

TN-249: Nawierzchnie asfaltowe długowieczne i tanie w utrzymaniu

Sprawozdanie z realizacji zadania 7

Opracował zespół:

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski
dr inż. Wojciech Bańkowski

Kierownik Zakładu
Technologii Nawierzchni

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, listopad 2012

Spis treści

1 Ocena odcinków doświadczalnych	5
1.1 Analiza dokumentacji.....	5
1.2 Analiza wyników inwentaryzacji uszkodzeń	5
1.3 Analiza trwałości zmęczeniowej	5
2 Odcinek 1 - droga krajowa nr 8 na odcinku od km 717+829 do 723+236	7
2.1 Informacje ogólne	7
2.2 Technologia warstw asfaltowych	7
2.3 Wyniki badań kontrolnych.....	8
2.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń	9
2.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji	10
2.6 Ocena ogólna.....	15
3 Odcinek 2 - droga krajowa nr 8 na odcinku od km 648+117 do 654+548	16
3.1 Informacje ogólne	16
3.2 Technologia warstw asfaltowych	16
3.3 Wyniki badań kontrolnych.....	16
3.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń	17
3.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji	20
3.6 Ocena ogólna.....	23
4 Odcinek 3 - droga krajowa nr 9 Radom – Barwinek odcinek Hadykówka od km 154+100 do km 158+000.	24
4.1 Informacje ogólne	24
4.2 Technologia warstw asfaltowych	24
4.3 Wyniki badań kontrolnych.....	24
4.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń	25
4.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji	27
4.6 Ocena ogólna.....	30
5 Odcinek 4 - droga krajowa nr 9 Radom – Barwinek odcinek Zwierzycy - Boguchwała od km 198+908 do km 204+306.	32
5.1 Informacje ogólne	32
5.2 Technologia warstw asfaltowych	32
5.3 Wyniki badań kontrolnych.....	32
5.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń	33

5.5	Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji.....	36
5.6	Ocena ogólna.....	39
6	Odcinek 5 - droga krajowa nr 2 odcinek Sochaczew – granica województwa od km 410+012 do km 420+332.	40
6.1	Informacje ogólne	40
6.2	Technologia warstw asfaltowych	40
6.3	Wyniki badań kontrolnych.....	41
6.4	Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń	41
6.5	Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji.....	43
6.6	Ocena ogólna.....	46
7	Odcinek 6 - droga krajowa nr 10 obwodnica Miroslawca	47
7.1	Informacje ogólne	47
7.2	Technologia warstw asfaltowych	47
7.3	Wyniki badań kontrolnych.....	47
7.4	Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń	48
7.5	Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji.....	49
7.6	Ocena ogólna.....	52
8	Odcinek 7 - droga krajowa nr 5 dojazd do A2 w miejscowości Komorniki od km 195+100 do km 197+800	53
8.1	Informacje ogólne	53
8.2	Technologia warstw asfaltowych	53
8.3	Wyniki badań kontrolnych.....	53
8.4	Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń	54
8.5	Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji.....	57
8.6	Ocena ogólna.....	60
9	Odcinek 8 - droga krajowa S-11 km 288+720 do km 297+825.....	61
9.1	Informacje ogólne	61
9.2	Technologia warstw asfaltowych	61
9.3	Wyniki badań kontrolnych.....	62
9.4	Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń	62
9.5	Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji.....	65
9.6	Ocena ogólna.....	67
10	Podsumowanie oceny odcinków	68
11	Zalecenia ogólne	71
11.1	Zalecenia wyboru typu i konstrukcji nawierzchni	71

11.2 Zalecenia doboru materiałów i technologii wykonania warstw	71
11.3 Zalecenia projektowania konstrukcji nawierzchni	74
11.4 Scenariusze utrzymania nawierzchni	74
12 Podsumowanie pracy	75
Bibliografia.....	77

1 Zakres sprawozdania

Zgodnie z umową z dnia 10.12.2009 oraz późniejszym aneksem nr 1 z roku 2011 na realizację pracy badawczej pt.: „Nawierzchnie asfaltowe długowieczne i tanie w utrzymaniu” zakres Zadania 7 pt. „Opracowanie zaleceń projektowania nawierzchni długotrwałych i scenariuszy utrzymania” jest następujący:

- Analiza wyników badań odcinków doświadczalnych
- Zalecenia wyboru typu i konstrukcji nawierzchni
- Zalecenia doboru materiałów i technologii wykonania warstw
- Zalecenia projektowania konstrukcji nawierzchni
- Scenariusze utrzymania nawierzchni

2 Ocena odcinków doświadczalnych

2.1 Analiza dokumentacji

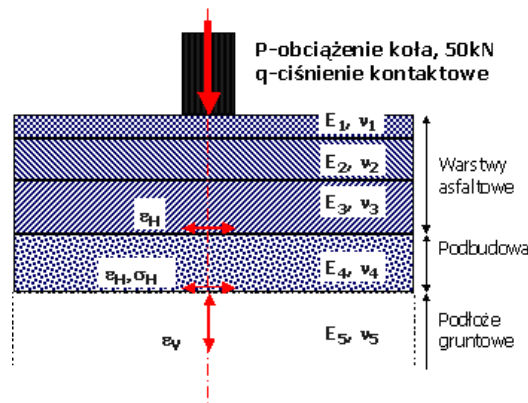
Analiza dostarczonej dokumentacji była etapem wyjściowym w ocenie odcinków doświadczalnych. Zapoznano się z takimi dokumentami jak projekty konstrukcji, recepty na mieszanki mineralno-asfaltowe, wyniki badań kontrolnych i opinie laboratoryjne.

2.2 Analiza wyników inwentaryzacji uszkodzeń

Przeanalizowana została szczegółowo dokumentacja fotograficzna. Wyodrębniono takie uszkodzenia jak: spękania podłużne, poprzeczne i siatkowe, ubytki oraz łaty. Dla każdego odcinka przygotowano zestawienie z lokalizacją uszkodzeń oraz zestawienie ogólne obrazujące ilość uszkodzeń na odcinku. W sprawozdaniu zamieszczono fotografie przykładowych uszkodzeń, typowych dla każdego z odcinków.

2.3 Analiza trwałości zmęczeniowej

Obliczenia przeprowadzono metodą mechanistyczną, która polega na określeniu trwałości zmęczeniowej konstrukcji na podstawie analizy stanu naprężeń i odkształceń. W tym celu nawierzchnię traktuje się jako układ warstw o określonych grubościach na podłożu gruntowym o nieskończonej grubości. Najczęściej przyjmuje się model warstw sprężystych położonych na półprzestrzeni sprężystej. Poszczególne warstwy charakteryzowane są grubością (h_i), modułem sprężystości (sztywności) (E_i) i współczynnikiem Poissona (ν_i). Schemat obliczeniowy przedstawiono na rysunku 1. Kryteriami oceny trwałości konstrukcji nawierzchni asfaltowej podatnej są odkształcenie pionowe strukturalne podłoża gruntowego oraz zmęczenie warstw asfaltowych.



Rysunek 1 Schemat obliczeniowy

Przyjęto następujące założenia obliczeniowe:

- nacisk osi 100 kN (koło pojedyncze 50 kN),
- ciśnienie kontaktowe $q = 660$ kPa,
- temperatura równoważna 10°C , [1],
- pełne połączenie między warstwami,
- prawdopodobieństwo sukcesu 95% - uwzględniono dopuszczalną zmienność grubości warstw asfaltowych oraz zmienność modułu sztywności warstw asfaltowych.

Trwałość zmęczeniowa warstw asfaltowych została obliczona z zastosowaniem kryterium Instytutu Asfaltowego [2]:

$$N_f = 18,4 \cdot 10^{4,84(Vb/(Vv+Vb)-0,69)} \cdot (6,167 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon^{-3,291} \cdot E^{-0,854}) \quad \text{Równanie 1}$$

w którym:

E – moduł sztywności, MPa,

Vb – zawartość objętościowa lepiszcza w mma, %,

Vv – zawartość objętościowa wolnej przestrzeni w mma, %.

Kryterium deformacji podłoża gruntowego jest zależnością pomiędzy dopuszczalną liczbą powtarzalnych obciążeń N do powstania krytycznej deformacji strukturalnej równej 12,5 mm a odkształceniem pionowym na powierzchni podłoża gruntowego ε_p jest następująca:

$$\varepsilon_p = k(1/N)^m \quad \text{Równanie 2}$$

w której:

N – liczba dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznej deformacji strukturalnej w konstrukcji nawierzchni

k, m – współczynniki doświadczalne, równe odpowiednio: $k = 1,05 \cdot 10^{-2}$; $m = 0,223$.

Kryterium IA zostało również zastosowane do konstrukcji z mieszankami MCE w podbudowie.

Trwałość konstrukcji odcinków doświadczalnych została wyznaczona w trzech etapach:

- projektowym - na podstawie założeń projektowych
- powykonawczym – na podstawie uzyskanych grubości nowych warstw asfaltowych i ich zmienności
- eksploatacyjnym – na podstawie wyników badań FWD przeprowadzonych w roku 2011.

3 Odcinek 1 - droga krajowa nr 8 na odcinku od km 717+829 do 723+236

3.1 Informacje ogólne

W latach 2004/2005 wykonano remont mieszany. Istniejące warstwy asfaltowe zostały sfrezowane do pozostałej grubości 6 cm. Ułożono warstwę wyrównawczą grubości 6 cm BA 0/20. Konstrukcja wzmocnienia składała się z następujących warstw asfaltowych: podbudowa grubości 7 cm z AC WMS 20 DE 30B, warstwa wiążąca grubości 6 cm z AC WMS 20 DE 30B, warstwa ścieralna grubości 4 cm SMA 0/9,6 DE 80B. Na odcinkach występowania podłoża z gruntów organicznych grubości warstw podbudowy i wiążącej są łącznie o 4 cm większe. Ułożono też siatkę z włókna szklanego na warstwie wyrównawczej. Konstrukcja została zaprojektowana na ruch KR5. Nawierzchnia jest w stanie dobrym.

3.2 Technologia warstw asfaltowych

Warstwy asfaltowe zostały wykonane z mieszanek z polimeroasfaltami z rodziny Orbiton, DE80B do warstwy ścieralnej i DE30B do podbudowy i wiążącej. Mieszanka SMA została zaprojektowana wg normy PN 96025:2000, a podbudowa i wiążąca z mieszanek BA WMS wg Zeszytu 63. Podstawowe informacje o mieszankach mineralno-asfaltowych przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1 Charakterystyka warstw asfaltowych

Warstwa	ścieralna	wiążąca	podbudowy
mieszanka	SMA 0/9,6	BA WMS 0/20	BA WMS 0/20
wymagania	PN-EN 96025	Zeszyt 63	Zeszyt 63
Asfalt	Orbiton 80B	Orbiton 30B	Orbiton 30B
Kruszywo	Granodioryt	Żwir kruszony	Żwir kruszony
Środek adhezyjny	Wetfix BE 0,3%	Wetfix BE 0,4%	Wetfix BE 0,4%
Zawartość asfaltu	6,7 % m/m	4,8% m/m	4,7% m/m
Wolna przestrzeń	3,6% v/v	3,2% v/v	3,2 % v/v
Sztywność	-	15602 MPa	16502 MPa
Szkoda zmęczeniowa	-	7,4 % (100 μ m/m)	15,6 % (130 μ m/m)

3.3 Wyniki badań kontrolnych

Wykonanie warstw asfaltowych objęte było kontrolą laboratoryjną wykonaną przez laboratorium GDDKiA Oddział Białystok. Przedstawiono „Opinię laboratoryjną” z czerwca 2005 [3]. Ogólnie stwierdzono jednorodność składu mma do wszystkich warstw i dużą zgodność z receptą.

Warstwa ścieralna w ocenie wizualnej była jednorodna o prawidłowym wyglądzie. W ośmiu miejscach (z 57) stwierdzono wskaźnik zagęszczenia poniżej 98%. Cztery z tych niewłaściwych wyników zlokalizowane były na stronie prawej od km 718+653 do 719+902, tj. na odcinku objętym niniejszą analizą. Skład mieszanki w zakresie uziarnienia i zawartości asfaltu był zgodny z wymaganiami normy PN-S 96025:2000. Zawartość asfaltu mieściła się w odchyłce $\pm 0,3\%$, przy czym największa odchyłka wyniosła $-0,3\%$ m/m asfaltu i była zlokalizowana na stronie lewej w rejonie gdzie stwierdzono ubytki warstwy ścieralnej.

Warstwa wiążąca z mieszanki BA WMS 0/20 wykonana została również prawidłowo. Skład i uziarnienie był zgodny z receptą, wyniki badania Marshalla na poziomie wartości projektowanych. W dwóch miejscach (z 57) po stronie prawej stwierdzono wskaźnik zagęszczenia poniżej 98%.

Warstwa podbudowy z BA WMS 0/20 została również oceniona jako wykonana prawidłowo. Skład oceniono jako jednorodny i zgodny z receptą. Jedynie w dwóch miejscach stwierdzono zbyt wysoką zawartość asfaltu, odchyłka $+0,5$ i $+0,6\%$.

Warstwa wyrównawcza została oceniona jako mniej jednorodna w porównaniu z

pozostałymi w zakresie składu i uziarnienia. Najgorsze miejsca są jednak zlokalizowane poza analizowanym odcinkiem.

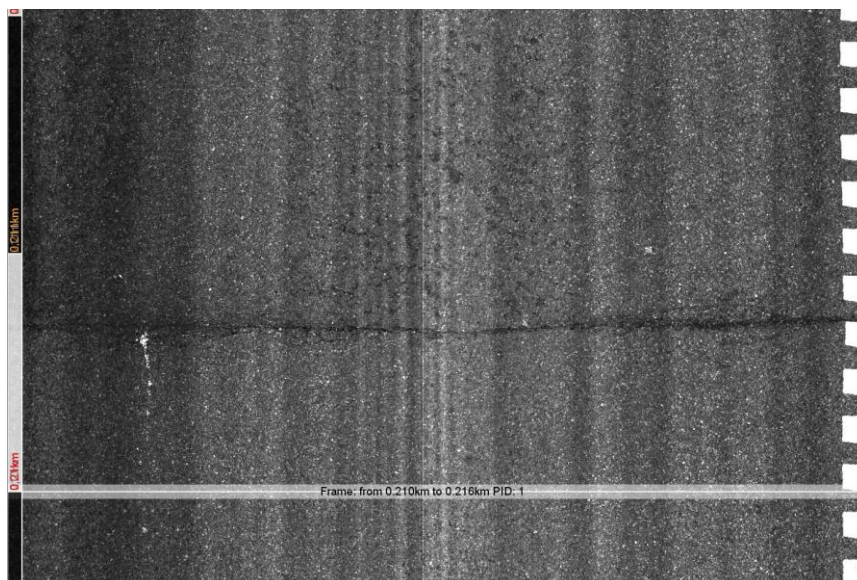
3.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń

Na zbadanym odcinku nawierzchni zarejestrowano trzy rodzaje uszkodzeń: ubytki warstwy ścieralnej, spękania poprzeczne i spękania podłużne. Przykładowe fotografie uszkodzeń zamieszczono na fotografiach 1-3.

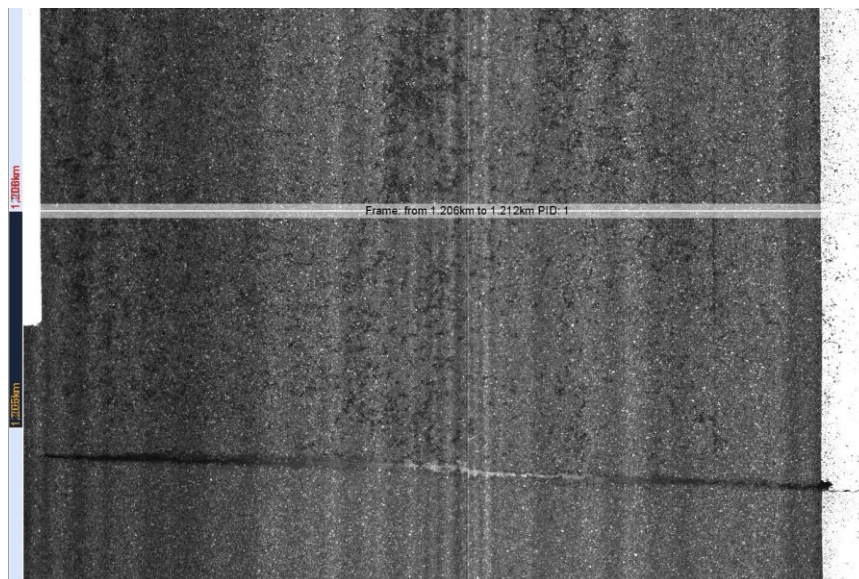
Stan strony prawej i lewej jest porównywalny. Na obydwu częściach stwierdzono po 3 pęknięcia poprzeczne. Należy zauważyć, że wystąpienie tych spękań zbiega się z lokalizacją niedogęszczania warstwy ścieralnej na stronie prawej. Na stronie lewej stwierdzono również 3 miejsca z ubytkami warstwy ścieralnej. Na długości około 67 metrów widoczne nieuszczelnione połączenie podłużne.

Tablica 2 Zestawienie liczby uszkodzeń na odcinku 1

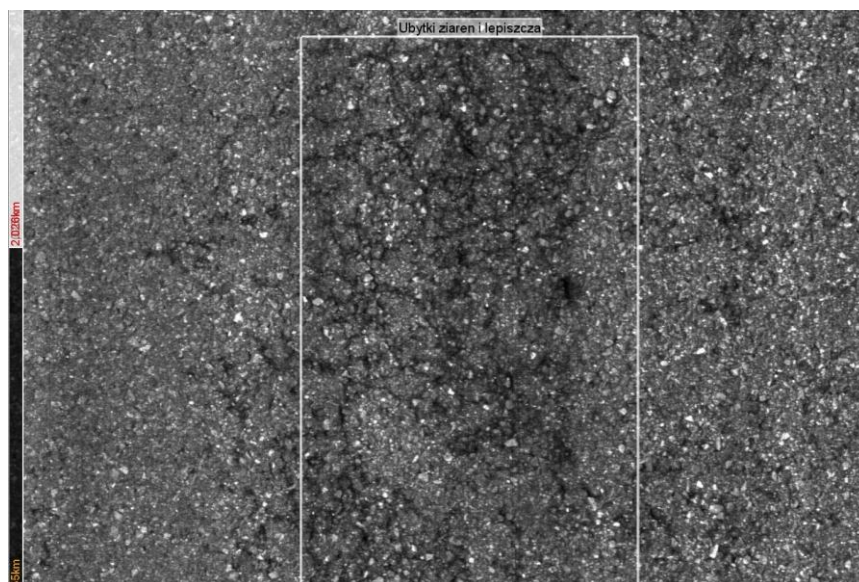
Uszkodzenie/lokalizacja	strona lewa	strona prawa
spękania poprzeczne	3	3
spękania podłużne	9	0
Ubytki	3	0



Fotografia 1 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione



Fotografia 2 Pęknięcie poprzeczne uszczelnione



Fotografia 3 Ubytki warstwy ściernej

3.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji

Obliczenia trwałości konstrukcji nawierzchni przeprowadzono dla następujących odcinków:

- km 718+600 - 719+800 (konstrukcja A)
- km 718+000 do 718+600 oraz 719+800-720+000 (konstrukcja B)

Podział na odcinki wynika z różnic w grubościach konstrukcji na wymienionych odcinkach. Na rysunkach 2-3 przedstawiono schematy konstrukcji nawierzchni z podziałem na konstrukcję A i B. Analiza trwałości konstrukcji zostanie przeprowadzona dla środkowej części drogi, bez poszerzeń. Grubość istniejących

warstw asfaltowych po frezowaniu wyniosła średnio 18 cm, a podbudowy niezwiązanej 24 cm.

Schematy konstrukcji nawierzchni bez gruntów organicznych

Pobocze		Istniejąca jezdnia		Oś
4 cm	warstwa ścieralna	SMA	0 / 9,6 mm	DE 80 B
6 cm	warstwa wiążąca	BA WMS	0 / 20 mm	DE 30 B
7 cm	warstwa podbudowy	BA WMS	0 / 20 mm	DE 30 B
włókna szklanego 120 kN/m powlekana polimeroasfaltem w miejscu styku pobocza z nawierzchnią szer. 1 m				
Podbudowa z MCE grubości 20 cm		Frezowanie na głębokość do 6 cm / uzupełniona warstwą profilującą wypełniającą z BA 0 / 20 mm gr= min 6 cm		
Podbudowa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie gr. = 20cm		Istniejąca konstrukcja po frezowaniu		
Warstwa odsączająca/mrozoochronna k> 8 m/dobę gr. = 27 cm				
Podłoże gruntowe				

Rysunek 2 Konstrukcja A (na gruntach nieorganicznych)

Schematy konstrukcji nawierzchni na gruntach organicznych

Pobocze		Istniejąca jezdnia		Oś
4 cm	warstwa ścieralna	SMA	0 / 9,6 mm	DE 80 B
8 cm	warstwa wiążąca	BA WMS	0 / 20 mm	DE 30 B
9 cm	warstwa podbudowy	BA WMS	0 / 20 mm	DE 30 B
włókna szklanego 120 kN/m powlekana polimeroasfaltem w miejscu występowania gruntów organicznych				
Podbudowa z MCE grubości 20 cm		Frezowanie na głębokość do 6 cm / uzupełniona warstwą profilującą wypełniającą z BA 0 / 20 mm gr= min 6 cm		
Podbudowa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie gr. = 20cm		Istniejąca konstrukcja po frezowaniu		
Warstwa odsączająca/mrozoochronna k> 8 m/dobę gr. = 27 cm				
Podłoże gruntowe				

Rysunek 3 Konstrukcja B (na gruntach organicznych)

Do oceny trwałości na etapie powykonawczym i eksploatacyjnym wykorzystano wyniki pomiarów GPR (tablica 3) oraz wartości modułów wyznaczone na podstawie pomiarów ugięć (tablica 4).

Tablica 3 Wyniki pomiarów grubości georadarem [mm]

Odcinek A strona lewa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	46	63	94
odchylenie st.	7	10	23
maksimum	65	103	161
minimum	25	37	30
Odcinek B strona lewa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	45	80	102
odchylenie st.	6	10	14
maksimum	67	113	165
minimum	24	46	64
Odcinek A strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	32	72	106
odchylenie st.	5	11	34
maksimum	48	117	281
minimum	22	46	59
Odcinek B strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	29	92	117
odchylenie st.	3	10	20
maksimum	46	120	170
minimum	22	67	79

Tablica 4 Moduły sprężystości warstw na podstawie FWD [MPa]

Odcinek A strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 40 cm	Podłoże
średnia	17995	1132	188
odchylenie st.	5002	492	65
maksimum	25507	2354	347
minimum	10550	338	88
Odcinek B strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 40 cm	Podłoże
średnia	18138	1093	172
odchylenie st.	5078	646	28
maksimum	26188	2128	248
minimum	12111	259	135
Odcinek A strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 40 cm	Podłoże
średnia	16282	1137	196
odchylenie st.	4468	723	70
maksimum	23731	3798	357
minimum	10671	343	89
Odcinek B strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 40 cm	Podłoże
średnia	18017	822	197
odchylenie st.	4038	383	44
maksimum	22791	1547	265
minimum	10120	281	121

W tablicy 5 przedstawiono parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji przyjęte w obliczeniach wg Projektu [4]. Wykorzystane zostały one do obliczeń na etapie projektowym. Na etapie powykonawczym przyjęto moduły warstwy wiążącej i podbudowy z ACWMS odpowiednio 15600 MPa i 16500 MPa na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Pozostałe wartości do obliczeń w tym etapie przyjęto jak dla etapu projektu.

