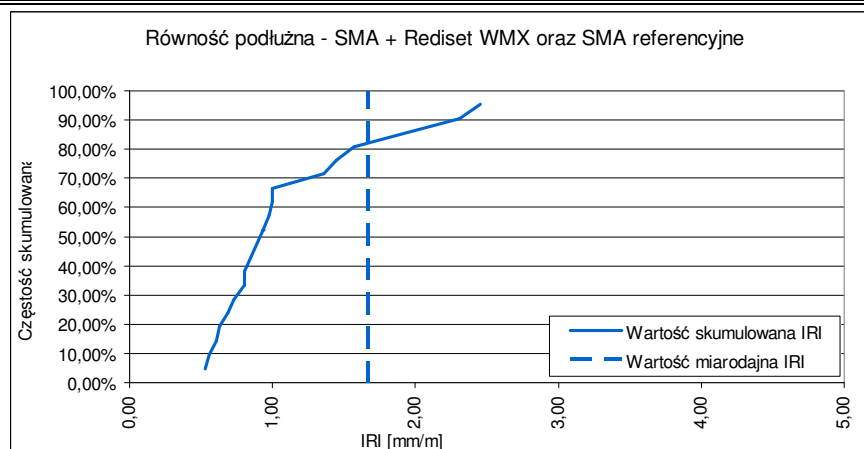
Wartości pomierzone	Kilometraż	IRI w przedziale	Analiza danych	IRI rosnąco	Częstość występowania wyniku	Numer pomiaru	Procent wyników
	0+020						
	0+030	2,26		0,94	1	1	4,35%
	0+040	1,95		1,21	1	2	8,70%
	0+050	1,64		1,36	1	3	13,04%
	0+060	2,11		1,38	1	4	17,39%
	0+070	1,48		1,46	1	5	21,74%
	0+080	1,36		1,47	1	6	26,09%
	0+090	1,38		1,48	1	7	30,43%
	0+100	3,68		1,64	1	8	34,78%
	0+110	3,54		1,95	1	9	39,13%
	0+120	3,73		2,00	1	10	43,48%
	0+130	3,21		2,11	1	11	47,83%
	0+140	6,60		2,26	1	12	52,17%
	0+150	8,85		2,99	1	13	56,52%
	0+160	3,03		3,03	1	14	60,87%
	0+170	2,00		3,21	1	15	65,22%
	0+180	1,21		3,54	1	16	69,57%
	0+190	0,94		3,68	1	17	73,91%
	0+200	1,46		3,73	1	18	78,26%
	0+210	1,47		4,60	1	19	82,61%
	0+220	2,99		6,48	1	20	86,96%
	0+230	6,48		6,60	1	21	91,30%
	0+239	4,60		8,85	1	22	95,65%
Wartość średnia dla wszystkich przedziałów				E		3,00	mm/m
Odchylenie standardowe				D		2,05	mm/m
Wartość średnia + odchylenie standardowe				E + D		5,05	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 50% długości odcinka				IRI _{50%}		2,19	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 80% długości odcinka				IRI _{80%}		4,43	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 100% długości odcinka (największy)				IRI _{100%}		8,85	mm/m



Rys. 17 – Graficzna interpretacja wyników badań wskaźnika IRI na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem ViaTop Plus CT40

Tablica 18. Wyniki badań wskaźnika IRI na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem ViaTop Plus CT40

