

# Ocena terenowa spękań niskotemperaturowych i nośności nawierzchni wybranych odcinków dróg w Polsce Północno-Wschodniej

## The assessment of low-temperature cracking and bearing capacity on selected roads sections in north-eastern Poland



**Piotr Jaskuła**

Dr inż.

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

piotr.jaskula@wilis.pq.gda.pl



**Mariusz Jaczewski**

Dr inż.

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

mariusz.jaczewski@pq.edu.pl



**Dawid Ryś**

Dr inż.

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

dawid.rys@pq.edu.pl



**Marek Pszczola**

Dr inż.

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

marek.pszczola@pq.edu.pl

**Streszczenie:** Artykuł przedstawia porównanie zachowania się wybranych odcinków dróg w Polsce Północno-Wschodniej wybudowanych w typowych warunkach kontraktowych, w których w podbudowach zastosowano typowe betony asfaltowe oraz betony asfaltowe o wysokim module sztywności. Ocena terenowa skupiała się na wyznaczeniu ilości spękań poprzecznych o charakterze niskotemperaturowym, ocenie nośności nawierzchni oraz jakości transferu obciążeń w obrębie spękań niskotemperaturowych. Badania ugięciomierzem FWD potwierdziły niższe wartości ugięć nawierzchni wykonanych z podbudowami z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności a także pokazały dwa razy wyższe wartości modułów sztywności tychże nawierzchni. Wyniki badań ugięciomierzem FWD wykazały, że transfer obciążeń w obrębie spękań niskotemperaturowych w przypadku nawierzchni z podbudowami z betonu asfaltowego o wysokim sztywności wykazał wartości zbliżone do braku transferu obciążeń. Było to zaskakujące, ze względu na krótki okres eksploatacji nawierzchni (2-7 lat) oraz ich wysoką nośność. Artykuł powstał na podstawie referatu przedstawionego w roku 2017 na konferencji BESTInfra, która odbyła się w Pradze.

**Słowa kluczowe:** Spękania niskotemperaturowe; Nośność; Nawierzchnia drogowa

**Abstract:** Article presents the comparison of performance of selected road sections in north-eastern Poland constructed under typical contract conditions, with the usage of High Modulus Asphalt Concrete and typical Asphalt concrete. The field investigation comprised of the assessment of: the number of transverse thermal cracking, the bearing capacity and the load transfer coefficient around the thermal cracks. The FWD test confirmed lower deflections of the road sections constructed with base courses made of High Modulus Asphalt Concrete and presented two times higher values of the stiffness modulus of those pavements. The load transfer coefficient for pavements constructed with base course made of High Modulus Asphalt Concrete indicated almost lack of load transfer around the thermal cracks. It was very surprising as the tested roads were quite new (2-7 years) and with high bearing capacity. The article was made on the basis of the paper presented on BESTInfra conference, which was held in Prague.

**Keywords:** Low-temperature cracking; Bearing capacity; Pavement

Technologia betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS) została opracowana we Francji w latach 70-80-tych XX wieku [1]. W porównaniu do typowych betonów asfaltowych charakteryzuje się wyższą odpornością na koleinowanie oraz zmęczenie. Do stosowania w Polsce AC WMS został wprowadzony na początku lat 2000, jako jedno z działań mających zapobiegać nadmiernym deformacjom plastycznym. Po pierwszych obiecujących

próbach w Polsce i za granicą [1-7] był powszechnie wykorzystany w podbudowach nawierzchniach autostrad i dróg krajowych o dużym obciążeniu ruchem. Jednakże część ekspertów drogowych sugerowało, że ze względu na wykorzystywane materiały, szczególnie bardzo twarde na warunki polskie asfalty drogowe 20/30, nawierzchnia wybudowana z wykorzystaniem betonów asfaltowych o wysokim module sztywności może charakteryzować się

