

Jerzy PAWLICKI, František SCHLOSSER

SZORSTKOŚĆ NAWIERZCHNI BITUMICZNYCH JAKO CZYNNIK WPLYWU NA KSZTAŁTOWANIE SIĘ KOSZTÓW UTRZYMANIA

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów tekstury i współczynnika tarcia nawierzchni drogi miejskiej, która została poddana zabiegom utrzymaniowym. Zniszczenia powierzchniowe usunięto za pomocą kilku różnych technik napraw.

ROUGHNESS OF BITUMINOUS SURFACE AS AN ELEMENT OF EFFECT ON THE MAINTAINANCE COST TRENDING

Summary. Measurement results of the texture and the surface friction factor of city road, which has been subjected to maintaining exertions are presented in the article. Surface damages were removed with several repairing techniques.

1. WPROWADZENIE

Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni asfaltowych należą do tych parametrów techniczno-eksploatacyjnych, które podlegają stałej ocenie zarządcy dróg krajowych. W ubiegłym roku ta cecha jezdni uzyskała, obok kolein, najniższe oceny. Z Raportu o stanie technicznym nawierzchni sieci dróg krajowych na koniec 2004 r. wynika, że przeprowadzenie natychmiastowych napraw w celu uszorstnienia nawierzchni dotyczy 1262,5 km dróg. Zagrożenie bezpieczeństwa związane ze złym stanem tekstury występuje na kolejnych 13,8% długości dróg krajowych [5].

Na wielkość kosztów utrzymania dróg w całym cyklu życia ma znaczny wpływ między innymi odpowiedni dobór składu mieszanek mineralno-bitumicznych, z których zbudowana jest nawierzchnia. Duża zawartość lepiszcza i wypełniacza oraz niewielka objętość wolnych przestrzeni sprzyjają zwiększeniu trwałości górnych warstw konstrukcyjnych. Odmienne wymagania stawiane są nawierzchniom ze względu na bezpieczeństwo ruchu – lepszą przyczepność kół samochodowych do jezdni zapewnia warstwa ścierna z betonu asfaltowego niż, z zawierającego 2,5 razy więcej wypełniacza i o 2% więcej lepiszcza, asfaltu lanego – najtrwalszego, lecz charakteryzującego się bardzo niekorzystnymi cechami przeciwpoślizgowymi. Przykładem właściwego doboru mieszanki są dywaniki z betonu asfaltowego o strukturze szorstkiej, zawierające ponad 65% ziaren łamanych o wielkości powyżej 2 mm, stosunkowo niewielką ilość asfaltu (około 6,5%) i wypełniacza (8,5%).

Dobre rezultaty w zakresie poprawy właściwości przeciwpoślizgowych przynoszą stosowane w zapobiegawczych i naprawczych zabiegach utrzymaniowych zaprawy emulsyjne typu

„Slurry seal” (w USA i krajach Unii Europejskiej), cienkie dywaniki typu „Tapisable” (we Francji), „Prosable” (we Francji i w Niemczech) typu „Mastiphalt” i „Mastimac” (w Niemczech i w innych krajach Europy). Powierzchniowe utrwalenie, pojedyncze i podwójne, stanowi najbardziej rozpowszechnioną na świecie technikę napraw uszkodzeń powierzchni jezdni.

2. POMIAR WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWPOŚLIZGOWYCH I ICH OCENA

W badaniach szorstkości stosuje się dwie grupy metod pomiarów [4, 6, 9]:

• Pomiar makrotekstury nawierzchni - metoda piaskowa

Celem jest obliczenie średniej grubości piasku kalibrowanego, który jest rozprawdzany na warstwie ścieralnej w taki sposób, aby wszystkie nierówności znajdujące się na powierzchni o średnicy d zostały wypełnione (1).

$$h_p = \frac{10^5}{d^2 \pi} \quad (1)$$

Tablica 1

Wymagane wartości h_p dla $v_n \leq 80$ km/h w Słowacji

Ocena stanu nawierzchni	Średnia grubość tekstury dla $v_n \leq 80$ km/h
Stan nieodpowiedni	$h_p < 0,22$
Stan zadowalający	$0,22 \leq h_p \leq 0,55$
Stan dobry	$h_p > 0,55$

Źródło: STN 736195

• Pomiar współczynnika tarcia za pomocą koła hamowanego

Do najszerzej stosowanych urządzeń należą urządzenia pracujące:

- ze stałym poślizgiem koła pomiarowego przy niepełnej blokadzie koła – na przykład Skiddometr BV 8 (Szwajcaria), Griptester (Anglia);
- ze zmiennym poślizgiem koła pomiarowego – np. Petra (Niemcy), Komatsu Skid Tester (Japonia);
- przy pełnej blokadzie koła pomiarowego – np. LCPC Skid Trailer (Francja) Skid Resistance Tester SRT (Polska).

