

dr inż. Marta Wasilewska^{1*)}

ORCID: 0000-0001-6834-5206

dr inż. Paweł Gierasimiuk¹⁾

ORCID: 0000-0003-4681-570X

Krzysztof Zadrozny²⁾

Verification of the road construction quality of concrete pavement in terms of skid resistance assessing

Weryfikacja jakości wykonania nawierzchni betonowej w aspekcie oceny właściwości przeciwoślizgowych

DOI: 10.15199/33.2024.11.11

Abstract. The paper presents a comparison of friction coefficient results obtained with two SRT-3 devices on a concrete surface before the consent for its use. Measurements were taken in four locations on the S7 expressway. The surface was made using exposed aggregate textured concrete technology. Results were recorded after shotblasting and hydroblasting of the pavement. Significant differences were shown between the reliable friction coefficients (above 0.05) obtained with two devices on the same sections on the same day or in short time intervals. As a consequence, the condition of the road surface cannot be clearly verified. Therefore, the source of variability should be determined and tools that would prevent obtaining divergent results should be implemented in the quality control system. Otherwise, the results do not guarantee a reliable assessment of the surface in terms of preventing its slipperiness and thus user safety.

Keywords: friction coefficient; longitudinal force measurement with high slip ratios over 60%; texture, road user safety.

Streszczenie. W artykule porównano wyniki współczynnika tarcia na nawierzchni betonowej przed oddaniem jej do użytkowania i w jego okresie otrzymane dwoma urządzeniami SRT-3. Pomiaru te prowadzono w czterech lokalizacjach drogi ekspresowej S7. Nawierzchnię wykonano w technologii betonowej teksturowanej metodą odkrytego kruszywa. Na dwóch odcinkach, spośród czterech, ocenę właściwości przeciwoślizgowych prowadzono po zabiegach śrutowania i hydroblastingu. Wykazano istotne różnice pomiędzy miarodajnymi współczynnikami tarcia (powyżej 0,05) otrzymanymi dwoma urządzeniami na tych samych odcinkach, w tym samym dniu lub w krótkich odstępach czasu. W konsekwencji nie było możliwe jednoznaczne zweryfikowanie stanu nawierzchni pod kątem oceny właściwości przeciwoślizgowych. Należałoby określić źródło zmienności i wdrożyć do kontroli systemu jakości takie narzędzia, które zapobiegałyby otrzymaniu rozbieżnych wyników. W przeciwnym wypadku wyniki nie gwarantują rzetelnej oceny nawierzchni w aspekcie zapobiegania jej śliskości, a tym samym bezpieczeństwa użytkowników. **Słowa kluczowe:** współczynnik tarcia; urządzenia z wysokim stopniem poślizgu powyżej 60%; tekstura; bezpieczeństwo użytkowników dróg.

In road engineering, the technical and operational property of the road surface, which should determine the appropriate friction of the tire to the surface in skidding conditions, is called Skid resistance. Skid resistance is estimated based on the measurement of physical quantities that are a measure of the interactions between the tire and the wet surface in skidding conditions in accordance with a standardized method [1]. There are many methods available for their assessment, which are based on measurements made with stationary and dynamic devices [2].

In practice, the most commonly used methods are those based on measurements made with dynamic devices. Compared to stationary devices, they allow for faster data recording, without significant disruptions to road traffic. Their measuring systems are mounted inside a delivery vehicle/truck or designed as a trailer pulled by the vehicle. The main

W inżynierii drogowej cechą techniczno-eksploatacyjną nawierzchni, która powinna warunkować odpowiednią przyczepność opony do nawierzchni w warunkach wzajemnego poślizgu, są właściwości przeciwoślizgowe. Szacuje się je na podstawie pomiaru wielkości fizycznych, będących miarą oddziaływań między oponą a mokrą nawierzchnią w warunkach ich wzajemnego poślizgu zgodnie ze standaryzowaną metodą [1]. Dostępnych jest wiele metod ich oceny, które bazują na pomiarach wykonanych urządzeniami stacjonarnymi i dynamicznymi [2].

