



ANDRZEJ POŻARYCKI

andrzej.pozarycki@put.poznan.pl



JAKUB FENGIER

jakub.fengier@put.poznan.pl



MICHAŁ WYCZAŁEK

michal.wyczalek@put.poznan.pl



PRZEMYSŁAW SKRZYPCZAK

przemyslaw.s.skrzypczak@put.poznan.pl

Politechnika Poznańska



MARIUSZ WESOŁOWSKI

mariusz.wesolowski@itwl.pl



KRZYSZTOF BLACHA

krzysztof.blacha@itwl.pl

Instytut Techniczny Wojsk  
Lotniczych

# Analiza wyników metody fotogrametrycznej w świetle właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni

(artykuł dyskusyjny)

Od redakcji: Autorzy zaproponowali wprowadzenie nowego parametru do diagnostyki nawierzchni – wskaźnika chropowatości)

Właściwości przeciwpoślizgowe są parametrem nawierzchni, który decyduje o bezpieczeństwie ruchu drogowego, dlatego jego wartości niejednokrotnie próbowano skorelować z wypadkowością na drogach [2, 3, 4]. Na uzyskiwane wyniki pomiarów tego parametru wpływ mają głównie [10]:

- 1) właściwości poruszającego się pojazdu (położenie środka ciężkości, rozkład ciężaru na poszczególne koła, właściwości układu hamulcowego itp.),
- 2) opony (wymiary konstrukcji i materiał bieżnika, temperatura i ciśnienie),
- 3) tryb jazdy (hamowanie, przyspieszanie, ruch po torze krzywoliniowym, prędkość, temperatura otoczenia etc.),
- 4) stan powierzchni nawierzchni (sucha, mokra, grubość filmu wodnego, śnieg, lód, etc.),
- 5) rodzaj warstwy ścieralnej nawierzchni (chropowatość, właściwości drenujące etc.).

Badacze poszukują również zależności między parametrami uzyskanymi z pomiarów nawierzchni przy użyciu technik laserowych oraz tych uzyskanych podczas oznaczania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni, np. [6, 7]. Warto jednak zwrócić uwagę, że relacje te są inne w przypadku różnych rodzajów nawierzchni i jak dotąd nie udało się wyznaczyć uniwersalnej zależności.

W artykule skupiono się na opisie właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni przy użyciu dwóch urządzeń pomiarowych: CSR (z ang. *Continuous Skid Resistance*) i ASFT (z ang. *Airport Surface Friction Tester*) oraz dokonano próby opisu metody fotogrametrycznej, którą można wykorzystać do oceny właściwości nawierzchni wykonanych w dwóch różnych technologiach: betonu asfaltowego i betonu cementowego. Nawierzchnia z betonu cementowego była badana w trzech stanach: czysta, zabrudzona gumą z opon statków powietrznych oraz obszary nawierzchni z oznakowaniem poziomym. W przypadku betonu asfaltowego badania były przeprowadzone na nawierzchniach czystych.

zgowych nawierzchni przy użyciu dwóch urządzeń pomiarowych: CSR (z ang. *Continuous Skid Resistance*) i ASFT (z ang. *Airport Surface Friction Tester*) oraz dokonano próby opisu metody fotogrametrycznej, którą można wykorzystać do oceny właściwości nawierzchni wykonanych w dwóch różnych technologiach: betonu asfaltowego i betonu cementowego. Nawierzchnia z betonu cementowego była badana w trzech stanach: czysta, zabrudzona gumą z opon statków powietrznych oraz obszary nawierzchni z oznakowaniem poziomym. W przypadku betonu asfaltowego badania były przeprowadzone na nawierzchniach czystych.

## Diagnostyka nawierzchni

W literaturze technicznej występuje szereg pojęć opisujących właściwości przeciwpoślizgowe. Do najczęściej przytaczanych definicji zaliczyć można:

**Współczynnik tarcia** – bezwymiarowy stosunek siły tarcia pomiędzy dwoma ciałami do normalnej siły nacisku tych dwóch ciał [17].

**Współczynnik przyczepności ogumienia** do nawierzchni wyznaczany ze wzoru:

$$\mu = \frac{F}{Z}$$

w którym:  $F$  – siła przyczepności opony do nawierzchni,  $Z$  – siła pionowa [16].

**Współczynnik przyczepności** – stosunek siły obwodowej (siły pędzącej) do siły normalnego nacisku koła [15].

**Makrotekstura** – nierówności warstwy wierzchniej nawierzchni w zakresie fal o długości 0,5–50 mm [13].

**Mikrotekstura** – nierówności warstwy wierzchniej nawierzchni w zakresie fal o długości mniejszej niż 0,5 mm [13].

**Tekstura** – sposób przestrzennego rozmieszczenia składników w skale.

**Chropowatość** – cecha powierzchni oznaczająca nierówności powierzchni nie wynikające z jej kształtu.

**Właściwości przeciwpoślizgowe** – parametr nawierzchni charakteryzujący przyczepność pomiędzy nawierzchnią, a oponą pojazdu. W szczególności opisujący zdolności do wytwarzania siły tarcia podczas poślizgu koła [14].

## Wprowadzenie do parametru „chropowatość”

Zgodnie z charakterystyką powierzchni materiałów poddawanych obróbce skrawaniem (norma PN-M-04251:1987 *Struktura geometryczna powierzchni – Chropowatość powierzchni – Wartości liczbowe parametrów*) można założyć, że każdy rodzaj materiału stosowany do warstw ścieralnych posiada charakterystyczną strukturę geometryczną powierzchni warstwy przypowierzchniowej. Właściwości tej struktury są prawdopodobnie związane z takimi wielkościami jak uziarnienie MMA czy wielkościami opisującymi odporność warstwy na warunki *in situ*. W myśl teorii, którą wykorzystuje się na potrzeby opisu właściwości tzw. warstw wierzchnich w materiałach poddawanych obróbce skrawaniem, właściwości struktury geometrycznej powierzchni można określić mianem chropowatości. Zatem **założono, że chropowatość będzie parametrem:**

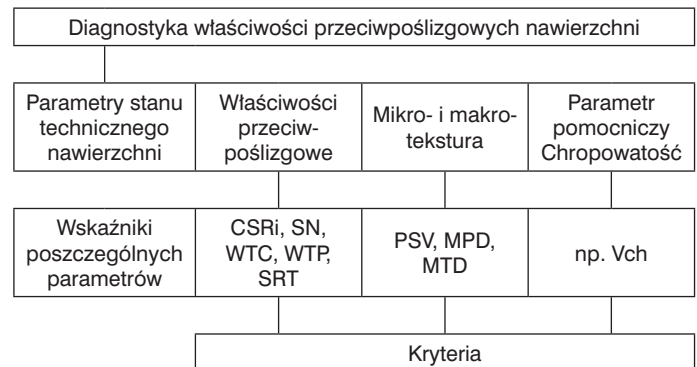
- którego wskaźniki będzie można określić z góry (np. na podstawie recepty MMA),
- którego wartości będzie można przewidzieć w funkcji czasu,
- który w żaden sposób nie wyklucza pojęć mikro- i makrotekstury stosowanych w drogownictwie,
- powierzchniowym, który łączy część cech przypisanych do definicji makrotekstury i cechy związane z makroteksturą warstwy ścieralnej.

W normie PN-87/M-04250 *Warstwa wierzchnia. Terminologia* zdefiniowano podstawowe pojęcia związane z powierzchnią obrabianą, które zaadoptowano na potrzeby charakterystyki powierzchniowej warstw wierzchnich nawierzchni dróg w tym dróg startowych, a mianowicie:

**Warstwa wierzchnia** – zewnętrzna warstwa materiału ograniczona rzeczywistą powierzchnią przedmiotu, obejmująca powierzchnie oraz część materiału w głąb od powierzchni rzeczywistej, która wykazuje zmienione cechy fizyczne i niekiedy chemiczne w stosunku do cech materiału rdzenia. **Rdzeń materiału** – część materiału przedmiotu usytuowana pod warstwą wierzchnią. **Struktura warstwy wierzchniej** – układ elementów powierzchni rzeczywistej przedmiotu i elementów budowy wewnętrznej warstwy wierzchniej przedmiotu. **Charakterystyka ogólna warstwy wierzchniej** – graficzne przedstawienie podstawowych cech warstwy wierzchniej wg ustalonego sposobu.