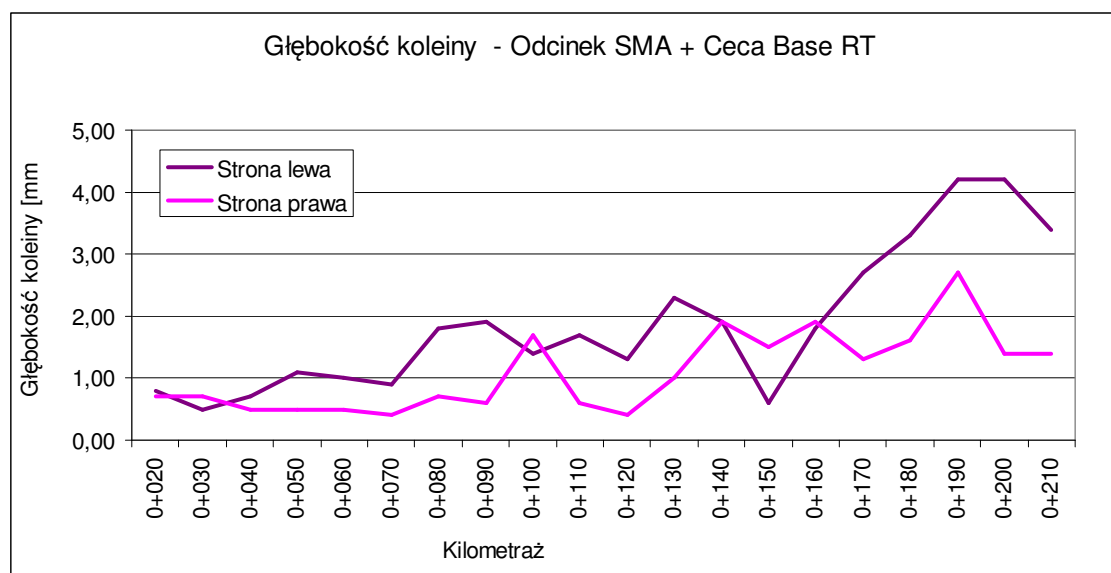
Wartości pomierzone	Kilometraż	IRI w przedziale	Analiza danych	IRI rosnąco	Częstość występowania wyniku	Numer pomiaru	Procent wyników
	0+000						
	0+010	0,63		0,53	1	1	4,76%
	0+020	0,69		0,56	1	2	9,52%
	0+030	0,56		0,61	1	3	14,29%
	0+040	0,61		0,63	1	4	19,05%
	0+050	0,85		0,69	1	5	23,81%
	0+060	0,93		0,73	1	6	28,57%
	0+070	0,73		0,80	1	7	33,33%
	0+080	0,53		0,80	1	8	38,10%
	0+090	0,80		0,85	1	9	42,86%
	0+100	0,80		0,93	2	11	52,38%
	0+110	1,00		0,93	0	11	52,38%
	0+120	0,93		0,98	1	12	57,14%
	0+130	1,95		1,00	1	13	61,90%
	0+140	1,00		1,00	1	14	66,67%
	0+150	1,36		1,36	1	15	71,43%
	0+160	1,57		1,45	1	16	76,19%
	0+170	0,98		1,57	1	17	80,95%
	0+180	1,45		1,95	1	18	85,71%
	0+190	2,45		2,31	1	19	90,48%
	0+191	2,31		2,45	1	20	95,24%
Wartość średnia dla wszystkich przedziałów				E		1,11	mm/m
Odchylenie standardowe				D		0,57	mm/m
Wartość średnia+odchylenie standardowe				E+D		1,67	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 50% długości odcinka				IRI _{50%}		0,89	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 80% długości odcinka				IRI _{80%}		1,55	mm/m
Wartość wskaźnika IRI, który nie był przekroczony dla 100% długości odcinka				IRI _{100%}		2,45	mm/m



Rys. 18 – Graficzna interpretacja wyników badań wskaźnika IRI na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem Rediset WMX oraz SMA referencyjnym

Tablica 19. Wyniki badań równości poprzecznej na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem Ceca Base RT

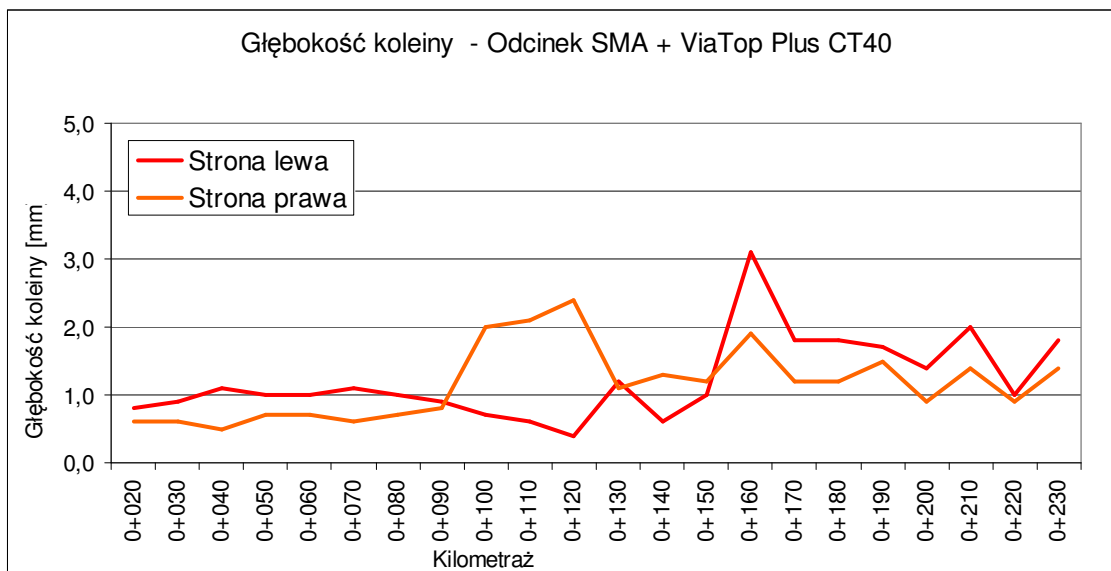
Kilometraż	Głębokość koleiny [mm]	
	Strona lewa	Strona prawa
0+020		
0+030	0,80	0,70
0+040	0,50	0,70
0+050	0,70	0,50
0+060	1,10	0,50
0+070	1,00	0,50
0+080	0,90	0,40
0+090	1,80	0,70
0+100	1,90	0,60
0+110	1,40	1,70
0+120	1,70	0,60
0+130	1,30	0,40
0+140	2,30	1,00
0+150	1,90	1,90
0+160	0,60	1,50
0+170	1,80	1,90
0+180	2,70	1,30
0+190	3,30	1,60
0+200	4,20	2,70
0+210	4,20	1,40
0+216	3,40	1,40