Miarą właściwości przeciwpoślizgowych stosowaną w systemie SOSN jest miarodajny współczynnik tarcia, który jest równy różnicy wartości średniej wyników pomiarów współczynnika tarcia i odchylenia standardowego [8]:

$$\mu_m = E(\mu_i) - D_\mu, \quad (2)$$

gdzie:

$E(\mu_i)$ - wartość średnia z wartości μ pomierzonych co 100 m,

D_μ - odchylenie standardowe od wartości μ .

$$E(\mu_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i, \quad (3)$$

gdzie: n – liczba wartości współczynnika tarcia na odcinku

$$D_\mu = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\mu_i - E(\mu_i))^2}. \quad (4)$$

Pomiar współczynnika tarcia w Systemie Oceny Stanu Nawierzchni wykonuje się w lewym śladzie kół na zewnętrznym pasie ruchu, przy prędkości urządzenia pomiarowego $v=60$ km/h i grubości warstwy wody pod kołem pomiarowym 0,5 mm [8].

W tablicy 2 przedstawiono wymagania w stosunku do szorstkości nawierzchni w Polsce po dwóch miesiącach od rozpoczęcia eksploatacji. Tablica 3 prezentuje kryteria klasyfikacji stanu nawierzchni do 4 klas.

Tablica 2

Wymagane miarodajne współczynniki tarcia nawierzchni w Polsce

Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zabloowanej opony względem nawierzchni			
		30 km/h	60 km/h	90 km/h	120 km/h
A	pasy ruchu zasadnicze, dodatkowe, awaryjne	0,52	0,46	0,42	0,37
	pasy włączenia i wyłączenia, jezdnie łącznic	0,52	0,48	0,44	-
S, GP, G	pasy ruchu, pasy dodatkowe, utwardzone pobocza	0,48	0,39	0,32	0,30

Źródło: [4]

Tablica 3

Klasyfikacja stanu nawierzchni pod względem właściwości przeciwpoślizgowych w Polsce (dla opony Barum Bravura)

Klasa	Ocena stanu	Miarodajny współczynnik tarcia
A	stan dobry	$\geq 0,52$
B	stan zadowalający	0,37—0,51
C	stan niezadowalający	0,30—0,36
D	stan zły	$\leq 0,29$

Źródło: [8]

Do pomiarów tarcia podłużnego, których wyniki zaprezentowano w rozdziale 3, wykorzystano Skiddometr BV 11 (z 17% poślizgiem, symulującym skutki hamowania urządzenia ABS). Otrzymane dane pomiarowe porównano z zawartymi w tablicy 4 wymaganiami w stosunku do współczynników tarcia M_u .

Tablica 4

Klasyfikacja stanu nawierzchni pod względem właściwości przeciwpoślizgowych w Słowacji

Ocena stanu nawierzchni	Współczynnik tarcia dla v_n	
	$v_n \geq 80 \text{ km.h}^{-1}$	$v_n < 80 \text{ km.h}^{-1}$
Stan nieodpowiedni	$M_u < 0,53$	$M_u < 0,53$
Stan zadowalający	$0,53 < M_u \leq 0,79$	$0,53 < M_u \leq 0,68$
Stan dobry	$M_u > 0,79$	$M_u > 0,68$

Źródło: [1]

• Pomiar wykonany aparatem wahadlowym do punktowego sprawdzania tarcia

Do tego celu wykorzystano aparat wahadłowy TRRL. Ocena współczynnika tarcia dokonana została według następujących kryteriów:

$f_k \geq 55$ – stan zadowalający,

$f_k < 55$ – stan niezadowalający, wymagane uszorstnienie nawierzchni.

W tablicy 5 zestawiono graniczne wartości szorstkości służące określeniu stanu nawierzchni.