Wierzchnia powierzchnia nawierzchni ma za zadanie umożliwić poruszanie się koła po nawierzchni, a co za tym idzie, jej cechy geometryczne i materiałowe wpływają na maksymalne możliwe siły między oponą a nawierzchnią. Nierówności wierzchniej powierzchni nawierzchni możemy podzielić na: odchyłki kształtu, falistość i chropowatość powierzchni [1], parametrem wpływającym na właściwości przeciwpoślizgowe, który kształtujemy, jest chropowatość powierzchni. W drogownictwie do opisu powierzchni wierzchniej warstwy nawierzchni powszechnie stosowane są dwa wskaźniki: MPD (ang. *mean profile depth*) i MTD (ang. *mean texture depth*). Wskaźnik MPD cechuje się dużą powtarzalnością, ale odnosi się przede wszystkim do analizy wyników pojedynczej linii laserowej, co stanowi opis profilu jezdni, a nie odnosi się do jej powierzchni. Z kolei wskaźnik MTD jest określany na podstawie badań wykorzystujących piasek kalibrowany. Badanie to cechuje się małą powtarzalnością, ale odnosi się

do powierzchni warstwy wierzchniej nawierzchni. Ze względu na analizę nawierzchni w trzech wymiarach przestrzeni zasadnym jest powołanie do jej opisu parametru, jakim jest chropowatość nawierzchni. W schemacie blokowym diagnozy właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni, chropowatość traktowana jest jako parametr pomocniczy.



Schemat. 1. Diagnostyka właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni (oznaczenia zamieszczone na schemacie: CSRi – ang. *continuous skid resistance index*, SN – ang. *Skid Number*, WTC – *Współczynnik tarcia – pomiar ciągły [DSN]*, WTP – *Współczynnik tarcia – pomiar punktowy [DSN]*, SRT – *wskaźnik szorstkości oznakowania [DSN]*, PSV – ang. *Polished Stone Value*, MPD – ang. *mean profile depth*, MTD – ang. *mean texture depth*, Vch – *wskaźnik chropowatości opisany szerzej w dalszej części artykułu*).

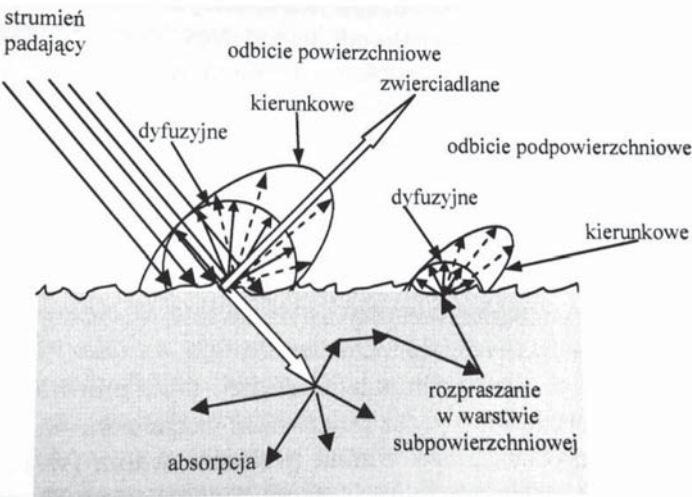
W naturalny sposób, parametr ten mógłby być opisywany wskaźnikiem MTD, jednak ze względu na uciążliwość metody piasku kalibrowanego w tej analizie testom poddano metodę fotogrametryczną.

## Fotogrametryczna chropowatość powierzchni

W zaproponowanym podejściu generowany jest model przestrzenny powierzchni wierzchniej nawierzchni, którego opis składa się ze współrzędnych x, y, z, modelu przestrzeni barw R G B i wartości określających nasycenie kolorów NxNyNz. Do uzyskania modelu powierzchni wierzchniej nawierzchni wykorzystano metodę ang. *Structure from Motion* [12]. Metoda ta polega na obliczeniu na podstawie zdjęć: położenia aparatów, wyznaczenia położenia poszczególnych punktów zidentyfikowanych jako te same i określeniu ich współrzędnych x, y oraz wykorzystaniu triangulacji do wyznaczenia głębi poszczególnych punktów (współrzędnych z). W ten sposób uzyskuje się tzw. chmurę punktów, którą w dalszej kolejności warto poddać regularyzacji, czyli przeliczyć chaotycznie ułożone wartości współrzędnych do równomiernej siatki, ułatwiając obliczenie wartości wskaźników opisujących chropowatość powierzchni.

W celu rejestracji chropowatości badanego wycinka nawierzchni jezdni posłużono się parą aparatów Nikon D3200, których usytuowanie jest przedstawione na rysunku 1. Parametry obu aparatów są jednakowe: rozdzielczość 6016 × 4000 pikseli, wartość przysłony w celu maksymalizacji głębi ostrości to f/8, czułość ISO w celu minimalizacji szumów to 100, czas naświetlania 1/600 s, odległość ogniskowej aparatu od obserwowanej powierzchni próbki 110 cm. Aby uzyskiwany obraz charakteryzował się dużą przejrzystością i powtarzalnością parametrów niezależnie od warunków zewnętrznych, za-

stosowano nieprzeźroczysty materiał minimalizujący ingerencję światła zewnętrznego. Ponadto zastosowano oświetlenie sztuczne wytworzone za pomocą czterech paneli diodowych wykonanych w technologii COB (każdy o mocy 50 W). Z uwagi na występujący, w pewnym zakresie kątów, kierunkowy charakter odbicia światła od nawierzchni, przedstawiony na rysunku 1, konieczna była eliminacja powstających na powierzchni niekorzystnych i utrudniających interpretację numeryczną refleksów (odbicie kierunkowych).



Rys. 1. Odbicie kierunkowe i dyfuzyjne w przypadku nawierzchni chropowatej [18]

W celu ich zniwelowania na obiektywach aparatów zastosowano filtry polaryzacyjne z powłoką antyrefleksyjną, o możliwie dużym współczynniku przepuszczania wynoszącym 31,88% w całym spektrum analizowanego promieniowania. Rezultatem zastosowania fotogrametrii jest chmura punktów

zawierająca minimum 1000 punktów na 1 mm<sup>2</sup>, którą wykorzystano do zamodelowania powierzchni warstwy wierzchniej nawierzchni. Dokładność wyznaczenia współrzędnych to 0,002 mm.

