

TN-256: Weryfikacja i uaktualnienie Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych Zadania 8 : 9

Opracowali:

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski, IBDiM TN

dr inż. Wojciech Bańkowski, IBDiM TN

dr inż. Cezary Kraszewski, IBDiM TGF

mgr inż. Beata Gajewska, IBDiM TGF

dr inż. Bożena J. Wilczek, IBDiM TGF

mgr inż. Tomasz Mechowski, IBDiM TN

Prof. dr hab. inż. Kazimierz Kłosek, Politechnika Śląska

dr inż. Marcin Grygierek, Politechnika Śląska

dr hab. inż. Adam Zofka, prof. IBDiM

Kierownik Zakładu Technologii Nawierzchni

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, czerwiec 2013

Spis treści

1	Wprowadzenie	3
2	Zadanie 8: Aktualizacja i uzupełnienie Załączników A, B, C, D, E, F	3
2.1	Równość podłużna i poprzeczna, właściwości przeciwpoślizgowe, ugięcia nawierzchni	4
2.2	Ocena współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej.....	4
2.3	Uszkodzenia powierzchniowe nawierzchni drogowych	6
2.4	Uszkodzenia poboczy, rowów i odwodnienia powierzchniowego nawierzchni	6
2.5	Grubość warstw wyznaczona metodą radarową.....	6
2.6	Literatura	7
3	Zadanie 9: Weryfikacja przykładów projektowania grubości nakładki według nowego KWiRNPP i MEPDG (Mechanical-Empirical Pavement Design Guide) wraz z ewentualną korektą Katalogu	7
3.1	Ruch drogowy	7
3.2	Warunki klimatyczne.....	9
3.3	Dane materiałowe.....	10
3.4	Wyniki scenariuszy MEPDG.....	13
4	Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych – wersja zaktualizowana, projekt 2013 (w załączeniu).....	19

1 Wprowadzenie

W niniejszym sprawozdaniu przedstawiono opracowanie końcowe Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Opracowanie dotyczy aktualizacji i uzupełnienia Załączników (Zadanie 8) oraz weryfikacji projektowania wzmocnienia nawierzchni (grubości nakładki) według nowego KWRNPP oraz metodą MEPDG (Zadanie 9).

2 Zadanie 8: Aktualizacja i uzupełnienie Załączników A, B, C, D, E, F

Dokonano aktualizacji i weryfikacji Załączników z poprzedniej wersji Katalogu. Pozostawiono niektóre z Załączników bez zmian. Wprowadzono nowe Załączniki B 1 – B 4, dotyczące metod badania gruntów i podłoża nawierzchni. Dokonano także aktualizacji i uzupełnienia Załączników dotyczących metod oceny stanu nawierzchni.

Wprowadzono Załącznik procedury badania zawartości smoły w asfalcie w celu zapewnienia bezpieczeństwa stosowania mma z recyklingu w nowych mieszankach.

Zrezygnowano z Załączników dotyczących nieaktualnych metod badań odporności na koleinowanie mieszanek mineralno-asfaltowych oraz opisów metod oznaczania modułu sztywności mma. Zmiany te wynikają ze zmian w normach europejskich i polskich.

Zrezygnowano także z listy programów komputerowych projektowania nawierzchni.

Zrezygnowano także z serii Załączników F poprzedniego Katalogu. Uznano, że opis wcześniej opisanych metod napraw nawierzchni w części jest nieaktualny, bądź metody badań są powszechnie znane.

Poniżej podano spis Załączników w obecnej wersji Katalogu:

- Załącznik A Wyznaczenie ruchu całkowitego
- Załącznik B 1 Definicje rodzajów gruntów oraz sposób wyznaczania poszczególnych frakcji
- Załącznik B 2 Procedura wykonania badania kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR z zastosowaniem dynamicznej sondy stożkowej DCP na podstawie ASTM D6951/D6951M-09
- Załącznik B 3 Procedura wykonania badania modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą VSS na podstawie PN-S-02205:1998
- Załącznik B 4 Procedura wykonania badania dynamicznego modułu odkształcenia evd nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą dynamiczną na podstawie ZTVE - StB 941, ZTVA - StB 972, ZTVT - StB 953, NGT 394
- Załącznik C Badanie obecności smoły w nawierzchni
- Załącznik D 1 Badanie równości podłużnej nawierzchni
- Załącznik D 2 Badanie równości poprzecznej nawierzchni
- Załącznik D 3 Badanie właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni
- Załącznik D 4 Badanie ugięcia nawierzchni
- Załącznik D 5 Badanie uszkodzeń powierzchniowych
- Załącznik D 6 Ocena stanu poboczy, rowów, odwodnienia powierzchniowego
- Załącznik D 7 Grubość warstw wyznaczona metodą radarową
- Załącznik D 8 Indeks spękań poprzecznych nawierzchni półsztywnej

- Załącznik D 9 Współpraca w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej
- Załącznik D 10 Warunki podparcia nawierzchni w obrębie pęknięcia poprzecznego.

Poniżej przedstawiono uzasadnienie zmian treści niektórych załączników.

2.1 Równość podłużna i poprzeczna, właściwości przeciwpoślizgowe, ugięcia nawierzchni

W zaktualizowanych procedurach dotyczących równości podłużnej i poprzecznej nawierzchni drogowych uwzględniono wprowadzenie w 2012 roku systemu DSN (Diagnostyka Stanu Nawierzchni) [1], który ma zastąpić funkcjonujący dotychczas system SOSN (System Oceny Stanu Nawierzchni). Zmiany dotyczą przede wszystkim: zasad wykonywania pomiarów, zwiększenia częstotliwości badań, zwiększenia dokładności pomiarów, a także w przypadku równości poprzecznej ustalenia wielkości bazy pomiarowej (min. 3,4 m).

W procedurze dotyczącej oceny właściwości przeciwpoślizgowych wprowadzono kilka istotnych zmian:

- opisano stosowaną obecnie oponę testową, zgodnie z nowymi zapisami ustalonymi w grupie roboczej ds. OST (Ogólne Specyfikacje Techniczne)
- ustalono warunki termiczne wykonywania pomiarów współczynnika tarcia
- ustalono prędkość pomiarową
- zmieniono zapis dotyczący toru pomiarowego (zgodnie z ustaleniami OST)
- zwiększono częstotliwość pomiarów

Dla tych trzech procedur ustalono, że wyniki pomiarów zebranych w ramach DSN można traktować jako aktualne, jeśli zostały zebrane nie wcześniej niż rok przed opracowywaniem projektu wzmocnienia lub remontu nawierzchni.

W procedurze dotyczącej pomiarów ugięć uszczegółowiono zasady wykonywania badań ugięciomierzem FWD oraz wprowadzono zasady wykonywania pomiarów ugięciomierzem Benkelmana na podstawie normy BN-70/8931-06 [2].

2.2 Ocena współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej

W 2005 roku IBDiM wykonał pracę badawczą [3], której celem była weryfikacja dotychczas stosowanej procedury oceny stopnia współpracy nawierzchni w obrębie pęknięcia odbitego, opisanej w Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych.