Tablica 5. Parametry wytrzymałościowe przyjęte w obliczeniach

Cecha	Warstwa	Wartość
Moduł sztywności	Warstwa ścieralna	9000 MPa
	Warstwa wiążąca	14000 MPa
	Podbudowa asfaltowa	14000 MPa
	Warstwa wyrównawcza	10000 MPa
	Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie	400 MPa
	Warstwa mrozochronna/odsączająca	120 MPa
	Podłoże gruntowe – piasek pylasty	60 MPa
	Podłoże gruntowe – grunty organiczne	10 MPa
	Istniejące warstwy asfaltowe	750 MPa
	Istniejąca podbudowa	300 MPa
Współczynnik Poissona	Wszystkie warstwy	0,3
	Grunty organiczne	0,4

W tablicach 6-8 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na kolejnych etapach.

Tablica 6 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie projektowym

Cecha \ Odcinek	A	B
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	53,6	27,9
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-109	-113
N_{IA} , mln osi 100 kN	26,9	28,9
N_g , mln osi 100 kN	786	669
N_{min} , mln osi 100 kN	26,9	34,8

Tablica 7 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie powykonawczym

Odcinek Cecha	A strona lewa	B strona lewa	A strona prawa	B strona prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	55,2	51,2	54,9	49,3
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	112,2	117,1	111,1	111,9
N_{IA} , mln osi 100 kN	20,3	26,0	20,7	29,5
N_g , mln osi 100 kN	690	570	721	699
N_{min} , mln osi 100 kN	24,5	31,3	24,9	35,5

Tablica 8 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na podstawie badań FWD

Odcinek Cecha	A strona lewa	B strona lewa	A strona prawa	B strona prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	55,7	50,2	62,5	48,2
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-94,9	-84,3	-103,8	-78,6
N_{IA} , mln osi 100 kN	90,0	125,9	67,1	143,9
N_g , mln osi 100 kN	1462	2478	978	3404
N_{min} , mln osi 100 kN	90,0	125,9	67,1	143,9

3.6 Ocena ogólna

Analiza dostępnej dokumentacji pozwala stwierdzić, że warstw asfaltowe zostały wykonane prawidłowo, zgodnie z receptą i założeniami projektowymi. Obecny stan nawierzchni po 7 latach eksploatacji oceniany jest jako dobry. Potwierdziła to inwentaryzacja uszkodzeń na analizowanym odcinku. Wystąpienie spękań poprzecznych może być związane z lokalnym niedogęszczeniem warstwy ścieralnej, a ubytki warstwy mogą wynikać z lokalnie mniejszej zawartości asfaltu. Analiza trwałości konstrukcji metodą mechanistyczną wskazuje na wysoką nośność nawierzchni, znacznie wykraczającą poza wymagania dla kategorii KR5 założonej w projekcie.

4 Odcinek 2 - droga krajowa nr 8 na odcinku od km 648+117 do 654+548

4.1 Informacje ogólne

W latach 2008/2009 wykonano nową konstrukcję nawierzchni, która składała się z następujących warstw: podbudowa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie grubości 20 cm, podbudowa grubości 15-17 cm z AC WMS 16 20/30, warstwa wiążąca grubości 8 cm z AC WMS 16 20/30, warstwa ścieralna grubości 4 cm z SMA 11 PMB 45/80-55. Konstrukcja została zaprojektowana na ruch KR5. Nawierzchnia jest w stanie bardzo dobrym.

4.2 Technologia warstw asfaltowych

Warstwa podbudowy i wiążąca zostały wykonane z mieszanki AC WMS 16 wg specyfikacji technicznej. Do obydwu warstw zastosowano tą samą receptę. Warstwa ścieralna wykonana została z mieszanki SMA 0/11,2 z polimeroasfaltem PMB 45/80-55 (Modbit). Podstawowe informacje o mieszankach mineralno-asfaltowych przedstawiono w tablicy 9.

Tablica 9 Charakterystyka warstw asfaltowych

Warstwa	ścieralna	wiążąca	podbudowa
mieszanka	SMA 0/11,2	BA WMS 0/16	BA WMS 0/16
wymagania	SST	SST	SST
Asfalt	Modbit 45/80-55	20/30	20/30
Kruszywo	Melafir+gabro	Melafir	Melafir
Środek adhezyjny	Wetfix BE 0,3%	Wetfix BE 0,3%	Wetfix BE 0,3%
Zawartość asfaltu	6,3 % m/m	4,8% m/m	4,8% m/m
Wolna przestrzeń	3,7% v/v	3,0% v/v	3,0% v/v
Sztywność	-	15159 MPa	15159 MPa
Zmęczenie	-	$\epsilon_6 > 130 \mu\text{m/m}$	$\epsilon_6 > 130 \mu\text{m/m}$

4.3 Wyniki badań kontrolnych

Wykonanie warstw asfaltowych objęte było kontrolą laboratoryjną wykonaną przez laboratorium GDDKiA Oddział Białystok. Przedstawiono „Opinię laboratoryjną” z czerwca 2010 [5].

Warstwa ścieralna była wykonywana dwukrotnie. Za pierwszym razem nie uzyskano wymaganej zawartości wolnej przestrzeni w warstwie i przeprowadzono frezowanie.

Następnie została powtórnie wykonana warstwa ścieralna wg nowej recepty. Przeprowadzone badania kontrolne ponownie wykazały przekroczenie niektórych wymagań. W części pobranych próbek stwierdzono przekroczenie odchyłek w uziarnieniu (około 10% wyników). Uzyskano prawidłowy wskaźnik zagęszczenia oraz nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych odchyłek w zawartości asfaltu. Stwierdzono jednak ponownie 2 miejsca (z 5 badanych) o zawartości wolnych przestrzeni w warstwie wykraczającej poza wymagany zakres 3-6% v/v. W związku z powyższym przeprowadzono dodatkowe badania koleinowania, które pozwoliły pozytywnie ocenić odporność wykonanej warstwy na deformacje trwałe. Na odcinku będącym przedmiotem niniejszej analizy, tj. od km 649+700 do 651+700 nie stwierdzono większych odchyłek od wymagań. Wyjątek stanowiły pojedyncze wyniki uziarnienia. Zawartość asfaltu mieściła się w dopuszczalnych odchyłkach, jednak w 3 z 5 badanych próbkach była równa maksymalnej dopuszczalnej wartości, tj. -0,3% m/m.

Warstwa wiążąca z mieszanki BA WMS 0/16 wykonana została prawidłowo. Przekroczone odchylenia w składzie stwierdzono w około 3% badań. Zawartość asfaltu mieściła się w wymaganym przedziale. Uzyskano we wszystkich punktach wymagany wskaźnik zagęszczenia i zawartość wolnych przestrzeni w warstwie. Dodatkowo przeprowadzono badania kontrolne połączenia z górną warstwą podbudowy, które wykazały prawidłowe wykonanie we wszystkich sprawdzanych miejscach (wytrzymałość > 1,3 MPa).

Warstwa podbudowy z BA WMS 0/20 wykonana została prawidłowo. Przekroczone odchylenia w składzie stwierdzono w około 3% badań. Zawartość asfaltu mieściła się w wymaganym przedziale. Uzyskano prawie we wszystkich miejscach wymagany wskaźnik zagęszczenia i zawartość wolnych przestrzeni w warstwie. Wyjątek stanowiły wyniki zawartości wolnych przestrzeni wykraczające poza górną granicę 5% w warstwie, w km 650+775 j.p.p.l i 651+050 j.p.p.p. Dodatkowo przeprowadzono badania kontrolne połączenia pomiędzy górną a dolną, które wykazały prawidłowe wykonanie w sprawdzanych miejscach (wytrzymałość > 1,3 MPa). Wyjątek stanowiła lokalizacja 650+225 j.p.p.p., w której wartość ta wyniosła 0,83 MPa.

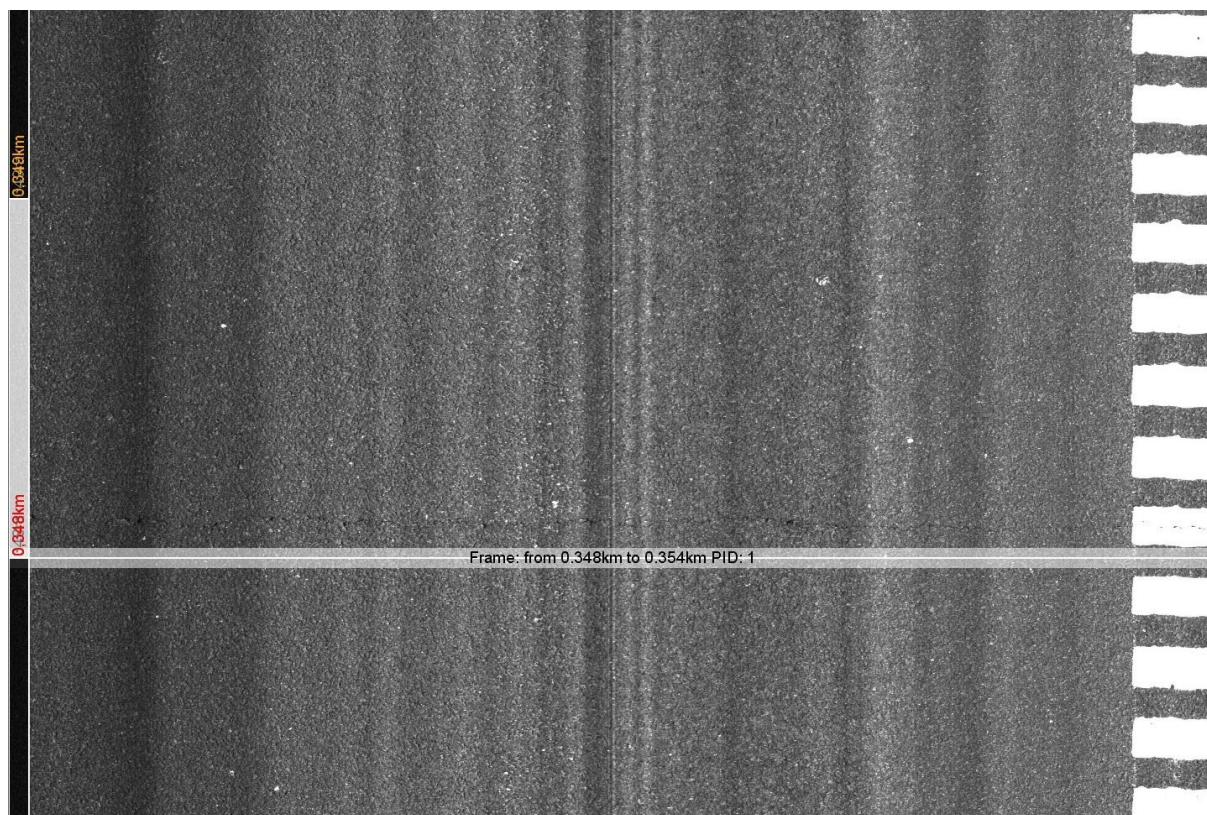
4.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń

Jedynym rodzajem uszkodzeń zarejestrowanym w trakcie inwentaryzacji były spękania poprzeczne w większości przypadków na całej szerokości jezdni. Na

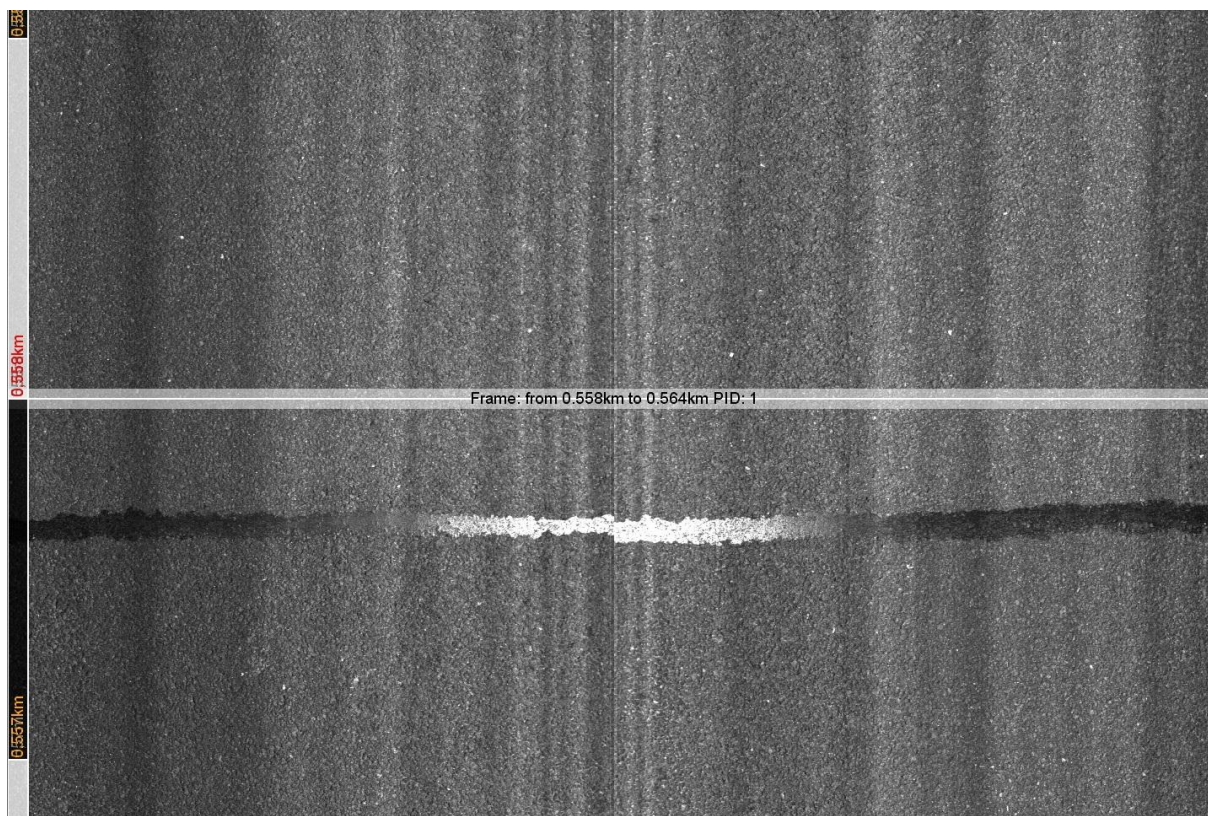
stronie lewej zarejestrowano 11, a na prawej 14 takich uszkodzeń. Spękania są o różnym wyglądzie. Część spękań jest prawdopodobnie dość świeża, ponieważ są nieuszczelnione i o bardzo małej rozwarłości (fot.4). Inne, starsze, są bardziej widoczne, o większej rozwarłości i w mniejszym lub większym stopniu skutecznie uszczelnione (fot.5 i 6).

Tablica 10 Zestawienie liczby uszkodzeń na odcinku 2

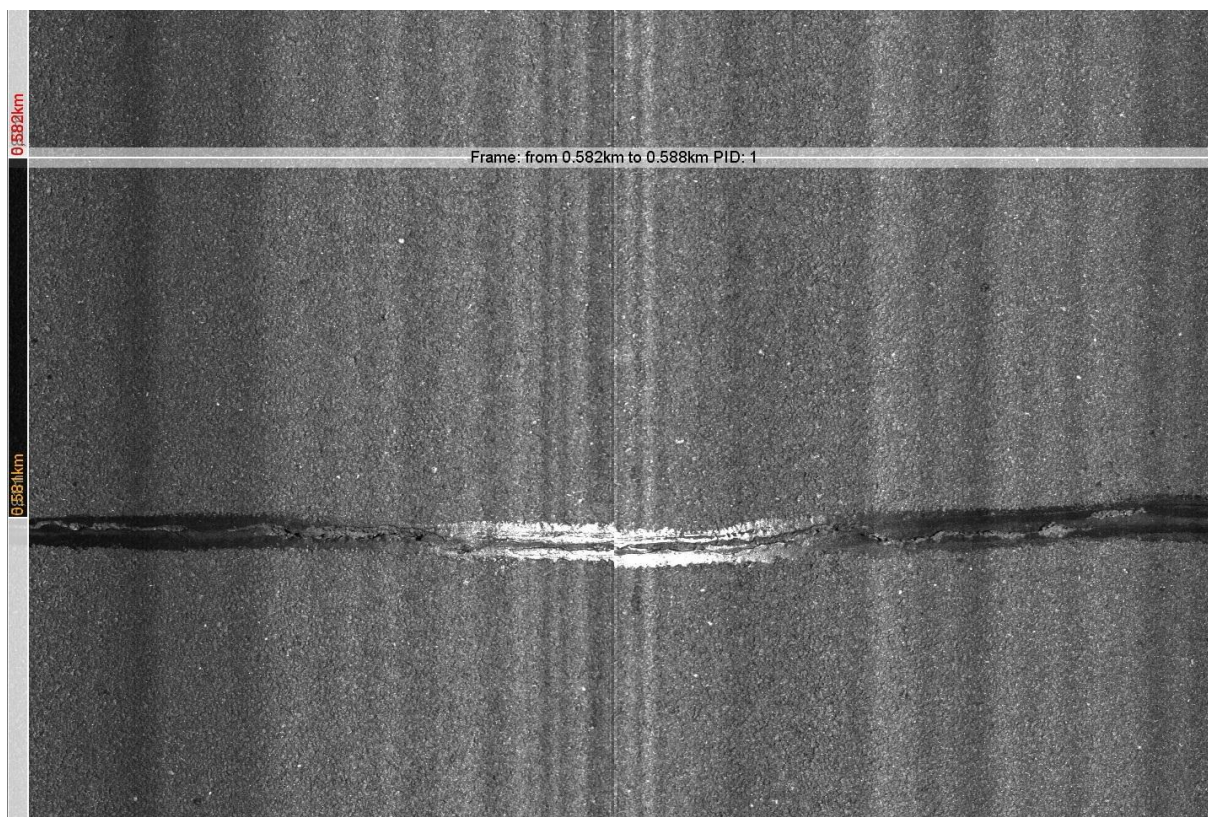
Uszkodzenie/lokalizacja	strona lewa	strona prawa
spękania poprzeczne	14	11



Fotografia 4 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione (włoskowate)



Fotografia 5 Pęknięcie poprzeczne uszczelnione



Fotografia 6 Pęknięcie poprzeczne częściowo uszczelnione

4.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji

Obliczenia trwałości konstrukcji nawierzchni przeprowadzono dla odcinka 649+700 do 651+700, na którym przeprowadzona została inwentaryzacja uszkodzeń, badania GPR i FWD.

Na rysunku 4 przedstawiono schemat konstrukcji nawierzchni według założeń projektowych.

warstwa ścieralna	SMA 0/11,2	4 cm
warstwa wiążąca	BA WMS 16	8 cm
podbudowa zasadnicza	BA WMS 16	17 cm
podbudowa pomocnicza	KŁSM	20 cm
ulepszone podłoże	Rm=5 Mpa	20 cm
podłoże gruntowe		

Rysunek 4 Schemat konstrukcji nawierzchni odcinka DK8 Białystok-Katrynka

Do oceny trwałości na etapie powykonawczym i eksploatacyjnym wykorzystano wyniki pomiarów GPR (tablica 11) i moduły sprężystości wyznaczone na podstawie metody ugięć (tablica 12).

Tablica 11 Wyniki pomiarów grubości georadarem [mm]

strona lewa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	32	72	106
odchylenie st.	5	11	34
maksimum	48	117	281
minimum	22	46	59
strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	29	92	117
odchylenie st.	3	10	20
maksimum	46	120	170
minimum	22	67	79

Tablica 12 Moduły sprężystości h na podstawie FWD [MPa]

strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 20 cm	Podłoże
średnia	16114	469	323
odchylenie st.	2373	346	100
maksimum	19745	1553	605
minimum	10532	5	134
strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 20 cm	Podłoże
średnia	15799	609	323
odchylenie st.	2167	391	91
maksimum	19945	1668	536
minimum	10563	6	181

W tablicy 13 przedstawiono parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji przyjęte w obliczeniach na etapie projektowym. Na etapie powykonawczym przyjęto moduły warstwy wiążącej i podbudowy z ACWMS odpowiednio 15803 MPa i 16901 MPa na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Pozostałe wartości do obliczeń w tym etapie przyjęto jak dla etapu projektu.

Tablica 13. Parametry wytrzymałościowe przyjęte w obliczeniach trwałości konstrukcji

Cecha	Warstwa	Wartość
Moduł sztywności	Warstwa ścierna	9 000 MPa
	Warstwa wiążąca	12 000 MPa
	Podbudowa asfaltowa	14 000 MPa
	Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie	400 MPa
	Ulepszone podłoże	400 MPa
	Podłoże gruntowe	100 MPa
Współczynnik Poissona	Wszystkie warstwy	0,3

W tablicach 14-16 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na kolejnych etapach.

Tablica 14 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie projektowym

ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	37,5
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-108,7
N_{IA} , mln osi 100 kN	251,5
N_g , mln osi 100 kN	795
N_{min}, mln osi 100 kN	291,5

Tablica 15 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie powykonawczym

Strona Cecha	Lewa	Prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	48,9	47,5
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-133,0	-129,7
N_{IA} , mln osi 100 kN	99,7	109,7
N_g , mln osi 100 kN	322	360
N_{min}, mln osi 100 kN	99,7	109,7

Tablica 16 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na podstawie badań bieżących FWD

Strona Cecha	Lewa	Prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	39,7	39,1
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-79,4	-78,0
N_{IA} , mln osi 100 kN	194,0	208,2
N_g , mln osi 100 kN	3253	353,2
N_{min}, mln osi 100 kN	194,0	208,2

4.6 Ocena ogólna

Analiza dostępnej dokumentacji pozwala stwierdzić, że warstw asfaltowe zostały wykonane prawidłowo i przyjęte przez nadzór. Najlepiej wykonana została warstwa wiążąca, na której nie stwierdzono żadnych uchybień. W warstwie podbudowy zlokalizowano nieliczne miejsca o przekroczonych odchyłkach w uziarnieniu i zawartości wolnych przestrzeni w warstwie. Napotkano sporo problemów z wykonaniem warstwy ścieralnej, która wykonywana była dwukrotnie. Również za drugim razem nie udało się spełnić wszystkich wymagań w zakresie wolnej przestrzeni i uziarnienia. Obecny stan nawierzchni po 3 latach eksploatacji oceniany jest jako bardzo dobry. Inwentaryzacja stanu nawierzchni wykazała występowanie tylko spękań poprzecznych (termicznych). Ich pojawienie się może być skutkiem problemów z prawidłowym wykonaniem warstwy ścieralnej.