podwyższoną podatnością na spękania niskotemperaturowe. Obawy te zostały potwierdzone po zimie 2012 roku, gdy na nawierzchni wielu nowo wybudowanych dróg zaobserwowano bardzo dużą liczbę spękań poprzecznych niskotemperaturowych [8-10]. W artykule przedstawiono analizę oceny terenowej odcinków zlokalizowanych w najzimniejszym, północno-wschodnim rejonie Polski, w którym ilość zaobserwowanych nowych spękań termicznych była

jedną z najwyższych. Zastosowany na tych odcinkach beton asfaltowy o wysokim module sztywności został zaprojektowany w oparciu o polskie wymagania techniczne i dość mocno różnił się od pierwotnej mieszanki francuskiej. Charakteryzował się bardziej zamkniętą strukturą (2-4% zawartości wolnych przestrzeni) i nieco mniejszą zawartością asfaltu (około 5% wagowo). Wysoka wartość modułu sztywności (minimum 14 000 MPa badana w teście belki 4-punktowo zginanej w temperaturze 10°C i częstotliwości 10 Hz) uzyskiwana była poprzez stosowanie asfaltu drogowego 20/30. Poziom odkształceń stawianych w badaniu zmęczenia po 1 mln cykli obciążenia belki pozostał identyczny jak w mieszance projektowanej metodą francuską i wyniósł  $\epsilon_e = 130 \mu\text{strain}$ .

W ostatnich latach, ze względu na doświadczenia związane z zachowaniem się betonu asfaltowego o wysokim module sztywności w niskich temperaturach, prowadzone były intensywne prace badawcze mające na celu dostosowanie mieszanki AC WMS do polskich warunków klimatycznych. Rozszerzono zakres możliwych do stosowania asfaltów, skłaniając się bardziej w stronę asfaltów modyfikowanych i wysokomodyfikowanych, a także zmodyfikowano wymagania stawiane sztywności oraz odporności na zmęczenie [11]. Proponowane, jako wynik pracy badawczej zmiany, mają na celu uniknięcie sytuacji z roku 2012 przy zachowaniu wysokich parametrów funkcjonalnych projektowanego betonu asfaltowego o wysokim module sztywności.

Głównym celem niniejszego artykułu jest analiza porównawcza pracy nawierzchni wytypowanych odcinków dróg zlokalizowanych w północno-wschodniej Polsce z podbudowami z betonu asfaltowego o wysokim mo-

dule sztywności oraz z podbudowami z typowego betonu asfaltowego. Ocenie poddano trzy aspekty techniczne: intensywność spękań niskotemperaturowych, nośność wybranych odcinków oraz jakość transferu obciążeń w obrębie spękań poprzecznych niskotemperaturowych.

## Ocena terenowa

Odcinki wytypowane do oceny terenowej w Polsce Północno-Wschodniej były częścią większego programu badawczego [12,13] realizowanego na zlecenie GDDKiA w latach 2012-2014. Do badań wytypowano 9 odcinków o długości około 1 km każdy. W zakres całego programu badawczego wchodziła ocena terenowa (ocena ilości spękań niskotemperaturowych oraz ocena głębokości kolein) 80 odcinków zlokalizowanych na obszarze całej Polski, z których 33 odcinki zostały wybudowane z warstwami wiążącymi oraz podbudowami z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności. By wykluczyć ilość czynników mogących wpływać na liczbę spękań poprzecznych, wszystkie wytypowane odcinki zostały wybudowane z podbudowami zasadniczymi z mieszanek niezwiązanych i ich okres eksploatacji wyniósł od 1 do 12 lat.