Do badań wytypowano 16 odcinków, na których występowały pęknięcia odbite lub wykonywano prace naprawcze nawierzchni ze spękaniem odbitymi. Na wytypowanych odcinkach badawczych przeprowadzono ocenę wizualną stanu i liczby uszkodzeń występujących na powierzchni drogi, głównie spękań odbitych i na tej podstawie obliczono tzw. indeks spękań „IS”. Wykonano również badania ugięć ugięciomierzem dynamicznym FWD w celu wyznaczenia wskaźnika stopnia współpracy płyt „k” oraz wskaźnika stopnia podparcia podbudowy sztywnej na podłożu „s”. Pobrano odwierty z badanych nawierzchni w celu wykonania badań materiałowych: oznaczenia modułu sztywności warstwy lub warstw asfaltowych i zbadania wytrzymałości na ściskanie podbudowy.

Na podstawie przeprowadzonych badań, obserwacji postępu degradacji spękanych nawierzchni na odcinkach badawczych oraz analizy wartości przyjętych w ocenie parametrów, sformułowano następujące wnioski:

1. przystępując do naprawy spękań odbitych konieczne jest określenie, który rodzaj mechanizmu pęknięcia może wystąpić w nowych warstwach asfaltowych, tj. jaki jest stan podbudowy i podłoża, czy jest współpraca między płytami i czy nie grozi wystąpienie ścinania w pęknięciu,
2. w wypadku niebezpieczeństwa pojawienia się ścinania w strefie pęknięcia, konieczna jest naprawa podbudowy i podłoża, aby nowe warstwy asfaltowe miały w sąsiedztwie pęknięcia odpowiednie podparcie,
3. analiza współpracy płyt w obrębie pęknięcia (wyznaczenie wskaźnika k) na podstawie pomiarów FWD z różnymi ustawieniami geofonów w stosunku do pęknięcia pozwala na graficzne przedstawienie jakości połączenia dwóch części nawierzchni oddzielonych pęknięciem; zarówno dobra jak i zła współpraca płyt daje w pomiarach ugięć bardzo charakterystyczne obrazy: dla wysokich wartości współczynnika k linie wyznaczone przez ugięcia poszczególnych geofonów są ciągłe natomiast dla niskich wartości k – niedostateczne połączenie płyt widać wyraźny „uskok” na pęknięciu,
4. analizując wyniki ugięć nawierzchni przedstawione na rysunkach można wyznaczyć graniczną wartość współczynnika k , dla której współpraca płyt jest wystarczająca; oscyluje ona od wartości k 0,65 do 0,75,
5. wartości współczynnika k wyznaczone z dwóch pierwszych geofonów (procedura standardowa wg Katalogu [4]) są bardzo zbliżone do wartości k wyznaczonych z porównania ugięć pod innymi geofonami (procedura rozszerzona zastosowana w omawianej pracy badawczej); można więc uznać, że metodyka pomiarów przy ocenie współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej, wykonywana wg metody opisanej w Katalogu [4] (Załącznik C, procedura 6) jest właściwa,
6. skorygowania wymagają zapisy w procedurze 6 dotyczące interpretacji obliczonych wartości k ; na podstawie wyników pracy badawczej proponuje się następujące zapisy:
 - a. $k < 0,70$ - oznacza brak współpracy między płytami,
 - b. $0,7 \leq k < 0,95$ - oznacza wystarczające przekazywanie obciążeń z jednej płyty na drugą,
 - c. $k \geq 0,95$ - oznacza pełną współpracę płyt,
7. prawie wszystkie uzyskane w badaniach średnie wartości współczynnika s są większe niż 1,4; prawdopodobną przyczyną tego zjawiska jest fakt, że oceniane odcinki charakteryzują się długimi okresami eksploatacji, stąd większa degradacja podłoża w obrębie spękań (przenikanie wody i środków odladzających przez pęknięcia),
8. wysokie wartości współczynników s świadczą o znacznych różnicach między wartościami ugięć na płytach oraz na krawędziach spękań; wskazuje to na konieczność projektowania wzmocnień nawierzchni na podstawie pomiarów ugięć na pęknięciach lub naprawy nawierzchni w obrębie spękań metodami pozwalającymi na uzyskanie właściwego podparcia płyt (np. metodą iniekcji zaczynem cementowym),
9. nie stwierdzono wyraźnej korelacji pomiędzy wartościami k a sztywnością konstrukcji nawierzchni, którą charakteryzuje moduł zastępczy $E_{zast.}$; „podatność” nawierzchni, zależna od rodzaju i stanu podbudowy sztywnej nie jest więc głównym powodem różnic w wielkości ugięć po obu stronach pęknięcia,
10. wyniki analiz wskazują również na brak zależności współczynnika k od indeksu spękań IS ; obserwacje te skłaniają do wniosku, że badania współpracy płyt w pęknięciu odbitym należy wykonywać na wszystkich występujących na ocenianym odcinku pęknięciach,

11. wartości współczynników k uzyskane z wyników pomiarów w okresie wiosennym są o 5 – 17% wyższe od uzyskanych w pomiarach w niskich temperaturach; wynika to prawdopodobnie z mniejszej rozwarości rys w wyższej temperaturze oraz większej podatności nawierzchni w okresie wiosennym (większe ugięcia); skłania to do zalecenia wykonywania pomiarów ugięć na pęknięciach w niskich temperaturach – wówczas można będzie na podstawie badań wykrywać wszystkie miejsca, w których następuje ścinanie w obrębie pęknięć poprzecznych.

Opracowane w pracy badawczej kryteria oceny warunków współpracy płyt wykorzystano w Załączniku C, procedurze Nr 9.

2.3 Uszkodzenia powierzchniowe nawierzchni drogowych

W dotychczasowym Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych nie było procedury dotyczącej uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni. W związku z wprowadzeniem w 2012 roku nowego systemu DSN uznano, że zasady oceny uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni opisane w tym systemie są na tyle uniwersalne, że mogą stanowić podstawę do stworzenia odpowiedniej procedury w Załączniku C. W procedurze „Uszkodzenia powierzchniowe nawierzchni” opisano:

- zasady prowadzenia rejestracji uszkodzeń
- wymogi jakościowe dla urządzeń do rejestracji uszkodzeń (zdjęć nawierzchni)
- zasady identyfikacji uszkodzeń, na podstawie zdjęć nawierzchni
- rodzaje identyfikowanych uszkodzeń

Dla tej procedury ustalono, że wyniki identyfikacji uszkodzeń zebrane w ramach DSN można traktować jako aktualne, jeśli zostały zebrane nie wcześniej niż rok przed opracowywaniem projektu wzmocnienia lub remontu nawierzchni.

2.4 Uszkodzenia poboczy, rowów i odwodnienia powierzchniowego nawierzchni

Jest to kolejna nowa procedura w Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Wykorzystano w niej opracowania [5 i 6], które powstały od czasu poprzedniej wersji Katalogu.