Nawierzchnia charakteryzuje się bardzo wysoką trwałością zmęczeniową. Nie jest to zaskoczeniem, ponieważ grubość warstw konstrukcyjnych została przyjęta jak dla typowej konstrukcji podatnej w Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Konstrukcje typowe uwzględniające stosowanie mieszanek typu AC WMS zostały przedstawione w Zeszyte 70 [6]. Można zauważyć, że konstrukcje ACWMS mają nawet 6 cm cieńszy pakiet warstw asfaltowych niż typowe konstrukcje z tradycyjnym betonem asfaltowym.

5 Odcinek 3 - droga krajowa nr 9 Radom – Barwinek odcinek Hadykówka od km 154+100 do km 158+000.

5.1 Informacje ogólne

W roku 2003 wykonano remont mieszany, w który polegał na częściowym frezowaniu istniejącej konstrukcji oraz wykonaniu warstwy MCE. Pakiet nowych warstw asfaltowych składał się z warstwy wiążącej BA WMS 20 z asfaltem Tarphalt DE 30B oraz warstwy ścieralnej z SMA 0/9,6 z asfaltem Tarphalt DE 80B. Konstrukcja zaprojektowana na ruch KR5. Nawierzchnia jest w stanie bardzo dobrym.

5.2 Technologia warstw asfaltowych

Warstwa wiążąca została wykonana z mieszanki BA WMS 16 z asfaltem Tarphalt DE 30B zaprojektowanej wg Zeszytu 63 [7]. Warstwa ścieralna wykonana została z mieszanki SMA 0/9,6 z polimeroasfaltem Tarphalt DE 80B. Podstawowe informacje o mieszankach mineralno-asfaltowych przedstawiono w tablicy 17. Recepta BA WMS 20 została skorygowana w trakcie budowy. Zwiększono zawartość asfaltu z 4,2 do 4,7 % m/m.

Tablica 17 Charakterystyka warstw asfaltowych

Warstwa	ścieralna	wiążąca
Mieszanka	SMA 0/9,6	BA WMS 0/20
Asfalt	Tarphalt DE80B	Tarphalt DE30B
Kruszywo	Bazalt	Bazalt+granit
Środek adhezyjny	Teramin 14 0,2%	Teramin 14 0,2%
Zawartość asfaltu	5,8 % m/m	4,2 i 4,7 % m/m
Wolna przestrzeń	3,5 % v/v	4,8 i 5,0% v/v
Sztywność	-	14 057 MPa
Zmęczenie	-	$\epsilon_6 > 130 \mu\text{m/m}$

5.3 Wyniki badań kontrolnych

Wykonanie warstw asfaltowych objęte było kontrolą laboratoryjną wykonaną przez laboratorium GDDKiA Oddział Rzeszów. Przedstawiono „Zestawienie wyników badań” ze stycznia 2004 [8].

Warstwa ścieralna z mieszanki SMA została wykonana prawidłowo co potwierdziły wyniki badań kontrolnych. Ocenie zostały również poddane materiały składowe i

poprawność zaprojektowania recepty. Stwierdzono tylko w jednym przypadku przekroczenie odchyłki zawartości asfaltu. Pozostałe właściwości, tj. skład, uziarnienie i zagęszczenie były zgodne wymaganiami.

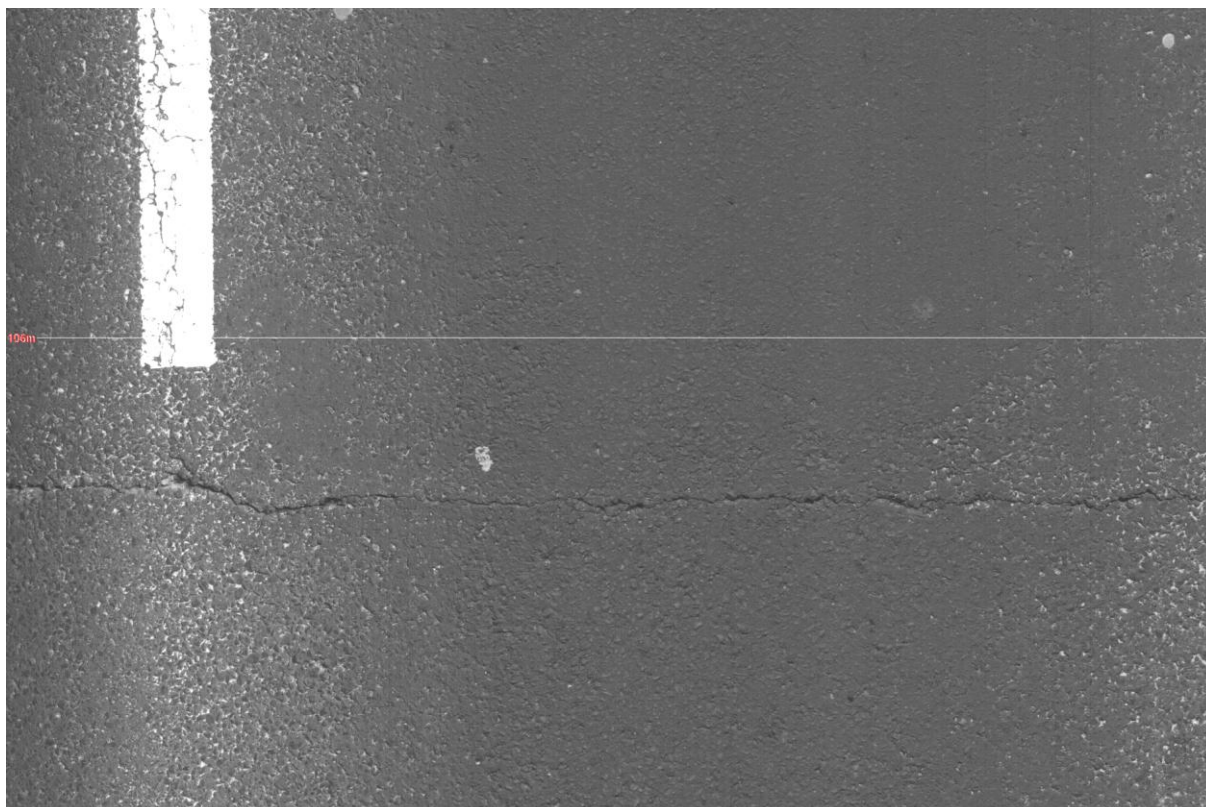
W zakresie warstwy wiążącej z mieszanki BA WMS 0/20 przeprowadzono badania z łącznie 15 lokalizacji. W pięciu miejscach stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych odchyłek w zakresie uziarnienia. Pozostałe parametry, tj. zawartość asfaltu, parametry Marshalla, moduł sztywności pełzania, wskaźnik zagęszczenia i zawartość wolnych przestrzeni spełniły postawione wymagania. Pozytywnie oceniono również receptę i materiały składowe, zwracając uwagę na niższą niż wymagana klasę ścieralności kruszywa 8/11 i 11/16.

5.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń

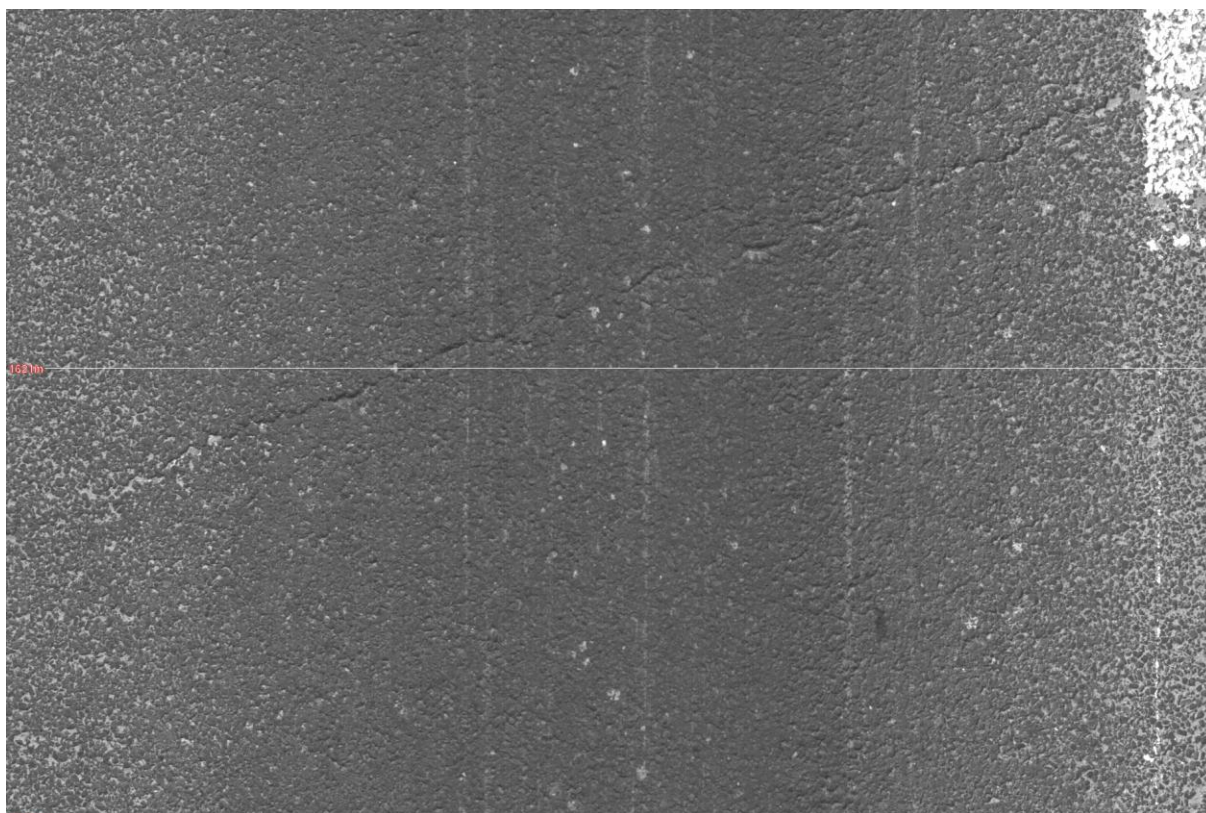
Inwentaryzacja uszkodzeń na odcinku od km 156+000 do km 158+000 wykazała występowanie jedynie 3 spękań poprzecznych (fot.7 i 8) i jednej łaty. Dwa spękania poprzeczne przechodzą przez całą szerokość drogi. Spękania są nieuszczelnione.

Tablica 18 Zestawienie liczby uszkodzeń na odcinku 3

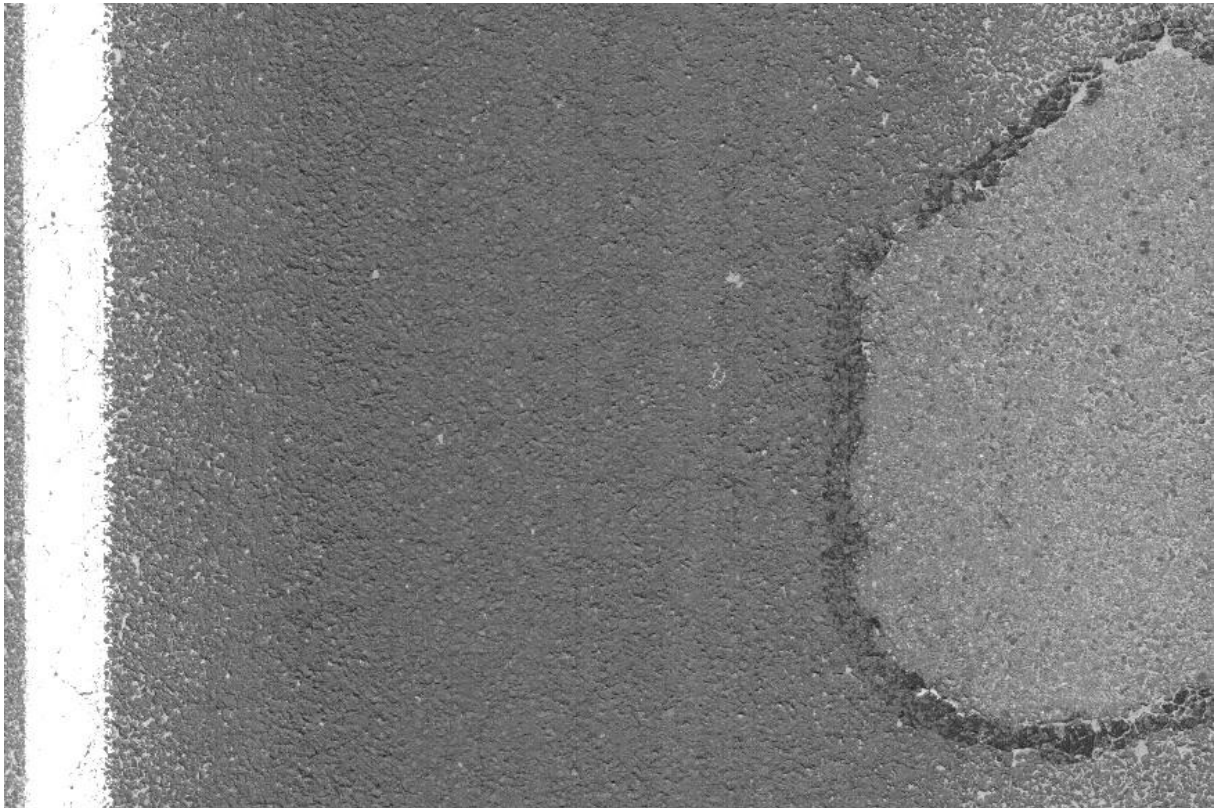
Uszkodzenie/lokalizacja	strona lewa		strona prawa	
	lewa połowa	prawa połowa	lewa połowa	prawa połowa
spękania poprzeczne	1	1	1	2
łata	0	0	1	1



Fotografia 7 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione



Fotografia 8 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione



Fotografia 9 Łata

5.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji

Obliczenia trwałości konstrukcji nawierzchni przeprowadzono dla odcinka 156+000 do 158+000, na którym przeprowadzona została inwentaryzacja uszkodzeń, badania GPR i FWD.

Na rysunku 5 przedstawiono schemat konstrukcji nawierzchni według założeń projektowych.

warstwa ścieralna	SMA 0/12,8	3,5 cm
warstwa wiążąca	AC WMS 20	9 cm
podbudowa	MCE	16 cm
Istniejące warstwy bitumiczne		16 cm
podbudowa	KŁSM	37 cm
podłoże gruntowe		

Rysunek 5 Schemat konstrukcji nawierzchni odcinka DK9 Hadykówka

Do oceny trwałości na etapie powykonawczym i eksploatacyjnym wykorzystano wyniki pomiarów GPR (tablica 19) oraz moduły sprężystości wyznaczone na podstawie pomiarów ugięć (tablica 20)

Tablica 19 Wyniki pomiarów grubości georadarem [mm]

strona lewa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	41	75	130
odchylenie st.	5	5	19
maksimum	65	92	193
minimum	28	56	86
strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	38	74	125
odchylenie st.	4	6	22
maksimum	57	106	184
minimum	25	37	70
minimum	38	74	125

Tablica 20 Moduły sprężystości warstw na podstawie FWD [MPa]

strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 53 cm	Podłoże
średnia	12787	1086	151
odchylenie st.	3647	678	65
maksimum	19612	2878	276
minimum	5406	212	62
strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 53 cm	Podłoże
średnia	11625	905	142
odchylenie st.	4606	554	64
maksimum	19483	2987	331
minimum	5174	275	67

W tablicy 21 przedstawiono parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji przyjęte w obliczeniach na etapie projektowym zgodne z założeniami projektowymi [9]. Na etapie powykonawczym przyjęto moduł warstwy wiążącej ACWMS wynoszący 14057 MPa na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Pozostałe wartości do obliczeń w tym etapie przyjęto jak dla etapu projektu.

Tablica 21. Parametry wytrzymałościowe przyjęte w obliczeniach trwałości konstrukcji

Cecha	Warstwa	Wartość
Moduł sztywności	Warstwa ścierna	9 000 MPa
	Warstwa wiążąca	12 000 MPa
	Podbudowa MCE	4 800 MPa
	Istniejące warstw asfaltowe	1000 MPa
	Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie	400 MPa
	Podłoże gruntowe G4	50 MPa
Współczynnik Poissona	Wszystkie warstwy	0,3

W tablicach 22-24 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na kolejnych etapach.

Tablica 22 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie projektowym

ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	49,1
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-125,9
N_{IA} , mln osi 100 kN	49,1
N_g , mln osi 100 kN	411,7
N_{min}, mln osi 100 kN	49,1

Tablica 23 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie powykonawczym

Cecha \ Strona	Lewa	Prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	67,0	71,6
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-164,3	-174,4
N_{IA} , mln osi 100 kN	28,2	22,7
N_g , mln osi 100 kN	124,8	95,5
N_{min}, mln osi 100 kN	28,2	22,7

Tablica 24 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na podstawie badań bieżących FWD

Cecha \ Strona	Lewa	Prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	59,5	74,9
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-95,3	-111,1
N_{IA} , mln osi 100 kN	41,7	19,6
N_g , mln osi 100 kN	1435	721
N_{min}, mln osi 100 kN	41,7	19,6

5.6 Ocena ogólna

Analiza dostępnej dokumentacji pozwala stwierdzić, że warstw asfaltowe zostały wykonane prawidłowo. Obecny stan nawierzchni po 9 latach eksploatacji oceniany

jest jako bardzo dobry. Inwentaryzacja stanu nawierzchni wykazała występowanie tylko trzech spękań poprzecznych (prawdopodobnie termicznych). Trwałość nawierzchni wyznaczona metodą mechanistyczną jest wysoka na każdym analizowanym etapie. Obecnie można ją szacować na poziomie 35-40 lat po przebudowie przy obciążeniu ruchem KR5. Biorąc pod uwagę wyniki analiz mechanistycznych, należy jednak pamiętać, że równanie Instytutu Asfaltowego może sprawdzać się gorzej w przypadku konstrukcji z mieszankami MCE. O dobrej nośności nawierzchni świadczą również wyniki pomiarów ugięć. Stan nawierzchni pod względem widocznych uszkodzeń jest bardzo dobry, stwierdzono jedynie 4 spękania poprzeczne.

6 Odcinek 4 - droga krajowa nr 9 Radom – Barwinek odcinek Zwierzycy - Boguchwała od km 198+908 do km 204+306.

6.1 Informacje ogólne

W roku 2005 wykonano remont mieszany, w który polegał na częściowym frezowaniu istniejącej konstrukcji oraz wykonaniu warstwy MCE. Pakiet nowych warstw asfaltowych składał się z warstwy wiążącej AC WMS 20 z asfaltem Modbit 30B oraz warstwy ścieralnej grubości z SMA 0/12,8 z asfaltem Modbit DE 80B. Od momentu odbioru nie prowadzono badań na tym odcinku. Konstrukcja zaprojektowana na ruch KR4. Projektant przewidział dwie różne konstrukcje w zależności od lokalizacji:

- od km 200+150 do km 202 +625 (konstrukcja A wg rysunku 6),
- od km 198+908 do km 200+150 i od km 202+625 do km 204+306 (konstrukcja B wg rysunku 6).

6.2 Technologia warstw asfaltowych

Warstwa wiążąca została wykonana z mieszanki BA WMS 20 z asfaltem Modbit DE 30B zaprojektowanej wg Zeszytu 63 [7]. Warstwa ścieralna wykonana została z mieszanki SMA 0/12,8 z polimeroasfaltem Modbit DE 80B. Podstawowe informacje o mieszankach mineralno-asfaltowych przedstawiono w tablicy 25.

Tablica 25 Charakterystyka warstw asfaltowych

Warstwa	ścieralna	wiążąca
mieszanka	SMA 0/12,8	BA WMS 0/20
Asfalt	Modbit DE80B	Modbit DE30B
Kruszywo	Bazalt	Gabro+bazalt
Środek adhezyjny	Teramin 14 0,2 %	Teramin 14
Zawartość asfaltu	6,2 % m/m	4,4 % m/m
Wolna przestrzeń	3,5 % v/v	4,5 % v/v
Sztywność	-	18 143 MPa
Zmęczenie	-	$\epsilon_6 > 100 \mu\text{m/m}$

6.3 Wyniki badań kontrolnych

Wykonanie warstw asfaltowych objęte było kontrolą laboratoryjną wykonaną przez laboratorium GDDKiA Oddział Rzeszów. Przedstawiono „Zestawienie wyników badań” z maja 2006 [10].

Warstwa ścieralna z mieszanki SMA była kontrolowana przez nadzór inwestorski przez wykonanie badań w łącznie 4 lokalizacjach. W dwóch z nich (km 200+750 strona prawa i km 200+650 pas środkowy) stwierdzono zbyt małą zawartość asfaltu (odchyłka -0,4%). W tych samych miejscach stwierdzono również o 0,5 % przekroczoną górną granicę zawartości wolnych przestrzeni w próbce Marshalla (4,5%). Ocenie zostały również poddane materiały składowe i poprawność zaprojektowania recepty. Skontrolowano właściwości asfaltu pod względem spełnienia aprobaty technicznej na polimeroasfalt Modbit DE80B. Wyniki były pozytywne.

W zakresie warstwy wiążącej z mieszanki BA WMS 0/20 przeprowadzono badania z łącznie 11 lokalizacji. Stwierdzono następujące wady:

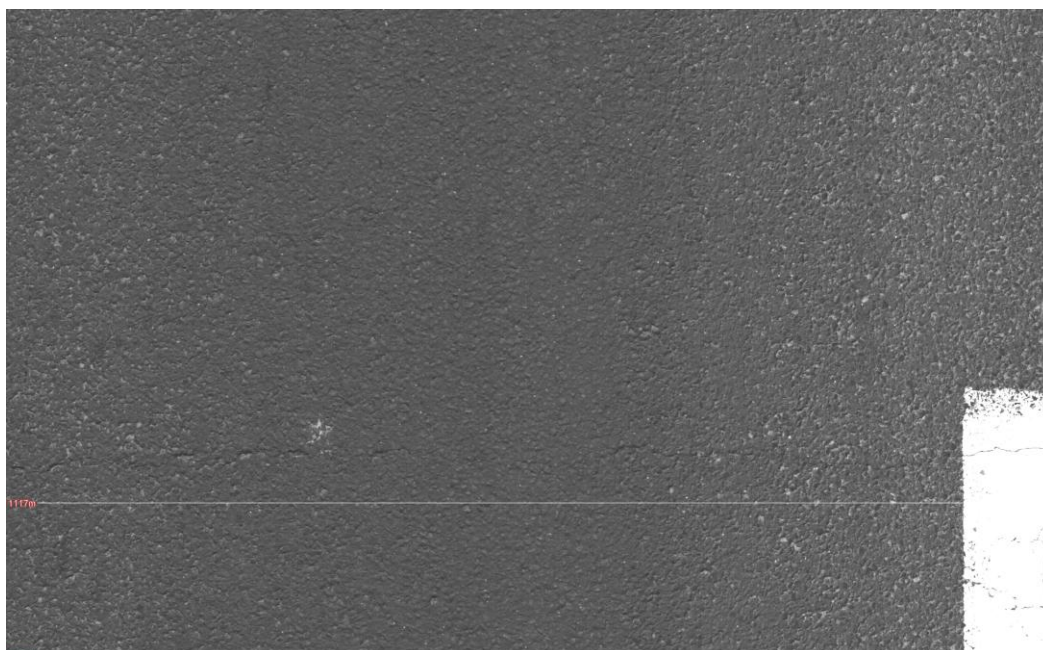
- w jednym przypadku zbyt mała zawartość asfaltu (-0,4%), jednocześnie w tym samym miejscu stwierdzono zbyt dużą zawartość wolnych przestrzeni w warstwie i próbce Marshalla oraz zbyt dużą zawartość frakcji > 2 mm (km 202+950 strona lewa),
- w pięciu przypadkach otrzymano zbyt dużą wartość odkształcenia Marshalla,
- w jednym miejscu nie uzyskano wymaganego wskaźnika zagęszczenia (wynik 97,6%), przekroczona została zawartość wolnych przestrzeni w próbce i zawartość frakcji grysowych (km 203 +550 pas środkowy).