Rys. 19 – Graficzna interpretacja wyników badań równości poprzecznej na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem Ceca Base RT

Tablica 20. Wyniki badań równości poprzecznej na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem ViaTop Plus CT40

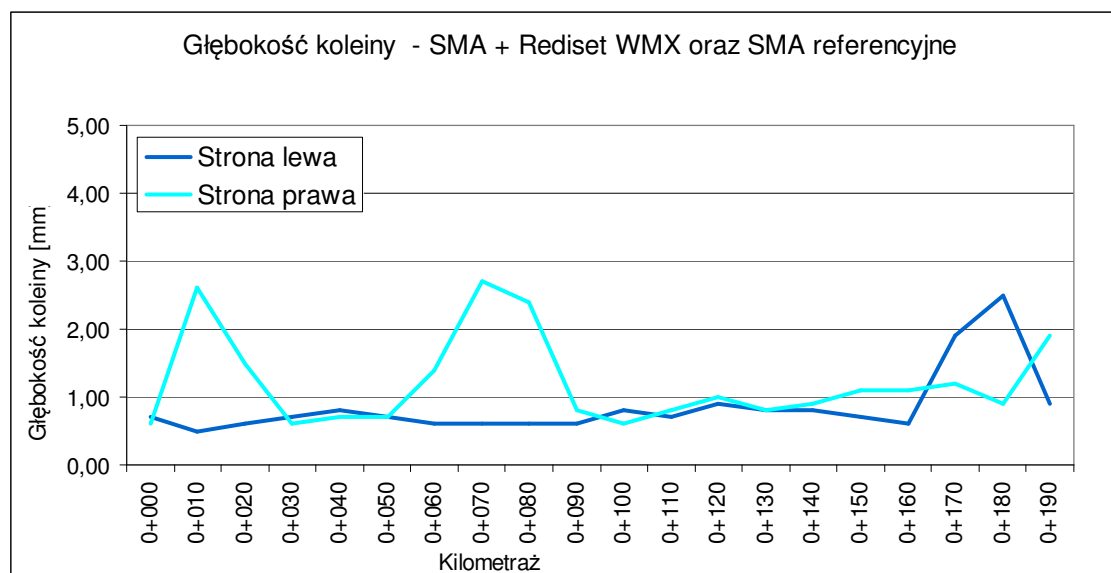
Kilometraż	Głębokość koleiny [mm]	
	Strona lewa	Strona prawa
0+020		
0+030	0,8	0,6
0+040	0,9	0,6
0+050	1,1	0,5
0+060	1,0	0,7
0+070	1,0	0,7
0+080	1,1	0,6
0+090	1,0	0,7
0+100	0,9	0,8
0+110	0,7	2,0
0+120	0,6	2,1
0+130	0,4	2,4
0+140	1,2	1,1
0+150	0,6	1,3
0+160	1,0	1,2
0+170	3,1	1,9
0+180	1,8	1,2
0+190	1,8	1,2
0+200	1,7	1,5
0+210	1,4	0,9
0+220	2,0	1,4
0+230	1,0	0,9
0+239	1,8	1,4



Rys. 20 – Graficzna interpretacja wyników badań równości poprzecznej na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem ViaTop Plus CT40

Tablica 21. Wyniki badań równości poprzecznej na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem Rediset WMX oraz SMA referencyjnym