W procedurze „Uszkodzenia poboczy, rowów i odwodnienia powierzchniowego nawierzchni” opisano:

- elementy podlegające ocenie uszkodzeń
- zasady prowadzenia rejestracji uszkodzeń
- zasady oceny stanu odwodnienia nawierzchni

2.5 Grubość warstw wyznaczona metodą radarową

W ostatnich latach coraz częściej grubość warstw konstrukcji nawierzchni drogowych wyznaczana jest metodami radarowymi (GPR). Jest coraz więcej odpowiedniego sprzętu pomiarowego oraz prowadzone są prace badawcze, których wyniki pozwalają na uzyskiwanie lepszej jakości sygnałów radarowych i szersze wykorzystanie tej techniki w badaniach nawierzchni (połączenia międzywarstwowe, spękania w warstwach asfaltowych). Pozyskiwane przy zastosowaniu penetroradarów dane są bardzo dokładne i pozwalają na uzyskanie „ciągłej” informacji o konstrukcji drogi. Stanowią ważny element procesu projektowania wzmocnień nawierzchni, w szczególności

podczas podziału ocenianej drogi na odcinki jednorodne oraz do precyzyjnego obliczania modułów sprężystości i sztywności warstw konstrukcyjnych.

Wykorzystując kilkunastoletnie doświadczenie IBDiM w badaniach radarowych wprowadzono w Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych nową procedurę pt.: „Grubość warstw wyznaczona metodą radarową”. Opisuje ona zasady prowadzenia pomiarów, wykonywania odwiertów kalibracyjnych oraz interpretacji wyników pomiarów GPR. W opracowywaniu procedury wykorzystano m.in. wyniki prac [7, 8 i 9].

2.6 Literatura

- [1] Diagnostyka Stanu Nawierzchni - DSN. GDDKiA Warszawa, 2012
- [2] BN-70/8931-06 Drogi samochodowe. Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym
- [3] T. Mechowski: Weryfikacja zasad oceny stopnia współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej, IBDiM na zlecenie GDDKiA, Warszawa 2005
- [4] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, Warszawa 2001
- [5] System oceny stanu poboczy i odwodnienia dróg (SOPO), GDDKiA Warszawa 2008
- [6] Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania odwodnienia dróg, oraz przystanków komunikacyjnych, GDDKiA Warszawa 2009
- [7] J. Sudyka: Przeprowadzenie wdrożeniowych pomiarów konstrukcji nawierzchni drogowych na poziomie sieci, IBDiM na zlecenie GDDKiA, Warszawa 2006.
- [8] J. Sudyka: Zasady prowadzenia sieciowych pomiarów konstrukcji nawierzchni, IBDiM na zlecenie GDDKiA, Warszawa 2006.
- [9] R. Statkiewicz: Opis technologii przetwarzania plików pomiarowych warstw, Warszawa 2006.

3 Zadanie 9: Weryfikacja przykładów projektowania grubości nakładki według nowego KWiRNPP i MEPDG (Mechanical-Empirical Pavement Design Guide) wraz z ewentualną korektą Katalogu

MEPDG jest nowym narzędziem do projektowania konstrukcji nawierzchni drogowych. W niniejszym projekcie MEPDG został wykorzystany w celach porównawczych do zaprojektowania grubości nakładki według przykładu zamieszczonego w KWiRNPP. Moduł MEPDG dotyczący projektowania nakładek wymaga szeregu danych wejściowych, które zostały tak przygotowane aby jak najbardziej odpowiadały danym zawartym w przykładzie. Poniżej przedstawiono najważniejsze dane wejściowe oraz związane z nimi założenia typowe dla MEPDG.

3.1 Ruch drogowy

W MEPDG przyjęto jeden poziom obciążenia ruchem drogowym, który został przeliczony z danych zawartych w przykładzie KWiRNPP. Z klasyfikacji pojazdów ciężarowych usunięto pojazdy klasy FHWA 11, 12 oraz 13, które są niedopuszczone do ruchu na drogach w Polsce. Założony rozkład pozostałych klas pojazdów ciężarowych jest pokazany w tablicy 1.

Tablica 1 Rozkład klas pojazdów ciężarowych dla MEPDG

Klasa FHWA	Rozkład w %	Kategoria wg KTKNPIP
4	3.5	A
5	30	C
6	26.5	C
7	30	C
8	5	C + P
9	2.5	C + P
10	2.5	C + P

W celu przeliczenia ruchu SRRD (z KWRNPP) na ruch AADTT (w MEPDG) niezbędne było przyjęcie szeregu założeń, które są przedstawione odpowiednio w tablicy 2 i 3. Pozostałe założenia (takie jak rozkład godzinowy i miesięczny pojazdów, widma osi na pojazd, rozkłady osi) przyjęto z domyślnymi wartościami MEPDG. Ostateczne poziom obciążenie ruchem przyjęty w MEPDG wyniósł 2672 pojazdów (AADTT).

Tablica 2 Założenia i dane wejściowe dotyczące obciążenia ruchem w MEPDG

Liczba pasów na projektowanym kierunku ruchu	1
Udział pojazdów ciężarowych na projektowanym kierunku ruchu	50%
Udział pojazdów ciężarowych na projektowany pasie ruchu	100%
Prędkość operacyjna pojazdów (ciężarowych)	35 mph
Wskaźniki wzrostu ruchu	4.5%
Projektowana szerokość pasa ruchu	11.7ft
Okres projektowy	20 lat