6.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń

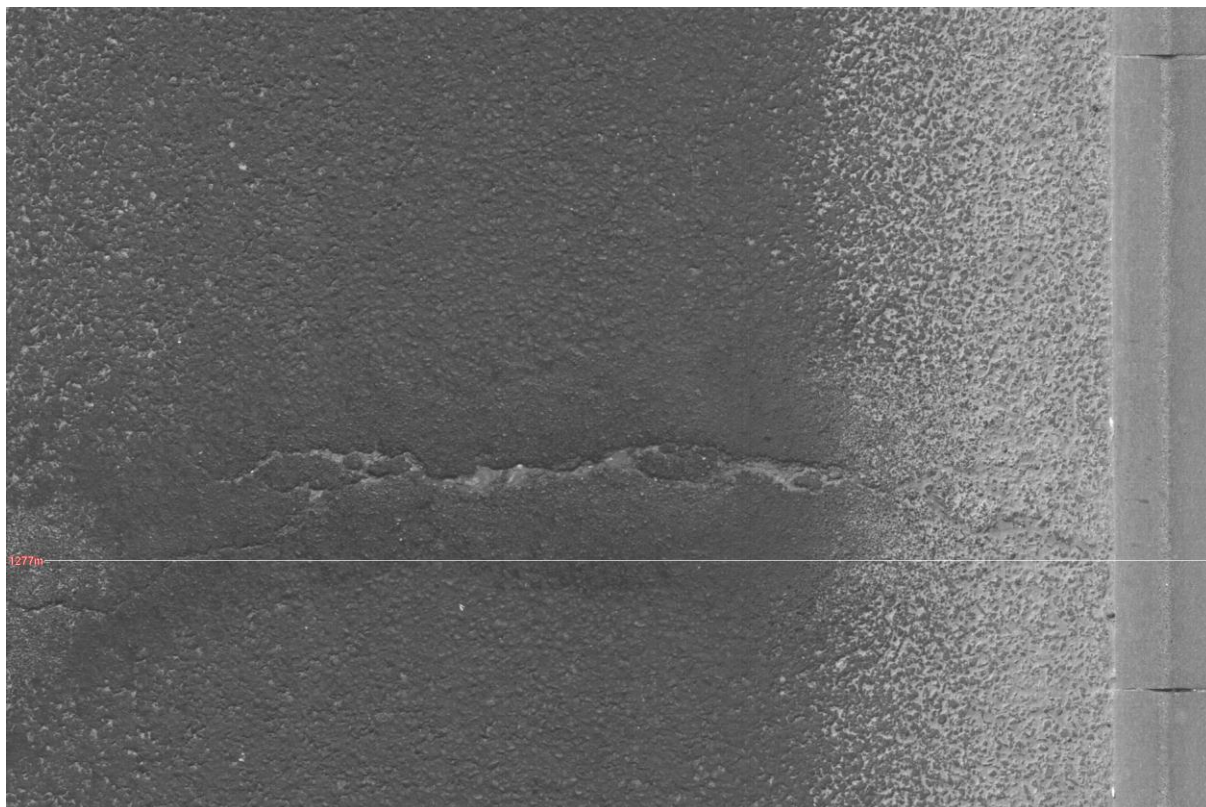
Inwentaryzacja uszkodzeń na odcinku od km 201+600 do km 203+600 wykazała występowanie trzech rodzajów uszkodzeń: spękań poprzecznych (for. 10 i fot.11), spękań podłużnych (fot.12) i siatkowych (fot.13). Ilość tych uszkodzeń jest duża, co przedstawiono w tablicy 26. Uszkodzenia są o różnym stopniu zaawansowania. Niektóre spękania są bardzo niewielkie, nieraz słabo widoczne. Inne, starsze mają dużą rozwartość i wykruszenia w szczelinie. Część z nich nosi stare ślady uszczelniania. Występowanie spękań siatkowych może świadczyć o lokalnym wyczerpaniu nośności nawierzchni.

Tablica 26 Ilość uszkodzeń na odcinku 4

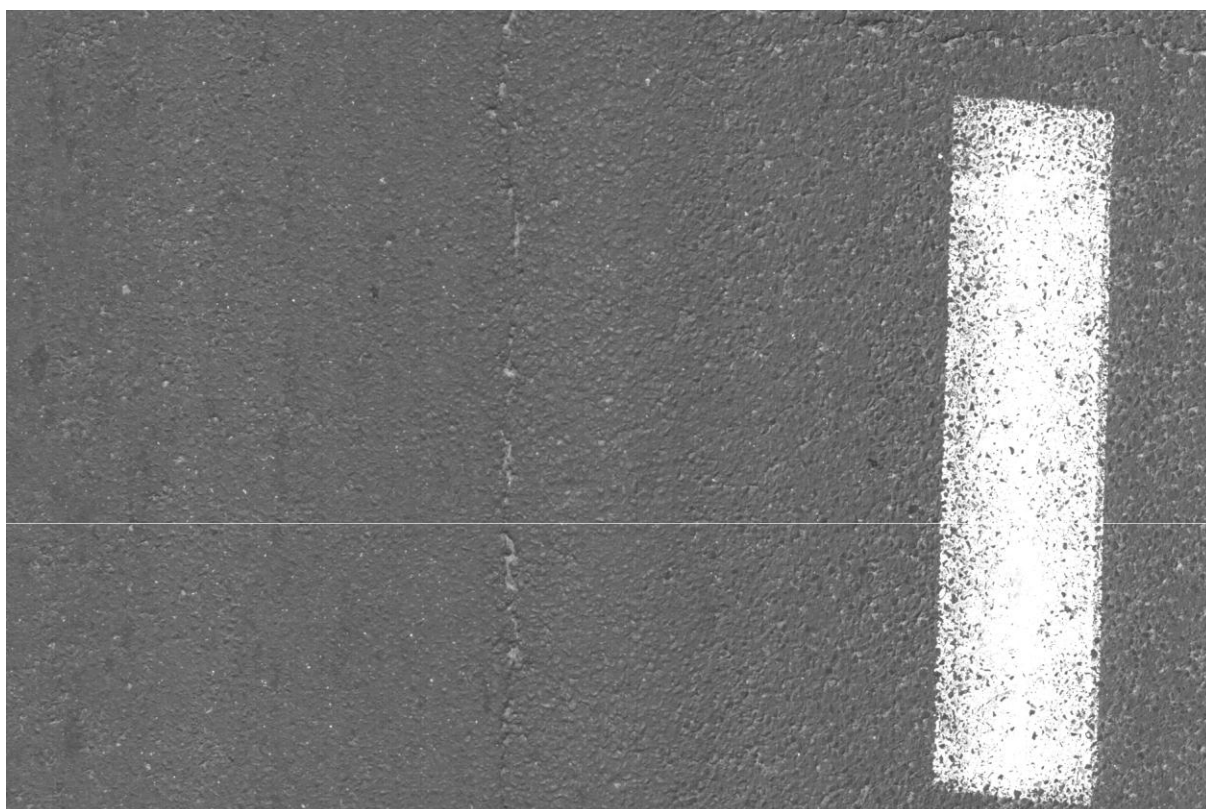
Uszkodzenie/lokalizacja	strona lewa		strona prawa	
	lewa połowa	prawa połowa	lewa połowa	prawa połowa
spękania poprzeczne	13	32	26	23
spękania podłużne	6	6	18	
spękania siatkowe		10	1	



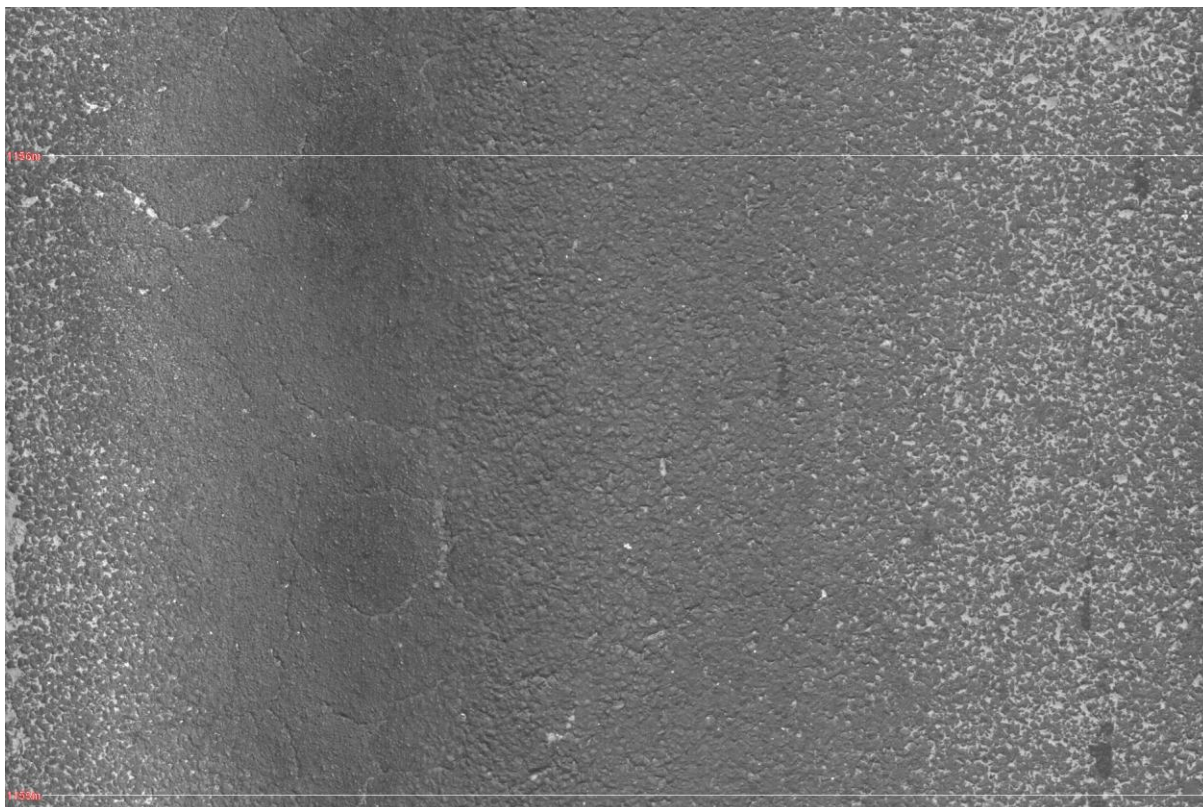
Fotografia 10 Pęknięcie poprzeczne (włoskowate)



Fotografia 11 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione



Fotografia 12 Pęknięcie podłużne



Fotografia 13 Pęknięcie siatkowe

6.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji

Obliczenia trwałości konstrukcji nawierzchni przeprowadzono dla odcinka 201+600 do 203+600, na którym przeprowadzona została inwentaryzacja uszkodzeń, badania GPR i FWD. Na rysunku 6 przedstawiono schemat konstrukcji nawierzchni według założeń projektowych.

Konstrukcja A			Konstrukcja B		
warstwa ścieralna	SMA 0/12,8	3,5 cm	warstwa ścieralna	SMA 0/12,8	3,5 cm
warstwa wiążąca	AC WMS 20	10 cm	warstwa wiążąca	AC WMS 20	8 cm
podbudowa	MCE	20 cm	podbudowa	MCE	16 cm
Istniejąca podbudowa z chudego betonu		27-40 cm	Istniejąca podbudowa z chudego betonu		27-40 cm
podłoże gruntowe			podłoże gruntowe		

**Rysunek 6 Schemat konstrukcji nawierzchni odcinka DK9 Zwiężyca -
Boguchwała**

Do oceny trwałości na etapie powykonawczym i eksploatacyjnym wykorzystano wyniki pomiarów GPR (tablica 27 oraz modułów sprężystości warstw wyznaczonych na podstawie pomiarów ugięć (tablica 28).

Tablica 27 Wyniki pomiarów grubości georadarem [mm]

strona lewa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	41	75	130
odchylenie st.	5	5	19
maksimum	65	92	193
minimum	28	56	86
strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	38	74	125
odchylenie st.	4	6	22
maksimum	57	106	184
minimum	25	37	70
minimum	38	74	125

Tablica 28 Moduły sprężystości warstw na podstawie FWD [MPa]

Odcinek A strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 30 cm	Podłoże
średnia	7461	514	150
odchylenie st.	4268	173	36
maksimum	15752	783	204
minimum	3110	254	87
Odcinek B strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 30 cm	Podłoże
średnia	7968	910	238
odchylenie st.	4236	604	105
maksimum	16428	1633	465
minimum	3336	223	100
Odcinek A strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 30 cm	Podłoże
średnia	11097	586	208
odchylenie st.	4156	494	46
maksimum	17509	1487	295
minimum	3960	213	124
Odcinek B strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 30 cm	Podłoże
średnia	7864	959	185
odchylenie st.	3697	649	71
maksimum	15725	2622	344
minimum	3274	330	100

W tablicy 29 przedstawiono parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji przyjęte w obliczeniach na etapie projektowym zgodnie z założeniami projektowymi [11]. Na etapie powykonawczym przyjęto moduł sztywności warstwy wiążącej ACWMS wynoszący 18 143 MPa na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Pozostałe wartości do obliczeń w tym etapie przyjęto jak dla etapu projektu.

Tablica 29. Parametry przyjęte w obliczeniach trwałości konstrukcji

Cecha	Warstwa	Wartość
Moduł sztywności	Warstwa ścieralna	9 000 MPa
	Warstwa wiążąca	14 000 MPa
	Podbudowa MCE	4 800 MPa
	Chudy beton	2 000 MPa
	Podłoże gruntowe G3	50 MPa
Współczynnik Poissona	Wszystkie warstwy	0,3

W tablicach 30-32 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na kolejnych etapach.

Tablica 30 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie projektowym

Cecha \ Odcinek	A	B
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	26,6	33,6
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-110,8	-138,0
N_{IA} , mln osi 100 kN	115,7	53,6
N_g , mln osi 100 kN	730,1	905,7
N_{min} , mln osi 100 kN	115,7	68,5

Tablica 31 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie powykonawczym

Odcinek Cecha	A strona lewa	B strona lewa	A strona prawa	B strona prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	33,1	38,0	44,7	36,0
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-109,1	-124,7	-113,8	-109,2
N_{IA} , mln osi 100 kN	53,1	33,7	19,7	40,3
N_g , mln osi 100 kN	782,5	429,8	647,7	779,3
N_{min} , mln osi 100 kN	53,1	33,7	19,7	40,3

Tablica 32 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na podstawie badań FWD

Odcinek Cecha	A strona lewa	B strona lewa	A strona prawa	B strona prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	61,5	86,5	92,7	102,1
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-100,5	-159,1	-167,8	-142,0
N_{IA} , mln osi 100 kN	9,8	4,3	3,6	2,5
N_g , mln osi 100 kN	1130,8	144,2	113,5	240,0
N_{min} , mln osi 100 kN	9,8	4,3	3,6	2,5

6.6 Ocena ogólna

Inwentaryzacja uszkodzeń wykazała bardzo dużą liczbę uszkodzeń, głównie spękań poprzecznych i podłużnych, rzadziej spękań siatkowych. Badania kontrolne nie wykazały rażących niedociągnięć w przebudowie nawierzchni, które mogłyby uzasadnić jej słaby stan po 7-letnim okresie eksploatacji. Analiza mechanistyczna wykazała niewielką, najwyżej kilkuletnią rezerwę trwałości nawierzchni. Warstwa MCE okazała się zbyt słaba jako podłoże pod warstwę wiążącą z ACWMS.

7 Odcinek 5 - droga krajowa nr 2 odcinek Sochaczew – granica województwa od km 410+012 do km 420+332.

7.1 Informacje ogólne

Remont nawierzchni został przeprowadzony w roku 2007. Obejmował on sfrezowanie istniejących warstw asfaltowych, poszerzenie i wzmocnienie. Nowe warstwy asfaltowe składały się z: warstwy podbudowy z mieszanki EME o grubości 10 cm, warstwy wiążącej BA 20 i warstwy ścieralnej z mieszanki SMA 12,8. Konstrukcja została zaprojektowana pod ruch KR6. W roku 2010 stwierdzono szereg uszkodzeń warstwy ścieralnej (głównie spękania podłużne i poprzeczne).

7.2 Technologia warstw asfaltowych

Warstwa podbudowy została wykonana na wzór technologii francuskiej z mieszanki EME 0/20. Na uwagę zwraca wysoki moduł sztywności mieszanki, który wyznaczony został w temperaturze 15°C. W przeliczeniu na typową temperaturę badania stosowaną w Polsce, tj. 10°C wynosi on około 17 500 MPa. Trwałość zmęczeniowa sprawdzana była również w 15°C, przy wymaganiu $\epsilon_6 > 95 \mu\text{m/m}$. Biorąc pod uwagę wpływ temperatury na wyniki badań zmęczeniowych należy stwierdzić, że jest to wymaganie bardzo łagodne. W przeliczeniu do temperatury 10°C wymaganie to należało by przyjąć na poziomie 75 $\mu\text{m/m}$, czyli 40% łagodniejszym niż wymagane w polskich specyfikacjach na AC WMS. Warstwa wiążąca została wykonana z mieszanki BA 0/20 z asfaltem Orbiton DE 30B zaprojektowanej wg PN-S 96025. Warstwa ścieralna wykonana została z mieszanki SMA 0/8 z polimeroasfaltem Orbiton DE 80B wg PN-S 96025. Podstawowe informacje o mieszankach mineralno-asfaltowych przedstawiono w tablicy 33.

Tablica 33 Charakterystyka warstw asfaltowych

Warstwa	ścieralna	wiążąca	podbudowa
mieszanka	SMA 0/8	AC 0/20	EME 0/16
Asfalt	Orbiton DE80B	Orbiton DE30B	20/30
Kruszywo	Bazalt	Sjenit	bazalt
Środek adhezyjny	Wetfix 0,2 %	Wetfix 0,2 %	Wetfix 0,2%
Zawartość asfaltu	6,3 % m/m	4,6 % m/m	5,2 % m/m
Wolna przestrzeń	3,2 % v/v	6,9 % v/v	3,4 % v/v
Sztywność	-	-	13 164 MPa (15°C)
Zmęczenie	-	-	$\epsilon_6 > 95 \mu\text{m/m}$ (15°C)

7.3 Wyniki badań kontrolnych

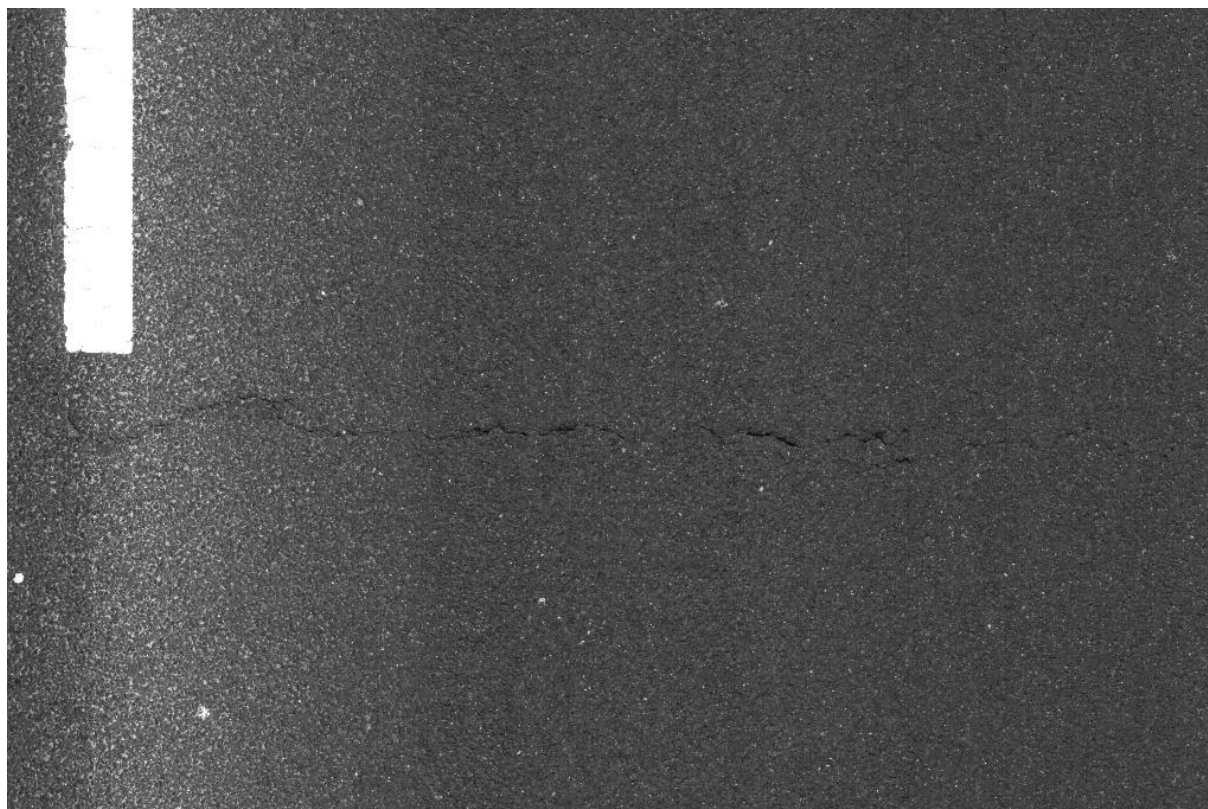
Wykonanie warstw asfaltowych objęte było kontrolą laboratoryjną wykonaną przez laboratorium GDDKiA Oddział w Warszawie. Przedstawiono „Opinię laboratoryjną (...)” z listopada 2007 [12]. Przeprowadzone badania potwierdziły prawidłowe właściwości mieszanek SMA 0/08, BA 0/20 i EME 0/16 oraz wykonanych z nich warstw nawierzchni. Nie stwierdzono przekroczenia żadnych wymagań podanych w specyfikacjach.