Tablica 5

Ekwiwalentne wartości dla różnych metod oceny właściwości przeciwpoślizgowych

Piasek – h_p	Wahadło – f_k	Skiddometr - M_u
0,22	46	0,53
0,55	60	0,68
0,80	71	0,79

Źródło: [1]

3. WYNIKI POMIARÓW GŁĘBOKOŚCI TEKSTURY I WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA

Badania właściwości przeciwpoślizgowych zostały przeprowadzone na remontowanych lub przebudowywanych odcinkach drogi miejskiej. Na poszczególnych odcinkach uszkodzonej nawierzchni zastosowano następujące techniki napraw:

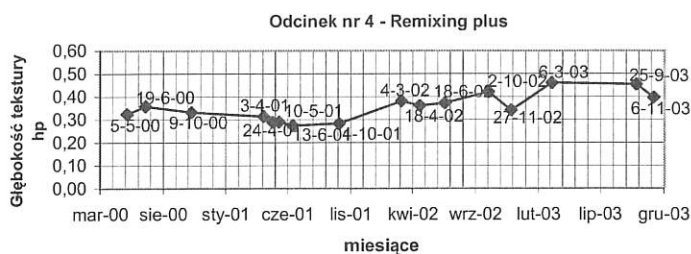
- odcinek nr 1 i 2 – cienki dywanik asfaltowy,
- odcinek nr 3 – cienki pokrowiec na zimno,
- odcinek nr 4 - remixing plus,
- odcinek nr 5 – mikrodywanik emulsyjny dwuwarstwowy,
- odcinek nr 6 - asfaltowy dywanik mastyksowy,
- odcinek nr 7 – mikrodywanik Colormac.

Pomiary wykonywane w terminach umożliwiających śledzenie zmian szorstkości w różnych porach roku i zróżnicowanych warunkach obciążenia ruchem. Zmiany właściwości przeciwpoślizgowych spowodowane zwiększonym ruchem pojazdów transportu budowlanego zarejestrowano po dwóch latach użytkowania wyremontowanej drogi oraz bezpośrednio po zrealizowaniu poszczególnych napraw w różnej technologii. Wyniki pomiarów głębokości tekstury nawierzchni drogowej pokazano na rysunkach 1 i 2, natomiast wyniki badań głębokości tekstury na drodze startowej lotniska – na rysunku 3. Efekty ciągłych pomiarów współczynnika tarcia za pomocą Skiddometru BV 11 na doświadczalnym odcinku drogi lotniskowej prezentują rysunki 4, 5 i 6.

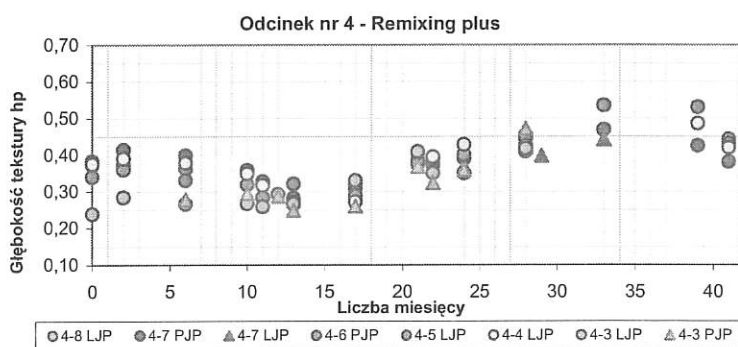
Z analizy danych pomiarowych wynikają następujące wnioski:

- Szorstkość nawierzchni ulega zmianom w zależności od pory roku i obciążenia ruchem.
- Właściwości przeciwpoślizgowe znacznie się poprawiły krótko po ukończeniu napraw; pod wpływem obciążenia eksploatacyjnego następowało stopniowe ich pogorszenie.
- Znaczny wpływ na szorstkość jezdni ma temperatura powietrza i nawierzchni. Na odcinku nr 3 nastąpiło zwiększenie szorstkości w jesieni. Najwyraźniej skutki zmian temperatury zauważalne były na odcinku 2 (cienki dywanik asfaltowy) oraz na odcinku 4 (remixing plus).

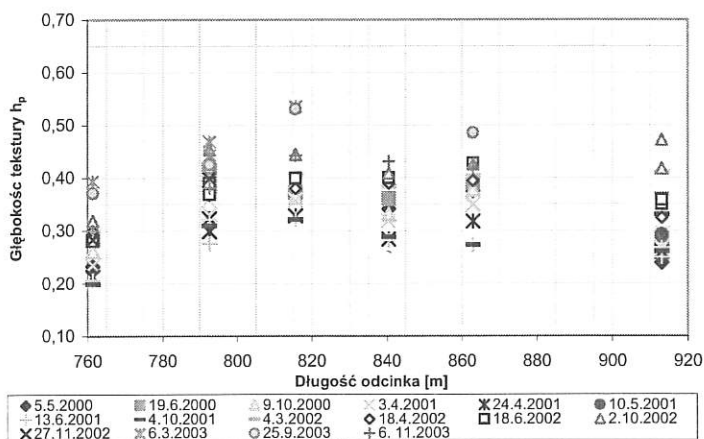
a)



b)