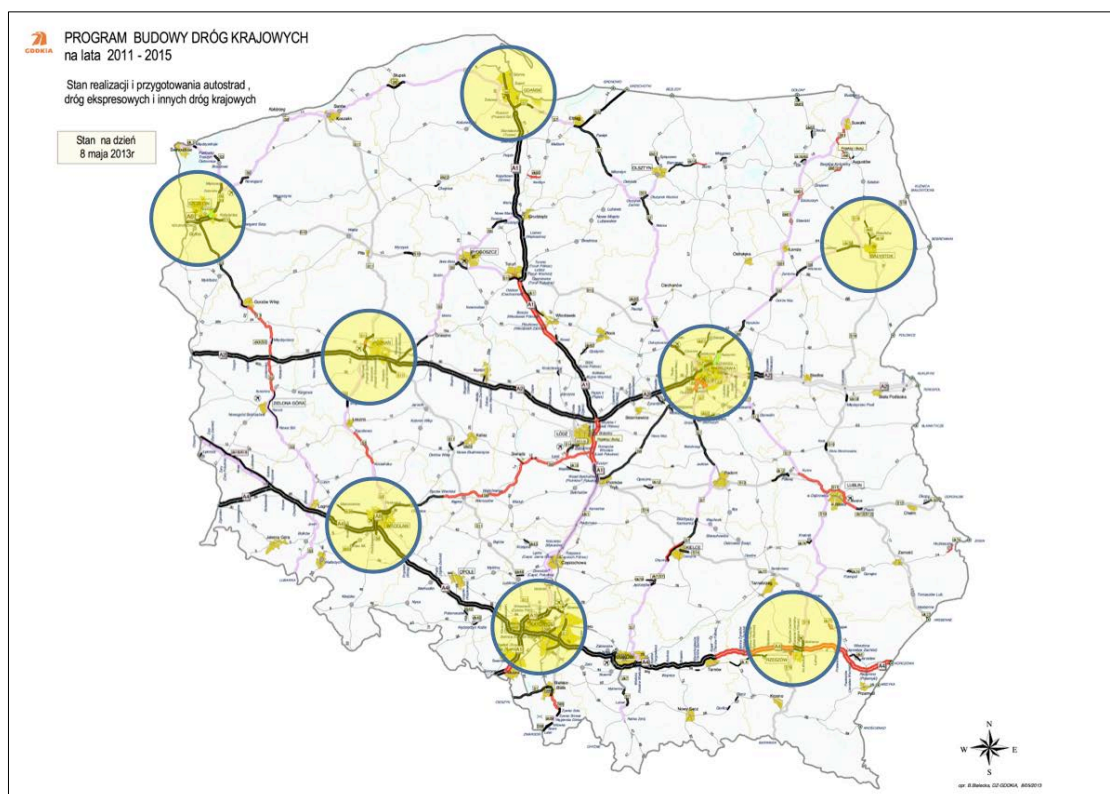
Tablica 3 Założenia przyjęte z KWRNPP

Współczynnik przeliczeniowy pojazdów klasy C r_C	0,5
Współczynnik przeliczeniowy pojazdów klasy C + P r_{C+P}	1,80
Współczynnik przeliczeniowy pojazdów klasy A r_A	1,20
Współczynnik obliczeniowy pasa ruchu f_1	0,5
Współczynnik szerokości pasa ruchu f_2	1
Współczynnik pochylenia niwelety f_3	1
Projektowana szerokość pasa ruchu	3,5 m
Okres projektowy	20 lat
Wskaźniki wzrostu ruchu	4.5 %

3.2 Warunki klimatyczne

W scenariuszach MEPDG uwzględniono 8 lokalizacji w Polsce, które zostały przedstawione na rysunku 1. Lokalizacje zostały tak dobrane aby odpowiadały typowym warunkom klimatycznym występującym w Polsce.

Do każdej z lokalizacji w Polsce została odpowiednio dobrana stacja pogodowa z USA o na podstawie przeanalizowanych historycznych danych pogodowych. Wykaz lokalizacji w Polsce (według głównego miasta) i stacji z USA znajduje się w tablicy 4.



Rysunek 1. Lokalizacje scenariuszy MEPDG dla warunków w Polsce

Tablica 4 Lokalizacje scenariuszy i odpowiadające stacje pogodowe w USA

Lokalizacja	Oznaczenie	Stacja pogodowa w USA	Liczba miesięcy z danymi klimatycznymi
Gdańsk	GDA	Oshkosh, WI	116
Szczecin	SZC	Quincy, IL	66
Poznań	POZ	Evanston, WY	79
Białystok	BIA	Redwood Falls, MN*	67
Warszawa	WAR	Rock Springs, WY	58
Wrocław	WRO	St. Louis, IL	105
Katowice	KAT	Cheyenne, WY	116
Rzeszów	RZE	Ashland, WI	89

3.3 Dane materiałowe

W celu przeprowadzania symulacji MEPDG niezbędne było przyjęcie dodatkowych założeń dotyczących materiałów w istniejącej konstrukcji jak również dla warstw nakładki. Tablica 5 prezentuje założony skład istniejących warstw asfaltowych, tzn. warstwa ścieralna 4 cm SMA 8 D70 KR2 oraz warstwa wiążąca 10 cm AC16 D50 KR2. Tablica 6 prezentuje założony skład nowych warstw asfaltowych, tzn. 4 cm SMA 8 50/70 oraz 5 cm AC 16 W 35/50.

Tablica 5. Dane materiałowe dla istniejących warstw asfaltowych

Sito	SMA 8 D70	AC 16 D50
	Przechodzi, %	Przechodzi, %
20	100	100,0
16	100	98,2
12,8	100	88,9
9,6	100,0	79,5
8	97,5	73,4
6,3	41,3	64,9
4	33,1	50,0
2	23,8	32,6
0,85	19,4	21,5
0,42	15,8	15,0
0,3	14,4	12,4
0,18	12,8	8,9
0,15	12,5	8,5
0,075	11,2	6,6
Zawartość asfaltu, % m/m	6,4	5,1
Zawartość asfaltu, % v/v	15,3	12,1
Zawartość wolnych przestrzeni, %	3,1	5,7
Zawartość kruszywa, % v/v	81,6	82,2
Penetracja, 25°C	72	50
PiK, °C	46	54
E, 10C, 10 Hz, MPa	9430	8740
Gęstość objętościowa, g/cm ³	2,452	2,450
Gęstość, g/cm ³	2,375	2,568

Tablica 6. Dane materiałowe nowych warstw asfaltowych

	SMA 8 50/70	AC 16 W 35/50
Sito	Przechodzi, %	Przechodzi, %
22,4		100,0
16		98,5
11,2	100	73
8	96,9	57
5,6	49,9	42,4
4	32,6	
2	24,9	26,3
1,0	19,9	
0,5	15,7	
0,25	13,1	
0,125	12,2	8,2
0,063	11,7	4,5
Zawartość asfaltu, % m/m	6,6	4,1
Zawartość asfaltu, % v/v	16,6	10,3
Zawartość wolnych przestrzeni, %	3,2	4,8
Zawartość kruszywa, % v/v	80,2	84,9
Penetracja, 25°C, 0,1 mm	61	45
PiK, °C	49	55
E, 10C, 10 Hz, MPa	7900	11900
Gęstość objętościowa, g/cm ³	2,520	2,585
Gęstość, g/cm ³	2,603	2,714

Ponadto przyjęto trzy stany istniejącej nawierzchni, tzn. bardzo zły (oznaczenie 1), średni (oznaczenie 3) oraz bardzo dobry (oznaczenie 5), co razem z ośmioma (8) lokalizacjami dało **24 scenariusze MEPDG**. Kryteria klasyfikacji stanu nawierzchni istniejącej wg MEPDG przedstawiono w tablicy 7.

