

Mariusz Kosiń, Alina Pietrzak

ANALIZA OCENY WSKAŹNIKA SZORSTKOŚCI NAWIERZCHNI DROGOWEJ WAHADŁEM ANGIELSKIM NA DRODZE KRAJOWEJ DK-43 W OKRESIE UJEMNEJ I DODATNIEJ TEMPERATURY

Wprowadzenie

Przedmiotem niniejszego artykułu jest ocena zachowania wskaźnika szorstkości, stanowiącego jeden z parametrów eksploatacyjnych nawierzchni drogowej, w warunkach ujemnej i dodatniej temperatury otoczenia.

W celu określenia wskaźnika szorstkości wykonano serię badań na wybranym odcinku drogi przy użyciu wahadła angielskiego. Następnie na podstawie uzyskanych wyników dokonano analizy przeprowadzonych pomiarów.

Zakres badań obejmował odcinek drogi DK-43 długości 2 km (rys. 1, 2). Droga ta jest drogą główną, łączącą Częstochowę i Wieluń. Sklasyfikowana została jako obciążona ruchem w kategorii KR4. Badany odcinek został wyremontowany w 2010 roku, prace remontowe polegały na wymianie warstwy ścieralnej.



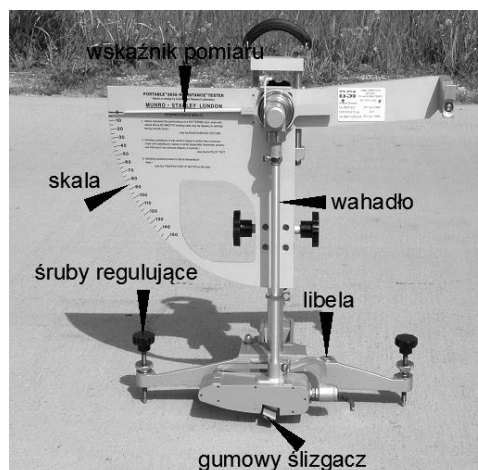
Rys. 1. Lokalizacja badanego odcinka drogi



Rys. 2. Droga DK-43, widok w kierunku Częstochowy
- okres ujemnych temperatur

1. Procedura badania wahadłem angielskim

Pomiar wahadłem angielskim BSRT (British Skid Resistance Tester) pozwala uzyskać wartość tarcia między gumowym ślizgaczem, zamocowanym na końcu wahadła (rys. 3), a badaną nawierzchnią. Wahadło jest tak skonstruowane, aby symulować warunki poślizgu pomiędzy oponą pojazdu a drogą przy prędkości 50 km/h [1, 2].



Rys. 3. Widok wahadła angielskiego

W wyznaczonym miejscu do badania ustawiamy urządzenie tak, aby wahadło poruszało się zgodnie z kierunkiem ruchu pojazdów. W momencie gdy urządzenie jest prawidłowo ustawione, długość drogi poślizgu gumowego ślizgacza na nawierzchni powinna mieścić się pomiędzy 12,4÷12,6 cm. Następnie upewniając się, że nawierzchnia jest wolna od zanieczyszczeń, zwilżamy ją oraz gumowy ślizgacz wodą. Po tych czynnościach można przejść do wykonania badania.

W jednym punkcie pomiarowym wykonujemy i zapisujemy pięć prób pomiarowych takich, aby nie było między nimi różnic większych niż trzy jednostki. Jeżeli zakres jest większy, należy powtórzyć pomiar do momentu, gdy trzy odczyty są stałe. Wyliczona średnia z pięciu odczytów z każdego punktu pomiarowego badanego odcinka daje reprezentatywną wartość szorstkości nawierzchni [2].

2. Wykonanie badań i opracowanie wyników

Na odcinku badawczym wyznaczono po 10 punktów pomiarowych dla lewego i prawego pasa drogi. W każdym punkcie pomiarowym, zgodnie z zaleceniami, dokonano 5 prób. Ze względu na warunki bezpieczeństwa oraz dotkliwy mróz pomiary wykonano jedynie na prawym śladzie koła pojazdu. Pomiary zostały wykonane w warunkach ujemnej i dodatniej temperatury otoczenia. Wyniki pomiarów zestawiono w tabelach 1 i 2.

