

mgr inż. Marek Pszczoła, Politechnika Gdańska, Zakład Budowy Dróg

# **Dlaczego nawierzchnie asfaltowe pękają podczas mroźnych zim?**

Spękania poprzeczne warstw asfaltowych konstrukcji nawierzchni spowodowane oddziaływaniem niskich temperatur zimowych są zjawiskiem dosyć często spotykanym na polskich drogach. Niestety równie często mamy problem z ich właściwym rozpoznaniem. W artykule przybliżono mechanizm powstawania spękań niskotemperaturowych, a także zaprezentowano wyniki badań terenowych tych spękań przeprowadzonych na obszarze trzech województw Polski północno-wschodniej: pomorskiego, warmińsko-mazurskiego oraz podlaskiego.

## **1. WPROWADZENIE**

Postępująca degradacja nawierzchni drogowych jest powodowana przez wiele czynników pochodzących zarówno od ruchu pojazdów jak i czynników środowiskowych. Jednym z wielu widocznych efektów degradacji nawierzchni asfaltowych, który jest dosyć często spotykany na polskich drogach, są spękania poprzeczne. Przeważnie przypuszcza się, że są to spękania o charakterze odbitym od spękanej podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym. W rzeczywistości problem jest bardziej złożony. Literatura oraz obserwacje własne wskazują, że spękania poprzeczne występujące na drogach mogą mieć również charakter spękań niskotemperaturowych. Dowodem na to są spękania poprzeczne warstw asfaltowych występujące na drogach z podbudową podatną, niezwiązaną spoiwem hydraulicznym. Przykład spękań poprzecznych warstw bitumicznych występujących na podbudowach podatnych przedstawiono na rysunku 1.



(a)

(b)

Rys. 1. Przykład spękań poprzecznych stwierdzonych na podbudowie podatnej z wyraźnie widoczną propagacją spękania od góry warstw bitumicznych, gdzie: a) odwiert przez konstrukcję nawierzchni w miejscu spękania, b) widok typowego spękania niskotemperaturowego na podbudowie podatnej

Przykład spękań poprzecznych występujących na podbudowach związanych spoiwem hydraulicznym a więc mających charakter odbity od spękanej podbudowy przedstawiono na rysunku 2.



a)

b)

Rys. 2. Przykład spękań poprzecznych o charakterze odbitym od podbudowy związanej cementem, gdzie: a) odwiert przez konstrukcję tuż obok spękania, b) widok typowego spękania odbitego

W literaturze spękania niskotemperaturowe opisane są jako jeden z rodzajów spękań termicznych. Ten typ spękania jest wynikiem pojedynczego obniżenia się temperatury poniżej temperatury pęknięcia charakterystycznej dla danej mieszanki mineralno-asfaltowej. Drugi rodzaj spękań termicznych to spękania termiczne zmęczeniowe spowodowane przez serię powtarzających się wahań temperatury o wartościach wyższych od temperatury pęknięcia charakterystycznej dla danej mieszanki mineralno-asfaltowej.

Problem oddziaływania niskich temperatur na nawierzchnie asfaltowe i w konsekwencji powstawanie spękań poprzecznych będących skutkiem tego oddziaływania jest istotny również w Polsce. Mimo, iż w naszej strefie klimatycznej okres występowania bardzo niskich temperatur nie jest zbyt długi, bo zazwyczaj trwa kilka tygodni, to jednak istotna jest minimalna wartość temperatury ujemnej oraz szybkość jej zmian wpływająca na mechanizm skurczu termicznego w warstwach bitumicznych. Spękanie, które na początku pojawia się na powierzchni warstwy asfaltowej konstrukcji nawierzchni (w warstwie ścieralnej) z czasem ulega propagacji w głąb konstrukcji. Dodatkowym czynnikiem przyspieszającym degradację nawierzchni jest woda wnikająca w spękanie, która zamarzając w okresie zimowym może tworzyć soczewki lodowe. W pozostałych okresach roku wnikająca woda może powodować zjawisko „pompowania” drobnych cząstek podbudowy lub podłoża gruntowego powodując rozluźnienie tych materiałów, a w konsekwencji obniżenie nośności konstrukcji nawierzchni w sąsiedztwie spękania. Wszystkie wymienione czynniki wpływają na pogorszenie komfortu jazdy, zmniejszenie trwałości konstrukcji nawierzchni, a także powodują zwiększenie kosztów utrzymania i remontów dróg.

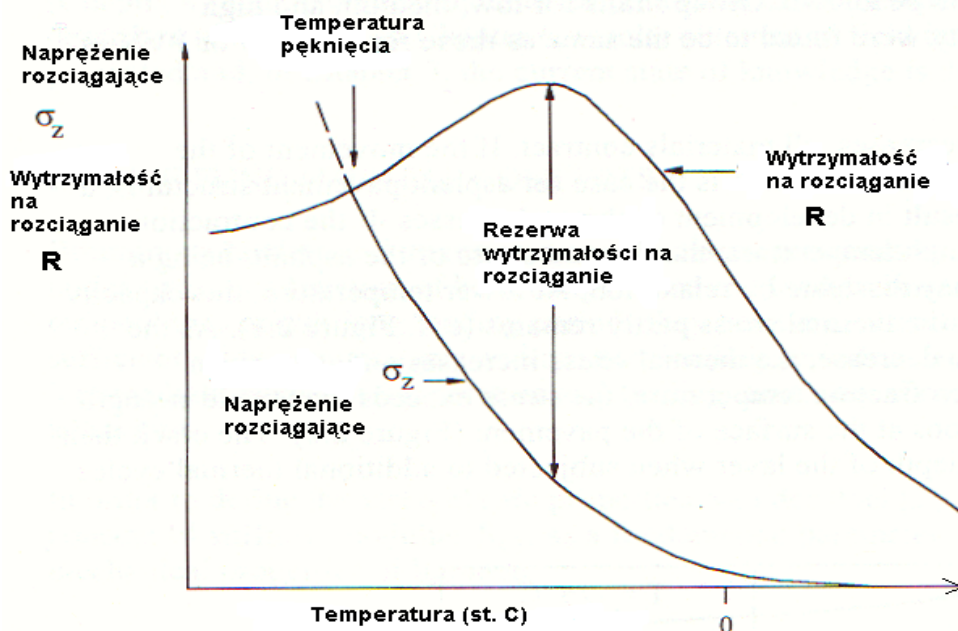
Przykład postępującego zniszczenia konstrukcji nawierzchni po powstaniu spękania niskotemperaturowego pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Przykład postępującego zniszczenia konstrukcji nawierzchni po powstaniu spękania niskotemperaturowego