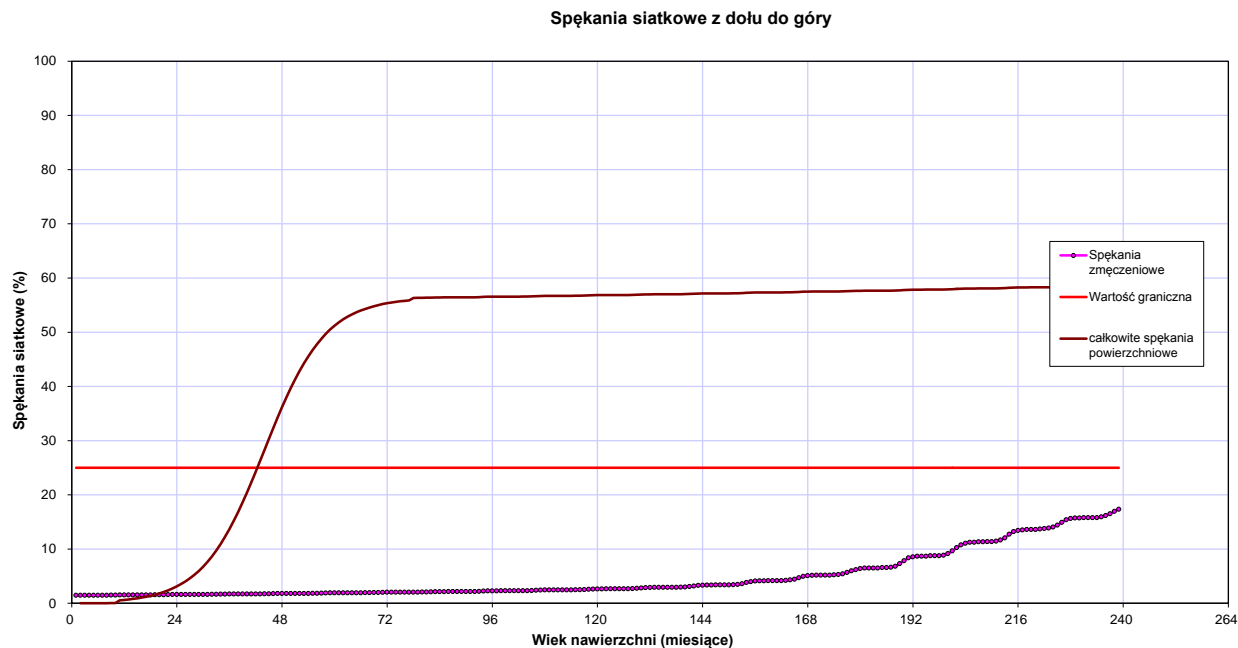
Tablica 7 Rodzaje i poziomy ciężkości uszkodzeń zalecane do określenia stanu konstrukcyjnego nawierzchni obecnie podatnych

Rodzaj uszkodzenia	Kategoria drogi	Obecny poziom uszkodzeń uznany za:		
		Nieodpowiedni (Zły)	Nieznaczny (Zadowolający)	Odpowiedni (Dobry)
Spękania zmęczeniowe, % całkowitej powierzchni pasa ruchu	Międzystanowa, Autostrada	>20	5-20	<5
	Główna	>45	10-45	<10
	Drugorzędna	>45	10-45	<10
Spękania podłużne w śladzie koła, stopa/mila	Międzystanowa, Autostrada	>1060	265-1060	<265
	Główna	>2650	530-2650	<530
	Drugorzędna	>2650	530-2650	<530
Spękania odbite, % całkowitej powierzchni pasa ruchu	Międzystanowa, Autostrada	>20	5-20	<5
	Główna	>45	10-45	<10
	Drugorzędna	>45	10-45	<10
Długość spękań poprzecznych, stopa/mila	Międzystanowa, Autostrada	>800	500-800	<500
	Główna	>1000	800-1000	<800
	Drugorzędna	>1000	800-1000	<800
Średnia maksymalna głębokość koleiny, cale	Międzystanowa, Autostrada	>0,45	0,25-0,45	<0,25
	Główna	>0,6	0,35-0,60	<0,35
	Drugorzędna	>0,8	0,40-0,80	<0,4
Przesunięcia (ściananie), % obszaru śladu koła	Międzystanowa, Autostrada	>10	1-10	-
	Główna	>20	10-20	<10
	Drugorzędna	>50	20-45	<20

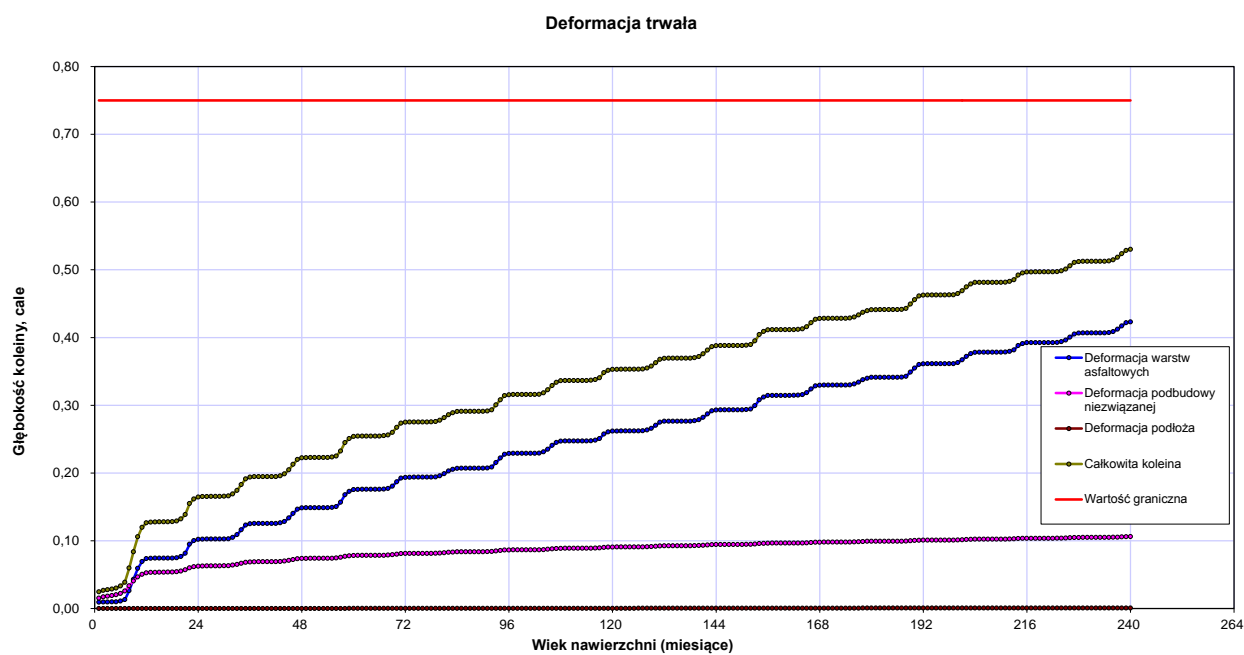
Należy zaznaczyć, że MEPDG jest narzędziem iteracyjnym, tzn. najpierw zakłada się grubość konstrukcji oraz właściwości materiałów a potem sprawdza się zachowanie się takiej nawierzchni w przyjętych warunkach klimatycznych i pod założonym obciążeniem ruchem drogowym. Jeżeli przyjęta konstrukcja nie spełni jednego (lub więcej) z wymaganych kryteriów na końcu okresu projektowego, to należy zmienić konstrukcję poprzez zmianę grubości warstw i/lub własności przyjętych materiałów i ponownie zamodelować zachowanie się nawierzchni. Czynności te należy powtórzyć dopóki nie uzyska się zadowolającego stanu na końcu okresu projektowego.