Pomiar wskaźnika szorstkości BSRT w okresie zimowym wykonano 21 grudnia 2012 roku przy temperaturze otoczenia ok. -10°C . Warunki atmosferyczne zarówno w tym dniu, jak i w dniach poprzedzających pozbawione były opadów śniegu i deszczu, co sprawiło, że nawierzchnia drogi była sucha i nieoblodzona.

Drugi pomiar wskaźnika szorstkości BSRT wykonano 23 kwietnia 2013 roku przy temperaturze otoczenia ok. $+15^{\circ}\text{C}$. Stan nawierzchni drogi nie wykazywał żadnych negatywnych oznak związanych z czynnikami atmosferycznymi.

TABELA 1

Wyniki pomiarów wskaźnika szorstkości dla okresu zimowego

Punkt pomiarowy	Kilometraż	Pomiar zimą 21.12.2012									
		Pas lewy kierunek Częstochowa					Pas prawy kierunek Częstochowa				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	34+000	36	36	37	37	35	40	40	41	38	38
2	34+200	38	36	35	36	37	44	44	43	42	42
3	34+400	39	38	38	39	40	37	37	40	39	39
4	34+600	35	34	33	32	34	38	36	36	38	39
5	34+800	44	41	42	42	42	40	41	41	40	38
6	35+000	42	39	39	40	40	43	40	40	39	39
7	35+200	36	39	38	39	37	39	38	41	40	41
8	35+400	40	39	38	41	40	37	36	37	37	36
9	35+600	37	37	40	39	39	39	41	41	38	38
10	35+800	42	41	40	39	40	42	39	41	40	41
11	36+000	39	38	36	36	38	41	43	41	41	42

TABELA 2

Wyniki pomiarów wskaźnika szorstkości dla okresu wiosennego

Punkt pomiarowy	Kilometraż	Pomiar wiosną 23.04.2013									
		Pas lewy kierunek Częstochowa					Pas prawy kierunek Częstochowa				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	34+000	62	61	61	62	60	59	60	61	62	60
2	34+200	62	59	60	61	60	62	63	63	63	60
3	34+400	63	63	62	63	63	63	64	63	62	63
4	34+600	60	59	58	59	59	62	61	63	63	62
5	34+800	65	63	64	63	65	60	62	61	59	59
6	35+000	62	63	60	60	62	63	62	64	61	62
7	35+200	60	60	61	58	58	62	62	63	62	60
8	35+400	64	62	62	61	62	59	60	59	62	61
9	35+600	58	58	60	60	59	62	64	61	61	61
10	35+800	61	61	63	62	60	63	64	62	64	62
11	36+000	62	62	62	64	64	60	62	61	61	62

W przeprowadzonym badaniu mamy do czynienia z małą licznością próby ($n < 30$), dlatego w analizie statystycznej wskaźnika szorstkości BSRT przyjęto rozkład t-Studenta i wartość krytyczną $t_{\alpha, f}$ dla liczby stopni swobody $f = n - 1$.

W tabeli 3 zestawiono podstawowe charakterystyki statystyczne, jakie zostały wyznaczone dla określenia wskaźnika szorstkości BSRT.

TABELA 3

Podstawowe charakterystyki statystyczne, jakie zostały zastosowane do analizy wyznaczenia wskaźnika szorstkości BSRT

Nazwa	Wzór	Nr wzoru
Średnia arytmetyczna	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	(1)
Odchylenie standardowe w próbie	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	(2)
Błąd graniczny pojedynczego pomiaru	$\Delta x = t_{\alpha, f} \sigma$	(3)
Przedział ufności wokół średniej arytmetycznej	$\bar{x} - \Delta x < x_m < \bar{x} + \Delta x$	(4)
Oznaczenia: x_i - wynik i -tego pomiaru; n - ilość wykonanych pomiarów; $t_{\alpha, f}$ - wartość krytyczna z rozkładu próby jednej zmiennej		

W celu wykonania analizy statystycznej badań przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$, co jednocześnie oznacza przyjęcie poziomu ufności 95%, oraz liczbę

stopni swobody $f = 4$. Dla powyższych danych odczytano z tablic wartość krytyczną $t_{\alpha,f}$, która w tym przypadku wynosi 2,776.

3. Analiza statystyczna wyników badań

Analizę wyników badań wskaźnika szorstkości BSRT poddano ocenie według kryteriów porównawczych przedstawionych w tabeli 4.