W praktyce najczęściej są stosowane metody wykorzystujące urządzenia dynamiczne. W porównaniu z urządzeniami stacjonarnymi pozwalają na szybszą rejestrację danych, bez istotnych zakłóceń w ruchu drogowym. Ich systemy pomiarowe są montowane wewnątrz samochodu dostawczego/ciężarowego lub konstruowane w formie przyczepy ciągniętej przez pojazd. Zasadnicza różnica pomiędzy urządzeniami dynamicznymi wynika ze sposobu zamocowania koła pomiarowego w stosunku do kierunku jazdy. Ten fakt determinuje ich podział na urządzenia do pomiaru współczynnika tarcia bocznego

¹⁾ Białystok University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Sciences

²⁾ STRABAG

^{*} Correspondence address: marta.wasilewska@pb.edu.pl

difference between dynamic devices results from the way the measuring wheel is mounted in relation to the direction of travel. This fact determines their division into devices for measuring the coefficient of lateral and longitudinal friction. The latter group is divided into devices for longitudinal force measurement with low slip ratios (15 – 25%,) close to peak friction) and devices for longitudinal force measurement with high slip ratios (over 60%) [2]. There are also devices recording the friction force at 100% slip, when the wheel is blocked at the moment of measurement. In this mode, only point measurements can be performed. This is one of the reasons for their withdrawal in European countries. They have been replaced by devices for measuring the coefficient of lateral or longitudinal friction with a fixed low degree of slip, the design of which ensures continuous recording of results.

In countries that have a policy on the diagnostics of the technical condition of the road surface, standardized methods specified in normative documents are used to assess skid resistance. In the case of Europe, these are the technical specifications CEN/TS 15901-x developed by CEN TC227/WG5 (CEN TC227 „Roads” (WG5 „Surface characteristics”)) [1, 3]. This is related to the elimination of sources of variability related to the measurement method, which could affect the taking of incorrect decisions on the implementation of actions improving skid resistance. An important element of the assessment is the quality system, within which, at specified intervals, a number of mandatory activities are carried out, related to, among others, technical inspection of individual equipment components, their calibration and/or harmonization in relation to reference devices, assessment of the accuracy of the method based on ISO 5725 standards, etc. This is to ensure the credibility of the obtained results over time, so that they effectively serve to make the right decisions towards preventing the slipperiness of road surfaces.

Inspection of skid resistance of road surfaces in Poland is required before their commissioning and during their use. This results from the technical and construction regulations regarding public roads (Journal of Laws 2022, item 1518) [4]. The content of the regulation does not specify the method and criteria for their assessment. The Ministry of Infrastructure recommends the procedure described in the regulations regarding public roads (Journal of Laws 2019, item 1643) [5] and toll motorways (Journal of Laws 2019, item 1644) [6] in force until September 21, 2022. They were dedicated to assessing the skid resistance of road surfaces of G and higher classes before they are put into use. Their content, in full or with some changes, was transferred to contract documents. However, the description of the methodology differs significantly from the standards in force in other European countries [1, 4, 7]. It is very general and does not refer to any standardization document. The equipment characteristics are limited only to specifying slip ratio, tire type (without reference to PIARC specification) and water flow during measurement. The procedure does not contain many important pieces of information, e.g. load on the measuring wheel, theoretical water film depth, specification to which the conditions for the

i wzdłużnego. Ta druga grupa dzieli się na urządzenia z niskim stopniem poślizgu w zakresie 15 – 25%, bliskim maksymalnej wartości współczynnika tarcia wzdłużnego (z ang. *longitudinal force measurement with low slip ratios* (15 – 25%),) close to peak friction) i urządzenia z wysokim stopniem poślizgu powyżej 60% (z ang. *longitudinal force measurement with high slip ratios* (over 60%)) [2]. Są również urządzenia rejestrujące się tarcia przy poślizgu 100%, gdy koło jest zablokowane w momencie pomiaru. W związku z tym, że wówczas możliwe jest wykonanie jedynie pomiarów punktowych, urządzenie wycofano w krajach europejskich. Zastąpiono je urządzeniami do pomiaru współczynnika tarcia bocznego lub wzdłużnego o ustalonym niskim stopniu poślizgu, których konstrukcje zapewniają rejestrację wyników w sposób ciągły.