Konstrukcja górnych warstw nawierzchni odcinków z betonami asfaltowymi o wysokim module sztywności składała się w każdym analizowanym przypadku z 27 cm warstw asfaltowych (z czego 23 cm z mieszanek o wysokim module sztywności z asfaltem drogowym 20/30) oraz z warstwy wykonanej z mieszanki niezwiązanej grubości 22-23 cm.. W przypadku odcinków z typowymi betonami asfaltowymi, konstrukcja górnych warstw nawierzchni składała się z 28 cm warstw asfaltowych

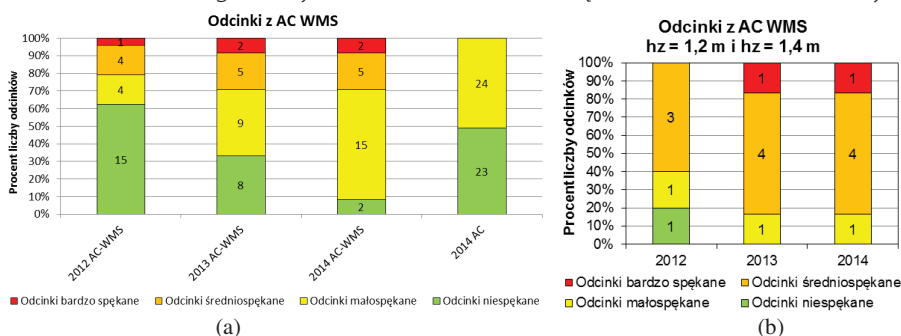
oraz z mieszanki niezwiązanej grubości 20 cm.. Beton asfaltowy do warstwy wiążącej oraz do warstwy podbudowy w tym przypadku został wyprodukowany z wykorzystaniem asfaltu 35/50.

Dla każdej z wytypowanych odcinków wykonano ocenę terenową uszkodzeń [14,15], skupiając się na spękania poprzecznych niskotemperaturowych (zarówno w połączeniach technologicznych, jak i poza nimi). W trakcie oceny terenowej zaobserwowano także inne uszkodzenia (w tym także koleiny), ale ich zakres był znikomy i nie wpływał na ocenę stanu technicznego całego odcinka. Szczegółowe informacje o analizowanych odcinkach zlokalizowanych w Polsce Północno-Wschodniej wraz z porównaniem z danymi uzyskanymi z odcinków w pozostałej części Polski przedstawiono w tabelicy 1. Zmianę intensywności spękań dla odcinków z AC WMS oraz AC zlokalizowanych w innych regionach Polski oraz wyłącznie w analizowanym szczegółowo regionie przedstawiono na rysunku 1.

Na przedstawionym rysunku wyraźnie widać wpływ lokalizacji odcinka zarówno na intensywność spękań niskotemperaturowych wyrażoną w ilości spękań na kilometr, jak i jej zmianę wraz z długością okresu eksploatacji nawierzchni. Odcinki zlokalizowane w północno-wschodnim rejonie kraju, wybudowane z wykorzystaniem twardych asfaltów drogowych 20/30 charakteryzują się dużo wyższą intensywnością spękań niskotemperaturowych oraz ich znacznie szybszym przyrostem wraz ze wzrostem okresu eksploatacji nawierzchni. O ile problem spękań niskotemperaturowych na nawierzchniach z warstwami z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności występuje także w pozostałych regionach kraju, to nie jest on tak intensywny jak w analizowanym szczegółowo regionie.

## Analiza wyników badań z ugięciomierza FWD

Badania ugięciomierzem FWD zostały przeprowadzone w listopadzie 2013 oraz w październiku 2014. Średnia temperatura warstw asfaltowych zawierała się w zakresie od 8 do 21°C. Na odcinkach z betonami asfaltowymi o wysokim module sztywności ugięcia nawierzchni



1. Zmiany intensywności spękań niskotemperaturowych odcinków pomiarowych w kolejnych latach oceny: (a) odcinki zlokalizowane na obszarze całego kraju (b) odcinki z AC WMS zlokalizowane w północno-wschodniej Polsce

zostały wykonane na prawym pasie ruchu co 25 m na sekcjach o długości 1000 metrów. W przypadku autostrady wykonanej z typowego betonu asfaltowego badania ugięć zostały wykonane co 100 metrów dla odcinków o długości 4000 metrów. Otrzymane wyniki ugięć zostały następnie ustandaryzowane do obciążenia koła równego 50 kN oraz temperatury +20°C.