## 2. MECHANIZM POWSTAWANIA SPĘKAŃ NISKOTEMPERATUROWYCH

Obniżanie się temperatury powietrza, a w konsekwencji również temperatury warstw asfaltowych, powoduje skurcz materiału. Jeśli skurcz ten jest ograniczony, a tak się dzieje w przypadku warstw asfaltowych w konstrukcji nawierzchni, spadek temperatury powoduje powstanie naprężeń termicznych w warstwie. W odpowiednio wysokich temperaturach z uwagi na właściwości lepko-sprężyste materiału powstające naprężenia termiczne ulegają rozproszeniu poprzez zjawisko relaksacji naprężeń. W niższych temperaturach zdolność materiału do rozpraszania naprężeń jest ograniczona, co skutkuje kumulacją naprężeń. Przy dalszym obniżaniu temperatury naprężenia termiczne rosną do momentu, gdy przekroczą wytrzymałość warstwy asfaltowej na rozciąganie. Temperatura, przy której naprężenia termiczne zaczynają przewyższać wytrzymałość warstwy na rozciąganie nazywana jest temperaturą pęknięcia. Schemat powstawania spękań w niskich temperaturach przedstawiono na rysunku 4.



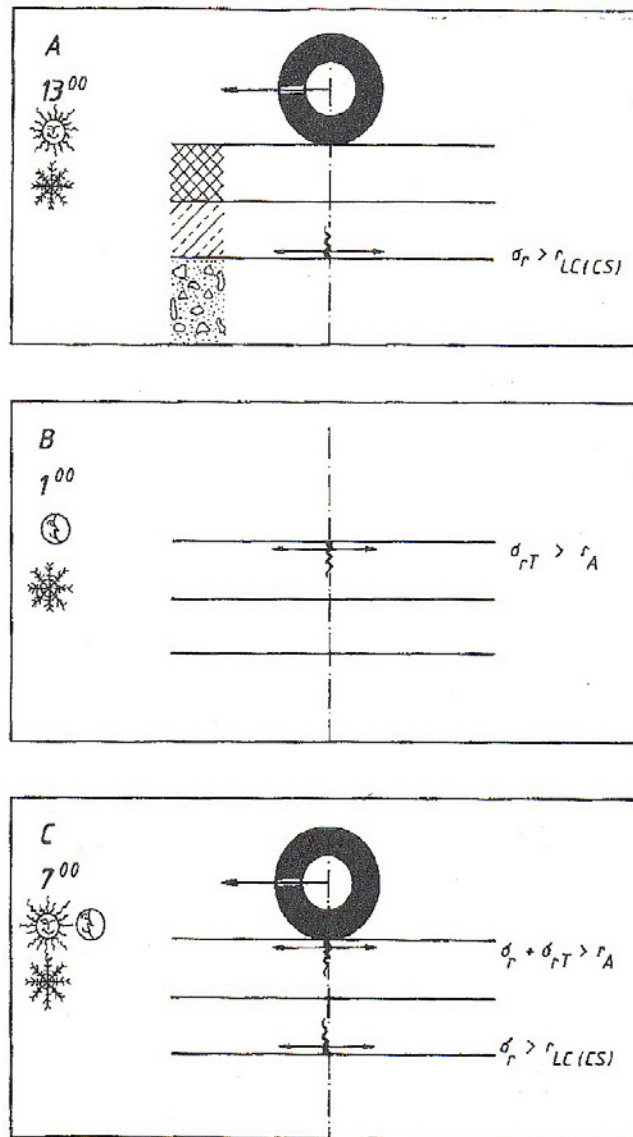
Rys. 4. Schemat powstawania spękań w niskich temperaturach, [1]

Spękania niskotemperaturowe są to najczęściej spękania poprzeczne. Wynika to z faktu, że największe naprężenia termiczne powstają w kierunku podłużnym drogi ze względu na jej nieskończoną długość w stosunku do szerokości.

## 3. ZJAWISKO DUALIZMU SPĘKAŃ POPRZECZNYCH

W nawierzchniach, w których zastosowano podbudowy związane spoiwem hydraulicznym może wystąpić tzw. dualizm mechanizmów powstawania spękań poprzecznych. Został on opisany przez Sybilskiego [2] i charakteryzuje superpozycję warunków obciążenia, w których naprężenia termiczne przekraczają wytrzymałość warstw bitumicznych na rozciąganie (spękanie niskotemperaturowe propagujące od góry warstwy) oraz naprężeń radialnych powstających od obciążenia ruchem pojazdów przekraczających wytrzymałość na rozciąganie warstwy związanej

cementem na spodzie tej warstwy (spękania odbite propagujące od dołu podbudowy). Przykład dualizmu mechanizmów powstania spękań poprzecznych w nawierzchniach z podbudowami związanymi spoiwem hydraulicznym przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przykład dualizmu mechanizmów spękań poprzecznych występujący w nawierzchniach z podbudowami związanymi spoiwem hydraulicznym, [2]

Objaśnienia do rysunku 5:

- *przypadek A* – inicjacja spękania na spodzie podbudowy związanej cementem spowodowana naprężeniami rozciągającymi powstałymi od obciążeń ruchem pojazdów,
- *przypadek B* – inicjacja spękania na górze warstw bitumicznych, w sytuacji gdy indukowane termicznie naprężenia rozciągające przekraczają wytrzymałość tych warstw na rozciąganie,
- *przypadek C* – superpozycja przypadków A i B.