3.4 Wyniki scenariuszy MEPDG

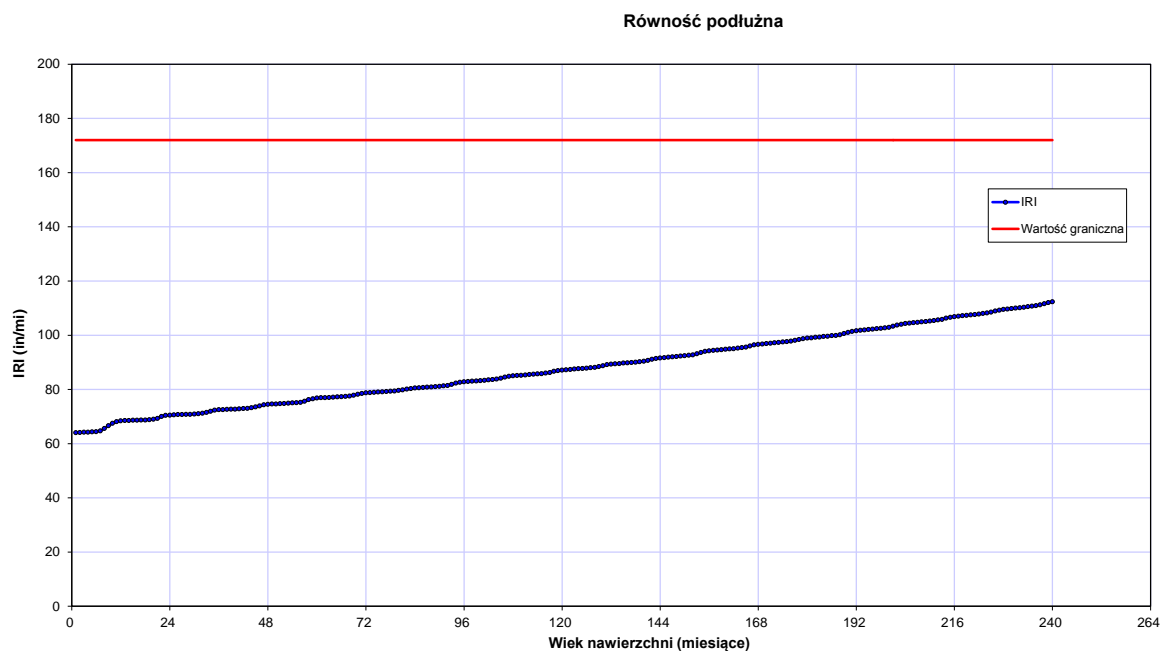
Konstrukcja przyjęta w przykładzie została sprawdzona w 24 scenariuszach w MEPDG. Po przeprowadzeniu każdego scenariusza uzyskano przebieg rozwoju cech nawierzchni w funkcji czasu. Rysunki 2-4 przedstawiają przykładowe przebiegi spękań powierzchniowych (rysunek 2), deformacji trwałych (rysunek 3) oraz równości (rysunek 4).