TABELA 4

Kryteria oceny szorstkości nawierzchni na podstawie wartości wskaźnika, określonego wahadłem angielskim [3]

Wskaźnik BSRT	Szorstkość
> 65	dobra
55÷65	zadowalająca
45÷55	dostateczna
< 45	niedostateczna

W poniższych tabelach pokazano wyniki analizy statystycznej dla poszczególnych pasów ruchu (tab. 5 i 6) oraz dla całej drogi (tab. 7).

TABELA 5

Statystyczna analiza wyników badań przeprowadzonych zimą

Lp.	Kilometraż	Pas ruchu - kierunek Częstochowa	Średnia \bar{x}	Odchylenie standardowe σ	Błąd graniczny Δx	Przedział ufności	
						$x_m = \bar{x} - \Delta x$	$x_m = \bar{x} + \Delta x$
1	34+00	lewy	36,2	0,837	2,324	33,876	38,524
		prawy	39,4	1,341	3,723	35,677	43,123
2	34+200	lewy	36,4	1,140	3,165	33,235	39,565
		prawy	43,0	1,000	2,776	40,224	45,776
3	34+400	lewy	38,8	0,837	2,324	36,476	41,124
		prawy	38,4	1,341	3,723	34,677	42,123
4	34+600	lewy	33,6	1,140	3,165	30,435	36,765
		prawy	37,6	1,517	4,211	33,389	41,811
5	34+800	lewy	42,2	1,095	3,040	39,160	45,240
		prawy	40,0	1,225	3,401	36,599	43,401
6	35+000	lewy	40,0	1,224	3,398	36,602	43,398
		prawy	40,2	1,643	4,561	35,639	44,761
7	35+200	lewy	37,8	1,303	3,617	34,183	41,417
		prawy	39,8	1,303	3,617	36,183	43,417
8	35+400	lewy	39,6	1,14	3,165	36,435	42,765
		prawy	36,6	0,548	1,521	35,079	38,121
9	35+600	lewy	38,4	1,341	3,723	34,677	42,123
		prawy	39,4	1,517	4,211	35,189	43,611
10	35+800	lewy	40,4	1,140	3,165	37,235	43,565
		prawy	40,6	1,140	3,165	37,435	43,765
11	36+000	lewy	37,4	1,341	3,723	33,677	41,123
		prawy	41,6	0,894	2,482	39,118	44,082

TABELA 6

Statystyczna analiza wyników badań przeprowadzonych wiosną

Lp.	Kilometraż	Pas ruchu - kierunek Częstochowa	Średnia \bar{x}	Odchylenie standardowe σ	Błąd graniczny Δx	Przedział ufności	
						$x_m = \bar{x} - \Delta x$	$x_m = \bar{x} + \Delta x$
1	34+000	lewy	61,2	0,837	2,324	58,876	63,524
		prawy	60,4	1,140	3,165	57,235	63,565
2	34+200	lewy	60,4	1,140	3,165	57,235	63,565
		prawy	61,8	1,304	3,620	58,180	65,420
3	34+400	lewy	62,8	0,447	1,241	61,559	64,041
		prawy	63,0	0,707	1,963	61,037	64,963
4	34+600	lewy	59,0	0,707	1,963	57,037	60,963
		prawy	62,2	0,837	2,324	59,876	64,524
5	34+800	lewy	64,0	1,000	2,776	61,224	66,776
		prawy	60,2	1,304	3,620	56,580	63,820
6	35+000	lewy	61,4	1,342	3,725	57,675	65,125
		prawy	62,4	1,140	3,165	59,235	65,565
7	35+200	lewy	59,4	1,342	3,725	55,675	63,125
		prawy	61,8	1,095	3,040	58,760	64,840
8	35+400	lewy	62,2	1,095	3,040	59,160	65,240
		prawy	60,2	1,304	3,620	56,580	63,820
9	35+600	lewy	59,0	1,000	2,776	56,224	61,776
		prawy	61,8	1,304	3,620	58,180	65,420
10	35+800	lewy	61,4	1,140	3,165	58,235	64,565
		prawy	63,0	1,000	2,776	60,224	65,776
11	36+000	lewy	63,0	1,000	2,776	60,224	65,776
		prawy	61,2	0,837	2,324	58,876	63,524