Warunki przedstawione na rys. 5 mogą występować w okresie godzin porannych, w mroźne zimowe dni, gdy temperatura nawierzchni jest wystarczająco niska, a jednocześnie na nawierzchnię oddziałuje duże obciążenie porannym ruchem pojazdów. W uzupełnieniu mechanizmu spękań opisanego dla przypadku A należy dodać, że inicjacja spękania na spodzie podbudowy związanej cementem może dotyczyć nie tylko naprężeń rozciągających powstałych od obciążeń ruchem pojazdów ale również, a może przede wszystkim, od skurczu samej podbudowy cementowej. Przypadek dualizmu mechanizmów powstawania spękań poprzecznych przytoczony powyżej przedstawia warunki najbardziej niekorzystne występujące w nawierzchniach z podbudowami sztywnymi. Jednak z uwagi na stopień skomplikowania oraz możliwe trudności z identyfikacją tego typu spękań w terenie mechanizm ten nie był szczegółowo omawiany w niniejszym artykule.

Zakładając, że główną przyczyną spękań poprzecznych w nawierzchniach podatnych jest skurcz termiczny, jednocześnie nie można wykluczyć sytuacji, że niektóre spękania poprzeczne występujące w nawierzchniach podatnych mogą mieć charakter spękań odbitych (tzn. gdy spękanie propaguje od dołu warstw bitumicznych ku górze). Spękania odbite w nawierzchniach podatnych mogą mieć dwojaki mechanizm:

- a) w warstwie podbudowy z kruszywa niezwiązanego cementem mogą występować płyty, które mają właściwości wiążące. Powodują one związanie tej warstwy, która zaczyna pracować jak płyta, ulega skurczom termicznym i pęka w okresie zimowym,
- b) podbudowa z kruszywa w miejscach nawodnionych ulega nasyceniu wodą, która w okresie oddziaływania niskich temperatur zamarza. Warstwa podbudowy zaczyna pracować jak płyta. Dalsze chłodzenie powoduje powstanie skurczu termicznego w podbudowie, a w konsekwencji jej spękanie. Spękania podbudowy powstałe w ten sposób powodują spękania poprzeczne warstw bitumicznych, które mają charakter odbity.

Przedstawiony powyżej w punktach a) i b) mechanizm powstawania spękań odbitych na podbudowach podatnych jest raczej rzadki i trudny do obserwacji. Wynika to z faktu, że jeśli nawet podbudowa z kruszywa zaczyna w nawierzchni pracować jak płyta, to w trakcie odwiertu w konstrukcji nawierzchni podbudowa ta się rozpada uniemożliwiając właściwą ocenę.

Podsumowując należy stwierdzić, że najczęstszą przyczyną spękań poprzecznych warstw bitumicznych występujących na podbudowach podatnych jest skurcz termiczny powodujący spękanie poprzeczne i jego propagację od góry ku dołowi warstwy. W dalszej części artykułu analizowane będą tego typu spękania określane jako „spękania niskotemperaturowe”.

#### **4. BADANIA TERENOWE SPĘKAŃ NISKOTEMPERATUROWYCH**

Badania terenowe spękań poprzecznych warstw bitumicznych, w tym również tych spowodowanych oddziaływaniem niskich temperatur, rozpoczęły się na Politechnice Gdańskiej w Zakładzie Budowy Dróg w roku 1999 [3]. Badania prowadzono na obszarze trzech województw Polski północno-wschodniej: pomorskiego, warmińsko-mazurskiego oraz podlaskiego. Wytypowane województwa w okresach zimowych charakteryzują się występowaniem niskich temperatur o zróżnicowanej



intensywności. Badania terenowe kontynuowano w roku 2000 z udziałem autora modyfikując metodykę wyboru odcinków. Liczba wytypowanych odcinków w latach 1999 – 2000 to 135, z czego dla 106 odcinków przeprowadzono rozpoznanie rodzaju podbudowy poprzez odwierty w konstrukcji nawierzchni. Dla pozostałych odcinków dysponowano danymi archiwalnymi o ich konstrukcji, uzyskanymi dzięki pomocy Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych (obecnie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad). W przypadku 57 odcinków stwierdzono występowanie spękań poprzecznych występujących w konstrukcji nawierzchni z podbudową podatną, a więc jak wcześniej wspomniano – mających charakter spękań niskotemperaturowych.

W roku 2005 w ramach przygotowywanej pracy doktorskiej przeprowadzono powtórne badania tych samych odcinków pod kątem oceny zmiany intensywności spękań niskotemperaturowych. Przykłady spękań niskotemperaturowych stwierdzone w trakcie przeprowadzonych badań terenowych przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Przykłady spękań niskotemperaturowych zaobserwowane w trakcie badań terenowych

#### 4.1. Sposób oceny intensywności występowania spękań niskotemperaturowych

Dla wszystkich wybranych odcinków długości 500 m przeprowadzono ocenę wizualną oraz określono indeks spękań, będący miarą liczby spękań poprzecznych występujących na fragmentach odcinków o długości 100 metrów. Sposób wyznaczania indeksu spękań zaczerpnięto z doświadczeń kanadyjskich [4] oraz polskich [5]. Modyfikacji uległa długość odcinka, która oryginalnie w literaturze kanadyjskiej wynosiła 500 stóp (około 152 m). Długość odcinka zredukowano do 100 m dostosowując ją do sposobu oceny indeksu spękań poprzecznych odbitych zgodnie z polskim Katalogiem Wzmocnień i Remontów (...) [6]. Indeks spękań niskotemperaturowych zdefiniowano następująco:

$$IS = S_1 + 0,5 \times S_{\frac{1}{2}} + 0,25 \times S_{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

gdzie:

- IS - indeks spękań,
- $S_1$  - ilość spękań na całą szerokość jezdni,
- $S_{\frac{1}{2}}$  - ilość spękań na  $\frac{1}{2}$  szerokości jezdni,
- $S_{\frac{1}{4}}$  - ilość spękań na  $\frac{1}{4}$  szerokości jezdni.