### Chropowatość – testy in situ

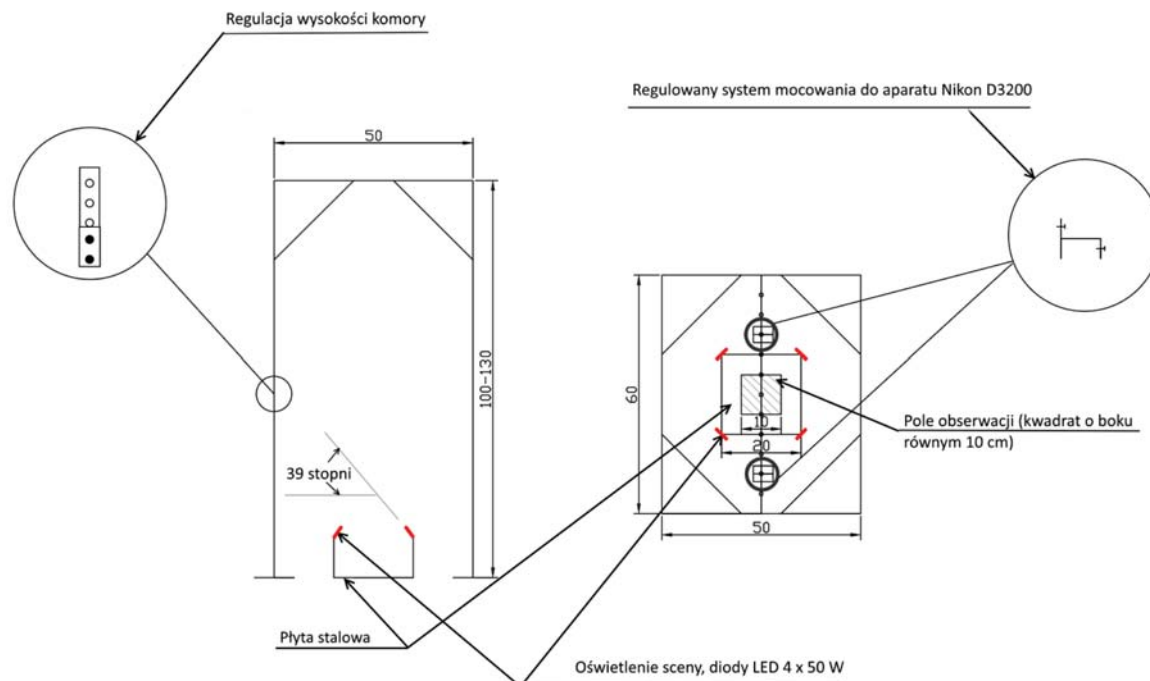
Przełożenie wyników badań fotogrametrycznych warstwy wierzchniej nawierzchni ze skali laboratoryjnej na skalę in situ to przede wszystkim konieczność budowy stanowiska, którego rozwiązanie musi zapewniać odtwarzalność bez względu na warunki atmosferyczne. Wykluczając opady deszczu zakłada się, że ze stanowiska będzie można korzystać zarówno w dzień, jak i w nocy. Nierównomierne oświetlenie, cienie, nadmiar czy wreszcie niedobór światła nie może skutkować koniecznością pisania oddzielnych aplikacji komputerowych, dostosowanych do różnych ekspozycji opartych na zasadach stereo-fotogrametrii. Schemat prototypowej komory fotogrametrycznej, która została opracowana i wybudowana specjalnie na okoliczność oznaczania chropowatości in situ, przedstawiono na rysunku 2.

W celu opisu ilościowego parametru, jakim jest chropowatość zastosowano wskaźnik  $V_{ch}$ :

$$V_{ch} = \frac{\sum (Z - z_i)}{4} P \quad (1)$$

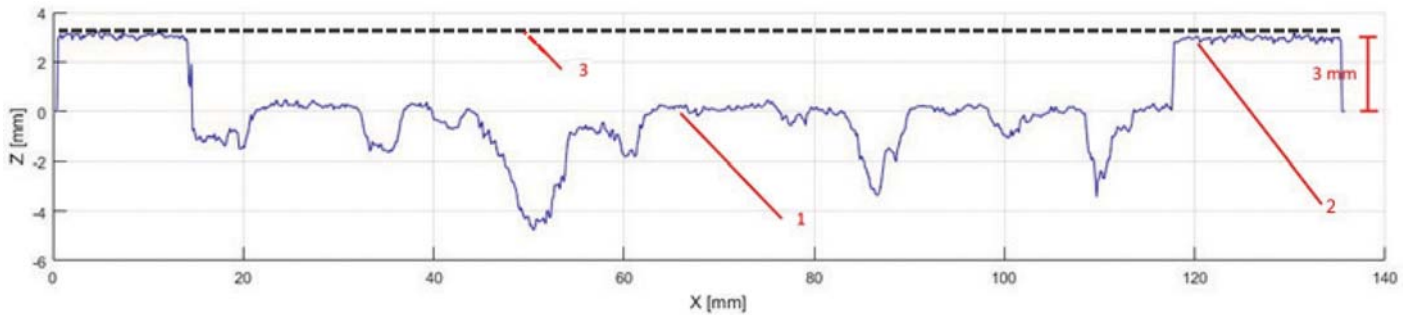
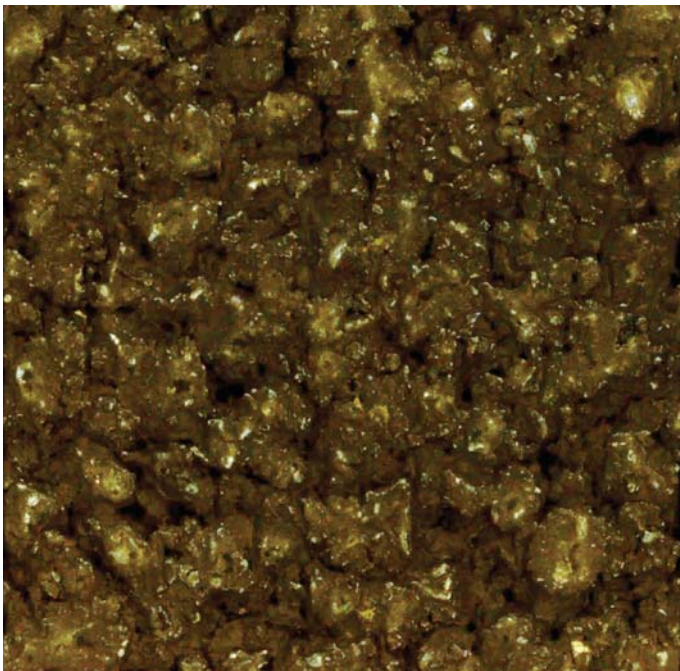
w którym:

- $V_{ch}$  – objętość bryły utworzonej poprzez ograniczenie przestrzeni nad fotografowaną powierzchnią nawierzchni umowną płaszczyzną płyty stalowej (rys. 3), a powierzchnią wierzchnią nawierzchni,
- $Z$  – współrzędna pionowa płyty stalowej (3 mm),
- $z$  – współrzędna pionowa  $i$ -tego punktu,
- $P$  – pole powierzchni figury kwadratu elementarnego na jakie podzielono powierzchnie nawierzchni.

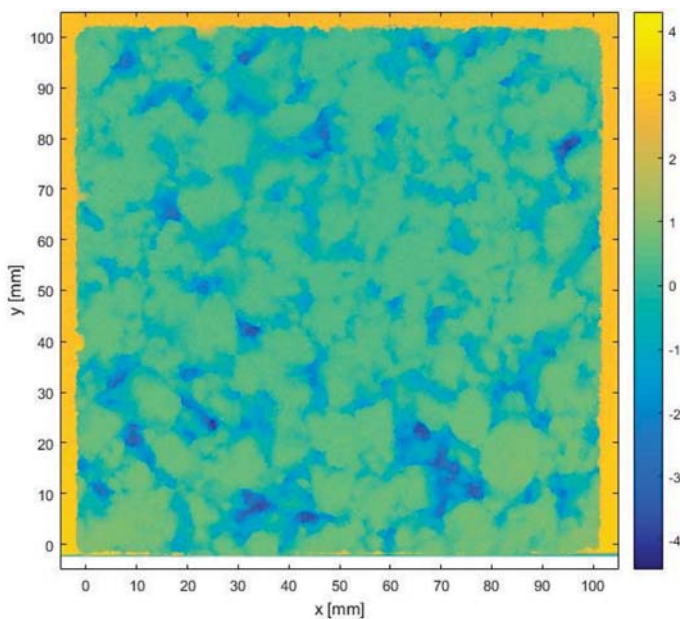


Rys. 2. Schemat komory do oceny chropowatości nawierzchni in situ





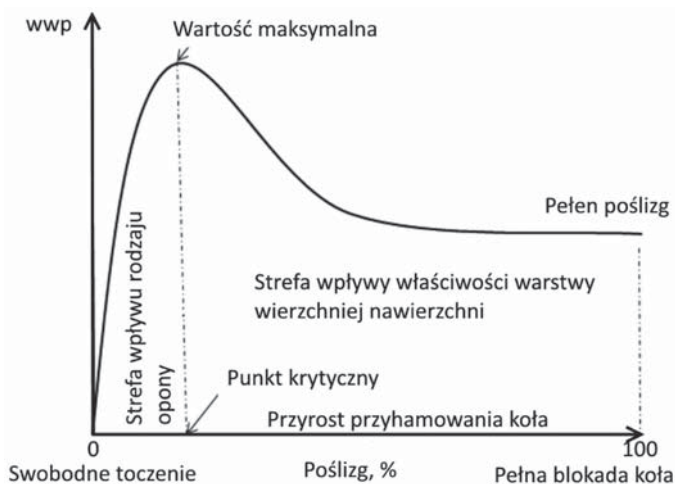
Rys. 3. Od góry: przykład wykonanych zdjęć warstwy ścieralnej na powierzchni o wymiarach (100 × 100 mm) wraz z przykładowym profilem powierzchni warstwy wierzchniej nawierzchni: 1 – profil obserwowanej nawierzchni, 2 – przekrój stalowej ramy wyznaczającej granice obserwowanego obszaru, 3 – umowna płaszczyzna ograniczająca przestrzeń nad fotografowaną powierzchnią nawierzchni