Rysunek 2. Przykładowy rozwój spękań według symulacji MEPDG

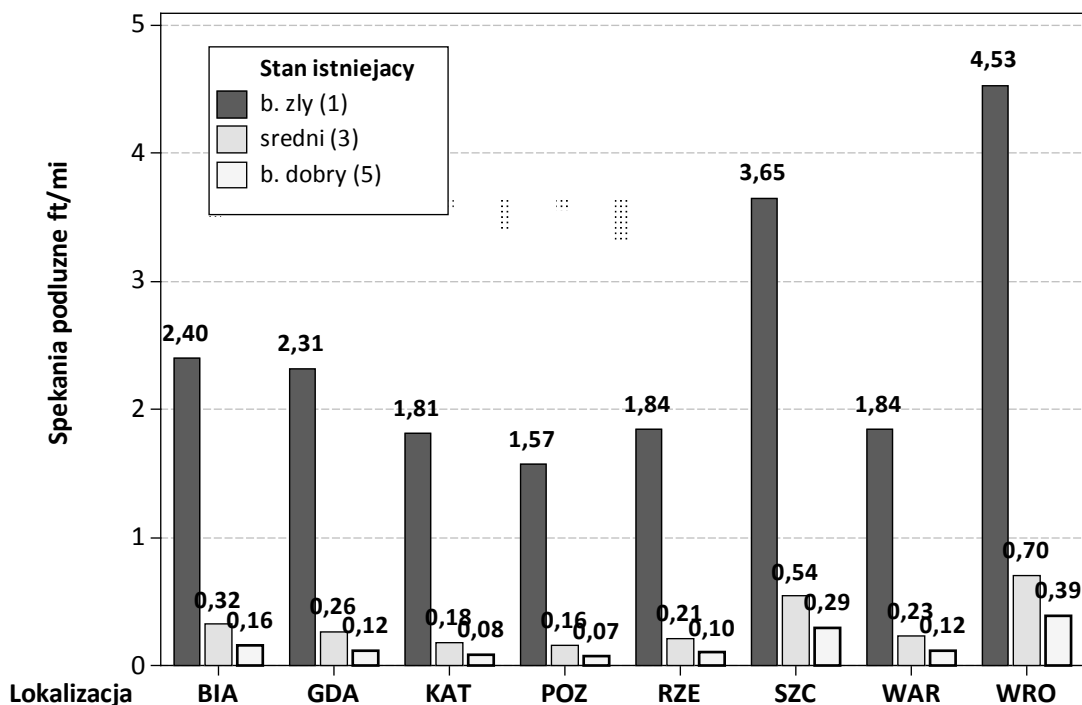


Rysunek 3. Przykładowy rozwój deformacji trwałych według symulacji MEPDG

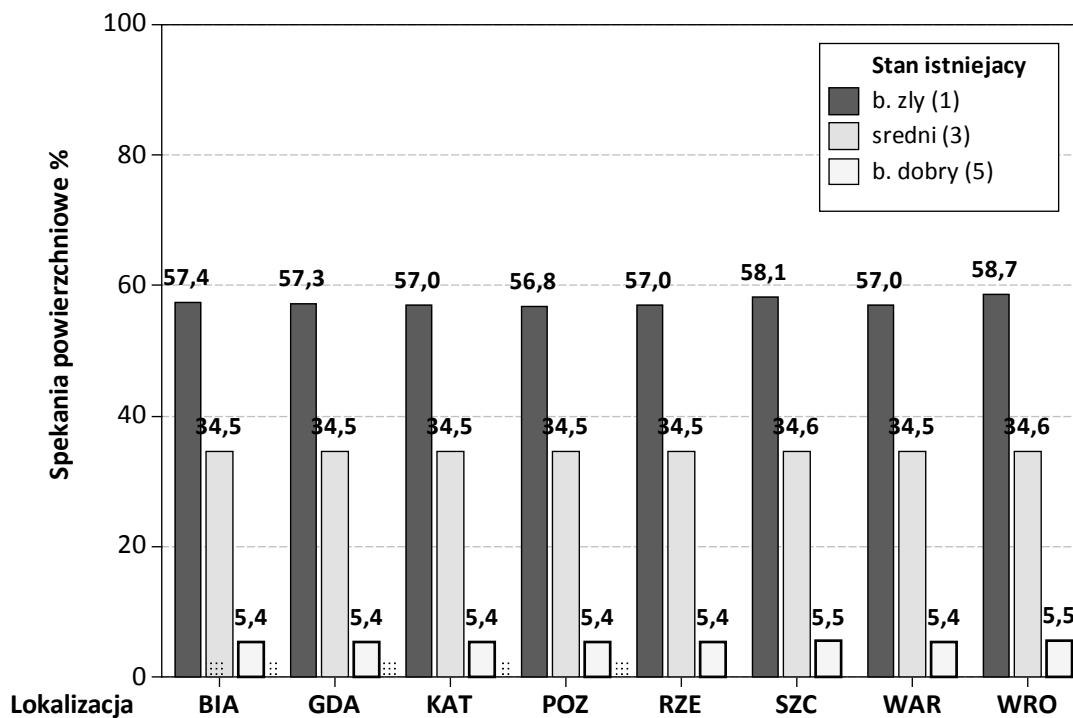


Rysunek 4. Przykładowy rozwój równości podłużnej według symulacji MEPDG

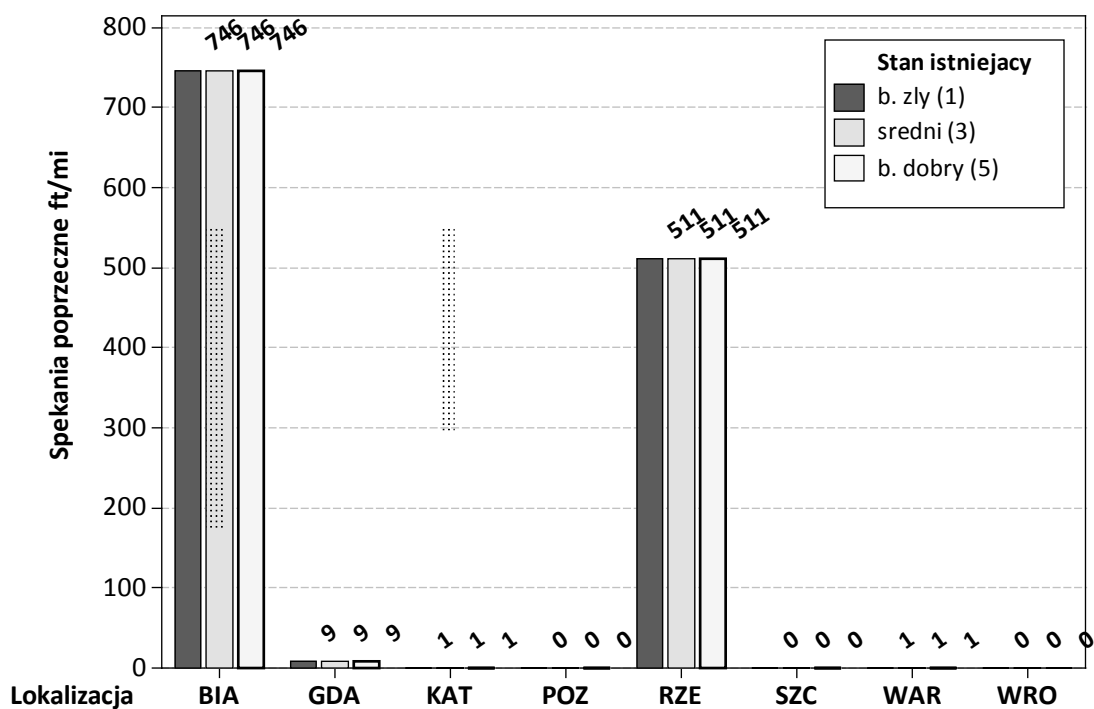
Kolejne rysunki prezentują podsumowanie 24 symulacji MEPDG na koniec okresu projektowego w zakresie głównych cech nawierzchni: spękań podłużnych (rysunek 5), spękań powierzchniowych (rysunek 6), spękań poprzecznych (rysunek 7), deformacji trwałych (rysunek 8) oraz równości podłużnej (IRI) (rysunek 9).



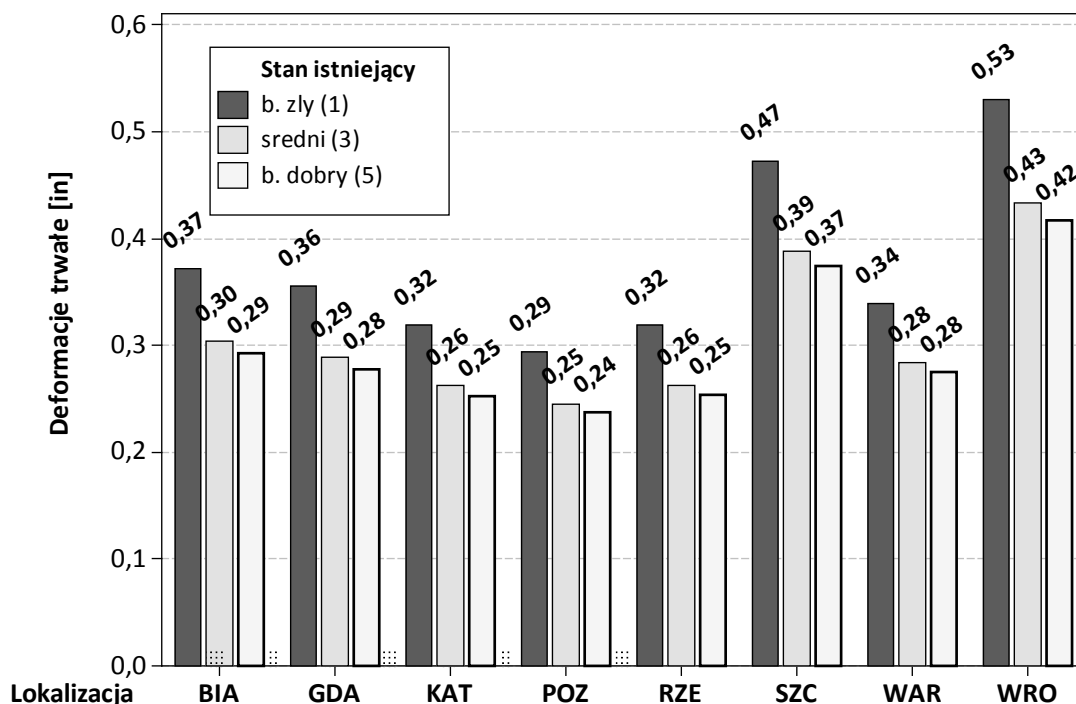
Rysunek 5. Wyniki spękań podłużnych z MEPDG