W krajach, które prowadzą świadomą politykę diagnostyki stanu technicznego nawierzchni, do oceny właściwości przeciwpoślizgowych wykorzystywane są metody standaryzowane określone w dokumentach normatywnych, np. w Europie w specyfikacjach technicznych CEN/TS 15901-x opracowanych przez CEN TC227/WG5 (CEN TC227 „Roads” (WG5 „Surface characteristics”)) [1, 3]. Ma to związek z wyeliminowaniem źródeł zmienności powiązanych z metodą pomiarową, które mogłyby wpłynąć na podjęcie błędnych decyzji o wykonaniu prac poprawiających właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni. Istotnym elementem oceny jest system jakości, w ramach którego w określonych odstępach czasu prowadzi się m.in. przeglądy techniczne poszczególnych podzespołów sprzętów, ich kalibrację i/lub harmonizację w odniesieniu do urządzeń referencyjnych, ocenę dokładności metody wg normy ISO 5725. Ma to na celu zapewnienie wiarygodności pozyskiwanych wyników w czasie, tak aby skutecznie służyły do podejmowania właściwych decyzji w kierunku zapobiegania śliskości nawierzchni drogowych.

Kontrola właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych w Polsce jest wymagana przed oddaniem i w okresie ich użytkowania, co wynika z przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. 2022 poz. 1518) [4]. W treści rozporządzenia nie sprecyzowano metody i kryteriów ich oceny. Ministerstwo Infrastruktury rekomenduje procedurę, która została opisana w rozporządzeniach dotyczących dróg publicznych (Dz.U. 2019 poz. 1643) [5] i autostradach płatnych (Dz.U. 2019 poz. 1644) [6] obowiązujących do 21 września 2022 r. Dotyczyły one oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni dróg klas G i wyższych przed oddaniem ich do użytkowania. Ich treść w całości lub z pewnymi zmianami była przenoszona do dokumentów kontraktowych, ale opis metodyki istotnie różni się od standardów obowiązujących w innych krajach europejskich [1, 4, 7]. Jest on bardzo ogólny i nie ma odniesienia do żadnego dokumentu normalizacyjnego. Charakterystyka urządzeń ogranicza się jedynie do określenia stopnia poślizgu koła pomiarowego, typu opony (bez odniesienia się do specyfikacji PIARC) i wydatku wody w trakcie pomiaru. Nie określono wielu istotnych informacji, np. obciążenia koła pomiarowego, teoretycznej głębokości filmu wodnego, specyfikacji, do której odnoszą się warunki dotyczące opony pomiarowej, precyzujące wiele kryteriów dotyczących terminów

measuring tire refer, specifying a number of criteria related to its expiration dates, storage, etc. There are also no records that would allow for verification of the quality of the obtained results.

Although the regulation does not specify the name of the device, it should be understood that the SRT-3 device should be used, which records the coefficient of friction at full wheel lock [7, 8]. Apart from Poland, no European country uses this type of equipment to monitor skid resistance [1]. There are several reasons that influenced the decision to withdraw them. The first one is the aforementioned lower measurement efficiency due to point recording of results. Devices that determine the coefficient of lateral or longitudinal friction at a fixed slip in the range of 15 to 25%, record data continuously in conditions close to critical slip [1, 3]. The second reason is related to the fact that slip ratio is of fundamental importance for the interpretation of results in terms of determining the effect of the characteristics of the upper layer on skid resistance. When choosing the technology of production, both the durability of the given solution and ensuring the required skid resistance during use are taken into account. This is due to the role of texture in generating friction at the tire/surface interface [1, 9]. Surface irregularities with a wavelength of 0.5 to 50 mm corresponding to macrotexture affect water drainage from the tire/surface interface and thus reduce the risk of aquaplaning. They depend on the type of asphalt mix and, in the case of concrete surfaces, on the texturing technique. Microtexture, on the other hand, is characterized by irregularities with a wavelength of less than 0.5 mm and is responsible for breaking the water film at the tire/surface interface. It depends on the polishing resistance of coarse aggregate [6 – 8]. This means that the proper selection of materials, mainly coarse aggregate, the composition of the mixtures, texturing techniques, etc. will maintain the required level of skid resistance during the service life of the surface. Numerous studies have shown that at a low slip ratio, the value of the friction coefficient is the result of both macrotexture and microtexture [1, 11 – 13]. However, when measuring with a device with a locked wheel, the microtexture is crucial. Therefore, using this measurement mode, the potential of a given layer can be incorrectly estimated, especially surface with a mean profile depth above 0.8 mm dedicated to expressways [13].