7.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń

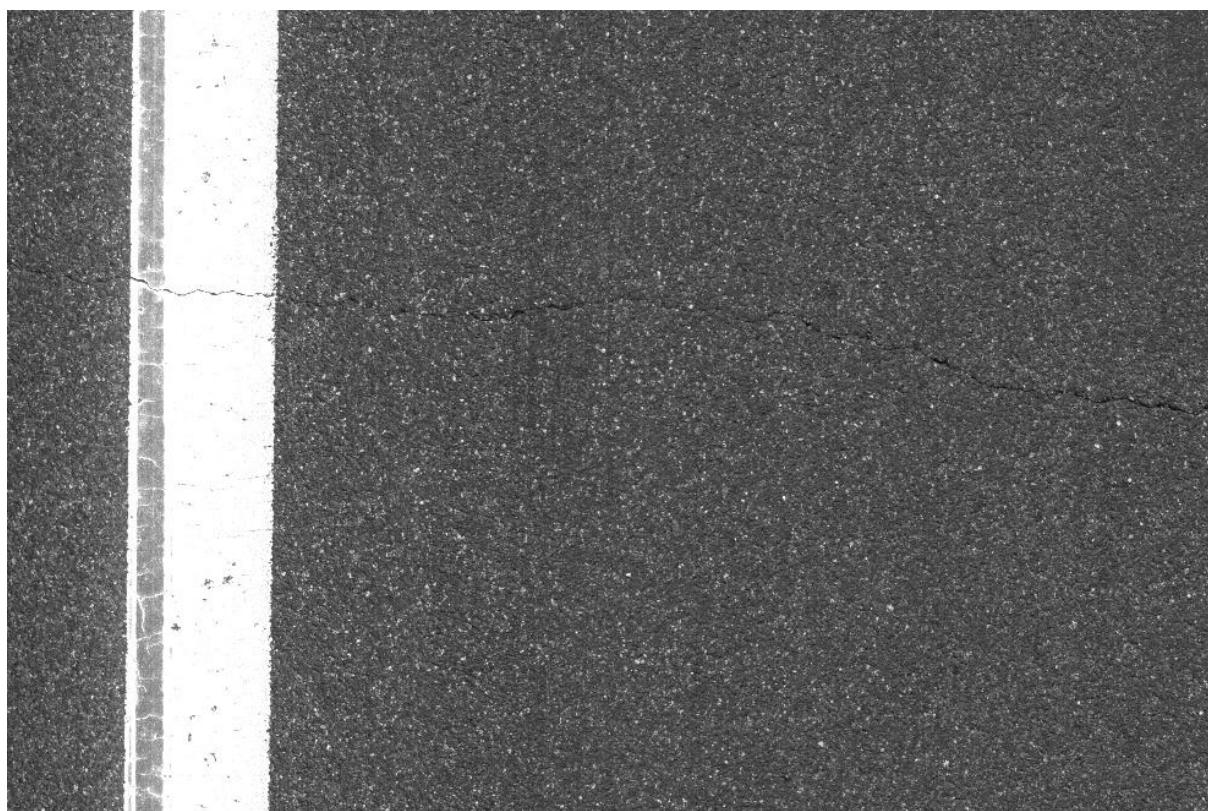
Inwentaryzacja uszkodzeń na odcinku od km 413+800 do km 415+800 wykazała występowanie spękań poprzecznych i łat. Spękania poprzeczne są o stosunkowo niewielkiej rozwarości, nieraz słabo widoczne. W trakcie inwentaryzacji zaobserwowano ledwie widoczne mikrospeknięcia podłużne w śladzie lewego koła, które mogą przerodzić się w spękania podłużne.

Tablica 34 Liczba uszkodzeń na odcinku 5

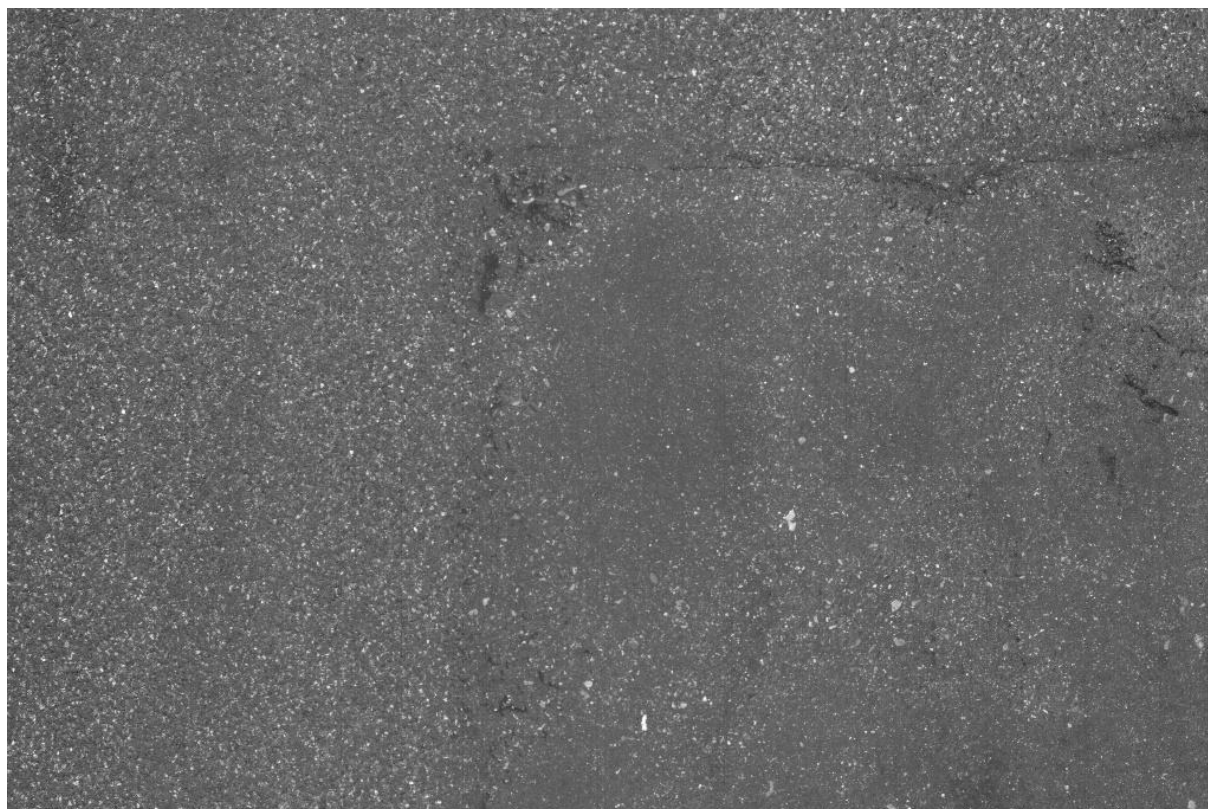
Uszkodzenie/lokalizacja	strona lewa		strona prawa	
	lewa połowa	prawa połowa	lewa połowa	prawa połowa
spękania poprzeczne	3	7	1	1
łata	0	0	0	5



Fotografia 14 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione



Fotografia 15 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione



Fotografia 16 Łata

7.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji

Obliczenia trwałości konstrukcji nawierzchni przeprowadzono dla odcinka 413+800 do 415+800, na którym przeprowadzona została inwentaryzacja uszkodzeń, badania GPR i FWD. Na rysunku 7 przedstawiono schemat konstrukcji nawierzchni według założeń projektowych.

warstwa ścieralna	SMA 0/8	3 cm
warstwa wiążąca	BA 0/20	7 cm
podbudowa zasadnicza	EME 0/16	10 cm
podbudowa pomocnicza	MCE	18 cm
istniejące warstwy		2 cm
klinkier		10 cm
podłoże gruntowe		

Rysunek 7 Schemat konstrukcji nawierzchni DK2 Sochaczew – gr. województwa

Do oceny trwałości na etapie powykonawczym i eksploatacyjnym wykorzystano wyniki pomiarów GPR (tablica 35) oraz moduły sprężystości warstw wyznaczone na podstawie wyników pomiarów ugięć (tablica 36).

Tablica 35 Wyniki pomiarów grubości georadarem [mm]

strona lewa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	35	50	77
odchylenie st.	4	7	13
maksimum	49	69	111
minimum	24	30	38
strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	33	51	78
odchylenie st.	3	4	13
maksimum	47	65	106
minimum	22	36	49
minimum	33	51	78

Tablica 36 Moduły sprężystości warstw na podstawie FWD [MPa]

strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 20 cm	Podłoże
średnia	9950	1062	208
odchylenie st.	1632	468	40
maksimum	14070	2633	284
minimum	6347	452	147
strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 20 cm	Podłoże
średnia	9391	1131	207
odchylenie st.	1829	786	40
maksimum	13036	4128	278
minimum	6729	403	142
minimum	9391	1131	207

W tablicy 37 przedstawiono parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji przyjęte w obliczeniach na etapie projektowym zgodne z założeniami projektowymi. Na etapie powykonawczym przyjęto moduł sztywności warstwy wiążącej ACWMS wynoszący 17 500 MPa na podstawie wyników badań laboratoryjnych (przeliczenie z 15 do 10°C). Pozostałe wartości do obliczeń w tym etapie przyjęto jak dla etapu projektu.

Tablica 37. Parametry wytrzymałościowe przyjęte w obliczeniach trwałości konstrukcji

Cecha	Warstwa	Wartość
Moduł sztywności	Warstwa ścieralna	9 000 MPa
	Warstwa wiążąca	12 000 MPa
	Podbudowa zasadnicza	16 000 MPa
	MCE	4 800 MPa
	Istniejące warstwy asfaltowe	1 000 MPa
	Klinkier	1 000 MPa
	Podłoże gruntowe	100 MPa
Współczynnik Poissona	Wszystkie warstwy	0,3

W tablicach 38-40 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na kolejnych etapach.

Tablica 38 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie projektowym

ε_t , [$\mu\text{m/m}$]	36,8
ε_p , [$\mu\text{m/m}$]	-128,1
N_{IA} , mln osi 100 kN	39,8
N_g , mln osi 100 kN	1569
N_{min} , mln osi 100 kN	39,8

Tablica 39 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie powykonawczym

Cecha \ Strona	lewa	prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	50,6	50
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-178,9	-176,4
N_{IA} , mln osi 100 kN	16,6	17,2
N_g , mln osi 100 kN	85,2	90,7
N_{min} , mln osi 100 kN	16,6	17,2

Tablica 40 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na podstawie badań FWD

Cecha \ Strona	lewa	prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	53,0	53,0
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]	-143,1	-143,4
N_{IA} , mln osi 100 kN	19,9	19,9
N_g , mln osi 100 kN	231,9	229,7
N_{min} , mln osi 100 kN	19,9	19,9

7.6 Ocena ogólna

Analiza dostępnej dokumentacji pozwala stwierdzić, że warstw asfaltowe zostały wykonane prawidłowo. Należy jednak zauważyć, że położenie warstwy wiążącej ze zwykłego betonu asfaltowego pomiędzy warstwą ścieralną z SMA i szczelną warstwą podbudowy z ACWMS (EME) jest ryzykowne ze względu na możliwość wnikania wody w pory warstwy wiążącej (beton asfaltowy nie spełnia wymagań szczelności jak ACWMS. Efektem może być przedwczesne osłabienie konstrukcji nawierzchni i generowane z tego powodu spękania. Obecny stan nawierzchni po 5 latach eksploatacji oceniany jest jako bardzo dobry. Inwentaryzacja stanu nawierzchni wykazała występowanie w niewielkiej ilości tylko spękań poprzecznych, prawdopodobnie termicznych oraz kilku łat po lokalnych naprawach. Szacowana rezerwa trwałości zmęczeniowej nawierzchni wynosi jeszcze około 20-25 lat, co daje łączną trwałość konstrukcji na poziomie 25-30 lat od przebudowy.

8 Odcinek 6 - droga krajowa nr 10 obwodnica Mirosławca

8.1 Informacje ogólne

Remont nawierzchni został przeprowadzony w roku 2004. Obejmował on sfrezowanie istniejących warstw asfaltowych i ułożenie nowego pakietu. Nowe warstwy asfaltowe składały się z: warstwy podbudowy z mieszanki BA WMS 0/16, warstwy wiążącej BA WMS 0/16 i warstwy ścieralnej z mieszanki MNU 0/10. Konstrukcja została zaprojektowana pod ruch KR5.

8.2 Technologia warstw asfaltowych

Warstwa podbudowy i wiążąca została wykonana z mieszanki BA WMS 0/16 z asfaltem Modbit DE 30B wg jednej recepty. Warstwa ścieralna wykonana została z mieszanki MNU 0/10 z polimeroasfaltem Modbit DE 80C. Podstawowe informacje o mieszankach mineralno-asfaltowych przedstawiono w tablicy 41.

Tablica 41 Charakterystyka warstw asfaltowych

Warstwa	ścieralna	wiążąca	podbudowa
mieszanka	MNU 0/10	BA WMS 16	BA WMS 16
Asfalt	Modbit DE80C	Modbit DE30B	Modbit DE30B
Kruszywo	Bazalt+gabro	Bazalt+amfibolit+melafor	Bazalt+amfibolit+melafor
Środek adhezyjny	b.d.	Teramin 14C	Teramin 14C
Zawartość asfaltu	7,0 % m/m	5,3 % m/m	5,3 % m/m
Wolna przestrzeń	3,4 % v/v	4,1 % v/v	4,1 % v/v
Sztywność	-	14 800 MPa	14 800 MPa
Zmęczenie	-	$\epsilon_6 > 130 \mu\text{m/m}$	$\epsilon_6 > 130 \mu\text{m/m}$

8.3 Wyniki badań kontrolnych

Wykonanie warstw asfaltowych objęte było m.in. kontrolą laboratoryjną wykonaną przez laboratorium IBDiM w Warszawie [13]. Wbudowane mieszanki MNU10 i BA16WMS pod względem składu były zbieżne z receptami. Nie stwierdzono odchyłek w zawartości asfaltu, które przekroczyłyby dopuszczalne granice. Również na żadnym z sit wyprodukowane mieszanki nie odbiegały od projektowanego składu

więcej, niż jest to dopuszczalne. W przypadku MNU10 mimo korekty składu uziarnienia podczas produkcji uzyskano mieszankę zgodną z receptą.

Próbki z mieszanki BAWMS16 zagęszczane w laboratorium z luźnej mieszanki pobranej podczas produkcji charakteryzowały się większą sztywnością niż próbki laboratoryjne uzyskane na etapie projektowania. Mogło to być ewentualnie spowodowane dodatkowym usztywnieniem się mieszanki w procesie powtórnego rozgrzewania luźnej mieszanki w laboratorium. Ze względu na większą sztywność uzyskano lepsze wyniki koleinowania oraz lepsze wartości modułów: rozciągania pośredniego oraz zespolonego, lecz nieco niższą trwałość (odporność na zmęczenie). Mimo to trwałość ta była stosunkowo wysoka i spełniła z zapasem wymagania.

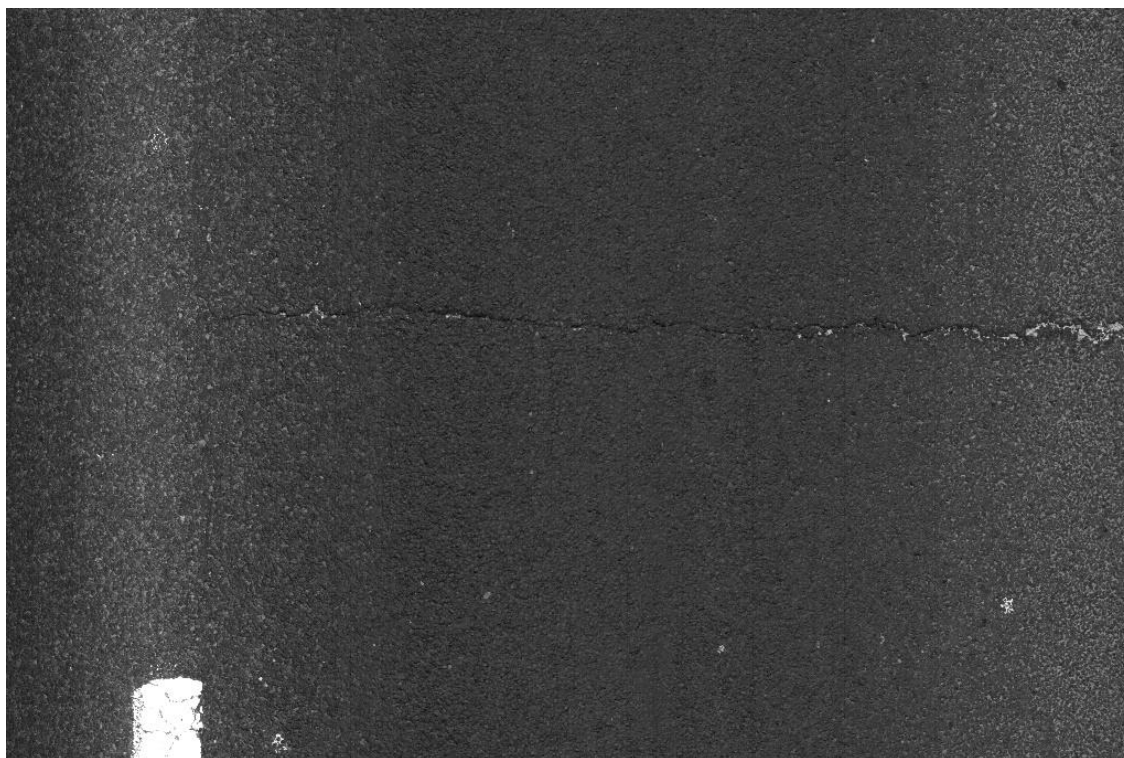
Ze względu na skład wbudowane mieszanka MNU10 do warstwy ścieralnej oraz mieszanka BAWMS 16 do warstw wiążącej i podbudowy były prawidłowe. Dodatkowo w przypadku BAWMS 16 uzyskano pozytywne właściwości mechaniczne tej mieszanki.

8.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń

Inwentaryzacja uszkodzeń na odcinku od km 125+200 do km 126+400 wykazała występowanie sporadyczne spękań poprzecznych (fot.17).

Tablica 42 Zestawienie ilości uszkodzeń na odcinku 6

Uszkodzenie/lokalizacja	strona lewa		strona prawa	
	lewa połowa	prawa połowa	lewa połowa	prawa połowa
spękania poprzeczne	1	1	3	3



Fotografia 17 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione

8.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji

Obliczenia trwałości konstrukcji nawierzchni przeprowadzono dla odcinka 125+200 do 126+400, na którym przeprowadzona została inwentaryzacja uszkodzeń, badania GPR i FWD.

Na rysunku 8 przedstawiono schemat konstrukcji nawierzchni według założeń projektowych.

warstwa ścieralna	MNU 0/10	3,5 cm
warstwa wiążąca	BA WMS 16	8 cm
podbudowa zasadnicza	BA WMS 16	14 cm
podbudowa pomocnicza	KŁSM	20 cm
podłoże gruntowe		

Rysunek 8 Schemat konstrukcji nawierzchni DK10 obwodnica Mirosławca

Do oceny trwałości na etapie powykonawczym i eksploatacyjnym wykorzystano wyniki pomiarów GPR (tablica 43) oraz moduły sprężystości warstw konstrukcji obliczone na podstawie wyników pomiarów FWD (tablica 44).

Tablica 43 Wyniki pomiarów grubości georadarem [mm]

strona lewa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	43	83	131
odchylenie st.	6	10	38
maksimum	59	129	199
minimum	28	89	42
strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	43	82	131
odchylenie st.	6	12	18
maksimum	58	109	173
minimum	20	38	83
minimum	43	82	131

Tablica 44 Moduły sprężystości warstw na podstawie FWD [MPa]

strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 30 cm	Podłoże
średnia	10282	452	129
odchylenie st.	3012	323	37
maksimum	17494	1169	215
minimum	7311	174	76
strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 30 cm	Podłoże
średnia	10666	380	118
odchylenie st.	2787	123	26
maksimum	14709	588	184
minimum	6983	212	88

W tablicy 45 przedstawiono parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji przyjęte w obliczeniach na etapie projektowym zgodne z założeniami projektowymi. Na etapie powykonawczym przyjęto moduł sztywności warstwy wiążącej i podbudowy ACWMS wynoszący 15 800 MPa na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Pozostałe wartości do obliczeń w tym etapie przyjęto jak dla etapu projektu.

Tablica 45. Parametry wytrzymałościowe przyjęte w obliczeniach trwałości konstrukcji

Cecha	Warstwa	Wartość
Moduł sztywności	Warstwa ścierna MNU	9 000 MPa
	Warstwa wiążąca BA WMS	14 000 MPa
	Podbudowa zasadnicza BA WMS	14 000 MPa
	Podbudowa pomocnicza KŁSM	400 MPa
	Podłoże gruntowe	100 MPa
Współczynnik Poissona	Wszystkie warstwy	0,3

W tablicach 46-48 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na kolejnych etapach.

Tablica 46 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie projektowym

ε_t , [$\mu\text{m/m}$]	46,1
ε_p , [$\mu\text{m/m}$]	-161,0
N_{IA} , mln osi 100 kN	78,6
N_g , mln osi 100 kN	136,7
N_{min} , mln osi 100 kN	78,6

Tablica 47 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie powykonawczym

Cecha \ Strona	lewa	prawa
ε_t , [$\mu\text{m/m}$]	57,8	53,6
ε_p , [$\mu\text{m/m}$]	-215,1	-197,3
N_{IA} , mln osi 100 kN	68,3	87,5
N_g , mln osi 100 kN	37,2	54,9
N_{min} , mln osi 100 kN	37,2	54,9

Tablica 48 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na podstawie badań FWD

Cecha	Strona		
		lewa	prawa
ε_t , [$\mu\text{m}/\text{m}$]		82,9	78,2
ε_p , [$\mu\text{m}/\text{m}$]		-214,9	-215,0
N_{IA} , mln osi 100 kN		20,8	25,3
N_g , mln osi 100 kN		37,4	37,4
N_{min} , mln osi 100 kN		20,8	37,4

8.6 Ocena ogólna

Obecny stan nawierzchni po 8 latach eksploatacji oceniany jest jako bardzo dobry. Inwentaryzacja stanu nawierzchni wykazała występowanie tylko spękań poprzecznych (termicznych). Nawierzchnia charakteryzuje się bardzo wysoką trwałością zmęczeniową. Nie jest to zaskoczeniem, ponieważ grubość warstw konstrukcyjnych została przyjęta jak dla typowej konstrukcji podatnej w Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Można szacować rezerwę trwałości tej nawierzchni na około 30 lat, czyli łącznie około 38 lat od wybudowania.

9 Odcinek 7 - droga krajowa nr 5 dojazd do A2 w miejscowości Komorniki od km 195+100 do km 197+800

9.1 Informacje ogólne

W latach 2003/2004 wykonano nową konstrukcję nawierzchni, która składała się z następujących warstw: podbudowa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie grubości 20 cm, podbudowa zasadnicza z EME Colbase S 0/16, warstwa wiążąca BA 0/20, warstwa ścieralna z SMA 0/8 Colsoft. Konstrukcja została zaprojektowana na ruch KR5.