Rys. 4. Mapa głębi dotycząca nawierzchni uzyskana na podstawie zdjęć przedstawionych na rysunku nr 3

### Metodyka oznaczania współczynnika właściwości przeciwoślizgowych

Spośród licznej grupy metod oznaczania właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni [9] najbardziej wyraźny podział dotyczył charakterystyki przedstawionej na rysunku 5. Pokazany tam wykres jest wynikiem pomiaru wvp nawierzchni, wykonywanego przy pełnej blokadzie koła pomiarowego [8]. Badanie to, mimo wielu zalet takich jak możliwości zastosowania na rozbudowanej sieci drogowej lub możliwości analizowania właściwości przeciwoślizgowych w funkcji całkowitego przyhamowania koła pomiarowego, posiada mankament w postaci braku możliwości przeprowadzania badań nawierzchni w tzw. trybie ciągłym. Taką możliwość ma użytkownik urządzeń, w których zastosowano technologię częściowej blokady. Najczęściej stosowaną zasadą przyblokowania koła pomiarowego jest przyjmowanie wartości z przedziału wokół wartości maksymalnej, charakterystycznej dla wykresu pokazanego na rysunku 5, przy czym najczęściej przyjmowana szerokość przedziału waha się w granicach od 10 do 20%.



Rys. 5. Typowa charakterystyka właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni w funkcji stopnia przyblokowania koła pomiarowego

Przykładami takich rozwiązań są powszechnie wykorzystywane do badań nawierzchni lotniskowych urządzenia Grip Tester [11] lub ASFT (ang. *Airport Surface Friction Tester*).

Do badań właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni wykorzystano urządzenie CSR (ang. *Continuous Skid Resistance*). Urządzenie zostało zaprojektowane i zbudowane w Polsce, na potrzeby oznaczania właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni w warunkach kontrolowanego docisku hydraulicznego opony testowej do powierzchni nawierzchni. Schematy rysunków związanych z wybranymi elementami urządzenia zamieszczono na rysunkach 6 i 7.

Właściwości przeciwoślizgowe oceniane na podstawie wyników uzyskanych z pomiarów nawierzchni urządzeniem

CSR są parametrem nawierzchni, który w opisie inżynierskim funkcjonuje w postaci wskaźnika CSR<sub>i</sub> (ang. *Continuous Skid Resistance index*). Wskaźnik jest obliczany zgodnie ze wzorem (2).

$$CSR_i = \frac{M}{r \cdot F} \quad (2)$$

w którym:

CSR<sub>i</sub> – wskaźnik właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni (ang. *Continuous Skid Resistance index*),

M – oznaczana w pomiarach wartość momentu wywołana oporami na styku opony i nawierzchni [Nm],

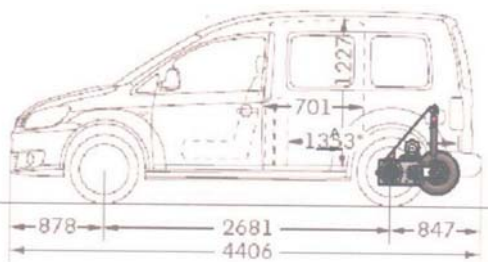
F – oznaczana w pomiarach wartość siły docisku opony do nawierzchni [N],

r – ramię momentu [m] (w warunkach statycznych równe 0,21 m).

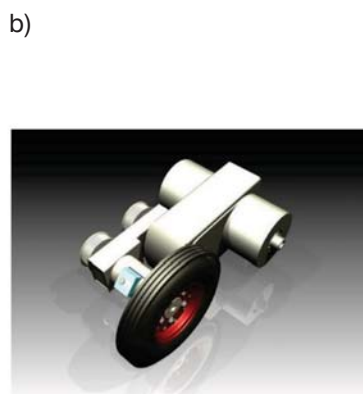
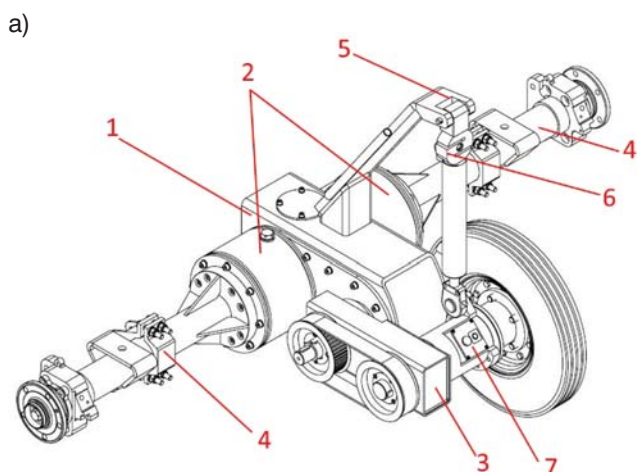
W celu oznaczenia wartości zmiennych, które mają bezpośredni wpływ na wartość wielkości „r” przeprowadzono serię badań laboratoryjnych. Na stanowisku pomiarowym pokazanym na rysunku 8, przyjęto następującą procedurę badawczą:

- wartości ciśnienia w oponie pomiarowej: 1.4, 2.1, 5.0, 7.0 bar
- pionowa wartość siły wymuszonej dociskiem pionowym koła pomiarowego do powierzchni: 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5 kN
- zakres wartości temperatury otoczenia, w której wykonano badania: 0, 20, 40, 60 °C.

Do tak przyjętych warunków, wartości przemieszczenia pionowego wywołanego deformacją opony zilustrowano w postaci wykresu na rysunku 9.



Rys. 6. Urządzenie pomiarowe CSR



Rys. 7. Rysunki poglądowe zawieszenia koła pomiarowego a) tylny most urządzenia CSR (1 – przekładnia zębata, 2 – komory sprężel, 3 – wahacz z kołem pomiarowym, 4 – zespół półosi, 5 – mocowanie siłownika hydraulicznego, 6 – tensometryczny przetwornik siły, 7 – tensometryczny przetwornik momentu), b) widok poglądowy

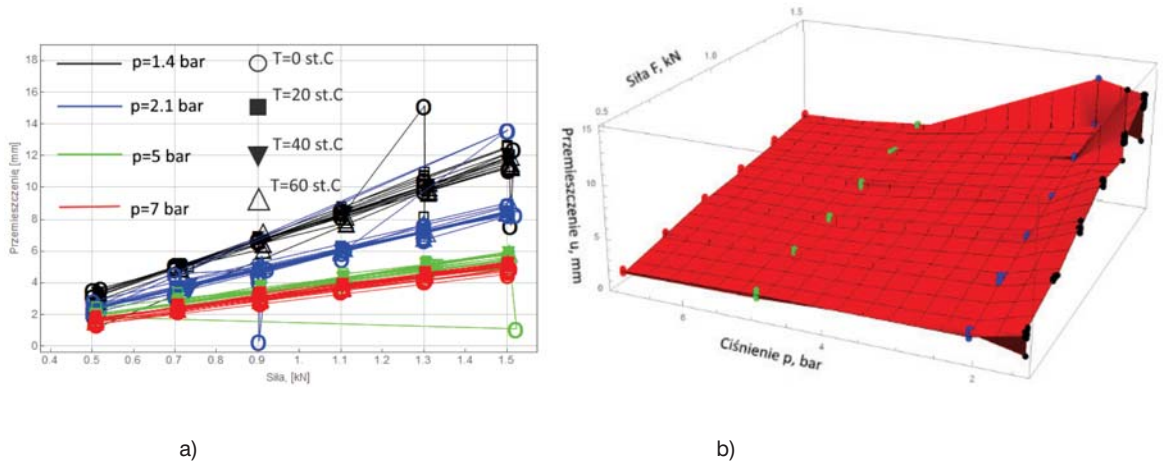


Rys. 8. Widok stanowiska do oceny ściskania koła pomiarowego wykorzystanego w urządzeniu CSR