Dla wszystkich rozpatrywanych odcinków określano średni indeks spękań.

#### 4.2. Sposób podziału odcinków na podstawie indeksu spękań

Wszystkie analizowane odcinki podzielono w zależności od wartości indeksu spękań na cztery grupy:

Odcinki niespękane – uzyskana wartość indeksu spękań poniżej 0,20, czyli mniej niż 0,2 spękania na 100 m (mniej niż 1 spękanie na 500 m),

Odcinki mało spękane – uzyskana wartość indeksu spękań od 0,21 do 1,00, czyli od 0,21 do 1 spękania na 100 m (od 1 do 5 spękań na 500 m),

Odcinki średnio spękane – uzyskana wartość indeksu spękań od 1,01 do 5,00, czyli od 1 do 5 spękań na 100 m (od 5 do 25 spękań na 500 m),

Odcinki bardzo spękane – uzyskana wartość indeksu spękań powyżej 5,00, czyli więcej niż 5 spękań na 100 m (powyżej 25 spękań na 500 m).

#### 4.3. Wyniki oceny intensywności występowania spękań niskotemperaturowych

Dla każdego analizowanego odcinka wyznaczono indeks spękań niskotemperaturowych. Podczas przeprowadzania badań okazało się, że:

- Niektóre wybrane odcinki miały wykonane powierzchniowe utwalenie, które w większym lub mniejszym stopniu utrudniło identyfikację uszkodzeń i określenie liczby i rodzaju spękań. Odcinki te wyróżniono w zestawieniu.
- Część wybranych odcinków była dość intensywnie zniszczona i wykazywała spękania o charakterze zmęczeniowym, które utrudniały inwentaryzację spękań niskotemperaturowych. Odcinki te wyróżniono w zestawieniu.
- Część wybranych odcinków miała nawierzchnię betonową lub z kostki kamiennej. Podczas analizy pominięto te odcinki.
- Kilka wybranych odcinków było w trakcie remontu lub po przeprowadzonym remoncie. Te odcinki także pominięto podczas analizy.





W roku 2005 powtórzono ocenę występowania spękań niskotemperaturowych na tych samych odcinkach co 5 – 6 lat wcześniej. Przeprowadzone badania miały na celu sprawdzenie, czy i w jakim zakresie następuje przyrost spękań poprzecznych o charakterze niskotemperaturowym po upływie określonego okresu czasu.

Rezultaty oceny zmiany intensywności występowania spękań niskotemperaturowych przeprowadzonej w latach 1999 – 2000 i powtórzonej w roku 2005 w poszczególnych województwach przedstawiono w tablicach od 1 do 3.

Tablica 1. Zestawienie uzyskanych wartości indeksów spękań na odcinkach w województwie pomorskim

Nr odcinka (nr/rok badań)	Nr drogi	Lokalizacja (wg. obowiązującego, nowego kilometraża)	Średni indeks spękań na odcinku w roku 1999 lub 2000	Średni indeks spękań na całym odcinku w roku 2005	Zmiana IS (+: wzrost; -: spadek)
1/99	DK 6	Km 268+989 - 269+989	0	0,30	+0,3
4/99	DW 214	Km 48+200 – 49+200	1,90	2,10	+0,2
5/99	DW 214	Km 51+000 – 52+000	0	0,55	+0,55
7/99	Powiatowa	Od m. Rybska Karczma w kier. m. Kniewo	0	0,45	+0,45
11/99	Powiatowa	Od m. Zawory w kier. m. Chmielno	4,30	4,30	0
3/00	DK 55	Km 3+069 – 3+569	0	0,30	+0,30
5/00	DK 55	Km 58+069 – 58+569	3,20 <sup>(3)</sup>	10,20 <sup>(3)</sup>	+7,00
10/00	DK 6	Km 276+989 – 277+489	0,40	<sup>(1)</sup>	-
14/00	DK 21	Km 19+621 – 20+121	0,80	1,20	+0,40
15/00	DK 21	Km 1+636 – 2+136	2,40	2,35	-0,05 <sup>(2)</sup>
19/00	DK 20	Km 204+146 – 204+646	2,00	1,10	-0,90 <sup>(2)</sup>
20/00	DK 20	Km 289+877 – 290+377	0	0,20	+0,20
24/00	DK 22	Km 224+571 – 225+071	0,80	<sup>(1)</sup>	-
25/00	DK 22	Km 238+571 – 239+071	1,50	<sup>(1)</sup>	-
30/00	DK 1	Km 30+000 – 30+500	0,90	<sup>(1)</sup>	-
32/00	DK 1	Km 85+500 – 86+000	1,80	<sup>(1)</sup>	-

- (1) część lub całe odcinki zostały wyremontowane w latach 2000 - 2005,  
 (2) zmiana indeksu spękań ze znakiem (-) wynika z utrudnionej identyfikacji spękań poprzecznych w roku 2005 na skutek znacznych uszkodzeń odcinka,  
 (3) wykonane zabiegi powierzchniowego utwardzenia utrudniały identyfikację spękań poprzecznych.