Representatives of associations have repeatedly asked the Ministry of Infrastructure to verify the measurement method, the quality control system of the obtained results and the requirements contained in legal documents, specifications, which will take into account the current state of technical knowledge in Europe and the world [7]. Their intention was to eliminate inconsistencies regarding the definition of skid resistance, which were reported by both the road administration and representatives of contractors.

The objective of the paper is to present the assessment of skid resistance using the example of the concrete surface of the S7 expressway before it is put into use based on the procedure and criteria contained in the contract documents, which are the basis for verifying the quality of construction works.

jej przydatności do użycia, przechowywania itp. Nie ma też żadnych zapisów, które umożliwiłyby zweryfikowanie jakości pozyskiwanych wyników.

Pomimo że w treści rozporządzenia nie określono nazwy urządzenia, w domyśle należy przyjąć, że powinno się stosować SRT-3, które rejestruje współczynnik tarcia przy pełnej blokadzie koła [7, 8]. Poza Polską, żaden kraj europejski nie wykorzystuje tego typu urządzeń do monitorowania właściwości przeciwoślizgowych [1] ze względu na gorszą efektywność pomiarową spowodowaną punktową rejestracją wyników. Urządzenia, które określają współczynnik tarcia bocznego lub wzdłużnego przy ustalonym poślizgu $15 \div 25\%$, rejestrują dane w sposób ciągły w warunkach zbliżonych do krytycznego poślizgu [1, 3]. Ponadto stopień poślizgu w urządzeniu ma zasadnicze znaczenie dla interpretacji wyników pod kątem określenia wpływu charakterystyki górnej warstwy na właściwości przeciwoślizgowe. Przy wyborze technologii wykonania bierze się pod uwagę zarówno trwałość danego rozwiązanie, jak i zagwarantowanie wymaganych właściwości przeciwoślizgowych podczas użytkowania. Wynika to z roli tekstury, jaką odgrywa w generowaniu siły tarcia na styku opona/nawierzchnia [1, 9]. Nierówności powierzchni o długości fali $0,5 \div 50$ mm odpowiadające makroteksturze, mają wpływ na odprowadzanie wody ze styku opona/nawierzchnia, a tym samym zmniejszenie ryzyka aquaplaningu. Zależą one od typu mieszanki mineralno-asfaltowej, a w przypadku nawierzchni betonowych od techniki teksturowania. Natomiast mikrotekstura jest charakteryzowana przez nierówności o długości fali mniejszej niż 0,5 mm i odpowiada za przerwanie filmu wodnego na styku opona/nawierzchnia. Zależy ona od odporności na polerowanie kruszywa grubego [6 – 8]. Oznacza to, że właściwy wybór materiałów, głównie kruszywa grubego, ustalenie składu mieszanki, technik teksturowania itp. pozwoli utrzymać wymagany poziom właściwości przeciwoślizgowych podczas użytkowania nawierzchni. Przy niewielkim stopniu poślizgu, wartość współczynnika tarcia jest wynikiem wpływu nierówności w zakresie makrotekstury i mikrotekstury [1, 11 – 13]. Natomiast przy pomiarze urządzeniem z pełną blokadą koła, decydujące znaczenie ma mikrotekstura. Wykorzystując więc ten tryb pomiarowy, można niewłaściwie oszacować potencjał danej warstwy, a szczególnie warstw o średniej głębokości profilu powyższej 0,8 mm dedykowanych do dróg szybkiego ruchu [13].

Wielokrotnie przedstawiciele stowarzyszeń zwracali się z prośbą do Ministerstwa Infrastruktury o weryfikację metody pomiarowej, systemu kontroli jakości pozyskiwanych wyników oraz wymagań zawartych w dokumentach prawnych, specyfikacjach, która uwzględni aktualny stan wiedzy technicznej w Europie i na świecie [7]. Ich intencją było wyeliminowanie niezgodności dotyczących oceny właściwości przeciwoślizgowych, które były zgłaszane zarówno przez administrację drogową, jak i przedstawiciele firm wykonawczych.