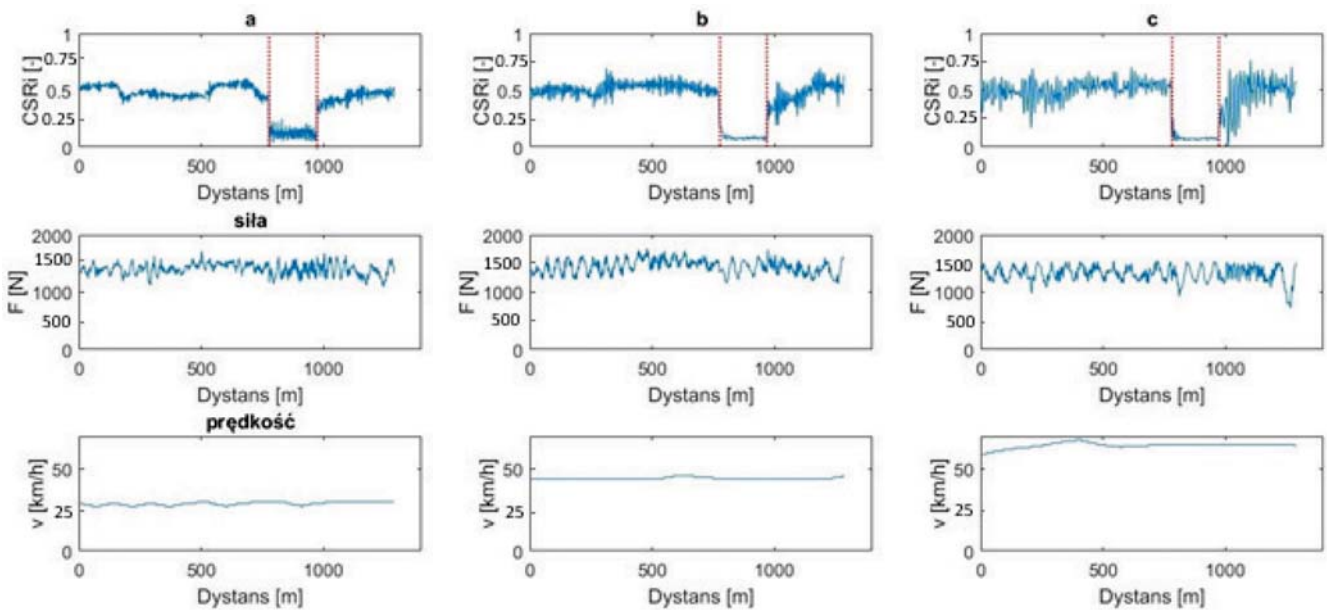
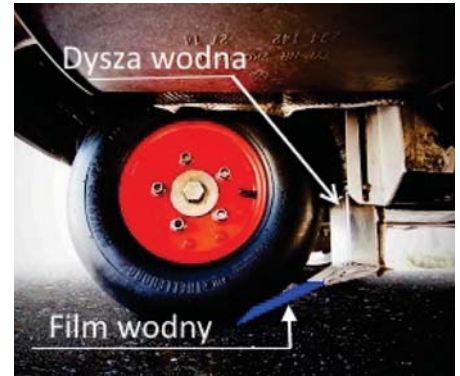


W celu wskazania zmiennych niezależnych, które nie mają statystycznie istotnego wpływu na wartość deformacji opony, przeprowadzono test regresji liniowej wielorakiej krokowej wstecznej i postępującej. Analiza wyników tych testów pozwoliła ustalić, że 81% wariancji zmiennej zależnej – deformacji opony, wyjaśniają zmienne niezależne – siła i ciśnienie. Zmienna niezależna – temperatura, nie wpływa istotnie na

Rys. 9. Ilustracja wyników badań laboratoryjnych z wynikami ściskania koła pomiarowego



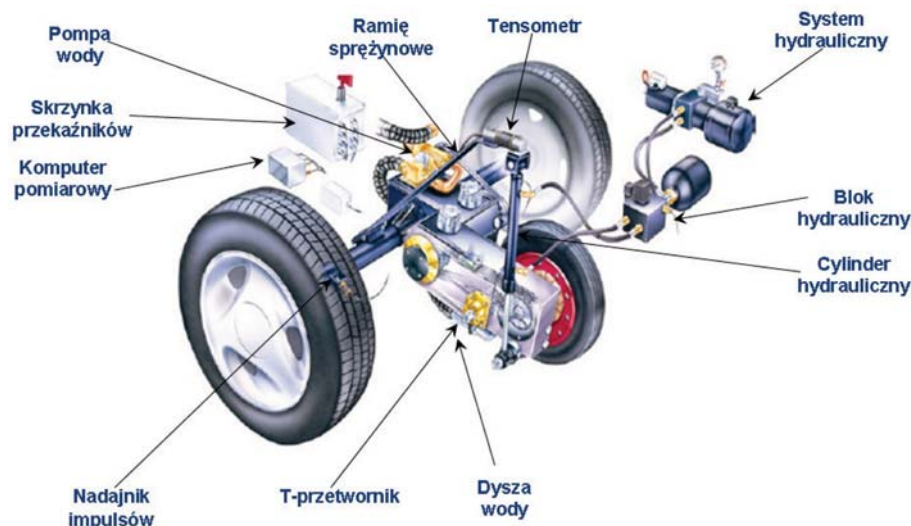
Rys. 10. Pomiary urządzeniem CSR, a) najazd na odcinek śliski, b) pomiary w warunkach „na mokro”



Rys. 11. Testy wrażliwości systemu pomiarowego na zmienne warunki stanu technicznego nawierzchni i prędkości pomiaru (miejsca, w których na wykresach CSRi została zaobserwowana wyraźna zmiana wartości, oznaczają odcinek nawierzchni z naklejoną folią z naniesionym olejem. W praktyce była to warstwa eliminująca tarcie pomiędzy oponą a nawierzchnią)



Rys. 12. Widok urządzenia pomiarowego ASFT



Rys. 13. Schemat lokalizacji koła pomiarowego w urządzeniu ASFT

wartości przemieszczeń opisujących deformacje testowanej opony. Podczas pomiarów nawierzchni in situ, wskaźnik CSR<sub>i</sub> jest oznaczany z częstotliwością co 10 cm. Badania nawierzchni w technologii „na mokro” wykonano przy zastosowaniu filmu wodnego o grubości 1 mm (rys. 10).

Do pomiarów obecnie wykorzystuje się oponę Unitester 520. Koło pomiarowe dostosowane jest zarówno do pomiarów standardowych, jak i w warunkach zimowych, gdzie stosuje się odpowiednio ciśnienie równe 210 oraz 700 kPa. Wrażliwość reakcji koła pomiarowego na warunki przy znacznie obniżonej wartości wskaźnika CSR<sub>i</sub> zweryfikowano zarówno w okresie zimowym, jak i przy sztucznie wymuszonej śliskości. Przykładowe wykresy wielkości CSR<sub>i</sub>, siły docisku F oraz prędkości v podczas pomiarów przedstawiono na rysunku 11.

W badaniach nawierzchni, do weryfikacji przeprowadzonych procedur badawczych wykorzystano również urządzenie z dociskiem hydraulicznym, ale w wersji, gdzie system pomiarowy został zamontowany na przyczepie T-10 szwedzkiej firmy ASFT, rysunek 12.