W województwie pomorskim na 16 zbadanych odcinków w 8 przypadkach (czyli w 50% liczby odcinków w tym województwie) zanotowano wzrost indeksu spękań po 5-6 latach eksploatacji nawierzchni. W dwóch przypadkach nie zanotowano zmiany indeksu spękań lub zmiana była niewielka (+/-0,05). Na pozostałych odcinkach w ciągu ostatnich kilku lat wykonano remonty nawierzchni uniemożliwiające ocenę przyrostu spękań poprzecznych o charakterze niskotemperaturowym w czasie. W jednym przypadku - na odcinku 19/00, zanotowano dość duży spadek indeksu spękań, który może być związany z przeprowadzonymi na tym odcinku lokalnymi

naprawami, a w związku z tym, z trudnościami w odpowiedniej ocenie występujących spękań. Średni przyrost indeksu spękań zanotowany w województwie pomorskim, (uwzględniający odcinki na których przyrost był równy 0) wynosi: 0,85. Oznacza to średni wzrost o ponad 4 spękania niskotemperaturowe na długości odcinka równej 500 m.

Tablica 2. Zestawienie uzyskanych wartości indeksów spękań na odcinkach w województwie warmińsko - mazurskim

Nr odcinka (nr/rok badań)	Nr drogi	Lokalizacja (wg. obowiązującego, nowego kilometraża)	Średni indeks spękań na odcinku w roku 1999 lub 2000	Średni indeks spękań na całym odcinku w roku 2005	Zmiana IS (+: wzrost; -: spadek)
15/99	DW 591	Km 52+000 – 53+000	5,30	4,72	-0,60 <sup>(2)</sup>
16/99	DW 591	Km 14+700 – 15+700	9,10	5,3	-3,80 <sup>(2)</sup>
33/00	DK 15	Km 328+585 – 329+085	11,10 <sup>(3)</sup>	<sup>(1)</sup>	-
35/00	DK 16	Km 52+800 – 53+300	0	<sup>(1)</sup>	-
41/00	DK 16	Km 231+039 – 231+539	3,40 <sup>(3)</sup>	<sup>(1)</sup>	-
43/00	DK 16	Km 282+490 – 282+990	0	<sup>(1)</sup>	-
44/00	DK 16	Km 299+490 – 299+990	4,50	8,00	+3,50
46/00	DK 57	Km 79+250 – 79+750	1,80 <sup>(3)</sup>	1,90 <sup>(3)</sup>	+0,10
47/00	DK 57	Km 94+250 – 94+750	2,00 <sup>(3)</sup>	2,00 <sup>(3)</sup>	0
48/00	DK 57	Km 13+000 – 13+500	16,70 <sup>(3)</sup>	<sup>(1)</sup>	-
50/00	DK 51	Km 14+000 – 14+500	0	0,45	+0,45
52/00	DK 51	Km 73+300 – 73+800	2,20	5,10	+2,60
58/00	DK 7	Km 192+441 – 192+941	2,50	3,80	+1,30
59/00	DK 7	Km 200+941 – 201+441	1,90	2,10	+0,20
60/00	DK 58	Km 18+000 – 18+500	9,67 <sup>(3)</sup>	<sup>(1)</sup>	-
62/00	DK 53	Km 18+016 – 18+516	4,00	<sup>(1)</sup>	-
63/00	DK 53	Km 31+960 – 32+460	0,40	0,40	0
65/00	DK 59	Km 62+490 – 62+990	0,10	0,55	+0,45
66/00	DK 59	Km 75+880 – 76+380	0,40	0,35	-0,05 <sup>(2)</sup>
70/00	DK 59	Km 14+195 – 14+695	2,88 <sup>(3)</sup>	<sup>(1)</sup>	-
71/00	DK 63	Km 21+943 – 22+443	1,90 <sup>(3)</sup>	2,55	+0,65
72/00	DK 63	Km 43+845 – 44+345	0	1,45	+1,45
73/00	DK 63	Km 67+263 – 67+763	1,70 <sup>(3)</sup>	1,75	+0,05
75/00	DK 58	Km 126+803 – 127+303	1,50 <sup>(3)</sup>	2,70	+1,20
80/00	DK 65	Km 71+993 – 72+493	0 <sup>(3)</sup>	0,80	+0,80

(1) część lub całe odcinki zostały wyremontowane w latach 2000 - 2005,

(2) zmiana indeksu spękań ze znakiem (-) wynika z utrudnionej identyfikacji spękań poprzecznych w roku 2005 na skutek znacznych uszkodzeń odcinka,

(3) wykonane zabiegi powierzchniowego utwardzenia lub występujące spękania o charakterze zmęczeniowym utrudniały identyfikację spękań poprzecznych.

W województwie warmińsko - mazurskim na 25 zbadanych odcinków w 11 przypadkach (czyli 44% liczby odcinków w tym województwie) zanotowano wzrost indeksu spękań po 5-6 latach eksploatacji nawierzchni. W czterech przypadkach nie zanotowano zmiany indeksu spękań lub zmiana była niewielka (+/-0,05). Na pozostałych odcinkach podobnie jak w województwie pomorskim w ciągu ostatnich kilku lat wykonano remonty nawierzchni uniemożliwiające ocenę przyrostu spękań niskotemperaturowych w czasie. W dwóch przypadkach zanotowano spadek indeksu spękań. Średni przyrost indeksu spękań zanotowany w całym województwie warmińsko - mazurskim, uwzględniający odcinki, na których przyrost był bliski 0 wynosi: 0,85. Oznacza to taki sam średni wzrost jak w województwie pomorskim wynoszący ponad 4 spękania niskotemperaturowe na długości odcinka równej 500 m.