Ocenę transferu obciążeń w obrębie spękań niskotemperaturowych wykonano na dwóch odcinkach badawczych z najwyższą ilością spękań niskotemperaturowych: S8 Jeżewo-Białystok oraz DK8 Sztabin-Kolnica. Transfer obciążeń został obliczony z wykorzystaniem wzorów (1) oraz (2) w oparciu o obowiązujący [16] oraz opiniowany [17] katalog wzmocnień i remontów konstrukcji podatnych i półsztywnych.

$$k = \frac{2 \cdot y_2}{y_1 + y_2} \quad (1)$$

$$k^* = \frac{y_2}{y_1} \quad (2)$$

gdzie:  $k^*$ ,  $k$  – współczynniki transferu obciążeń,  $y_1$  – ugięcie krawędzi obciążonej,  $y_2$  – ugięcie krawędzi nieobciążonej. Zgodnie z [16] wartość  $k < 0,1$  oznacza brak transferu obciążeń,  $0,1 < k < 1$  oznacza częściowy transfer obciążeń,  $k = 1$  oznacza pełny transfer obciążeń. Zgodnie z [17] wartość  $k^* < 0,7$  oznacza brak transferu obciążeń,  $0,7 < k^* < 0,95$  oznacza częściowy transfer obciążeń,  $k^* > 0,95$  oznacza pełny transfer obciążeń.

Moduły powierzchniowe konstrukcji nawierzchni skorygowane do temperatury +20°C podano na podstawie wyników uzyskanych z programu ELMOD (wyznaczone z ugięć pod płytą podatną dla półprzestrzeni sprężystej Boussinesq'a). Obliczenia odwrotne wartości modułów sztywności wykonano na podstawie wyników czaszy ugięć używając procedury opisanej w raporcie COST 336 [18]. Przyjęto trzywarstwowy (warstwy asfaltowe, podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej oraz ulepszone podłoże gruntowe) model półprzestrzeni sprężystej, w której każda z warstw charakteryzowana jest modułem sprężystości  $E$  oraz współczynnikiem Poissona  $\nu$ . Grubość warstw przyjęto zgodnie z danymi przedstawionymi w tabelicy 1; współczynniki Poissona przyjęto odpowiednio 0,3 dla

Tab. 1. Wyniki oceny technicznej analizowanych odcinków dróg

Lp.	Odcinek badawczy (rok oddania do eksploatacji)	Konstrukcja górnych warstw nawierzchni	Badania FWD (kilometrów odcinków)	Ilość spękań niskotemperaturowych na kilometr		
				(2012)	(2013)	(2014)
1	S8 Jeżewo – Białystok (2012)	4 cm SMA 23 cm AC WMS 23 cm MN	1) 623+000 – 624+000 L 2) 620+000 – 621+000 P	2,12	3,47	5,3 1,7
2	S8 Obwodnica Zambrowa (2012)	4 cm SMA 23 cm AC WMS 23 cm MN	3) 3+000 – 4+000 L 4) 1+500 – 2+500 P	0,0	2,0	0,7 2,3
3	DK8, Białystok – Katryńka (2009)	4 cm SMA 23 cm AC WMS 22 cm MN	5) 649+000 – 650+000 P 6) 648+000 – 649+000 L 7) 649+000 – 650+000 L	8,8	15,7	8,7 8,7 8,7
4	Autostrada (2008/2010)	4 cm SMA 24 cm AC 20 cm MN	8) 25+000 – 29+000 L 9) 83+000 – 87+000 L	nie oceniano	nie oceniano	1,7 1,2
5a	Odcinki z AC (średnia ogólnopolska, rok 2014)					1,0
5b	Odcinki z AC WMS - asfalt twardy drogowy (średnia ogólnopolska, rok 2014)					3,5
5c	Odcinki z AC WMS - asfalt modyfikowany (średnia ogólnopolska, rok 2014)					1,5