Tabele 5 i 6 przedstawiają analizę wyników dla pasa lewego i prawego drogi. Średnie wyniki z każdego punktu pomiarowego dla temperatur ujemnych wynoszą odpowiednio dla pasa lewego 38,3 i prawego 39,7. Wynikami średnich wskaźników szorstkości z pasa lewego i prawego są odpowiednio wartości 61,3 i 61,6 jednostek BSRT. Można więc stwierdzić, że rozrzut średnich wyników wskaźnika szorstkości zarówno w okresie zimowym (ok. 3,5%), jak i wiosennym jest znikomy (0,5%). Inaczej jest, gdy poddamy analizie maksymalne i minimalne wartości wskaźnika szorstkości. Największa wartość wskaźnika BSRT dla ujemnych temperatur znajduje się na 34+200 kilometrażu pasa prawego i wynosi 43 jednostki BSRT. Natomiast najmniejsza wartość wskaźnika BSRT dla ujemnych temperatur wynosi 33,6 i zlokalizowana jest na km 34+600 pasa lewego. Wartość maksymalna wskaźnika w okresie temperatur dodatnich wynosi 64 i jest na km 34+800, a wartość minimalna równa 59 została uzyskana na km 35+600. Jak widać, wartości maksymalnych i minimalnych wskaźników szorstkości są w znaczący sposób rozbieżne między sobą. Różnica ta wynosi ok. 22% dla badań wykonanych zimą i ok. 8% dla okresu wiosennego. Warto zwrócić uwagę na to, iż maksymalne i minimalne wartości

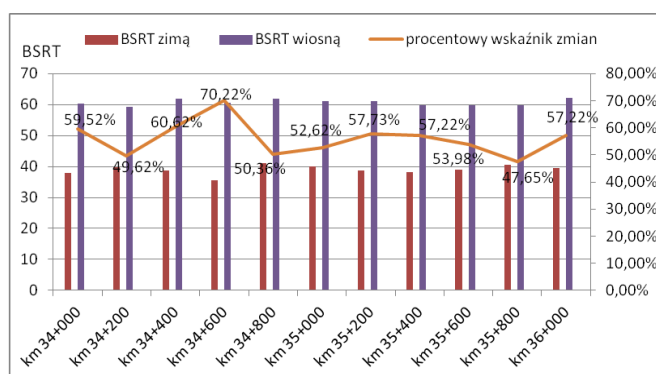
nie leżą w jednym przekroju. Taka rozbieżność może wynikać z lokalnych zmian, jakie występują na badanej nawierzchni, a które niekoniecznie zostały zaobserwowane podczas wizualnej obserwacji drogi. W związku z tym za miarodajne wartości należy przyjmować wartości średnie z przeprowadzonych badań.

W tabeli 7 oraz na rysunku 4 zamieszczono średnie zbiorcze zestawienie zmian wyników badań wahadłowego wskaźnika szorstkości uzyskane w okresie prowadzonych pomiarów. Różnica pomiędzy wskaźnikiem szorstkości mierzonym w ujemnych i dodatnich temperaturach wynosi średnio około 22 jednostki BSRT, to jest aż o 36,08% więcej.

TABELA 7

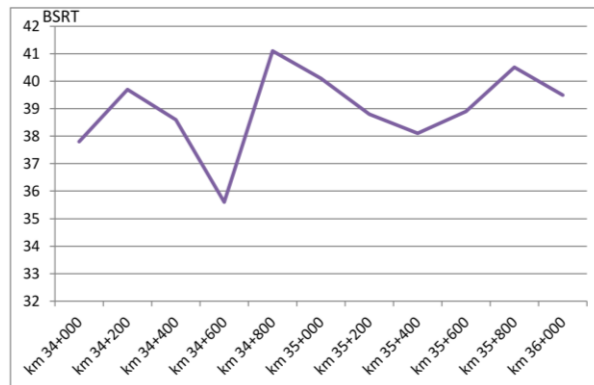
Względne zmiany wskaźnika szorstkości dla średnich wartości z obu pasów ruchu z okresu temperatury ujemnej i dodatniej

Kilometraż	Średnia z lewego i prawego pasa - zima	Średnia z lewego i prawego pasa - wiosna	Wskaźnik zmian BSRT
34+000	37,8	60,3	59,52%
34+200	39,7	59,4	49,62%
34+400	38,6	62,0	60,62%
34+600	35,6	60,6	70,22%
34+800	41,1	61,8	50,36%
35+000	40,1	61,2	52,62%
35+200	38,8	61,2	57,73%
35+400	38,1	59,9	57,22%
35+600	38,9	59,9	53,98%
35+800	40,5	59,8	47,65%
36+000	39,5	62,1	57,22%
Średni wynik dla nawierzchni	38,97	60,75	36,08%