Tablica 3. Zestawienie uzyskanych wartości indeksów spękań na odcinkach w województwie podlaskim

Nr odcinka (nr/rok badań)	Nr drogi	Lokalizacja (wg. obowiązującego, nowego kilometraża)	Średni indeks spękań na odcinku w roku 1999 lub 2000	Średni indeks spękań na całym odcinku w roku 2005	Zmiana IS (+: wzrost; -: spadek)
20/99	DW 653	Km 26+000 – 27+000	9,50	9,20	-0,30 <sup>(2)</sup>
21/99	DW 654	Od linii kolejowej w kier. Suwałk	1,60	5,05	+3,45
81/00	DK 8	Km 785+634 – 786+089	0,20	0,55	+0,35
83/00	DK 8	Km 721+302 – 721+802	3,70	<sup>(1)</sup>	-
84/00	DK 8	Km 706+808 – 707+310	3,50	3,85	+0,35
89/00	DK 19	Km 115+584 – 116+084	2,10	2,95	+0,85
97/00	DK 64	Km 44+121 – 44+625	5,80	<sup>(1)</sup>	-
98/00	DK 63	Km 163+067 – 163+572	3,20	2,90	-0,30 <sup>(2)</sup>
99/00	DK 63	Km 186+550 – 187+046	2,50	0,80 <sup>(3)</sup>	-1,70 <sup>(2)</sup>
104/00	DK 19	Km 33+245 – 33+746	3,10	2,18 <sup>(3)</sup>	-0,92 <sup>(2)</sup>
105/00	DK 66	Km 29+015 – 29+508	1,63	2,75	+0,55
107/00	DK 66	Km 71+921 – 72+424	1,20	1,40	+0,20
108/00	DK 66	Km 97+228 – 97+731	2,83	2,70 <sup>(3)</sup>	-0,13 <sup>(2)</sup>
111/00	DK 65	Km 159+524 – 160+026	3,20	2,05	-1,15 <sup>(2)</sup>
112/00	DK 65	Km 131+486 – 131+988	3,70	2,60	-1,10 <sup>(2)</sup>
114/00	DK 16	Km 364+774 – 365+275	3,10	2,20 <sup>(4)</sup>	+2,20

- (1) część lub całe odcinki zostały wyremontowane w latach 2000 - 2005,
- (2) zmiana indeksu spękań ze znakiem (-) wynika z utrudnionej identyfikacji spękań poprzecznych w roku 2005 na skutek znacznych uszkodzeń odcinka,
- (3) wykonane zabiegi powierzchniowego utwardzenia lub występujące spękania o charakterze zmęczeniowym utrudniały identyfikację spękań poprzecznych,
- (4) na odcinku nr 114/00 w roku 2002 wykonano remont i nową nakładkę z betonu asfaltowego – mimo to po 3 latach powstały spękania poprzeczne niskotemperaturowe o IS=2,20

W województwie podlaskim na 16 zbadanych odcinków w 7 przypadkach (czyli 44% liczby odcinków w tym województwie) zanotowano wzrost indeksu spękań po 5-6 latach eksploatacji nawierzchni. W województwie tym zanotowano jednocześnie

największą liczbę odcinków, na których stwierdzono niższą wartość indeksu spękań – 7 odcinków. Powodem uzyskania takich wartości indeksu spękań w roku 2005 w województwie podlaskim może być fakt, że większość badanych odcinków była naprawiana częściowo w postaci łat czy też powierzchniowego utrwalenia. Na części odcinków występowały również inne typy spękań np. spękania zmęczeniowe. Wszystkie te czynniki utrudniały ocenę spękań poprzecznych w roku 2005. Pomimo tych trudności średni przyrost indeksu spękań zanotowany w całym województwie podlaskim wynosi: 1,14. Oznacza to średni wzrost o prawie 6 spękań niskotemperaturowych na długości odcinka równej 500 m.

#### 4.4. Analiza indeksu spękań niskotemperaturowych

W analizie indeksu spękań niskotemperaturowych wykorzystano rezultaty badań przeprowadzonych w latach 1999 – 2000 oraz w roku 2005.

W tablicach 4 i 5 przedstawiono zestawienie odcinków o różnym stopniu występowania spękań poprzecznych o charakterze niskotemperaturowym na podbudowach podatnych dla poszczególnych województw oraz dla wszystkich odcinków łącznie.

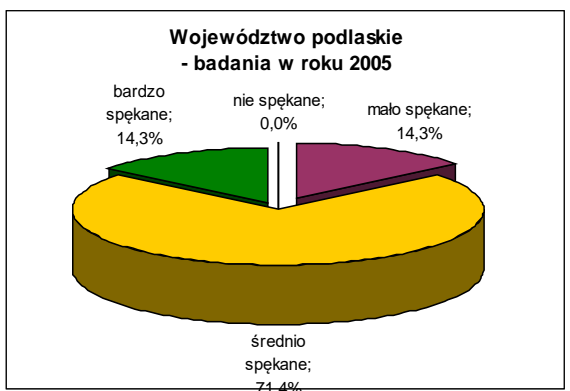
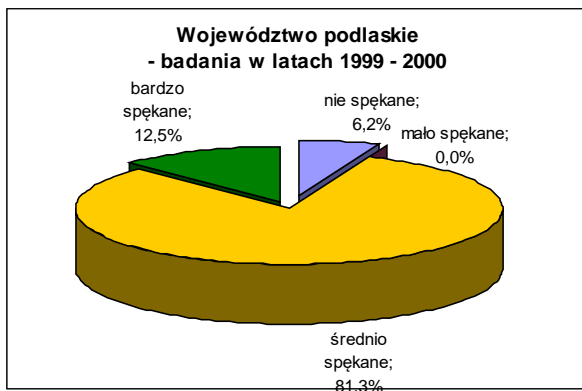
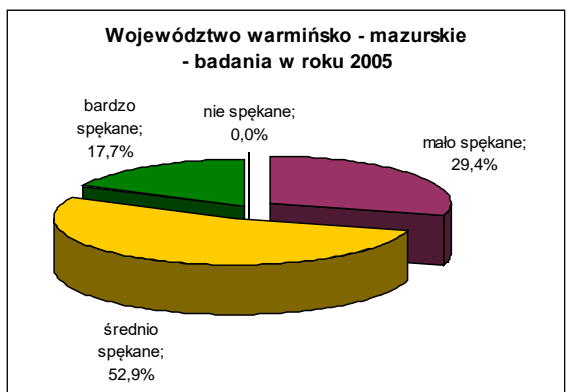
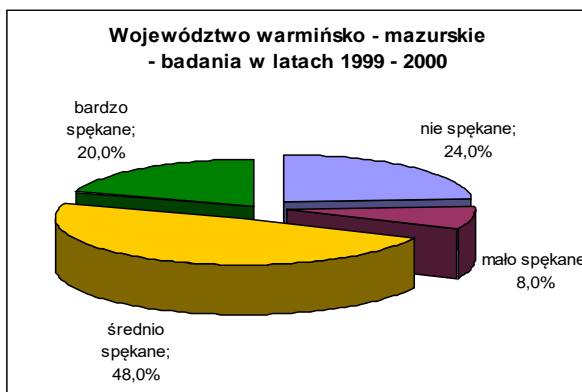
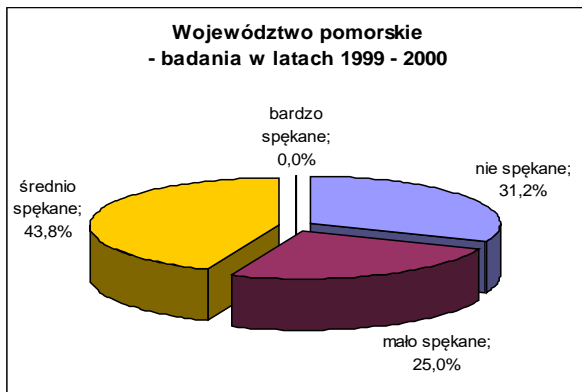
Tablica 4. Zestawienie odcinków o różnym stopniu występowania spękań niskotemperaturowych na podbudowach podatnych zbadanych w latach 1999 - 2000