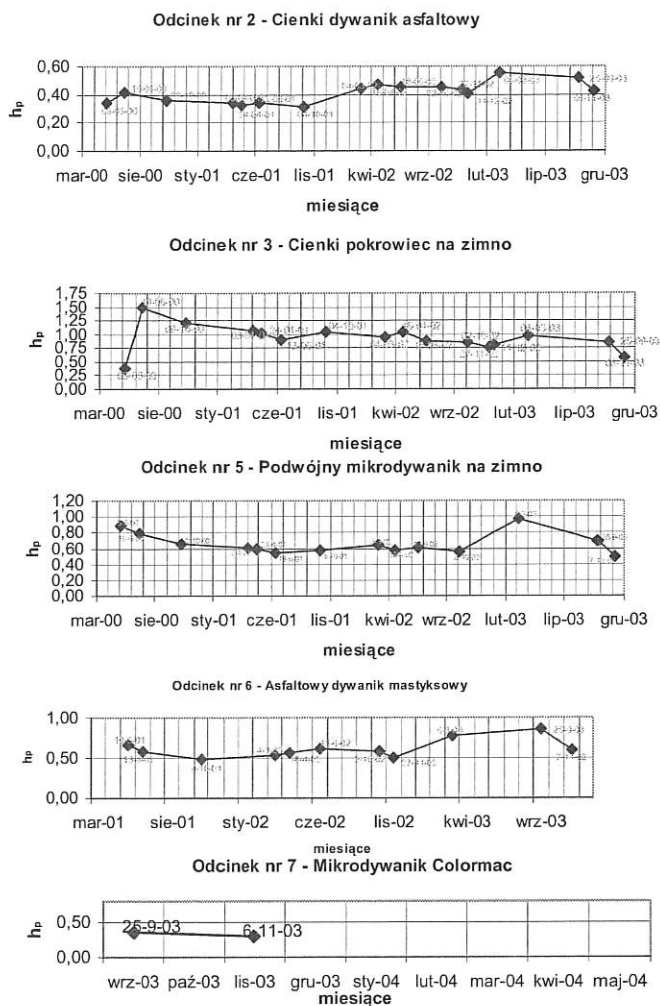


c)



Rys. 1. Przebieg zmian szorstkości nawierzchni: a) wartości średnie w przekrojach, b) wartości średnie na lewym i prawym pasie ruchu, c) wartości w różnych punktach przekrojów

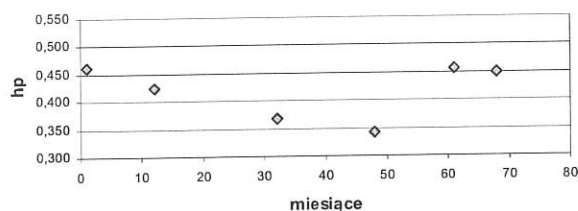
Fig. 1. Course of surface roughness changes: a) the average values in sections, b) the average values on left and right road line, c) values in various points of sections



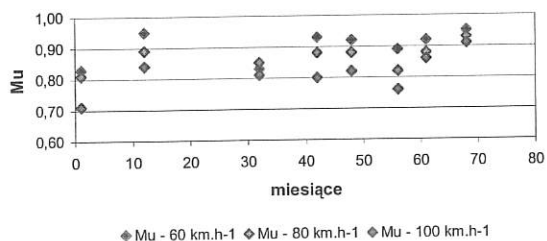
Rys. 2. Wpływ technik napraw i czasu eksploatacji na szorstkość nawierzchni h_p

Fig. 2. Influence of repairing techniques and exploitation time on surface roughness h_p

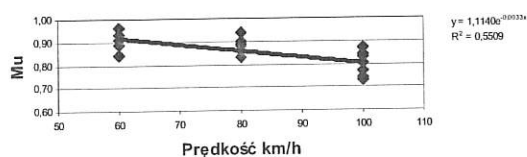
- Pomiary wykonane Skiddometrem BV 11 potwierdziły, że:
 - właściwości przeciwpślizgowe na początku pory wiosennej przyjmują najkorzystniejsze wartości; niskie temperatury sprzyjają poprawie się szorstkości warstwy ścieralnej.
 - występuje konieczność określenia współczynnika przeliczeniowego wyników otrzymanych w różnych temperaturach,
 - właściwości przeciwpślizgowe w znacznej mierze zależą od prędkości urządzenia pomiarowego (rys. 4 i 5),
 - zaobserwowano wyraźne pogorszenie szorstkości badanych nawierzchni po upalnym lecie 2003 r.