Uwagi: a) informacje na temat spękań niskotemperaturowych z lat 2012 i 2013 podano informacyjnie i obejmują one informacje o spękaniach zaobserwowanych na całej długości odcinków badawczych, informacje z roku 2014 dotyczą tylko spękań niskotemperaturowych zaobserwowanych w pobliżu odcinków wytypowanych do oceny ugięciomierzem FWD

Tab. 2. Ustandaryzowane wyniki ugięć nawierzchni ( $T = +20^\circ\text{C}$ , obciążenie 50 kN)

Właściwość	Ugięcia nawierzchni [ $\mu\text{m}$ ]								
	S8 Jeżewo – Białystok		S8 Obwodnica Zambrowa		DK8, Białystok – Katryńka			Autostrada	
Numer sekcji badawczej, zgodnie z tabelą 1:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ugięcie średnie ( $U_{sr}$ )	95	94	108	94	95	103	105	139	161
Ugięcie miarodajne ( $U_m$ )	115	121	137	121	118	130	131	187	195
Wsp. zmienności, %	10	14	13	14	12	13	12	17	10
Ilość punktów pomiarowych	34	34	34	34	34	34	34	40	40

Uwagi: a)  $U_m = U_{sr} + 2\sigma$ , gdzie  $\sigma$  – odchylenie standardowe wyników badań

warstw asfaltowych i warstw z mieszanek niezwiązanych oraz 0,35 dla ulepszonego podłoża. Obliczone wartości modułów sztywności dla warstw asfaltowych zostały następnie ustandaryzowane do temperatury +10°C z wykorzystaniem wzoru (3):

$$E_{10} = E_T \times (0.77 + 0.023 \times T) \quad (3)$$

gdzie:  $E_{10}$  – ustandaryzowany moduł sprężystości (+10°C) [MPa],  $T$  – temperatura warstw asfaltowych [°C].

## Analiza wyników badań

Wyniki badania ugięciomierzem FWD przedstawiono w tabelicach 2, 3, 4 oraz 5. Wszystkie analizowane odcinki badawcze charakteryzowały się wysoką jednorodnością wartości ugięć nawierzchni. W każdym przypadku wartość współczynnika zmienności była niższa od 20%, co klasyfikuje odcinki jako bardzo jednorodne, zgodnie z metodyką przedstawioną w raporcie COST

336 [18]. W tabelicy 3 przedstawiono współczynniki transferu obciążeń.

Współczynniki transferu obciążeń wyznaczono jedynie dla odcinków wybudowanych z warstwami z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności. Na drodze krajowej DK8 (7 lat eksploatacji) wskaźnik „ $k$ ” wskazuje na częściowy transfer obciążeń w obrębie spękań niskotemperaturowych. Natomiast średnie wartości wskaźnika „ $k^*$ ” wykazują zachowanie pośrednie na granicy braku lub częściowego transferu obciążeń (pomiędzy 0,73 a 0,76), przy czym duża część wyników pokazuje brak transferu obciążeń, nawet w przypadku spękań poddanych naprawie. W przypadku drogi ekspresowej S8, o ile współczynnik „ $k$ ” wykazuje jeszcze częściowy transfer obciążeń, co wynika z łagodniejszych kryteriów, to współczynnik „ $k^*$ ” wykazuje już całkowity brak transferu obciążeń, z pojedynczymi punktami wykazującymi tylko częściowy transfer. Na uwagę zasługuje fakt, że uzyskane wartości są

Tab. 3. Współczynniki transferu obciążeń

Właściwość	Sekcja badawcza					
	S8		DK8 (1)		DK8 (2)	
	k	k*	k	k*	k	k*
Średnia	0,78	0,66	0,84	0,73	0,86	0,76
Minimalna	0,41	0,26	0,79	0,65	0,66	0,49
Maksymalna	0,92	0,86	0,94	0,88	0,94	0,88
Wsp. zmienności, %	20	29	7	13	9	14
Ilość punktów pomiarowych	90	90	10	10	30	30