9.2 Technologia warstw asfaltowych

Warstwa podbudowy została wykonana z mieszanki EME 0/16, a warstwa wiążąca z mieszanki BA 0/20 D50. W udostępnionej dokumentacji nie ma jednoznacznej odpowiedzi o rodzaju zastosowanego lepiszcza do mieszanki EME. W jednym miejscu wskazany jest asfalt 20/30, w innym asfalt D50 (prawdopodobnie z dodatkiem Chemcrete). Warstwa ścieralna wykonana została w dwóch wariantach: z mieszanki MNU 0/8 z polimeroasfaltem Colflex 80B (km 197+000 do 197+800) z dodatkiem granulatu gumowego oraz z mieszanki SMA 0/12,8 z asfaltem D50 na odcinku od km 195+100 do km 197+000. Podstawowe informacje o mieszankach mineralno-asfaltowych przedstawiono w tablicy 41.

Tablica 49 Charakterystyka warstw asfaltowych

Warstwa	ścieralna	ścieralna	wiążąca	podbudowa
mieszanka	SMA 0/12,8	MNU 0/8	BA 0/20	EME 0/16
Asfalt	D50	Colflex 80B	D50	20/30 (D50?)
Kruszywo	melafir	Bazalt+granit+granulat gumowy	melafir	bazalt
Środek adhezyjny	Teramin 14 0,5%	b.d.	Teramin 14 0,5%	b.d.
Zawartość asfaltu	6,1 % m/m	6,1 % m/m	4,3 % m/m	5,2 % m/m
Wolna przestrzeń	3,0 % v/v	8,5 % v/v	6,3 % v/v	3,1 % v/v
Szttywność	-	-	-	b.d.
Zmęczenie	-	-	-	b.d.

9.3 Wyniki badań kontrolnych

Wykonanie warstw asfaltowych objęte było kontrolą laboratoryjną wykonaną przez laboratorium GDDKiA w Poznaniu [14]. W zakresie uziarnienia, składu i

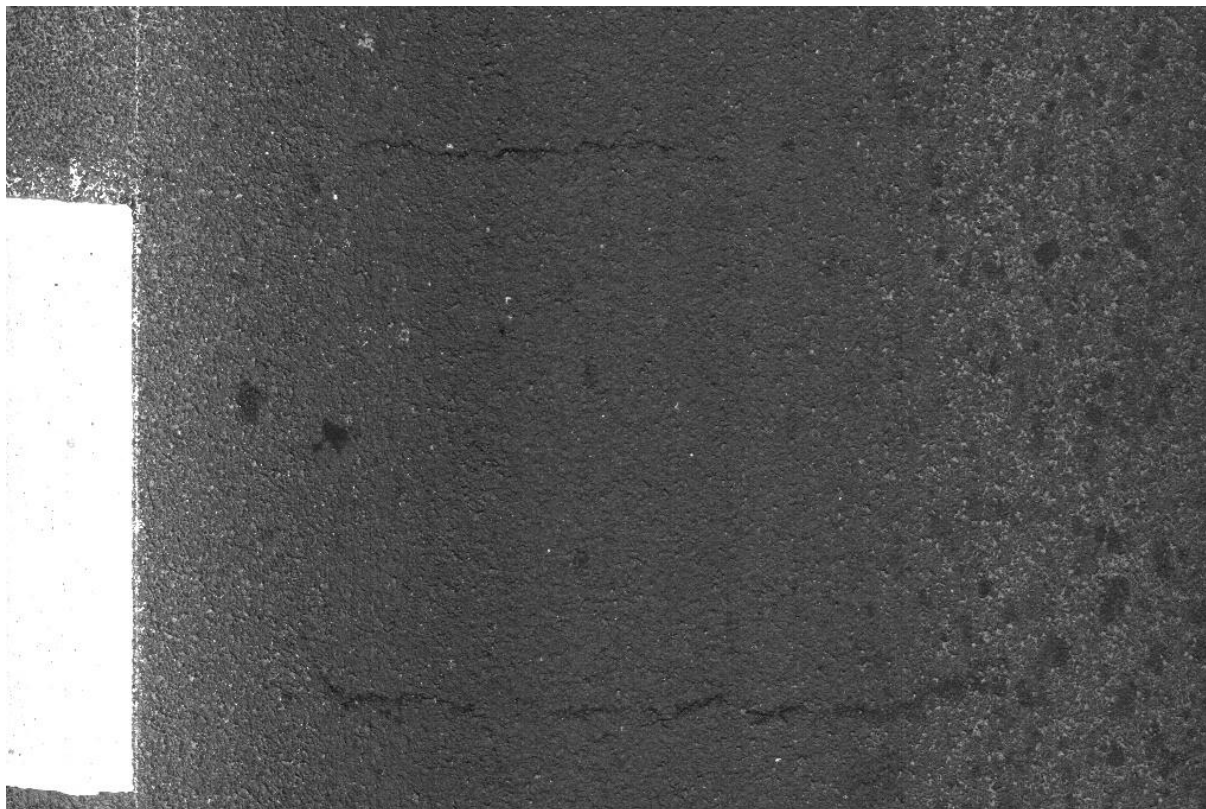
zagęszczenia warstw asfaltowych nie stwierdzono przekroczenia wymagań. Wyjątek stanowiła jedna z 16 próbek mieszanki EME, w której stwierdzono przekroczenie odchyłek w zakresie zawartości ziaren powyżej 2mm.

9.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń

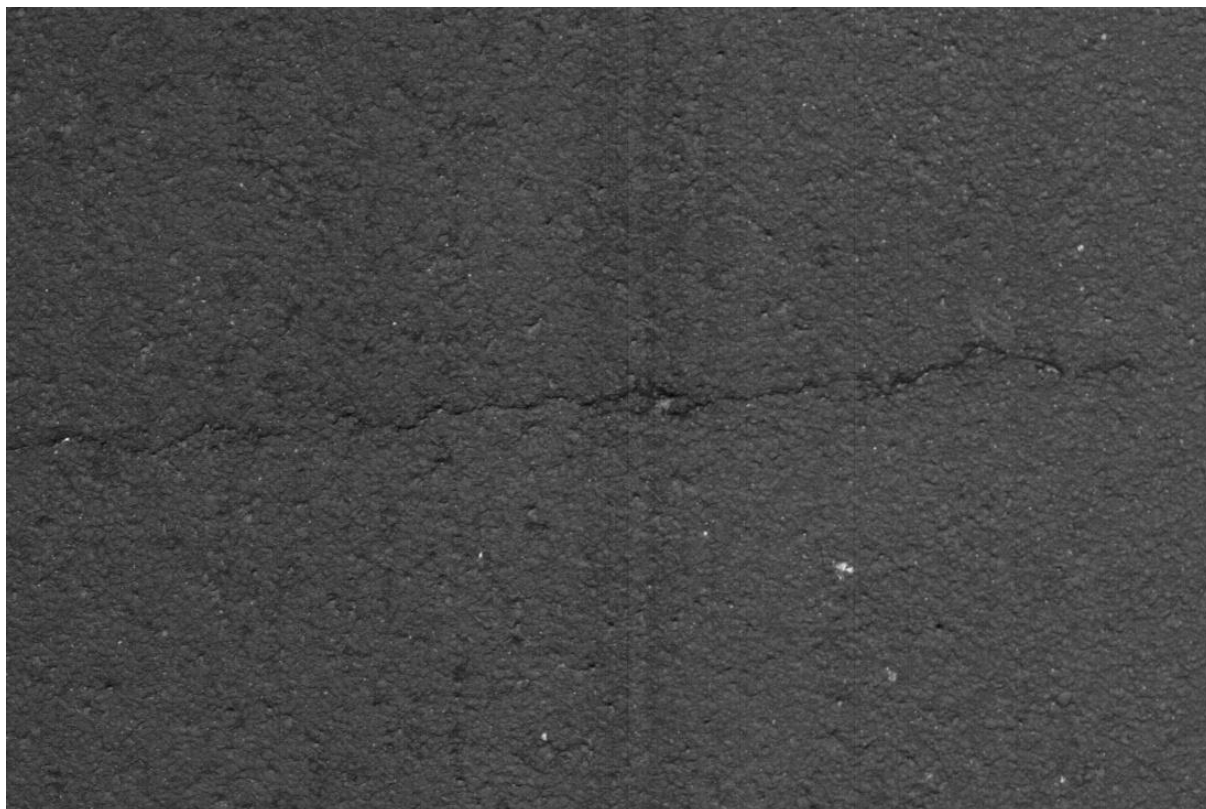
Inwentaryzacja uszkodzeń na odcinku od km 195+100 do km 197+800 wykazała występowanie czterech rodzajów uszkodzeń: spękań poprzecznych, podłużnych łat i spękań siatkowych. Spękania poprzeczne i łaty są bardzo liczne. Spękania siatkowe występują tylko w jednym miejscu. Stwierdzono również liczne uszkodzenia (spękania) związane z osiadającymi studzienkami, które nie były jednak inwentaryzowane.

Tablica 50 Zestawienie liczby uszkodzeń na odcinku 7

Uszkodzenie/lokalizacja	strona lewa		strona prawa	
	lewa połowa	prawa połowa	lewa połowa	prawa połowa
spękania poprzeczne	20	22	27	32
spękania podłużne	5	0	13	45
łata	28	27	25	2
spękania siatkowe	0	1	0	0



Fotografia 18 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione krótkie



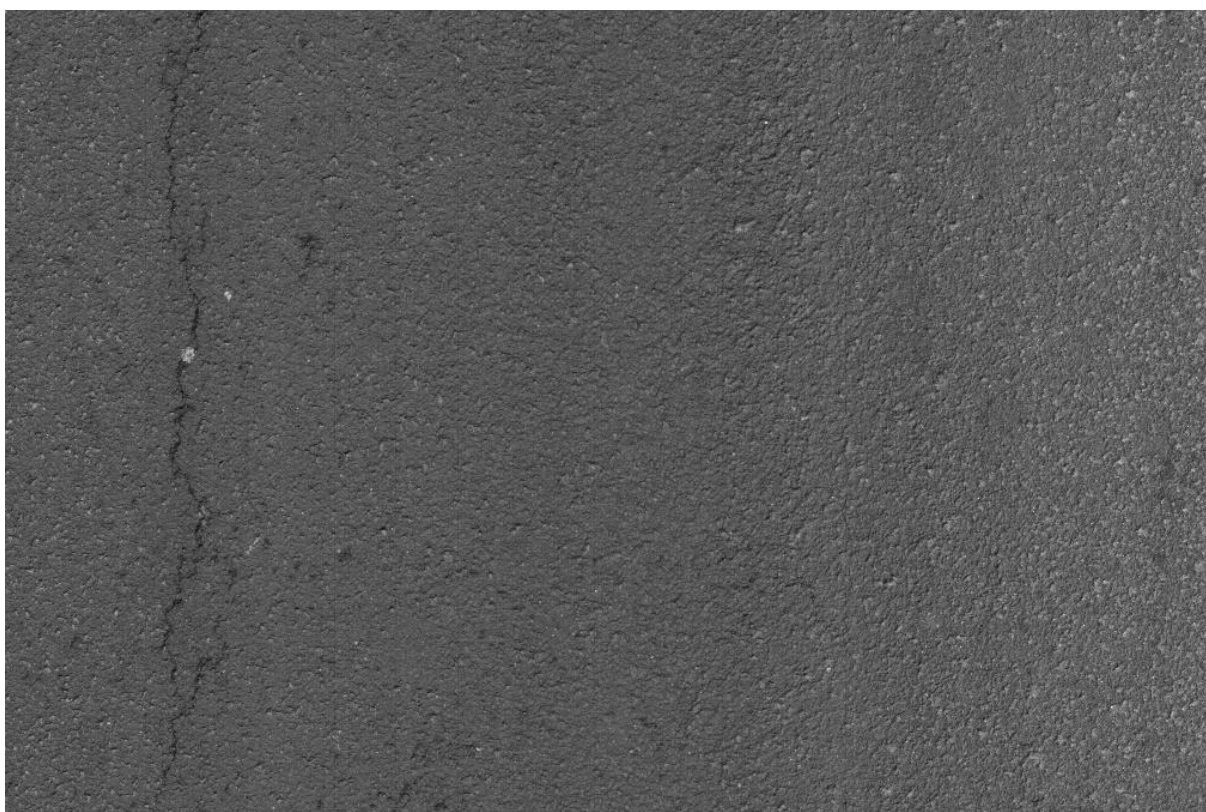
Fotografia 19 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione



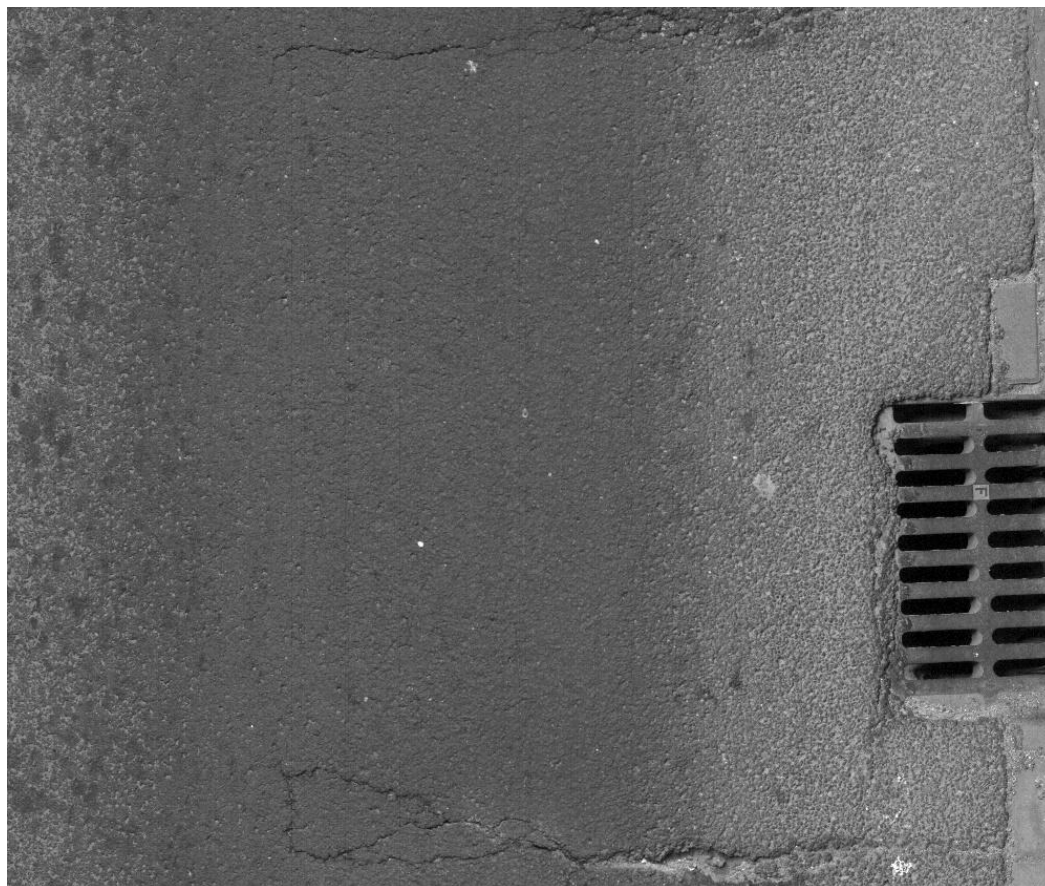
Fotografia 20 Spękanie siatkowe na łacie



Fotografia 21 Łata



Fotografia 22 Spękanie podłużne



Fotografia 23 Spękanie wokół studzienki

9.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji

Obliczenia trwałości konstrukcji nawierzchni przeprowadzono dla odcinka 195+100 do 197+800, na którym przeprowadzona została inwentaryzacja uszkodzeń, badania GPR i FWD. Na rysunku 9 przedstawiono schemat konstrukcji nawierzchni według założeń projektowych.

warstwa ścieralna	MNU Colsoft	3 cm
warstwa wiążąca	BA 0/20	8 cm
podbudowa zasadnicza	EME 0/16	10 cm
podbudowa pomocnicza	KŁSM	20 cm
podłoże gruntowe		

Rysunek 9 Schemat konstrukcji nawierzchni DK5

Do oceny trwałości na etapie powykonawczym i eksploatacyjnym wykorzystano wyniki pomiarów GPR (tablica 51) i modułów sprężystości obliczonych na podstawie wyników pomiarów ugięć metodą FWD (tablica 52).

Tablica 51 Wyniki pomiarów grubości georadarem [mm]

strona lewa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	43	55	128
odchylenie st.	11	17	21
maksimum	81	127	181
minimum	18	20	67
strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	50	62	110
odchylenie st.	11	12	29
maksimum	85	110	237
minimum	27	23	47
minimum	50	62	110

Tablica 52 Moduły sprężystości warstw na podstawie FWD [MPa]

strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 20 cm	Podłoże
średnia	14110	935	206
odchylenie st.	3318	691	110
maksimum	20965	3570	448
minimum	9679	239	73
strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 20 cm	Podłoże
średnia	14413	1116	166
odchylenie st.	3376	759	73
maksimum	20986	3063	353
minimum	8785	186	69

W tablicy 53 przedstawiono parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji przyjęte w obliczeniach na etapie projektowym zgodne z założeniami projektowymi. Na etapie powykonawczym przyjęto moduł sztywności warstwy podbudowy EME wynoszący 16 000 MPa. Pozostałe wartości do obliczeń w tym etapie przyjęto jak dla etapu projektu.

Tablica 53. Parametry wytrzymałościowe przyjęte w obliczeniach trwałości konstrukcji

Cecha	Warstwa	Wartość
Moduł sztywności	Warstwa ścierna MNU	9 000 MPa
	Warstwa wiążąca BA 0/20	12 000 MPa
	Podbudowa zasadnicza EME	16 000 MPa
	Podbudowa pomocnicza KŁSM	400 MPa
	Podłoże gruntowe	100 MPa
Współczynnik Poissona	Wszystkie warstwy	0,3

W tablicach 54 -56 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na kolejnych etapach.

Tablica 54 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie projektowym

ε_t , [$\mu\text{m/m}$]	60,2
ε_p , [$\mu\text{m/m}$]	-205,0
N_{IA} , mln osi 100 kN	57,6
N_g , mln osi 100 kN	46,3
N_{min} , mln osi 100 kN	46,3

Tablica 55 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie powykonawczym

Cecha	Strona	
	lewa	prawa
ε_t , [$\mu\text{m/m}$]	71,7	78,7
ε_p , [$\mu\text{m/m}$]	-250,5	-270,1
N_{IA} , mln osi 100 kN	49,4	18,8
N_g , mln osi 100 kN	36,7	13,4
N_{min} , mln osi 100 kN	36,7	13,4

Tablica 56 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na podstawie badań FWD

Strona Cecha	lewa	prawa
ε_t , [$\mu\text{m/m}$]	63,9	65,6
ε_p , [$\mu\text{m/m}$]	-181	-175,2
N_{IA} , mln osi 100 kN	72,8	66,8
N_g , mln osi 100 kN	80,9	93,6
N_{min} , mln osi 100 kN	72,8	66,8

9.6 Ocena ogólna

Analiza dostępnej dokumentacji pozwala stwierdzić, że warstw asfaltowe zostały wykonane prawidłowo. Obecny stan nawierzchni po 8 latach eksploatacji oceniany jest jako dobry. Niemniej jednak stwierdzono dużą liczbę uszkodzeń, głównie spękań poprzecznych, łat i w mniejszej liczbie spękań podłużnych. Należy zauważyć, że położenie warstwy wiążącej ze zwykłego betonu asfaltowego pomiędzy warstwą ścieralną z SMA i szczelną warstwą podbudowy z ACWMS (EME) jest ryzykowne ze względu na możliwość wnikania wody w pory warstwy wiążącej (beton asfaltowy nie spełnia wymagań szczelności jak ACWMS. Efektem może być przedwczesne osłabienie konstrukcji nawierzchni i generowane z tego powodu spękania. Pomimo występowania tych uszkodzeń nawierzchnia posiada dobrą nośność i znaczną rezerwę trwałości zmęczeniowej.

10 Odcinek 8 - droga krajowa S-11 km 288+720 do km 297+825

10.1 Informacje ogólne

Inwestycja zakończona została w roku 2004. Polegała na przebudowie drogi istniejącej. 2004. Budowa realizowana była w etapach. Część nawierzchni istniejącej została rozebrana i w jej miejsce wbudowano nową konstrukcję. W innych miejscach frezowano istniejące warstwy asfaltowe i ułożono nowy pakiet warstw. Zastosowano różne rodzaje warstw ścieralnych: SMA, BBTM. W konstrukcjach podatnych wykonano podbudowę zasadniczą z mieszanki EME, warstwę wiążącą z BA 20, ścieralną z SMA. W konstrukcjach półsztywnych wykonano podbudowę z chudego betonu. Warstwy asfaltowe składały się z warstwy wyrównawczej BA 0/20 z destruktem, wiążącej z EME 0/16 i ścieralnej BBTM.

10.2 Technologia warstw asfaltowych

Warstwa podbudowy została wykonana z mieszanki EME 0/16 z asfaltem 20/30 XR Nynas. Brak jest danych na temat składu i właściwości mieszanki SMA 0/11 i BA 0/20. Podstawowe informacje o mieszankach mineralno-asfaltowych przedstawiono w tablicy 57.

Tablica 57 Charakterystyka warstw asfaltowych (konstrukcja podatna)

Warstwa	ścieralna	wiążąca	podbudowa
mieszanka	SMA 0/11	BA 0/20	EME 0/16
Asfalt	b.d.	b.d.	20/30 Nynas XR
Kruszywo	b.d.	b.d.	bazalt
Środek adhezyjny	b.d.	b.d.	Teramin 14
Zawartość asfaltu	b.d.	b.d.	5,2 % m/m
Wolna przestrzeń	b.d.	b.d.	3,3 % v/v
Sztywność	-	-	13 126 MPa (15°C)
Zmęczenie	-	-	$\epsilon_6 > 100 \mu\text{m/m}$ (15°C)

10.3 Wyniki badań kontrolnych

Wykonanie warstw nawierzchni objęte było m.in. kontrolą laboratoryjną wykonaną przez laboratorium GDDKIA w Poznaniu [15]. Stwierdzono prawidłowe wykonanie warstwy podbudowy z chudego betonu, przy czym połowa próbek charakteryzowała się zawyżoną wytrzymałością na ściskanie. Wykonane zostały nacięcia co 2,5 m w celu zapobieżenia spękanom odbitym. Warstwa podbudowy z BA 0/20 została również pozytywnie. Tylko w jednej próbce na 53 zbadane stwierdzono przekroczenie odchyłki w zakresie zawartości asfaltu i zawartości ziaren > 2mm. Warstwa z mieszanki EME była prawidłowo zagęszczona. Badaniom poddano 60 próbek, z czego w 3 stwierdzono przekroczenie w zawartości asfaltu. W innych próbkach stwierdzono przekroczenia w odchyłkach na uziarnieniu. Badania warstwy ścieralnej przeprowadzono na 28 próbkach, stwierdzając w kilku przypadkach przekroczenie odchyłek w uziarnieniu (zawyżona zawartość ziaren > 2mm, zaniżona ilość wypełniacza). Skutkiem tych odchyłek było przekroczenie dopuszczalnej zawartości wolnych przestrzeni w czterech próbkach. W 9 miejscach z 39 ocenianych stwierdzono wskaźnik zagęszczenia poniżej 98%.