Rys. 3. Zmiana szorstkości h_p w zależności od czasu eksploatacji nawierzchni
Fig. 3. Roughness h_p depend on surface exploitation time

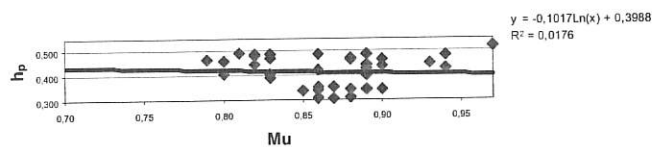


Rys. 4. Zmiana szorstkości Mu w zależności od czasu eksploatacji nawierzchni i prędkości pojazdu pomiarowego
Fig. 4. Roughness Mu depend on surface exploitation time and measuring vehicle velocity

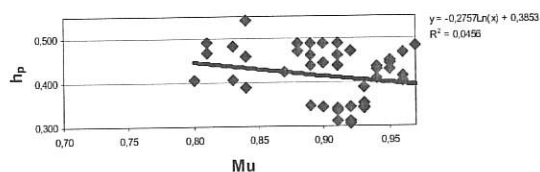


Rys. 5. Wpływ prędkości pojazdu pomiarowego na szorstkość Mu nawierzchni drogi startowej
Fig. 5. Influence of measuring vehicle velocity on roughness Mu of start road surface

a)



b)



Rys. 6. Zależność głębokości tekstury h_p i współczynnika tarcia Mu przy prędkościach pojazdu pomiarowego:
a) $v=80$ km/h, b) 60 km/h

Fig. 6. Texture depth h_p depend on friction factor Mu for measuring vehicle velocity: a) $v=80$ km/h, b) 60 km/h

4. PODSUMOWANIE

Szczególne znaczenie właściwości przeciwpółlizgowych wśród innych cech nawierzchni drogowej wynika z faktu, że jest to parametr ściśle związany z bezpieczeństwem wszystkich uczestników ruchu drogowego. Jednym z elementów utrzymania warstwy ścieralnej w dobrym stanie technicznym jest posiadanie przez zarządcę drogi w miarę aktualnych informacji o zmianie jej właściwości eksploatacyjnych. Wymaga to prowadzenia w regularnych odstępach czasu kontrolnych badań szorstkości nawierzchni z zastosowaniem ruchomych i efektywnych urządzeń pomiarowych. Na jakość danych pochodzących z obserwacji dokonanych w różnych okresach pomiarowych istotny wpływ mają między innymi: temperatura nawierzchni, temperatura powietrza, pora roku, szybki wzrost obciążenia ruchem. Analiza tych danych nie może się więc sprowadzać do prostego porównania liczbowych charakterystyk.

Literatura

1. Duffeková D.: Vývoj drsnosti na sledovaných úsekoch. DP, Žilinská univerzita, Žilina 2002.
2. Miková L.: Zmena drsnosti na úseku Veľký diel. DP, Žilinská univerzita, Žilina 2003.
3. Kőteleš M.: Letisko Žilina – zmena parametrov VPD. DP, Žilinská univerzita, Žilina 2004.
4. Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe. WKiŁ, sp.z o.o., Warszawa 2004.
5. Raport o stanie technicznym nawierzchni sieci dróg krajowych na koniec 2004 roku. GDDKiA, Warszawa 2005, <http://gddkia.gov.pl>.
6. Rolla S., Rolla M., Żarnoch W.: Budowa dróg cz. II. WSiP, Warszawa 1993.
7. Schlosser F., Vakula F., Kőteleš M.: Vývoj drsnosti na úsekoch s rozdielnym krytom vozovky. Seminár s medzinárodnou účasťou „Technológie údržby ciest – Q2004“ Žilinská univerzita, Žilina 28-29.04.2004, s. 16-25.
8. System Oceny Stanu Nawierzchni SOSN, Wytyczne stosowania – Załącznik D. GDDP, Warszawa, luty 2002. <http://gddkia.gov.pl>.
9. Stypułkowski B., red.: Zagadnienia utrzymania i modernizacji dróg i ulic. WKiŁ, sp.z o.o., Warszawa 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Romuald Szopa, prof. Politechniki Częstochowskiej