Tab. 4. Ustandaryzowane moduły powierzchniowe ( $T = +20^{\circ}\text{C}$ , obciążenie 50 kN)

Właściwość	Moduły powierzchniowe [MPa]								
	S8, Jeżewo – Białystok		S8 Obwodnica Zambrowa		DK8, Białystok – Katryńka			Autostrada	
Numer sekcji badawczej:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Średnia	2133	1709	1890	2166	2136	2011	1974	1493	1259
Minimalna	1605	1235	1298	1689	1674	1629	1509	1055	1025
Maksymalna	2888	2220	2418	3209	2840	2495	2597	2136	1617
Moduł miarodajny	1944	1467	1672	1828	1884	1750	1723	1218	1123
Wsk. zmienności, %	10	14	13	14	12	13	12	17	10
Ilość punktów pomiarowych	34	34	34	34	34	34	34	40	40

Tab. 5. Ustandaryzowane wartości modułów sprężystości wyznaczone z obliczeń odwrotnych ( $T = +10^{\circ}\text{C}$ , obciążenie 50 kN)

Właściwość	Moduły sprężystości [MPa]								
	S8, Jeżewo – Białystok		S8 Obwodnica Zambrowa		DK8, Białystok – Katryńka			Autostrada	
Numer sekcji badawczej:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Średnia	19736	17351	21718	20017	20766	18333	19008	9073	11718
Percentyl 20%	15520	13564	18327	14904	16188	14684	14916	6473	10112
Percentyl 80%	23399	21062	25514	23293	24813	20785	22662	11400	13398
Wsp. zmienności, %	25%	26%	21%	28%	28%	26%	24%	34%	22%
Ilość punktów pomiarowych	34	34	34	34	34	34	34	40	40

zdecydowanie niższe niż w przypadku odcinków zlokalizowanych na drodze krajowej DK8. Jest to o tyle zaskakujące, że droga ta była poddana eksploatacji wyłącznie przez 2 lata, przy podobnym poziomie obciążenia ruchem. Prawdopodobną przyczyną może być wyższy współczynnik rozszerzalności termicznej warstw betonu asfaltowego o wysokim module sztywności, wynikający m.in. przez wyższą zawartość twardego lepszczka asfaltowego. Pokazuje to jednak, że w przypadku nawierzchni z betonami asfaltowymi o wysokim module sztywności należy zwrócić bardzo dużą uwagę na monitoring, utrzymanie oraz szybką naprawę powstających spękań poprzecznych. W przypadku zaniedbania może to skutkować przyspieszonym zniszczeniem nawierzchni w rejonie tych spękań. Wyznaczone z programu ELMOD wartości modułów

powierzchniowych, dla każdej z sekcji wykazują wysoką nośność, z uzyskanymi wartościami modułów powyżej 1100 MPa. Wyższą nośnością charakteryzują się sekcje z warstwami z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności. Uzyskane wartości są od 20 do 70% wyższe w porównaniu do sekcji wybudowanych wyłącznie z typowymi betonami asfaltowymi. Wartości modułów sprężystości (percentyl 20%) dla ulepszanego podłoża oraz podbudowy z mieszanki niezwiązanej zmieniają się w bardzo małym zakresie i są podobne w przypadku wszystkich sekcji. W przypadku podbudowy z mieszanki niezwiązanej wartość modułów sprężystości zmienia się w zakresie od 398 do 482 MPa. W przypadku ulepszanego podłoża zakres wartości modułów sprężystości zmienia się w zakresie od 164 do 259 MPa. Otrzymane wartości i ich zmien-

ność sugerują, że dolne warstwy podbudowy zasadniczej, dolne warstwy nawierzchni oraz warstwa ulepszanego podłoża zostały wykonane zgodnie ze sztuką budowlaną, a jakość zarówno robót jak i użytych materiałów jest wysoka.