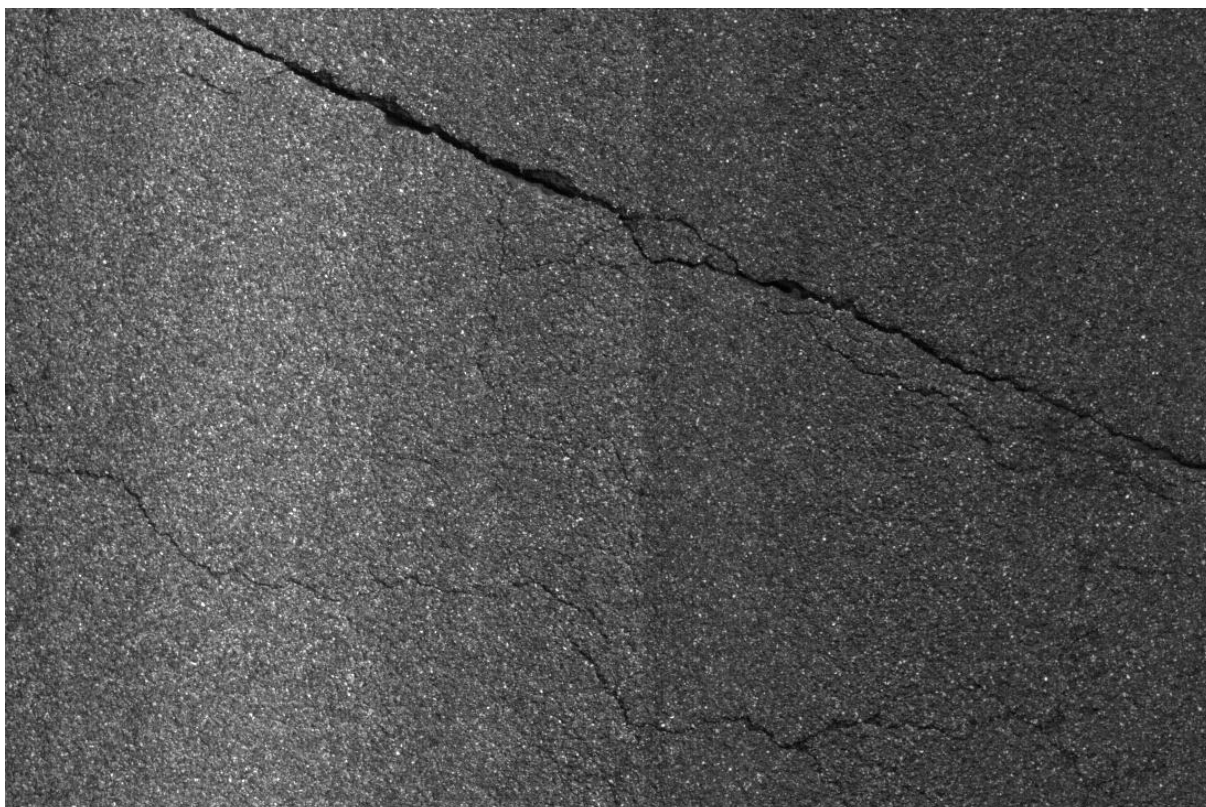
10.4 Ocena stanu nawierzchni na podstawie rejestracji uszkodzeń

Inwentaryzacja uszkodzeń na odcinku od km 10+705 do km 12+705 wg pikietażu roboczego wykazała występowanie dwóch rodzajów uszkodzeń: spękań poprzecznych i podłużnych.

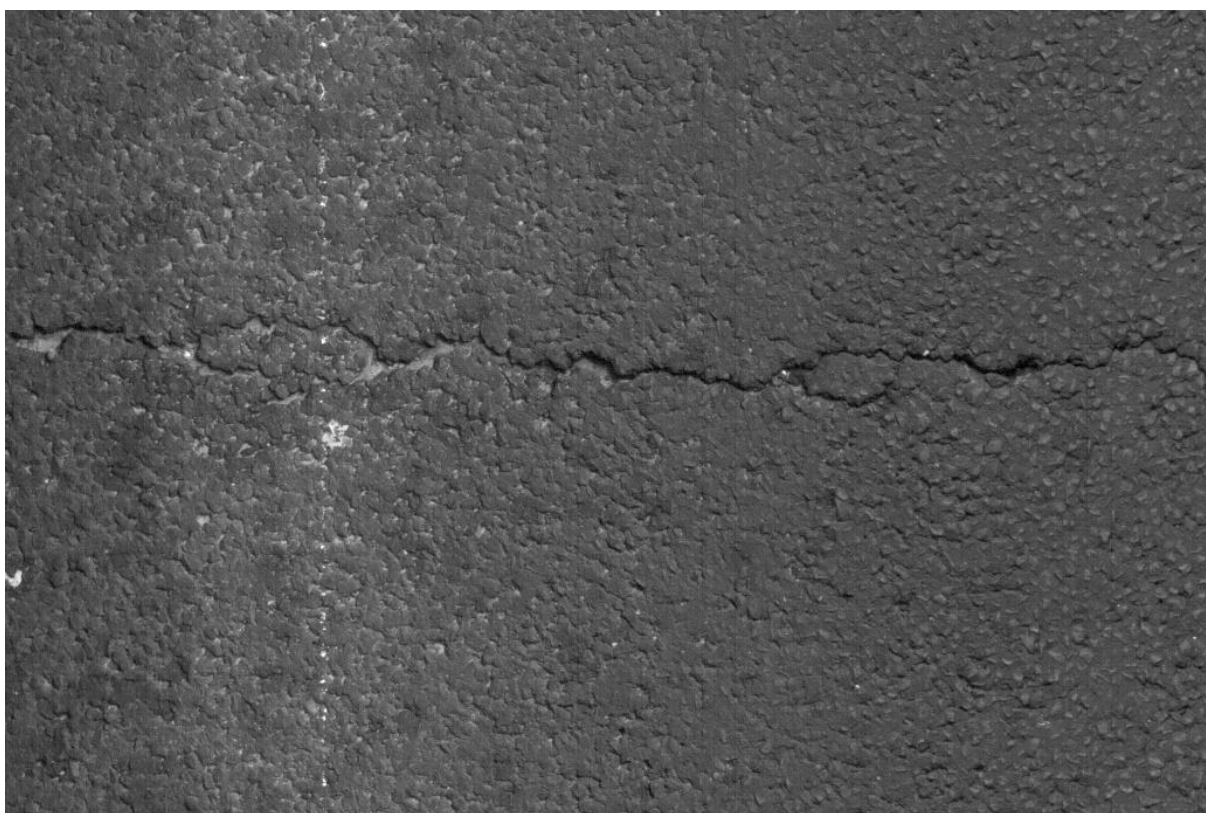
Tablica 58 Zestawienie liczby uszkodzeń na odcinku 8

Uszkodzenie/lokalizacja	strona lewa		strona prawa	
	lewa połowa	prawa połowa	lewa połowa	prawa połowa
spękania poprzeczne	3	4	1	1
spękania podłużne	6	32	3	9

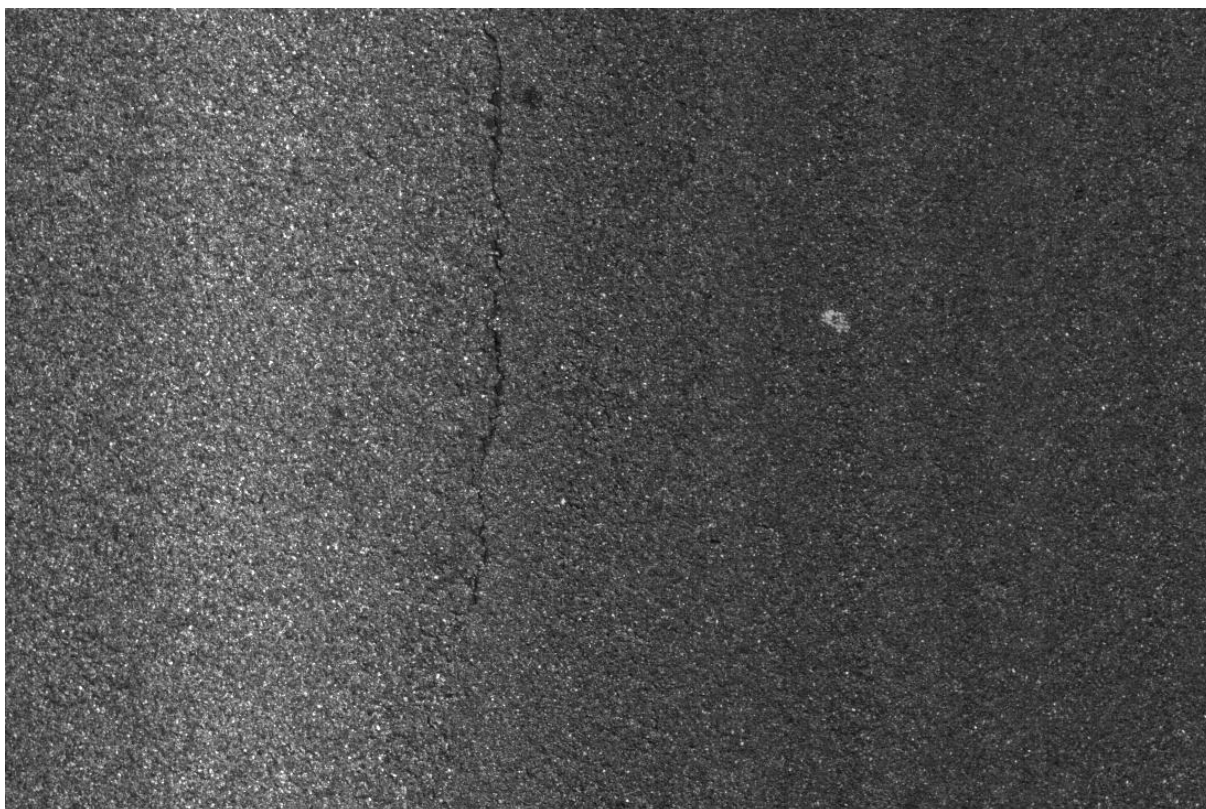
Spękania poprzeczne są nieliczne, zazwyczaj na całą szerokość nawierzchni, nieuszczelnione. Stwierdzono natomiast liczniejsze spękania podłużne, szczególnie na stronie lewej w śladzie lewego koła. Mogą być one związane z wykonaniem poszerzenia i propagacją pęknięcia ku górze. Istnieją też liczne miejsca, w których nie ma jeszcze takich spękań, jednak zarysowują się miejsca w których prawdopodobnie niedługo one się ujawnią.



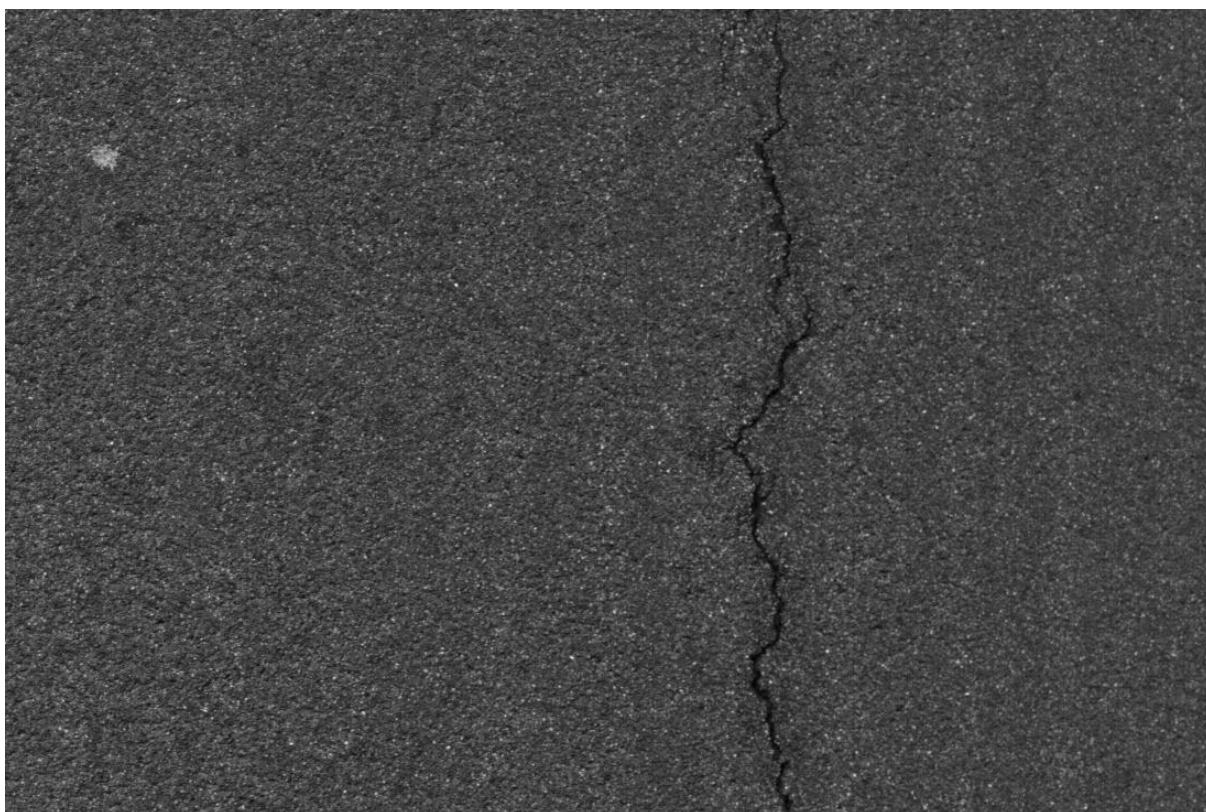
Fotografia 24 Pęknięcia poprzeczne nieuszczelnione



Fotografia 25 Pęknięcie poprzeczne nieuszczelnione



Fotografia 26 Pęknięcie podłużne



Fotografia 27 Pęknięcie podłużne

10.5 Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji

Badania diagnostyczne przeprowadzone w ramach niniejszego projektu zostały przeprowadzone na odcinku od km 10+705 do 12+705 wg nowego pikietażu. Nie udało się uzyskać dokumentacji, która w jednoznaczny sposób określa układ i grubości warstw konstrukcyjnych na tym odcinku. Pomiary GPR wskazują na zmianę układu warstw na analizowanym odcinku. W części środkowej tego odcinka grubości warstw wskazują na konstrukcję podatną, w przeciwieństwie do wyników obliczonych modułów sprężystości. Uzyskane wartości są bardzo wysokie, wykraczają poza wartości typowe nawet jak dla konstrukcji półsztywnych. W związku z powyższym odstąpiono od ceny trwałości konstrukcji na etapie powykonawczym i na podstawie wyników FWD. Przeprowadzono natomiast obliczenia dla konstrukcji podatnej wg projektu (rysunek 10).

warstwa ścieralna	SMA 11	4 cm
warstwa wiążąca	BA 0/20	7 cm
podbudowa zasadnicza	EME 0/16	17 cm
podbudowa pomocnicza	KŁSM	20 cm
podłoże gruntowe		

Rysunek 10 Schemat konstrukcji podatnej nawierzchni S-11

Tablica 59 Wyniki pomiarów grubości georadarem [mm]

strona lewa			
	Warstwa ścieralna + wiążąca	Podbudowa górna	Podbudowa dolna
średnia	96	77	140
odchylenie st.	11	14	59
maksimum	129	129	273
minimum	65	42	40
strona prawa			
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa podbudowy
średnia	98	73	120
odchylenie st.	12	14	52
maksimum	123	106	248
minimum	52	29	37
minimum	98	73	120

Tablica 60 Wyniki obliczeń modułów sprężystości warstw wg FWD, [MPa]

strona lewa			
	H1 wg GPR	H2 = 20 cm	Podłoże
średnia	73454	4714	379
odchylenie st.	22448	2371	86
maksimum	99349	9986	580
minimum	26527	2032	248
strona prawa			
	H1 wg GPR	H2 = 20 cm	Podłoże
średnia	73454	4714	379
odchylenie st.	22448	2371	86
maksimum	99349	9986	580
minimum	26527	2032	248

W tablicy 61 przedstawiono parametry wytrzymałościowe warstw konstrukcji przyjęte w obliczeniach na etapie projektowym.

Tablica 61. Parametry wytrzymałościowe przyjęte w obliczeniach trwałości konstrukcji

Cecha	Warstwa	Wartość
Moduł sztywności	Warstwa ścieralna	9 000 MPa
	Warstwa wiążąca BA 0/20	12 000 MPa
	Podbudowa zasadnicza EME 0/16	17 000 MPa
	Podbudowa pomocnicza KŁSM	400 MPa
	Podłoże gruntowe	100 MPa
Współczynnik Poissona	Wszystkie warstwy	0,3

W tablicy 62 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na kolejnych etapach.

Tablica 62 Wyniki obliczeń trwałości konstrukcji na etapie projektowym

ε_t , [$\mu\text{m/m}$]	36,4
ε_p , [$\mu\text{m/m}$]	-123,3
N_{IA} , mln osi 100 kN	144,8
N_g , mln osi 100 kN	452,1
N_{min} , mln osi 100 kN	144,8

10.6 Ocena ogólna

Analiza dostępnej dokumentacji pozwala stwierdzić, że warstw asfaltowe zostały wykonane prawidłowo i przyjęte przez nadzór. Niespełnienie wymagań było sporadyczne, dotyczyło głównie warstwy ścieralnej (wskaźnik zagęszczenia i zawartość wolnych przestrzeni) oraz w mniejszym stopniu warstwy wiążącej z EME (uziarnienie, zawartość asfaltu). Obecny stan nawierzchni po 8 latach eksploatacji oceniany jest jako dobry. Inwentaryzacja stanu nawierzchni wykazała występowanie na analizowanym fragmencie kilku spękań poprzecznych (termicznych) oraz w większej liczbie spękań podłużnych, których ilość będzie prawdopodobnie wzrastać.

Nawierzchnia charakteryzuje się bardzo wysoką nośnością, o czym świadczą wyniki pomiarów ugięć oraz wartości modułów sprężystości warstw. Z uwagi na brak

jednoznacznych informacji o konstrukcji na analizowanym fragmencie nie jest możliwe oszacowanie pozostałej rezerwy trwałości zmęczeniowej.

11 Podsumowanie oceny odcinków

W tablicy 63 przedstawiono skrócone zestawienie podstawowych informacji o analizowanych odcinkach, wynikach badań i analiz.

Najlepsze wyniki uzyskały odcinki drogi DK8 (odcinek nr 1 i nr 2). Charakteryzują się one dużą rezerwą trwałości zmęczeniowej, która znacznie przekracza założenia projektowe. Szacuje się, że trwałość zmęczeniowa tej nawierzchni może przekroczyć 40 lat. Świadczy o tym mała ilość uszkodzeń, niskie wartości ugięć sprężystych i wyniki analiz mechanicznych.

Pod względem rezerwy nośności bardzo dobre wyniki uzyskał również odcinek 7 na drodze DK5. Liczba i różnorodność uszkodzeń na tym odcinku jest jednak dość duża. Zniszczenie tej nawierzchni może nastąpić szybciej, a zabieg utrzymaniowy polegający na wymianie warstwy ścieralnej może być niewystarczający.

Potencjalnie dużą rezerwę trwałości posiada odcinek nr 8 na drodze S11. Świadczą o tym bardzo małe ugięcia. Niepokojące jest natomiast pojawienie się spękań podłużnych w śladzie lewego koła, co może być związane z poszerzeniem nawierzchni, ale również ze spękaniem zmęczeniowymi generowanymi od góry. Nieco mniejszą trwałość zmęczeniową uzyskał odcinek nr 3 na drodze DK9 i odcinek nr 6 na drodze DK10. Szacowana łączna trwałość tych odcinków jest nieznacznie mniejsza niż 40 lat wybudowania. Liczba uszkodzeń na tych odcinkach jest bardzo mała. Trwałość odcinka nr 5 na drodze DK2 szacowana jest na około 25 lat, czyli nieco więcej niż wg założeń projektowych. Na odcinku tym stwierdzono nieliczne uszkodzenia oraz zarys słabo widocznych spękań podłużnych w śladzie koła, co podobnie jak na odcinku S11, może być związane z poszerzeniem nawierzchni, ale również z spękaniem zmęczeniowymi generowanymi od góry.

Najgorszą ocenę pod względem nośności i stanu nawierzchni uzyskał odcinek nr 4 na drodze DK9. Na tym odcinku ugięcia sprężyste były największe, a jednocześnie rezerwa trwałości jest niewielka. Trwałość zmęczeniowa tej nawierzchni od wybudowania szacowana jest na 10-13 lat. O słabej nośności nawierzchni świadczy również występowanie spękań siatkowych (zmęczeniowych). Występują też bardzo liczne spękania poprzeczne.

Ocenę odcinków można też odnieść do kryteriów projektowania nawierzchni długowiecznych określonych na podstawie wymagań amerykańskich i brytyjskich, które przedstawiono w ramach przeglądu literatury w zadaniu 1. Są one następujące:

- łączna grubość warstw asfaltowych > 21 cm,
- odkształcenia rozciągające w spodzie warstw asfaltowych $< 65\mu\epsilon$,
- odkształcenia ściskające na powierzchni podłoża gruntowego $< 200\mu\epsilon$,
- stabilne podłoże,
- zminimalizowany wpływ zmian klimatycznych na podłoże gruntowe,
- niższe warstwy asfaltowe odporne na zmęczenie,
- wyższe warstwy asfaltowe odporne na koleinowanie.

Odnosząc te wymagania do założeń projektowych oraz wyników obliczenia projektowanej trwałości nawierzchni można sformułować następujące wnioski:

- W zakresie łącznej grubości warstw asfaltowych warunek nie został spełniony na odcinku 5. W przypadku odcinków 3 i 4 warunek jest spełniony, jeżeli do pakietu warstw asfaltowych wliczona jest warstwa MCE.
- Odkształcenia rozciągające w spodzie warstw asfaltowych oraz ściskające w stropie podłoża gruntowego spełniają postawione kryteria za wyjątkiem odcinka 7, na którym przekroczona jest nieznacznie graniczna wartość odkształcenia w podłożu gruntowym.
- Wymaganie stabilności podłoża i jego zabezpieczenie przed warunkami klimatycznymi (głębokość przemarzania) są obowiązkowymi elementami uwzględnianymi w projektowaniu nawierzchni w Polsce. Można więc przyjąć, że wymagania te zostały spełnione na wszystkich odcinkach.
- Wymagania w zakresie odporności na koleinowanie i zmęczenie również należy uznać za spełnione w przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych, ponieważ są one uwzględnione w projektowaniu recept. W przypadku odcinków z MCE wymagania te nie są sprawdzane dla mieszanki cementowo-emulsyjnej.
- Źródła nie podają temperatury w jakiej należy określić odkształcenia w spodzie warstw asfaltowych ($< 65\mu\epsilon$). Kryterium to jest więc trudne do zastosowania.