Celem artykułu jest przedstawienie oceny właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni betonowej drogi ekspresowej S7 przed oddaniem jej do użytkowania na podstawie procedury i kryteriów zawartych w dokumentach kontraktowych, które stanowią podstawę do weryfikacji jakości robót budowlanych.

Research program

The determination of the skid resistance was carried out on the basis of the analysis of the results of the friction coefficient, which was obtained in accordance with the process described in the content of the regulation concerning public roads published in 2019. (Journal of Laws 2019, item 1643) [5]. Two devices were used for the tests: SRT-3 (1) and SRT-3 (2), recording results with a blocked wheel (100% slip) at a constant speed $v = 60$ km/h (photography). These devices were equipped with RIBBED TIRE-165 R 15 PIARC. The measurement of the friction coefficient was automatically triggered in Spots distributed every 50 m. According to the equipment manufacturer's declaration, the water expenditure served before the measures after the measurement liberation was 0.5 l/m². **The SKID Resistance measure is the reliable friction coefficient, which is a difference in average value of E(mi) and standard devity D, calculated from data registered on sections with a length of 1000 m.** For measurements, two devices were used for measurements whose users took part in cyclically organized, dynamic comparative measurements in as part of the calibration procedure. The results of friction coefficients E(mi) were the basis for verifying the declared level of skid resistance before commissioning of the concrete surface for utility. **In the case that the value of the reliable μ_m friction coefficient was lower than 0.49, the recovery program had to be presented.**



SRT-3 device
Urządzenie SRT-3

Four test sections (OT) of comparable length of about 10 km located on the S7 expressway were selected for analysis, the concrete surface of which was textured using the exposed aggregate method. The composition is presented in Table 1. The concrete mix was made of CEM I 42.5 cement in the amount of 430 kg/m³ with a w/c ratio of 0.37. It was designed based on coarse aggregate from amphibolite rock with a PSV (Polished Stone Value) of 53.

The paper presents the results of measurements conducted in the following pe-riods:

- 1) section OT-1 – location from km 94+000 to km 105+000 – left carriageway, outer lane:
 - before shot-blasting of the surface – SRT-3 (1) on 24 March 2022;
 - after the first shot-blasting of the surface performed in the period 10 – 22 May 2022 – SRT-3 (1) on 20 June and SRT-3 (2) – 9 June 2022;
 - after the second shot-blasting of the surface performed in the period 22 – 29 June 2022 – SRT-3 (1) on 6 July and SRT-3 (2) – 28 July 2022;
- 2) section OT-2 – location from km 109+000 to km 118+800 – right carriageway, outer lane:
 - SRT-3 (1) and SRT-3 (2) on July 12, 2022;
- 3) section OT-3 – location from km 47+800 to km 58+600 – right carriageway, in-ner and outer lane:

Program badań

Ocena właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni została przeprowadzona na podstawie analizy wyników współczynnika tarcia, które otrzymano zgodnie z procedurą opisaną w treści rozporządzenia dotyczącego dróg publicznych opublikowanego w 2019 r. (Dz. U. 2019 poz. 1643) [5]. Do badań wykorzystano urządzenia SRT-3 (1) i SRT-3 (2), rejestrujące wynik przy pełnej blokadzie koła pomiarowego (100% poślizg) ze stałą prędkością $V = 60$ km/h (fotografia), wyposażone w oponę rowkowaną 165 R 15 PIARC. Pomiar współczynnika tarcia był wyzwalany automatycznie w punktach pomiarowych rozmieszczonych co 50 m. Zgodnie z deklaracją producenta sprzętu, wydatek wody podawany przez koło po wyzwoleniu pomiaru wynosił $0,5$ l/m². **Miarą właściwości przeciwoślizgowych jest miarodajny współczynnik tarcia, który stanowi różnicę wartości średniej E(mi) i odchylenia standardowego D, obliczonych z danych zarejestrowanych na odcinkach o długości 1000 m.** Do pomiarów użyto dwa urządzenia SRT-3, których użytkownicy brali udział w organizowanych cyklicznie, dynamicznych pomiarach porównawczych w ramach procedury kalibracyjnej. Wyniki współczynników tarcia E (mi) były podstawą do weryfikacji deklarowanego poziomu właściwości przeciwoślizgowych przed oddaniem nawierzchni betonowej do użytkowania. **W przypadku, gdy wartość miarodajnego współczynnika tarcia μ_m była mniejsza niż 0,49, należało przedstawić program naprawczy.**