Kilometraż	Głębokość koleiny [mm]	
	Strona lewa	Strona prawa
0+000		
0+010	0,70	0,60
0+020	0,50	2,60
0+030	0,60	1,50
0+040	0,70	0,60
0+050	0,80	0,70
0+060	0,70	0,70
0+070	0,60	1,40
0+080	0,60	2,70
0+090	0,60	2,40
0+100	0,60	0,80
0+110	0,80	0,60
0+120	0,70	0,80
0+130	0,90	1,00
0+140	0,80	0,80
0+150	0,80	0,90
0+160	0,70	1,10
0+170	0,60	1,10
0+180	1,90	1,20
0+190	2,50	0,90
0+191	0,90	1,90



Rys. 21 – Graficzna interpretacja wyników badań równości poprzecznej na odcinku wykonanym z mieszanki SMA z dodatkiem Rediset WMX oraz SMA referencyjnym

Zasadniczym celem określenia równości podłużnej i poprzecznej było wykonanie pomiaru zerowego (tuż po wykonaniu nawierzchni), w celu dalszego porównywania ewentualnych zmian równości.

W chwili obecnej można zaobserwować większe wartości wskaźnika IRI dla odcinków wykonanych z mieszanki SMA z dodatkiem Ceca Base RT i ViaTop Plus CT40 w stosunku do odcinka, na którym ułożono mieszankę SMA z dodatkiem Rediset WMX oraz mieszankę referencyjną z czystym asfaltem modyfikowanym 45/80-55. Prawdopodobnie wynika to z charakteru geometrycznego poszczególnych odcinków. Mierzone odcinki z mieszanką z dodatkiem Ceca Base RT oraz ViaTop Plus CT40 były układane na odcinkach łuków kołowych o niewielkich promieniach 43 i 46 m, dodatkowo z obustronnie występującymi barierami energochłonnymi. Utrudniało to manewrowanie zespołem układarka-samochód samowyładowczy wymuszając dodatkowe zatrzymania układarki w trakcie pracy. Natomiast badany fragment z dodatkiem Rediset WMX oraz referencyjny położony jest na odcinku prostym, gdzie problemy takie nie wystąpiły. Badania przeprowadzono w momencie, kiedy w sąsiedztwie wciąż trwały prace budowlane związane z przebudową Węzła Karczemki, co sprzyja nanoszeniu zanieczyszczeń na nawierzchnię. Ponadto w trakcie pomiarów trwał okres zimowy, co wiąże się też z zabrudzeniem nawierzchni przez środki do usuwania śliskości zimowej. Podsumowując, można stwierdzić, że nie stwierdzono negatywnego wpływu dodatków na równość nawierzchni. Biorąc pod uwagę jednakże niekorzystny okres dla przeprowadzania badania równości (prace budowlane i okres zimowy), pomiary te zostaną powtórzone na wiosnę oraz następnie pod koniec lata i jesieni, aby zweryfikować uzyskane dotychczas dane.

4.3. Ocena wizualna wykonanych nawierzchni

Ocena wizualna dokonana bezpośrednio po wykonaniu nawierzchni nie wykazała żadnych różnic pomiędzy nawierzchnią SMA wykonaną z mieszanki zawierających w swoim składzie dodatki WMA, a nawierzchnią wykonaną z mieszanki tradycyjnej. Wszystkie powierzchnie były jednorodne wizualnie, charakteryzowały się jednorodną teksturą i barwą. Nie zaobserwowano żadnych negatywnych zjawisk na wykonanych nawierzchniach, np. plam lepiszcza. Należy jednak pamiętać, że nawierzchnie były podane inspekcji w krótkim czasie po wykonaniu, który nie pozwolił na całkowite odsłonięcie rysunku ziaren kruszywa na górnej powierzchni warstwy ścieralnej z pokrywającej je błonki asfaltu. Nawierzchnia wykonanych odcinków doświadczalnych będzie poddana cyklicznym obserwacjom w celu wychwycenia jakichkolwiek zmian w jej wyglądzie (następna ocena na wiosnę oraz następnie pod koniec lata i jesieni).

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzane badania mieszank mineralno-asfaltowych SMA z dodatkami obniżającymi temperaturę produkcji i wbudowania oraz badania wykonanych z nich nawierzchni pokazały, że ich parametry nie ulegają pogorszeniu w stosunku do mieszank tradycyjnych. Produkcja i wbudowanie przebiega podobnie jak mieszank tradycyjnych (z wyjątkiem zagadnień związanych z dozowaniem dodatków), w związku z czym istniejący obecnie potencjał techniczny firm wykonawczych umożliwia stosowanie mieszank mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze. Wykonane odcinki doświadczalne będą podlegały cyklicznym obserwacjom w zakresie równości i wyglądu w celu rejestracji mogących wystąpić ewentualnych zmian.