W przypadku wartości modułów sprężystości wyznaczonych dla warstw asfaltowych wyniki są bardziej zróżnicowane. Sekcje wybudowane z warstwami z betonów asfaltowych o wysokim module sztywności wykazują dwukrotnie wyższe wartości modułów niż sekcje wykonane z typowymi betonami asfaltowymi. Dodatkowo wartości te (zarówno średnie jak i odpowiednie percentyle) są w większości przypadków dużo wyższe niż wymagane według wymagań technicznych WT-2, czyli minimum 14 000 MPa.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej oceny terenowej oraz badań ugięciomierzem FWD na wybranych odcinkach dróg w Polsce Północno-Wschodniej można sformułować następujące wnioski:

- Odcinki z warstwami z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności charakteryzują się wyższą intensywnością spękań niskotemperaturowych w porównaniu do odcinków z typowymi betonami asfaltowymi. Średnia zaobserwowana ilość spękań na kilometr jest ponad dwukrotnie wyższa niż w odcinkach wybudowanych z typowymi betonami asfaltowymi.
- Wpływ zimnego klimatu Polski północno-wschodniej ma istotny wpływ na intensywność powstawania spękań. Odcinki z betonami asfaltowymi o wysokim module sztywności charakteryzują się wyższą intensywnością spękań i szybszym ich przyrostem niż odcinki wybudowane w tej samej technologii ale zlokalizowane w innych rejonach Polski.
- Niepokojące są wyniki intensywności spękań dla odcinków najnowszych (dwuletnich). Odcinki te charakteryzują się intensywnością spękań od 0,7 do 5,3 spękań na kilometr. Jest to wynik znacząco wyższy od średniej intensywności

spękań dla odcinków z typowymi betonami asfaltowymi (około 1,0 spękania na kilometr), a także wyższy niż uzyskiwany średnio dla betonów asfaltowych o wysokim module sztywności (3,0 spękań na kilometr, odcinki od 1 do 12 lat eksploatacji).

- Badania ugięciomierzem FWD potwierdziły, że analizowane odcinki zostały wybudowane zgodnie ze sztuką budowlaną, a jakość zastosowanych materiałów była wysoka. Wszystkie analizowane odcinki charakteryzują się wysoką jednorodnością oraz nośnością, wyrażoną za pomocą ugięć oraz modułów powierzchniowych.
- Moduł sprężystości warstw asfaltowych dla odcinków wybudowanych z wykorzystaniem betonów asfaltowych o wysokim module sztywności jest dwukrotnie wyższy niż w przypadku odcinków wybudowanych z wykorzystaniem typowych betonów asfaltowych. Dodatkowo w większości przypadków uzyskane moduły są znacząco wyższe niż wymagany w wymaganiach technicznych poziom 14 000 MPa. W przypadku pozostałych warstw nawierzchni moduły dla podbudów z mieszanek niezwiązanych oraz ulepszonego podłoża były zbliżone dla wszystkich analizowanych odcinków i wynosiły odpowiednio średnio 450 oraz 200 MPa.
- Spękania poprzeczne na odcinkach z betonami asfaltowymi o wysokim module sztywności wykazują niezależnie od zastosowanej metodyki albo częściowy albo brak transferu obciążeń, nawet dla odcinków o krótkim czasie eksploatacji (2 lata). Szczególny nacisk powinien być położony na monitoring, utrzymanie i jak najszybszą naprawę spękań niskotemperaturowych, by nie dopuścić do przedwczesnych zniszczeń całej nawierzchni w obrębie tych spękań.

## Podziękowania

Autorzy pragną wyrazić swoje podziękowanie GDDKiA, Oddział w Białymstoku za pomoc w realizacji prac terenowych oraz wykonanie badań ugięciomierzem FWD.