Tablica 63 Zestawienie podstawowych informacji o analizowanych odcinkach

Odcinek	1	2	3	4	5	6	7	8
Droga	DK8	DK8	DK9	DK9	DK2	DK10	DK5	S11
Rok	2004/2005	2008/2009	2003	2005	2007	2004	2003/2004	2004
Kategoria ruchu	KR5	KR5	KR5	KR5	KR6	KR5	KR5	KR6
Zabieg/budowa	Remont mieszany	Nowa konstrukcja	Remont mieszany	Remont mieszany	Remont mieszany	Nowa konstrukcja	Nowa konstrukcja	Nowa konstrukcja i przebudowa
Warstwa ścieralna (w.ś.)	SMA 0/9,6 DE80B 4cm	SMA 0/11,2 45/80-55 4 cm	SMA 0/9,6 DE80B 3,5cm	SMA 0/12,8 DE80B 3,5 cm	SMA 0/8 DE80B 3 cm	MNU 0/10 DE80C 3,5 cm	MNU 0/8 DE80B 3 cm	SMA 11 4 cm
Warstwa wiążąca (w.w.)	AC WMS 0/20 DE 30B 6-8 cm	AC WMS 0/16 20/30 8cm	AC WMS 0/20 DE30B 9 cm	AC WMS 0/20 DE30B 8-10 cm	AC 20 DE30B 7 cm	AC WMS 16 DE30B 8 cm	AC 0/20 D50 8cm	AC 0/20 7 cm
Warstwa podbudowy (w.p.)	AC WMS 0/20 DE 30B 7-9 cm	AC WMS 0/16 20/30 17 cm	MCE 16 cm	MCE 16-20 cm	EME 16 20/30 10 cm	AC WMS 16 DE30B 14 cm	EME 16 20/30 lub D50 (Chemcrete?) 10 cm	EME 0/16 20/30 17 cm
Podbudowa	Istniejąca konstrukcja	KŁSM 20cm	Istniejąca konstrukcja	Istniejąca konstrukcja	MCE 18 cm Istniejąca konstrukcja	KŁSM 20cm	KŁSM 20 cm	KŁSM 20 cm
Jakość wykonania w.ś.	Nieliczne odstępstwa	Liczne odstępstwa	Prawidłowe	Nieliczne odstępstwa	Prawidłowe	Prawidłowe	Prawidłowe	Nieliczne odstępstwa
Jakość wykonania w.w.	Prawidłowe	Prawidłowe	Prawidłowe	Nieliczne odstępstwa	Prawidłowe	Prawidłowe	Prawidłowe	Nieliczne odstępstwa
Jakość wykonania w.p.	Prawidłowe	Nieliczne odstępstwa	b.d.	b.d.	Prawidłowe	Prawidłowe	Prawidłowe	Prawidłowe
Sp. podłużne	9/0*	0	0	12/18	0	0	5/45	38/12
Sp. poprzeczne	3/3	14/11	1/2	32/26	7/2	1/3	22/32	4/1
Sp. siatkowe	0	0	0	10/1	0	0	1/0	0
Ubytki	3/0	0	0	0	0	0	0	0
Łaty	0	0	0/2	0	0/5	0	55/27	0
Ugięcie miarodajne	0,25-0,3 mm	0,18 mm	0,27-0,48 mm	0,4-0,73 mm	0,26-0,31 mm	0,38 mm	0,35 mm	0,12-0,16 mm
Pozostała trwałość, mln osi	67	200	20	2,5	20	21	70	Nie określono
Szacowana łączna trwałość, lat	>40 lat	> 40 lat	35	10-13	25	38	> 40 lat	Nie określono

* strona lewa/strona prawa

12 Zalecenia ogólne

12.1 Zalecenia wyboru typu i konstrukcji nawierzchni

Analiza doświadczeń w zakresie nawierzchni długowiecznych na świecie przedstawiona w Zadaniu 1 pozwala na wytypowanie potencjalnie najlepszych rozwiązań do zastosowania w polskich warunkach klimatycznych i materiałowych.

Ogólnie można stwierdzić, że konstrukcje nawierzchni długowiecznych charakteryzują się dużą grubością warstw konstrukcyjnych, warstwa ścieralna powinna być odporna na deformacje trwałe, pękanie niskotemperaturowe i zmęczenie (generowane od góry) a warstwa podbudowy i wiążąca powinny charakteryzować się wysoką sztywnością, odpornością na koleinowanie i zmęczenie.

Efekty takie można osiągnąć, stosując zarówno konstrukcje podatne i półsztywne z zastosowaniem technologii omówionych w punkcie 12.2.

Bardzo obiecującą koncepcją jest zastosowanie warstwy przeciwmęczeniowej w spodzie warstw asfaltowych. Pomyślne próby były już w Polsce przeprowadzone w ramach projektu SPENS, koncepcja jest również znana w Stanach Zjednoczonych. Celowe byłoby zaprojektowanie na jednej z dróg krajowych takiej konstrukcji nawierzchni z warstwą przeciwmęczeniową. Wybrany odcinek powinien być monitorowany przez kilka lat. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że uzyskalibyśmy prawdziwie długowieczną nawierzchnię. Bylibyśmy w tej dziedzinie w czołówce światowej (a może nawet liderem, nie jest znane dotychczas praktyczne zastosowanie tej konstrukcji poza literaturą).

12.2 Zalecenia doboru materiałów i technologii wykonania warstw

- I. Dobór materiałów i technologii powinien być dokonywany wg aktualnych dokumentów lub przepisów technicznych w tym zakresie. Do warstw ścieralnych najbardziej zalecane jest stosowanie mieszanek SMA lub BBTM. Do zalet tych mieszanek wśród cech mających bezpośredni wpływ na trwałość całej konstrukcji należy wymienić: odporność na deformacje trwałe i zmęczenie, odporność na niską temperaturę i czynniki atmosferyczne. Możliwe jest też stosowanie asfaltu porowatego, jako rozwiązania skutecznie obniżającego hałas drogowy. Takie warstwy ścieralne są stosowane w wielu krajach, w tym np. na autostradach w Holandii. W Polsce dopiero zbierane są pierwsze doświadczenia w tej technologii. Konieczne jest przestrzeganie specyficznych zasad projektowania, wykonania i utrzymania. Właściwe utrzymanie tego rodzaju nawierzchni jest nie tylko istotne z punktu ich właściwości obniżających hałas i trwałości, ale przede wszystkim z punktu widzenia bezpieczeństwa w warunkach zimowych.

- II. Warstwa podbudowy i wiążąca powinna zostać wykonana z mieszanek typu AC WMS, jako mieszanek o zwiększonej odporności na zmęczenie i koleinowanie. Mieszanka tego typu projektowana jest metodą funkcjonalną, a więc jej właściwości są oceniane zaawansowanymi metodami badawczymi, które w sposób bezpośredni symulują warunki i mechanizmy obciążenia na drodze. Dobre, podwyższone właściwości uzyskiwane są poprzez odpowiedni dobór składu mieszanki. Uziarnienie jest tak dobierane, aby przy stosunkowo niskiej zawartości próżni wprowadzona została dość duża ilość asfaltu. Dzięki temu mieszanka ACWMS charakteryzuje się większą trwałością zmęczeniową niż typowe betony asfaltowe do warstwy wiążącej i podbudowy. Odporność na deformacje trwałe i sztywność są zapewnione dzięki zastosowaniu twardszych asfaltów lub polimeroasfaltów. Mieszanka ACWMS jest od około 10 lat stosowana w Polsce. W ostatnich latach coraz częściej stosowana przez projektantów. Zalety i przydatność do stosowania w naszych warunkach zostały również potwierdzone w pracach badawczych na zlecenie GDDKiA [16] oraz międzynarodowym projekcie współfinansowanym przez UE pt. „SPENS”[17]. Obecnie trwają prace nad nowymi Ogólnymi Specyfikacjami Technicznymi, które będą obejmować również ten rodzaj betonu asfaltowego. Prawdopodobnie będą zawierały one zmiany w doborze asfaltów i wymaganiach wobec mieszanek mineralno-asfaltowych. Planowane jest wycofanie asfaltu 20/30 ze stosowania w warstwie wiążącej, a pozostawienie jedynie polimeroasfaltów. Ma to zwiększyć odporność mieszanki na pękanie niskotemperaturowe i ograniczyć ryzyko wystąpienia spękań termicznych w konstrukcji. Nie wyklucza się również wprowadzenia wymagań wobec odporności niskotemperaturowej (badanie metodą TSRST wg PN-EN 12697-46). Zmiany te są efektem szerokiej dyskusji w związku z masowymi spękaniami termicznymi, jakie pojawiły się ostatniej zimy na budowanych autostradach i drogach ekspresowych. Ryzyko podobnych uszkodzeń będzie oczywiście również mniejsze, jeżeli będą przestrzegane podstawowe zasady sztuki budowlanej, tj. unikania pozostawiania konstrukcji bez warstwy ścieralnej na okres zimowy, dobrą jakość wykonania warstw, odpowiednie wykonanie złączy technologicznych, dobre połączenie międzywarstwowe itd.
- III. W nowych konstrukcjach nawierzchni drogowych przeznaczonych do dużego ruchu i obciążenia należy projektować nawierzchnię z dwuwarstwowym układem z mieszanek AC WMS – wiążąca i podbudowa. Jest to nie tylko bardziej efektywne pod względem trwałości zmęczeniowej konstrukcji, ale również z uwagi na szczelność mieszanki, a w konsekwencji dobrej odporności na działanie wody. Nie należy stosować układu warstw, w którym pomiędzy warstwami szczelnymi występuje warstwa klasycznego betonu asfaltowego (np. do warstwy wiążącej, o dużej zawartości wolnych przestrzeni) na warstwie podbudowy z ACWMS. W nieuszczelną warstwę może wnikać woda, powodując przyspieszone uszkodzenia nawierzchni.

- IV. Podwyższona sztywność mieszanek AC WMS jest ich zaletą pod warunkiem, że jest kontrolowana. Większa sztywność to lepsza odporność na deformacje trwałe i mniejsze odkształcenia rozciągające w spodzie warstw asfaltowych. Zbyt wysoka sztywność może jednak spowodować większą podatność na pękanie zmęczeniowe i termiczne. Czynnikiem, który „kontroluje” sztywność jest wymagane zmęczeniowe pod warunkiem, że jest ono właściwie postawione. Przykład błędnych zapisów omówiono w punkcie 7.2.
- V. Sukces wykonania nawierzchni długowiecznych jest związany nie tylko z odpowiednim zaprojektowaniem konstrukcji, doбором materiałów i zaprojektowaniem recept. Równie istotna jest wysoka jakość wykonania każdej warstwy. Przykładowo niedogęszczenie dolnych warstw czy zaniżenie zawartości asfaltu powoduje znaczne zmniejszenie trwałości zmęczeniowej, a więc podstawowej zalety tych konstrukcji. Wady warstwy ścieralnej to nie tylko skrócenie okresów między zabiegami utrzymaniowymi (wymianami warstwy ścieralnej), ale również potencjalnie narażenie niżej położonych warstw na oddziaływanie czynników zewnętrznych (np. wody) oraz możliwość propagacji uszkodzeń na warstwy niżej położone (spękania termiczne, spękania zmęczeniowe typu „góra-dół”). Ze względu na trwałość nawierzchni bardzo istotne jest również zapewnienie dobrego połączenia międzywarstwowego.
- VI. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń w Polsce i innych krajach, należy poważnie rozważyć poprawę jakości wykonywanych nawierzchni, wprowadzając do specyfikacji technicznych dla dróg ekspresowych i autostrad podajnika mieszanki mineralno-asfaltowej do kosza rozkładarki. Zaleca się także wdrożenie technologii warstw kompaktowych, zapewniającej doskonałe połączenie międzywarstwowe warstwy ścieralnej z wiążącą.
- VII. W przypadku konstrukcji półsztywnych oraz wzmocnień, czy poszerzeń szczególną uwagę należy zwrócić na zastosowanie środków zapobiegających spękanom odbitym (siatki).
- VIII. W remontach i przebudowach nawierzchni należy korzystać z rozwiązań, które wzmacniają konstrukcje i zapobiegają propagacji uszkodzeń. W ramach zadania 2 dokonano przeglądu dostępnych siatek zbrojących z podaniem zasad ich stosowania i przeznaczenia.
- IX. Uzyskanie efektu nawierzchni długowiecznej na drogach remontowanych jest znacznie trudniejsze. Wykonanie podbudowy MCE nie gwarantuje uzyskania odpowiedniej trwałości zmęczeniowej, warstwa ta jest zbyt słaba jako podłoże pod warstwy ACWMS. Warstwa MCE z zasady jest bardziej niejednorodna, o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni.
- X. Ważnym elementem w przypadku konstrukcji wzmacnianych, mającym istotny wpływ na długowieczność nawierzchni jest warstwa wyrównawcza. Szczególnie, gdy układana jest

na warstwach zniszczonych o małej nośności. Zgodnie z założeniami klasycznego procesu zmęczenia „z dołu do góry” będzie to miejsce inicjacji spękań zmęczeniowych. W spodzie tej warstwy będą występowały największe odkształcenia rozciągające. Warstwa ta powinna więc zapewnić ochronę przed propagacją uszkodzeń od niżej położonych warstw oraz charakteryzować się bardzo dobrą odpornością zmęczeniową. Stosowanie typowych mieszanek przeznaczonych do warstw wiążących jest w tym względzie nieefektywne. . Sprawdzonym (choć w małej skali - SPENS), bardzo dobrym Lepszym rozwiązaniem jest stosowanie specjalnych warstw przeciwmęczeniowych. Konieczna jest kontynuacja prac w tym zakresie.

12.3 Zalecenia projektowania konstrukcji nawierzchni

Wymiarowanie konstrukcji nawierzchni długowiecznych korzystnie jest przeprowadzać indywidualnie stosując metodę mechanistyczną. Metoda ta została użyta w opracowaniu konstrukcji nawierzchni z mieszankami ACWMS zamieszczonymi z Zeszycie 70 [6], konstrukcji zaprojektowanych w ramach zadania 3 oraz na potrzeby analizy trwałości odcinków doświadczalnych. W sprawozdaniu z zadania 3 przedstawiono szczegółowo założenia tej metody, schemat postępowania, podano typowe wartości parametrów materiałowych i wytrzymałościowych oraz kryteria obliczania trwałości nawierzchni.

Projektowanie nawierzchni można również przeprowadzać metodą mechanistyczno-empiryczną MEPDG opracowaną w Stanach Zjednoczonych. Równolegle trwają prace nad przystosowaniem jej do polskich warunków i potrzeb (projekt realizowany w IBDiM na zlecenie GDDKiA). Metoda ta została również użyta w projekcie nowelizacji Katalogu Typowych Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych opracowywanym przez Politechnikę Gdańską. MEPDG daje możliwość znacznie szerszej oceny trwałości konstrukcji niż metoda mechanistyczna, w tym odporności na deformacje, pękanie niskotemperaturowe i zmęczenie „od góry do dołu”. Oprogramowanie wymaga jednak od projektanta bardzo szerokiej wiedzy, konieczne są też szczegółowe dane klimatyczne i materiałowe. Może to stanowić w pewnym stopniu barierę w jej upowszechnieniu wśród projektantów.

12.4 Scenariusze utrzymania nawierzchni

Nawierzchnie długowieczne projektowane są na okres od 30 do 50 lat. Jest to okres, w którym nawierzchnia powinna zachować swoją nośność bez konieczności wzmocnienia. Utrzymaniu podlega jedynie warstwa ścieralna, które polega na naprawach bieżących oraz okresowych wymianach. Wszelkie uszkodzenia w postaci pęknięć lub ubytków powinny być możliwie szybko naprawiane poprzez uszczelnianie lub remonty cząstkowe. W ten sposób zatrzymana będzie dalsza degradacja warstwy ścieralnej, ale również zabezpieczenie niżej położonych warstw przed zniszczeniem. Niezależnie od zabiegów bieżących należy

przewidywać okresową wymianę warstwy ścieralnej. Przyjmuje się, że średnia przeciętna trwałość szczelnej warstwy ścieralnej wynosi od 8 do 12 lat, trwałość asfaltu porowatego jest nieco mniejsza.

13 Podsumowanie pracy

Celem tematu było opracowanie zaleceń w zakresie długowiecznych nawierzchni asfaltowych. Przeprowadzono przegląd doświadczeń światowych w tym zakresie. Na tej podstawie wskazano, że dobrym rozwiązaniem stosowanie mieszanek typu ACWMS. Przeprowadzono obliczenia, na podstawie których podano grubości warstw asfaltowych ACWMS do konstrukcji projektowanych na 30, 40 i 50 lat dla różnych kategorii ruchu.

Pierwotnie w planie pracy przewidziane było wykonanie drogi testowej w ciągu jednej z budowanych dróg krajowych. Planowano wykonanie wielu odcinków z różnymi technologiami i materiałami, które później miały być poddane badaniom i obserwacji.

W związku z problemami formalnymi i brakiem możliwości wykonania drogi testowej, na której miały być wykonane odcinki nawierzchni o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych, program pracy został zmieniony. W miejsce budowy drogi testowej wykonano ocenę nawierzchni drogowych istniejących, które potencjalnie mogą spełniać kryteria nawierzchni długowiecznych. Biorąc pod uwagę wnioski płynące z analizy doświadczeń zagranicznych i krajowych przedstawione we wcześniejszych zadaniach zdecydowano wybrać odcinki dróg wykonane z zastosowaniem betonu asfaltowego o wysokim module sztywności. Mieszanka ACWMS jest od około 10 lat stosowana w Polsce. W tym czasie powstawały kolejne wersje zaleceń projektowania opracowywane przez IBDiM, jak również przeprowadzano próby bezpośredniego wdrażania technologii francuskiej EME (oddział Wielkopolski GDDKiA). Przygotowano ankietę, która pozwoliła zebrać informacje o nawierzchniach z ACWMS w Polsce oraz wytypować 8 odcinków do dalszych badań i analiz. Przeprowadzono analizę dostępnych dokumentów takimi jak projekty konstrukcji, recepty na mieszanki mineralno-asfaltowe, wyniki badań kontrolnych i opinie laboratoryjne. Przeprowadzono badania diagnostyczne nawierzchni, w tym rozpoznanie warstw konstrukcyjnych georadarem, badania nośności oraz inwentaryzację uszkodzeń metodą MFV. Dokonano obliczeń trwałości nawierzchni na podstawie danych z dokumentacji oraz przeprowadzonych badań. Na podstawie analizy dokumentów, wykonanych badań oraz obliczeń dokonano oceny trwałości odcinków doświadczalnych. Wskazano odcinki, które potencjalnie mogą spełniać założenia nawierzchni długowiecznych. Na koniec sformułowano ogólne zalecenia w zakresie doboru materiałów, konstrukcji, metody projektowania, technologii wykonania i utrzymania nawierzchni.

Nawierzchnie długowieczne wymagają nie tylko odpowiedniego projektowania, doboru warstw konstrukcyjnych, odpowiednich materiałów i technologii, ale również bardzo dobrego wykonania i odpowiedniego utrzymania w okresie eksploatacji. Dopiero spełnienie tych wszystkich warunków może dać efekt nawierzchni długowiecznej.

Zrealizowana praca nie wyczerpuje oczywiście wszystkich zagadnień związanych z nawierzchniami długowiecznymi. Badania na odcinkach doświadczalnych powinny być cyklicznie powtarzane w najbliższych latach w celu obserwacji postępowania procesu degradacji. Nie należy również rezygnować z idei wybudowania drogi testowej. Badania w wielkiej skali na torach badawczych czy odcinkach testowych są podstawą do rozwoju metod projektowania i technologii drogowych. Coraz więcej krajów posiada takie możliwości. . W Polsce możliwe jest wykonanie drogi testowej i przeprowadzenie systematycznych badań, również z wykorzystaniem aparatu HVS (Heavy Vehicle Simulator) wypożyczonego z jednego z krajów europejskich (kupno tego kosztownego aparatu jest na razie zbyt ryzykowne w Polsce).

W kontekście planowania kolejnych prac badawczych należy wskazać potrzebę kontynuacji prac nad warstwą przeciwmęczeniową, która jest istotnym elementem w koncepcji nawierzchni długowiecznych. Może być również wykorzystana w budowie i remontach konwencjonalnych konstrukcji nawierzchni.

Bibliografia

- 1 Sybilski D., Bańkowski W. i zespół: „Temperatura równoważna nawierzchni asfaltowej ze względu na zmęczenie w polskich warunkach klimatycznych”, Drogownictwo 6/2004
- 2 Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych – IBDiM, GDDP, Warszawa, 2001
- 3 Opinia laboratoryjna dotycząca robót drogowych wykonanych w ramach kontraktu nr 514, GDDKiA, Białystok 2005
- 4 Optymalizacja zamiennej konstrukcji nawierzchni – Droga krajowa nr 8 odcinek Sztabin-Kolnica km 717+892-723+236, Tiltra, Białystok 2004
- 5 Opinia technologiczna dotycząca robót wykonanych na kontrakcie „Rozbudowa drogi krajowej nr 8 Warszawa-Katrynka-Sochonie od km 648+117,00 do km 645+548,00 wraz ...”, GDDKiA, Białystok 2010
- 6 Bańkowski W., Mularzuk R., Sybilski D.: „Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie”, Zeszyt 70, IBDiM 2007.
- 7 Bańkowski W., Mularzuk R., Sybilski D.: „Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie”, Zeszyt 63, IBDiM 2002
- 8 „Zestawienie wyników badań wykonanych przy realizacji kontraktu nr PL 95/REH (...) odcinek Hadykówka”, GDDKiA Rzeszów, styczeń 2004.
- 9 Dokumentacja techniczna „Remont drogi krajowej nr 9 Radom – Barwinek, (..) odcinek od km 154+100 do km 158+000 Hadykówka”, Klotoida, Kraków 2003
- 10 „Zestawienie wyników badań wykonanych przy realizacji kontraktu nr PL 169/REH (...) odcinek (..) Zwierzycza - Boguchwała”, GDDKiA Rzeszów, maj 2006.
- 11 Dokumentacja techniczna „Remont drogi krajowej nr 9 Radom – Barwinek, (..) odcinek od km 154+100 do km 158+000 Hadykówka”, Klotoida, Kraków 2003
- 12 „Opinia laboratoryjna – wzmocnienie nawierzchni drogi krajowej nr 2 na odcinku od km 410+012 do km 420+332 (...)”, GDDKiA, Warszawa, listopad 2007
- 13 „Badania mieszanek mineralno-asfaltowych do warstwy ścieralnej, wiążącej i podbudowy pod kątem sprawdzenia wymagań wg projektu na nawierzchnię do Kontraktu nr 10/REH (..)”, IBDiM 2004
- 14 „Opinia laboratoryjna kontrakt nr 1.7569/K/01/2003 – przebudowa drogi dojazdowej do autostrady A2 (..) w miejscowości Komorniki”, GDDKiA, Poznań, 2004
- 15 „Opinia laboratoryjna Kontrakt nr 46/2005/2006”, GDDKiA Poznań, lipiec 2007
- 16 Sybilski D., Bańkowski W., Horodecka R.: „Wpływ zastosowania betonu o wysokim module sztywności na trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni podatnej lub półsztywnej”, IBDiM 2004
- 17 Bańkowski W., Gajewski M., Sybilski D.: „Looking for fatigue damage on test sections submitted to the accelerated loading test”, ISAP 2010, Nagoya