Tego rodzaju tester wyposażony jest w koło pomiarowe, które pracuje ze stałym podłużnym poślizgiem wynoszącym około 13% i nie ma połączenia mechanicznego z podwoziem, a tylko z tylną osią za pomocą sprężyny (rys. 13). Takie rozwiązanie gwarantuje stały, pionowy nacisk na podłoże o wartości 1400 N, co zapewnia powtarzalność wyników pomiarów. Opona pomiarowa typu T520 o ciśnieniu 700 kPa wykonana jest z odpowiednio dobranego materiału, posiada kształt i bieżnik podobnie,

jak opony stosowane na statkach powietrznych. Konstrukcja osi pozwala na wykonywanie pomiarów współczynnika tarcia podczas jazdy przy wykorzystaniu siłownika liniowego wraz ze sprężyną i połączeniem pasowym, co zapewnia łagodne opuszczanie i podnoszenie koła pomiarowego.

Urządzenie ASFT umożliwia pomiar siły pionowej i siły poziomej. Właściwości przeciwpoślizgowe określone tym urządzeniem charakteryzuje współczynnik:

$$\mu = \frac{T}{F} \quad (3)$$

w którym:

$\mu$  – wskaźnik opisujący właściwości przeciwpoślizgowe,  
 $T$  – siła pozioma,  
 $F$  – siła pionowa dociskająca koło pomiarowe do nawierzchni.

## Wyniki badań

W ramach badań właściwości przeciwpoślizgowych i chropowatości nawierzchni wyznaczono 6 odcinków pomiarowych o długości 100 m, na których przeprowadzono badania urządzeniami CSR, ASFT oraz wykonano zdjęcia, które potem wykorzystano do oznaczenia chropowatości nawierzchni przy użyciu

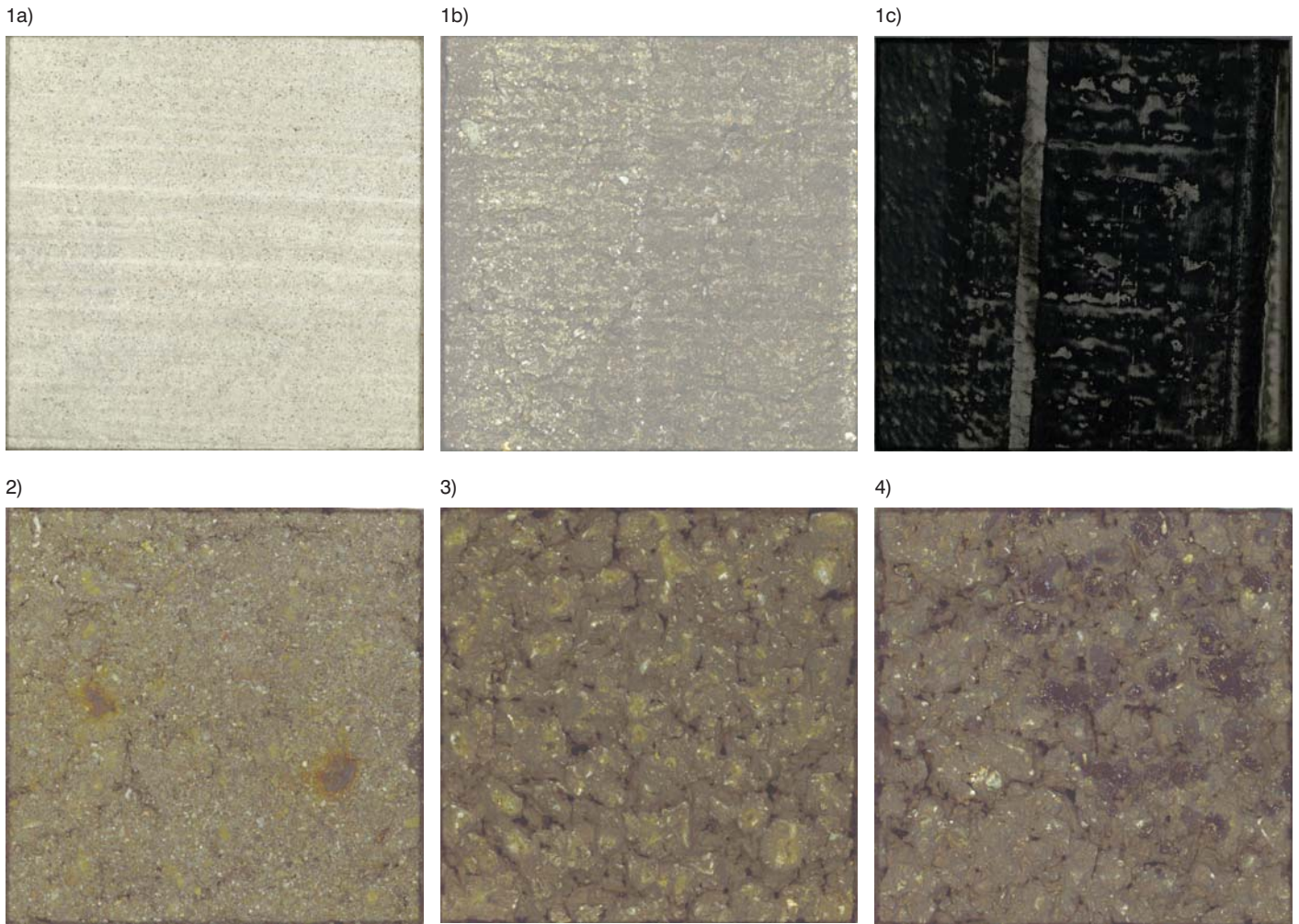
metod fotogrametrycznych. Badania urządzeniami pomiarowymi CSR i ASFT były prowadzone przy zastosowaniu opony Unitester 520 z ciśnieniem w oponie 7 bar, w trybie „na mokro” i grubości filmu wodnego 1 mm. Prędkość pomiarowa wynosiła 65 km/h. Na każdym odcinku wykonano 10 przejazdów każdym z urządzeń. Zdjęcia zostały wykonane tak, aby były zgodne z kierunkiem ruchu pojazdów wykorzystanych do oznaczenia właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni (od lewej do prawej strony zdjęcia) – rys. 14.

Zbiory wartości współrzędnej z na poszczególnych odcinkach pomiarowych poddano nieparametrycznemu testowi statystycznemu Kołmogorowa – Smirnowa, z którego wynika, że żadna para zbiorów z poszczególnych odcinków nie

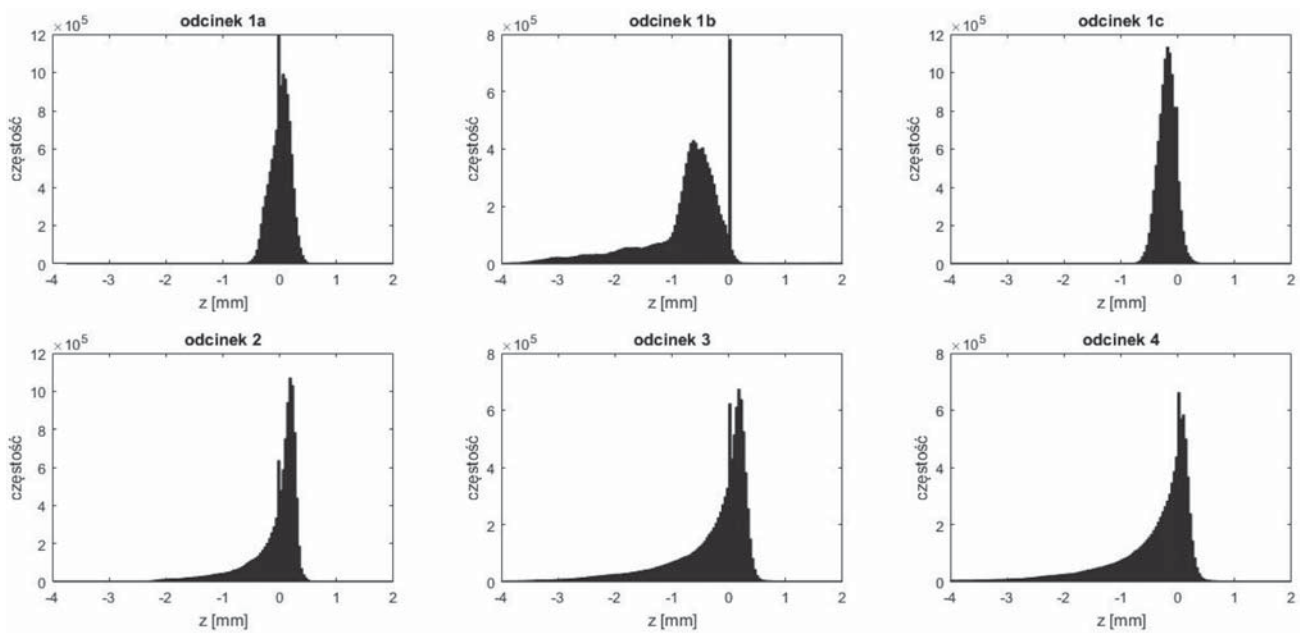
Tabela 1. Maksymalne różnice pomiędzy dystrybucjami w przypadku rozkładów wartości z na poszczególnych odcinkach pomiarowych