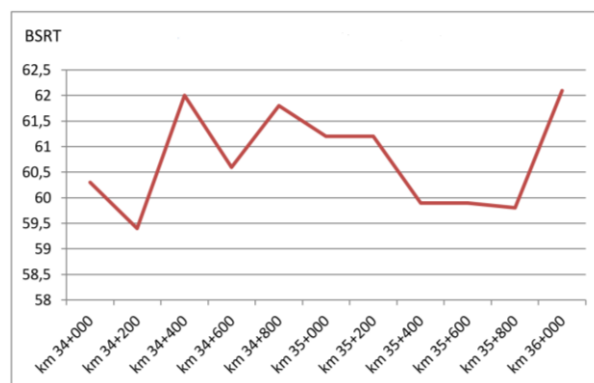


Rys. 4. Wykres danych średnich z pasa lewego i prawego dla okresu zimowego i wiosennego

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono rozrzut średnich wyników wskaźnika szorstkości na długości badanego odcinka drogi uzyskanych w okresie zimowym i wiosennym. Tak jak powyżej zostało to opisane, rozbieżność taka może wynikać z nierównomiernego zużywania się warstwy ścieralnej drogi.



Rys. 5. Zróżnicowanie wskaźników szorstkości na badanym odcinku drogi w okresie zimowym



Rys. 6. Zróżnicowanie wskaźników szorstkości na badanym odcinku drogi w okresie wiosennym

Analiza rysunku 5 oraz danych zestawionych w tabeli 5 prowadzi do wniosku, że wszystkie punkty, w których dokonano badań, wykazują szorstkość niedostateczną według kryteriów przedstawionych w tabeli 4. Natomiast analiza rysunku 6 oraz tabeli 6 pozwala według tych samych kryteriów jak wyżej zakwalifikować stan nawierzchni jako zadowalający.

Wnioski

Na podstawie wyników miarodajnych szorstkość nawierzchni w warunkach ujemnych temperatur jest niższa od szorstkości w temperaturach dodatnich otocze-

nia o ponad 36%. Wynika to z faktu, że ujemna temperatura otoczenia powodowała niemal natychmiastowe zamarzanie wody używanej do zwilżania nawierzchni oraz płózy urządzenia. Tak więc efekt wpływu temperatury na szorstkość badanej nawierzchni w tym przypadku jest oczywisty. Ważne jest jednak wzięcie pod uwagę faktu, że wykonując badania w okresie zimowym, nie zawsze mamy temperatury ujemne, co w obecnym klimacie jest częstym zjawiskiem. Tak więc może okazać się, że wskaźnik szorstkości będzie bardziej zadowolający w okresie zimowym niż w okresie letnim.

Przeprowadzone pomiary wskaźnika szorstkości w okresie ujemnych i dodatnich temperatur będą stanowić podstawę do kontynuacji badań w tym zakresie z uwzględnieniem okresu użytkowania badanego odcinka drogi.

Literatura

- [1] Rajczyk J., Kosiń M., Pomiar parametrów szorstkości nawierzchni betonowej, [w:] Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, praca zb. pod red. T. Bobki, J. Rajczyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007, 272-290.
- [2] Instructions for using the portable skid resistance tester. Her Majesty's Stationery Office, London 1969.
- [3] Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Technologia materiałów i nawierzchni drogowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.

Streszczenie

Przedmiotem niniejszego artykułu jest ocena zachowania wskaźnika szorstkości, stanowiącego jeden z parametrów eksploatacyjnych nawierzchni drogowej, w warunkach ujemnej i dodatniej temperatury otoczenia. W celu określenia tegoż wskaźnika wykonano serię badań na wybranym odcinku drogi przy użyciu wahadła angielskiego, a następnie na podstawie uzyskanych wyników dokonano analizy przeprowadzonych pomiarów.

Assessment ratio analysis of road surface roughness with British Skid Resistance Tester on the national road DK-43 in the negative and positive temperature

Abstract

The subject of this article is to assess the behavior of the roughness index, which is one of the operating parameters of road surface, in conditions of negative and positive temperature. In order to determine this index, a series of studies was carried out on the selected stretch of road with BSRT, and then the analysis of the performed measurements was made on the basis of the obtained results.