## Materiały źródłowe

- [1] Corté J F 2001 Development and Uses of Hard-Grade Asphalt and of High-Modulus Asphalt Mixes in France Perpetual Bitum. Pavements, Transportation Research Circular pp 12–31.
- [2] De Backer C, Glorie L and Reynaert R 2008 Test Section in High-Modulus Asphalt: A Comparative Experiment with Ten Variants Proc. 4th Eurasphalt Eurobitume Congr. (Copenhagen)
- [3] De Visscher A, Vansteenkiste J and Vanelstraete S 2008 Test Section in High-Modulus Asphalt: Mix Design and Laboratory Performance Testing Proc. 4th Eurasphalt Eurobitume Congr. (Copenhagen)
- [4] Rohde L, Ceratti J A P, Nunez W P and Vitorello T 2008 Using APT and Laboratory Testing to Evaluate the Performance of High Modulus Asphalt Concrete for Base Courses in Brazil Third Int. Conf. Accel. Pavement Testing. APT 2008 (Madrit)
- [5] Wielinski J C and Huber G A 2011 Evaluation of French High Modulus Asphalt (EME) in Pavement Structural Design (MEPDG) Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists 80 pp 697–718
- [6] Carbonneau X, Michaut J P, Andersen T, Thorup C and Ladehoff L 2008 High Modulus GAB II: A Danish Experiment Proc. 4th Eurasphalt Eurobitume Congr. (Copenhagen)
- [7] Lee H J, Lee J H and Park H M 2007 Performance evaluation of high modulus asphalt mixtures for long life asphalt pavements Construction and Building Materials 21 pp 1079–1087
- [8] Judycki J, Jaskuła P, Dołycki B, Pszczoła M, Jaczewski M, Ryś D and Stienss M 2015 Investigation of low-temperature cracking in newly constructed high-modulus asphalt concrete base course of a motorway pavement Road Materials and Pavement Design 16 (sup 1) pp 362–388
- [9] Judycki J, Jaskuła P, Dołycki B, Pszczoła M, Jaczewski M, Ryś D and Stienss M 2016 The Impact of Homogeneity of High Modulus Asphalt Concrete Layer on Low-Temperature Crackin, 8th RILEM Int. Conf. Mech. Crack. Debonding Pavements (Nantes) pp 319–326
- [10] Ryś D, Judycki J, Pszczoła M, Jaczewski M and Mejtun Ł 2017 Comparison of low-temperature cracks intensity on pavements with high modulus asphalt concrete and conventional asphalt concrete bases Construction and Building Materials 147 pp 478–487
- [11] Asfalty drogowe i modyfikowane w polskich warunkach klimatycznych. Raport z badań. Program badawczy RID nr: OT1-1B/PW-PG-IBDiM, Politechnika Warszawska, Politechnika Gdańska, Instytut Budowy Dróg i Mostów, marzec 2018.
- [12] Judycki J, Pszczoła M, Jaczewski M, Mejtun Ł and Ryś D 2014 Research on the Effect of Application of High Modulus Asphalt Concrete (HMAC) in Pavement Structures on Low - Temperature Cracking and Decrease of Permanent Deformations (in Polish) Gdansk University of Technology Gdańsk
- [13] Jaczewski M 2016 The influence of high modulus asphalt concrete on low temperature cracking of pavements Ph.D. Thesis Gdansk University of Technology
- [14] Evaluatuion of pavement condition system – SOSN 2002 General Directorata for National Roads and Motorways (GDDKiA) Warsaw
- [15] Miller J S and Bellinger W B 2003 Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program FHWA-RD-03-031 Federal Highway Administration
- [16] GDDP 2001 Catalogue of reinforcement and reconstruction of flexible and semi-rigid pavements
- [17] GDDP 2013 Catalogue of reinforcement and reconstruction of flexible and semi-rigid pavements (in consultation, available on the webpage of GDDKiA)
- [18] Beuving E 2005 COST 336 – Falling Weight Deflectometer – Final report of the action