		Odcinek					
		1a	1b	1c	2	3	4
odcinek	1a	–	0.5204	0.3269	0.1153	0.2009	0.2559
	1b	0.5204	–	0.4278	0.4242	0.3335	0.2669
	1c	0.3269	0.4278	–	0.3323	0.2444	0.1994
	2	0.1153	0.4242	0.3323	–	0.1285	0.1980
	3	0.2009	0.3335	0.2444	0.1285	–	0.1274
	4	0.2559	0.2669	0.1994	0.1980	0.1274	–





Rys. 14. Widok powierzchni warstw ścieralnych na odcinkach badawczych z nawierzchnią: 1a) beton cementowy bez zanieczyszczeń (nawierzchnia „nowa”), 1b) beton cementowy zanieczyszczony gumą z opon samochodów, 1c) beton cementowy na odcinku z oznakowaniem poziomym, 2) SMA 0/11 na odcinku drogi kołowania w łuku w planie, 3) SMA 0/11 na odcinku prostym w planie, 4) SMA 0/11 na odcinku prostym w planie



Rys. 15. Histogramy wartości współrzędnej z poszczególnych odcinków pomiarowych uzyskane przy zastosowaniu techniki fotogrametrycznej



należy do tego samego zbioru (przy poziomie ufności 95%). W celu wprowadzenia miary zróżnicowania poszczególnych zbiorów posłużono się ekstremalnymi różnicami pomiędzy dystrybuantami wartości (rys. 15).

## Omówienie wyników

Odcinek 1a był odcinkiem cechującym się minimalnym zużyciem eksploatacyjnym, tzn. lokalizacja odcinka przy narożniku płyty drogi startowej pozwala na przyjęcie założenia, że jest to odcinek referencyjny w stosunku do odcinków 1b i 1c będących w regularnym użytkowaniu. Jako odcinek referencyjny ze względu na właściwości przeciwpoślizgowe i chropowatość nawierzchni przyjmuje się odcinek czysty (1a), po wybudowaniu nie poddawany zabiegom polegającym na mechanicznej zmianie chropowatości nawierzchni, a jedynie o zmianach ww. parametrów wynikających z temperatury, a nie ze zmian w nawierzchni opisanych w pracy [5].

Wyniki badań nawierzchni uzyskane przy użyciu urządzeń pomiarowych CSR i ASFT pozwalają na sporządzenie zgodnego rankingu nawierzchni ze względu na właściwości przeciwpoślizgowe, przy podziale na technologię warstw z BC i AC. Na podstawie wyników w tabeli 2 można stwierdzić zmiany w wartościach wskaźników Vch w przypadku odcinka wykonanego w tej samej technologii (beton cementowy) przy różnym stanie powierzchni. Wartość wskaźnika Vch, konsekwentnie się zwiększa zarówno na odcinkach nawierzchni z oznakowaniem poziomym, jak i nawierzchni zanieczyszczonej gumą w porównaniu do nawierzchni czystej. Na podstawie wyników w tabeli 1 można stwierdzić, że najbardziej różne są dystrybuanty rozkładów współrzędnych „z” w przypadku odcinka referencyjnego (1a) i odcinka zanieczyszczonego gumą (1b). Znacząco mniej różnią się między sobą dystrybuanty w przypadku odcinków bez zabrudzeń (1a, 2, 3, 4).

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki rankingu, w którym podano wartości oznaczeń wskaźników właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni z betonu cementowego i z betonu asfaltowego przy wykorzystaniu dwóch różnych urządzeń. Z uwagi na to, że badaniom poddano również odcinki nawierzchni bardzo zanieczyszczonych (podatnych na znaczne statystyczne rozproszenie wyników), do badań wykorzystano technologię, w której pomiar właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni realizowany jest przy użyciu koła testowego w sposób stały i kontrolowany dociskającego do nawierzchni w czasie pomiarów. Na podstawie analizy wyników badań kontrolnych dwoma urządzeniami, wykazano, że istnieje zgodny ranking odcinków nawierzchni o różnym stopniu zabrudzenia, pod względem ich właściwości przeciwpoślizgowych. Przywołując jednocześnie definicję chropowatości powierzchniowej wykazano, że przy użyciu metody fotogrametrycznej można kontrolować zmianę właściwości przeciwpoślizgowych na odcinkach nawierzchni zanieczyszczonych. Warunkiem jednak jest właściwy punkt odniesienia, który w przypadku opisanych badań stanowi nawierzchnia bez zanieczyszczeń. Na podstawie zebranych danych można zatem stwierdzić, że próba korelacji właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni i wskaźnika chropowatości powierzchniowej może być podejmowana wyłącznie pod warunkiem określenia wartości referencyjnych oznaczonych dla nawierzchni umownie nowych lub umownie czystych. Dzięki opisanej metodzie fotogrametrycznej, definicji nawierzchni umownie czystej będzie można nadać kryteria inżynierskie.

Artykuł został opracowany na podstawie pracy badawczej wykonanej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej w ramach realizacji grantu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju o numerze PBS3/B6/36/2015, pt. „Inteligentny system monitoringu stanu technicznego nawierzchni jezdni”.

Tabela 2. Wartości wskaźników właściwości przeciwpoślizgowych i chropowatości używane na poszczególnych odcinkach nawierzchni

Odcinek	Wskaźniki parametru właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni				Wskaźnik chropowatości nawierzchni
	CSR <sub>i</sub> 65 km/h [-]	Ranking wg CSR <sub>i</sub>	$\mu$ 65 km/h [-]	Ranking wg $\mu$	Vch [cm <sup>3</sup> ]
Warstwy ścieralne wykonane z tego samego betonu cementowego (BC)					
1a – BC „czysty”	0.58	1	0.73	1	8.44
1b – BC zanieczyszczony gumą	0.41	2	0.64	2	11.22
1c – BC z oznakowaniem poziomym	0.30	3	0.35	3	8.92
Warstwy ścieralne wykonane z różnych mieszanek AC					
2 – SMA 0/11 (odcinek łuku w planie)	0.51	1	0.64	1	8.44
4 – SMA 0/11 (odcinek prosty w planie)	0.49	2	0.54	2	9.43
3 – SMA 0/11 (odcinek prosty w planie)	0.45	3	0.50	3	9.25

## Bibliografia

- [1] Jakubiec Władysław, Malinowski Jan, Metrologia wielkości geometrycznych, Warszawa, 1996
- [2] Kanafi Mona, Kuosmanen Antti, Pellinen Terhi, Tuononen Ari, Macro- and micro-texture evolution of road pavements and correlation with friction, International Journal of Pavement Engineering 16, 2014 MPD
- [3] Meegoda Jay, Gao Shengyan, Evaluation of pavement skid resistance using high speed texture measurement, Journal of Traffic and Transportation Engineering 2, 2015 MPD
- [4] Mechowski Tomasz, Analiza i weryfikacja wymagań i procedur pomiarowych oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni dróg publicznych i autostrad płatnych, IBDiM, 2005 MPD
- [5] Mechowski Tomasz, Młynarczyk Zbigniew, Grączeski Artur, Borucki Radosław, Sprawozdanie z realizacji pracy TD-88 pt.: Analiza zmienności właściwości przeciwpoślizgowych warstwy ścieralnej nawierzchni w początkowym okresie jej eksploatacji”, IBDiM, 2009