Stopień spękań	Województwo pomorskie		Województwo warmińsko-mazurskie		Województwo podlaskie		Łącznie	
	[ilość]	[%]	[ilość]	[%]	[ilość]	[%]	[ilość]	[%]
Odcinki niespękane $IS \leq 0,2$	5	31,2	6	24,0	1	6,2	12	21,1
Odcinki mało spękane $0,2 < IS \leq 1,0$	4	25,0	2	8,0	0	0	6	10,5
Odcinki średnio spękane $1,0 < IS \leq 5$	7	43,8	12	48,0	13	81,3	32	56,1
Odcinki bardzo spękane $IS > 5$	0	0	5	20,0	2	12,5	7	12,3
Łącznie (wszystkie odcinki)	16	100	25	100	16	100	57	100

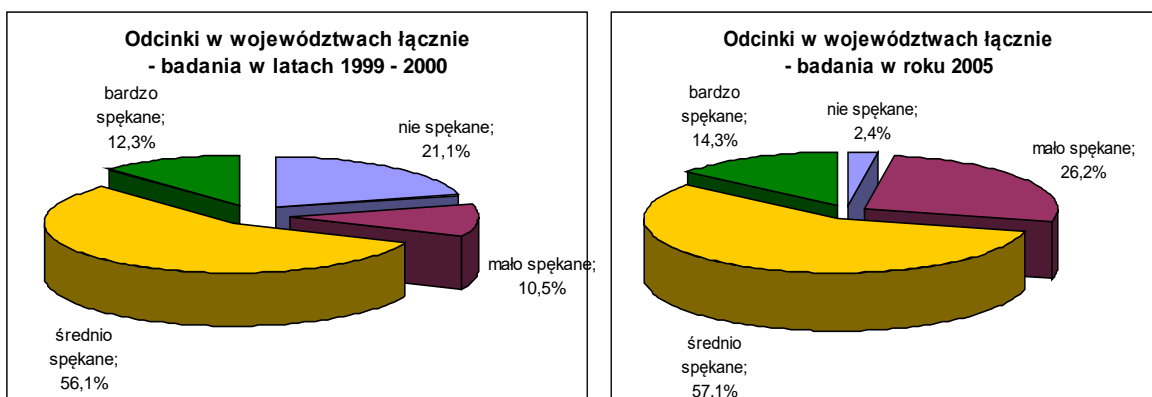
Tablica 5. Zestawienie odcinków o różnym stopniu występowania spękań niskotemperaturowych na podbudowach podatnych zbadanych w roku 2005

Stopień spękań	Województwo pomorskie		Województwo warmińsko-mazurskie		Województwo podlaskie		Łącznie	
	[ilość]	[%]	[ilość]	[%]	[ilość]	[%]	[ilość]	[%]
Odcinki niespękane $IS \leq 0,2$	1	9,1	0	0	0	0	1	2,4
Odcinki mało spękane $0,2 < IS \leq 1,0$	4	36,4	5	29,4	2	14,3	11	26,2
Odcinki średnio spękane $1,0 < IS \leq 5$	5	45,4	9	52,9	10	71,4	24	57,1
Odcinki bardzo spękane $IS > 5$	1	9,1	3	17,7	2	14,3	6	14,3
Łącznie (wszystkie odcinki)	11	100	17	100	14	100	42	100