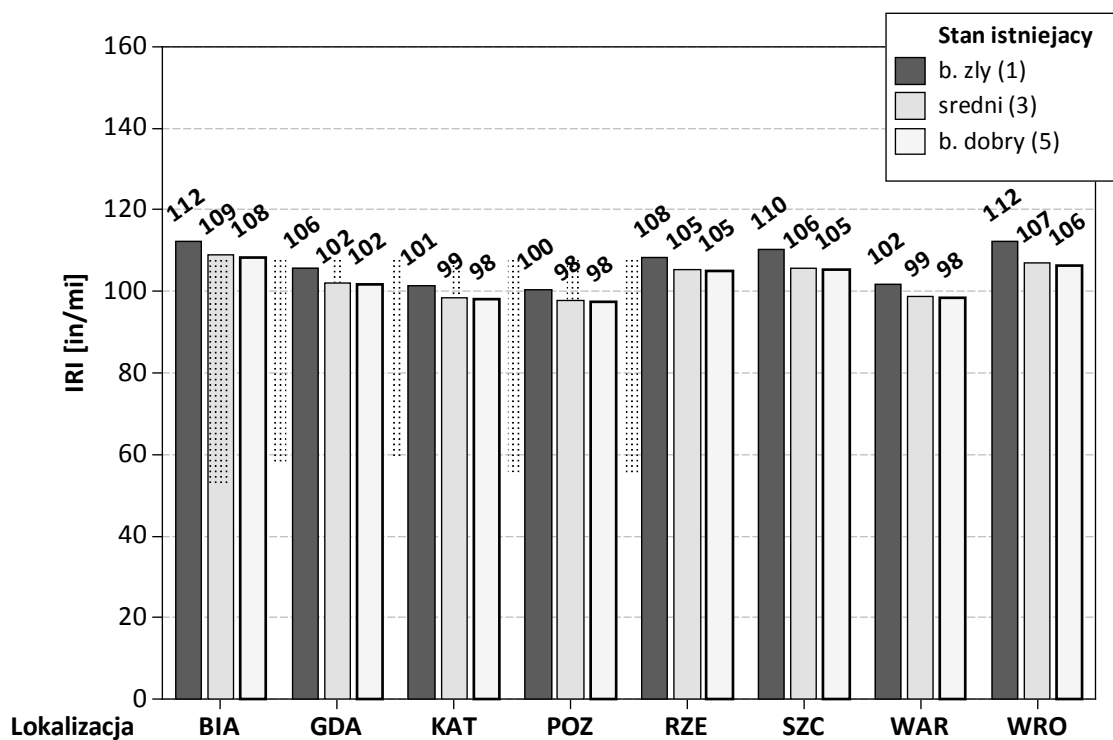
Rysunek 6. Wyniki spękań powierzchniowych z MEPDG



Rysunek 7. Wyniki spękań poprzecznych z MEPDG



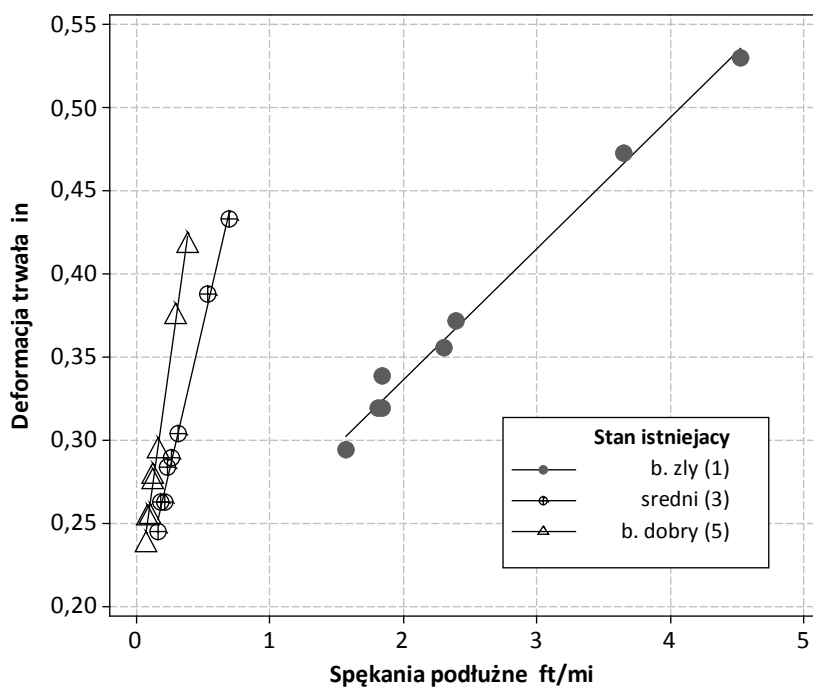
Rysunek 8. Wyniki deformacji trwałych z MEPDG



Rysunek 9. Wyniki równości podłużnej (IRI) z MEPDG

W zakresie wpływu lokalizacji oraz stanu istniejącej nawierzchni można poczynić następujące obserwacje:

1. Spękania podłużne (rysunek 5) są dla wszystkich przypadków niewielkie z wyraźnym wpływem lokalizacji (temperatury) i stanem nawierzchni.
2. Spękania powierzchniowe (rysunek 6) są bardzo znaczące dla średniego (3) i bardzo złego (1) stanu istniejącej nawierzchni przed remontem. Jeżeli przyjąć kryterium maksymalnie 20% spękań powierzchni, to projektowana nakładka byłaby niewystarczająca dla tych przypadków. Z drugiej strony, można zaobserwować praktycznie brak wpływu lokalizacji.
3. Spękania poprzeczne (rysunek 7) wystąpiły w sposób znaczący dla okolic Białegostoku oraz Rzeszowa bez wpływu stanu istniejącej nawierzchni.
4. Deformacje trwałe (rysunek 8) reagują na lokalizację oraz stan remontowanej nawierzchni w podobny sposób jak spękania podłużne. Rysunek 8 porównuje te dwie cechy i z łatwością można zaobserwować wysoką współliniowość pomiędzy tymi cechami w obrębie każdej z trzech grup stanu remontowanej nawierzchni. W jednym przypadku można by odrzucić przyjętą konstrukcję przy założeniu 0.5in (12.5mm) maksymalnych deformacji.
5. Równość podłużna (IRI) (rysunek 9) jest generalnie niewielka i satysfakcjonująca przy kryterium wynoszącym zazwyczaj około 163 in/mi. Można zaobserwować mały wpływ stanu istniejącej nawierzchni oraz znikomy wpływ lokalizacji.



Rysunek 10. Porównanie spękań podłużnych z deformacjami trwałymi z MEPDG

Podsumowując można zauważyć, że w ocenie trwałości zaprojektowanej nakładki kluczową rolę odgrywa stan istniejącej nawierzchni. Przeprowadzone symulacje wykazały, że zaprojektowana nakładka nie zapobiegnie przedwczesnym uszkodzeniom nawierzchni, jeżeli stan nawierzchni istniejącej jest zły albo średni. W szczególności istnieje ryzyko wystąpienia przedwczesnych spękań zmęczeniowych, podłużnych i deformacji trwałych. Potwierdza to znaną zasadę, że zbyt późno podjęte prace remontowe mogą być mniej skuteczne i nie zapewnią oczekiwanej trwałości eksploatacyjnej.

4 Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych – wersja zaktualizowana, projekt 2013 (w załączeniu)