- [6] NajafiShahriar, Flintsch Gerardo, KhaleghianSeyedmeysam, Fuzzy logic inference-based Pavement Friction Management and real-time slippery warning systems: A proof of concept study, Accident Analysis and Prevention 90, 2016 BRD
- [7] NajafiShahriar, Flintsch Gerardo, Medina Alejandra, Linking roadway crashes and tire-pavement friction: a case study, International Journal of Pavement Engineering, 2015 BRD
- [8] Pokorski Janusz, Reński Andrzej, Sar Hubert, Badanie przyczepności opony do nawierzchni w warunkach letniej eksploatacji, Logistyka 6, 2010
- [9] Pożarycki Andrzej, Fengier Jakub, Warias Dariusz, Moralewski Tomasz, Identyfikacja odcinków nawierzchni lotniskowych o zmiennych właściwościach przeciwpoślizgowych urządzeniem CSR, Materiały konferencyjne Poznań - Lotnictwo dla obronności, 2016
- [10] Ueckermann Andreas, Wang Dawei, Oeser Markus, Steinauer Bernhard, Calculation of skid resistance from texture measurements, Journal of Traffic and Transportation Engineering 2, 2015
- [11] Wilson Douglas, The effect of rainfall and contaminants on road pavement skid resistance, New Zealand Transport Agency research report 515, 2013
- [12] Schönberger Johannes, Frahm Jan-Michael, Structure-from-motion revisited, Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016
- [13] Wasilewska Marta, Gardziejczyk Władysław Analiza ilościowa i jakościowa zmian mikroteksturalnych powierzchni kruszywa stosowanego do warstwy ścieralnej, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2012
- [14] Diagnostyka stanu nawierzchni i jej elementów, GDDKiA, Warszawa 2015
- [15] Prochowski Leon, Mechanika ruchu, WKiŁ, Warszawa 2005
- [16] Habich Edward, Mechanika pojazdów, [W:] Techniczny poradnik samochodowy, Cz. 1, Warszawa 1962
- [17] Wytyczne Nr 2 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego sprawie metod oceny, pomiaru oraz raportowania stanu nawierzchni drogi startowej, Warszawa 2016
- [18] Domke Konrad, Modelowanie odbicia promieniowania optycznego, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2012
- [19] Wesołowski M., Iwanowski P., Charakterystyka tarcia nawierzchni lotniskowych w aspekcie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Autobusy nr 12/2016

## Z serwisu GDDKiA

### GDDKiA z nagrodą za Most gen. Stefana Grota-Roweckiego

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad została laureatem prestiżowej nagrody „Diamentu Infrastruktury i Budownictwa” w kategorii Inwestycja Roku. Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad Pan Krzysztof Kondraciuk odebrał statuetkę za przebudowę Mostu gen. Stefana Grota-Roweckiego w Warszawie.

Nagroda została wręczona podczas spotkania liderów branży budowlanej z przedstawicielami instytucji publicznych w ramach konferencji „Infrastruktura Polska & Budownictwo 2017”.

Swoim patronatem konferencję objęli Marszałek województwa mazowieckiego, GDDKiA, Polski Związek Pracodawców Budownictwa, Polska Izba Inżynierów Budownictwa, Europejska Rada Inżynierów Budownictwa oraz International Project Finance Association.

10.02.2017

### Przetarg na dokumentację dla drogi S16

Ruszył przetarg na wykonanie dokumentacji dla kolejnego odcinka drogi ekspresowej S16. Oferty można składać do 24 marca 2017 r.

Przedmiotem zamówienia jest wykonanie studium techniczno-ekonomiczno-środowiskowego z elementami koncepcji programowej dla budowy drogi ekspresowej S16 na odcinku Mrągowo-Orzysz-Elk o długości ok. 74 km. Zamawiający przyjął w przetargu trzy kryteria oceny ofert: cena – 60%, doświadczenie zespołu projektowego – 30% oraz doświadczenie zespołu środowiskowego – 10%. Wyłoniony w przetargu wykonawca będzie miał 37 miesięcy na zrealizowanie zadania.

W ramach tego zamówienia wykonawca ma zaktualizować materiały do decyzji środowiskowej obejmujące m.in. inwentaryzację przyrodniczą, ponowną analizę akustyczną i ocenę uwarunkowań bezpieczeństwa ruchu drogowego. Do zadań wykonawcy dokumentacji będzie też należało uzyskanie decyzji środowiskowej dla tej inwestycji oraz opracowanie rozwiązań drogowych i mostowych umożliwiających ogłoszenie przetargu na realizację inwestycji w systemie „projektuj i buduj”.

14-02-2017

### GDDKiA ma nowe wytyczne dla infrastruktury pieszej i rowerowej

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad opracowała wytyczne odnośnie projektowania infrastruktury dla rowerzystów i pieszych. Są uzupełnieniem istniejących rozporządzeń i doprecyzowują ogólne przepisy,

wprowadzając m.in. wymóg stosowania nawierzchni asfaltowych czy tworzenia bezpiecznych wjazdów i zjazdów na jezdnie.

Najważniejsze polskie przepisy zawierające wymogi projektowania infrastruktury rowerowej i pieszej to rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie oraz rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach, popularnie zwane „czerwoną książeczką”. Zapisy zawarte w powyższych dokumentach są jednak dość ogólnikowe i nie poruszają wielu istotnych kwestii, np. promieni łuków poziomych czy rodzaju stosowanych nawierzchni.

Znacznie większą szczegółowością cechują się tzw. rowerowe standardy, jednak ich wadą jest lokalny charakter (przyjmują je zazwyczaj poszczególne miasta) i słabe umocowanie prawne (projektanci często traktują je jako zbiór wskazówek, do których mogą, ale nie muszą się stosować).

Odpowiedzią na powyższe problemy są opublikowane przez GDDKiA „Wytyczne dla infrastruktury pieszej i rowerowej”. Dotyczą wprawdzie inwestycji realizowanych na drogach krajowych, jednak stanowią jedyne do tej pory doprecyzowanie przepisów ogólnych przez organ centralny i mogą być dobrym wzorcem także przy projektach samorządowych.

Nowy dokument określa m.in. minimalne promienie łuków na ścieżkach rowerowych (15 m mierzone do wewnętrznej krawędzi łuku; w przypadku połączeń umożliwiających zmianę kierunku ruchu są to minimum 2 m), eliminując problem prostopadłych załamania. Wprowadza także nowe zasady odnośnie skrajni (w tym wymóg 0,5 m skrajni po wewnętrznej stronie łuków), zakazuje stosowania kostki betonowej jako nawierzchni, zapewnia wymóg zachowania ciągłości organizacji ruchu rowerowego (nieprzerywanie rozwiązań umożliwiających bezpieczny zjazd z jezdni na ścieżkę i ze ścieżki na jezdnię (w przypadku jej zakończenia)). Określa także szczegółowe warunki widoczności na przejazdach rowerowych i przejściach dla pieszych.

Wytyczne są niewątpliwym krokiem naprzód, które w właściwy sposób precyzują ogólne i niewystarczające zapisy zawarte w rozporządzeniach.

Jako wadę wskazać można pominięcie zasad oznakowania (m.in. czytelne oznakowanie przejazdów rowerowych w kwestii pierwszeństwa, określenie zasad stosowania „sierżantów” wyznaczających kierunek i tor ruchu rowerzystów na jezdni czy określenie zasad stosowania śluz rowerowych. GDDKiA najprawdopodobniej opracuje jednak wytyczne dla oznakowania w oddzielnym dokumencie.

Z pełną treścią „Wytycznych dla infrastruktury pieszej i rowerowej” można zapoznać się na oficjalnej stronie GDDKiA.