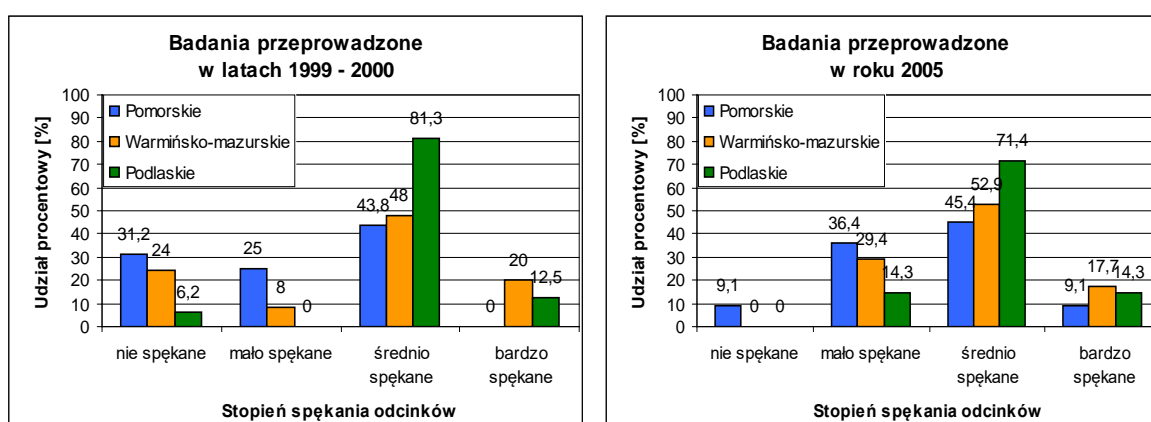
Na rysunku 7 przedstawiono procentowy udział odcinków o różnym stopniu spękań w poszczególnych województwach, natomiast na rysunku 8 przedstawiono zestawienie dla wszystkich badanych odcinków łącznie. Na rysunku 9 przedstawiono porównanie pomiędzy poszczególnymi województwami. W każdym z przypadków lewa strona rysunku oznacza badania wykonywane w latach 1999-2000, natomiast prawa strona rysunku oznacza badania wykonywane w roku 2005.



Rys. 7. Procentowy udział odcinków o różnej intensywności spękań niskotemperaturowych w poszczególnych województwach z badań w latach 1999 - 2000 oraz w roku 2005



Rys. 8. Procentowy udział odcinków o różnej intensywności spękań niskotemperaturowych we wszystkich województwach łącznie



Rys. 9. Porównanie intensywności występowania spękań niskotemperaturowych pomiędzy poszczególnymi województwami

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Podsumowując przeprowadzone badania intensywności występowania spękań niskotemperaturowych można stwierdzić, że:

- spękania poprzeczne nawierzchni asfaltowych o charakterze niskotemperaturowym są uszkodzeniem dość powszechnie spotykanym na polskich drogach.
- intensywność występowania spękań niskotemperaturowych na podbudowach podatnych jest różna w poszczególnych województwach. Udział odcinków o indeksie spękań większym od 1 (odcinki średnio i bardzo spękanie) w roku 2005 wynosił: dla województwa pomorskiego: 54,5%, dla województwa warmińsko – mazurskiego: 70,6%, natomiast dla województwa podlaskiego aż 85,7% wszystkich analizowanych odcinków. Wynika z tego, że intensywność spękań o charakterze niskotemperaturowym wzrasta wraz z lokalizacją odcinków w kierunku północno-wschodnim. Wiąże się to wpływem bardziej zimnego klimatu w tych rejonach Polski.
- analiza intensywności występowania spękań niskotemperaturowych we wszystkich województwach łącznie wykazała największy udział odcinków średnio spękanymi (IS od 1 do 5 spękań na 100 m) spośród wszystkich analizowanych



odcinków. Procentowy udział odcinków średnio i bardzo spękanych na poziomie ponad 68% (ponad 71% w roku 2005) pokazuje, że spękania niskotemperaturowe występujące na podbudowach podatnych są zjawiskiem częstym i jako jeden z mechanizmów uszkodzeń znacznie przyczyniają się do degradacji konstrukcji nawierzchni.

- na podstawie porównania wartości indeksów spękań niskotemperaturowych uzyskanych w trakcie badań w latach 1999 – 2000 oraz podczas powtórzonych badań w roku 2005 w większości przypadków stwierdzono wzrost indeksów spękań. Wielkość wzrostu była różna w zależności od stopnia spękania odcinków. Szczególnie widoczny wzrost indeksów spękań niskotemperaturowych stwierdzono w grupie odcinków mało spękanych. Oznacza to, że w okresie czasu 5-6 lat jaki upłynął pomiędzy przeprowadzonymi badaniami spękaniami uległy w znacznej mierze odcinki wcześniej niespękanymi. Zjawisko to może wiązać się z powstawaniem większych naprężeń termicznych w warstwach bitumicznych niespękanymi niż w tych, które już uległy spękaniami. Wzrost liczby spękań wiąże się również ze zjawiskiem starzenia warstw bitumicznych wraz z upływem czasu, a w związku z tym ze wzrostem ich sztywności i kruchości.
- problem spękań niskotemperaturowych pozostaje wciąż aktualny. Świadczą o tym chociażby bardzo niskie wartości temperatur notowane podczas ostatniej zimy na początku roku 2006 dochodzące często do  $-30^{\circ}\text{C}$ , a w niektórych rejonach i znacznie poniżej tej wartości. Obserwowane często na drogach spękania poprzeczne mogły powstać na skutek oddziaływania tak niskich temperatur nie tylko w okresie ostatniej zimy, ale również w latach poprzednich.

*Kontakt z autorem: [marek.pszczola@pg.gda.pl](mailto:marek.pszczola@pg.gda.pl)*

*Niniejszy artykuł jest wynikiem prac autora w ramach przygotowywanej rozprawy doktorskiej, obecnie w trakcie recenzji.*

#### **Literatura:**

- [1] Stock A.F., Arand W.: „Low temperature cracking in polymer modified binders”, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 62, 1993, p. 23-53,
- [2] Sybilski D.: “The dualism of bituminous road pavements cracking”, Proceedings of the Third International RILEM Conference: “Reflective Cracking in Pavements. Design and performance of overlay systems”, Maastricht, The Netherlands, 2-4 October 1996, p.331-343,
- [3] Judycki J., Alenowicz J., Dołżycki B.: „Badania spękań odbitych w nawierzchniach asfaltowych”, praca niepublikowana wykonana na zlecenie GDDP w Warszawie, Gdańsk 1999,
- [4] Haas R.C.G., Phang W.A.: „Relationships between mix characteristics and low temperature pavement cracking”, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 57, 1988,
- [5] Szydło A.: „Wpływ wybranych parametrów na spękania skurczowe nawierzchni bitumicznych”, Drogownictwo nr 4-5, 1989, s. 95 – 97,
- [6] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2001.