Do analizy wytypowano cztery odcinki testowe (OT) o porównywalnej długości ok. 10 km zlokalizowane na drodze ekspresowej S7, których nawierzchnia betonowa była teksturowana metodą odkrytego kruszywa. Skład uziarnienia nawierzchni przedstawiono w tabeli 1. Do mieszanki betonowej o wskaźniku w/c 0,37 zastosowano cement CEM I 42,5 w ilości 430 kg/m³ oraz kruszywo grube ze skały amfibolitowej o wskaźniku polerowalności PSV = 53.

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów prowadzonych w następujących okresach:

- 1) odcinek OT-1 – lokalizacja od km 94+000 do km 105+000 – jezdnia lewa, pas zewnętrzny:
 - przed śrutowaniem nawierzchni –SRT-3 (1) – 24 marca 2022 r.;
 - po I śrutowaniu nawierzchni wykonanym 10 – 22 maja 2022 r. – SRT-3 (1) – 20 czerwca i SRT-3 (2) – 9 czerwca 2022 r.;
 - po II śrutowaniu nawierzchni wykonanym 22 – 29 czerwca 2022 r. – SRT-3 (1) – 6 lipca i SRT-3 (2) – 28 lipca 2022 r.;
- 2) odcinek OT-2 – lokalizacja od km 109+000 do km 118+800 – jezdnia prawa, pas zewnętrzny:
 - SRT-3 (1) i SRT-3 (2) – 12 lipca 2022 r.;
- 3) odcinek OT-3 – lokalizacja od km 47+800 do km 58+600 – jezdnia prawa, pas wewnętrzny i zewnętrzny:

Table 1. Grain size of the mineral mixture
Tabela 1. Uziarnienie mieszanki mineralnej

Sieve [mm]/ Sito o oczku [mm]	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	16
Passing [%]/ Przesiew [%]	0,2	1	5	17	25	29	31	36	93	100

- SRT-3 (1) on August 18 and SRT-3 (2) – August 30, 2022.
- 4) section OT-4 – location from km 86+000 to 87+000, from 91+000 to 98+000, from 104+000 to 105+000 – right carriageway, inner lane:
- SRT-3 (1) on December 18 and SRT-3 (2) – December 19, 2023.

- SRT-3 (1) – 18 sierpnia i SRT-3 (2) – 30 sierpnia 2022 r.;
- 4) odcinek OT-4 – lokalizacja od km 86+000 do 87+000, 91+000 do 98+000, od 100+000 do 101+000, od 104+000 do 105+000 – jezdnia prawa, pas wewnętrzny:
- SRT-3 (1) – 18 grudnia i SRT-3 (2) – 19 grudnia 2023 r.

Results and analysis

Figures 1 ÷ 3 show the results of friction coefficients recorded every 50 m and the reliable friction coefficients obtained on OT-1 before and after the surface shot-blasting procedure. Table 2 shows the differences between the reliable friction coefficient values calculated between individual devices and measurement periods.

Depending on the 1000 m long section tested, the μ_m values obtained with the SRT-3 (1) device on March 24 range from $0.41 \div 0.48$. Due to the fact that they are lower than the minimum required value of 0.49, a decision was made to carry out a repair procedure consisting in shot-blasting the surface. This procedure is aimed at regenerating the micro and macro texture. After its performance, the μ_m values oscillate in the case of SRT-3 (1) in the range from $0.42 \div 0.51$, and SRT-3 (2) from $0.41 \div 0.51$. Comparing the values obtained for SRT-3 (1) before and after shot-blasting, both their decreases and increases are observed. However, these differences, except for the section from km 100+000 to km 101+000, are insignificant. Having only the results from one device, one could assume that the shot-blasting did not bring good results. However, the

Wyniki pomiarów i ich analiza

Na rysunkach 1 ÷ 3 przedstawiono wyniki współczynników tarcia zarejestrowane co 50 m i miarodajne współczynniki tarcia otrzymane na odcinku OT-1 przed i po wykonaniu zabiegu śrutowania nawierzchni, natomiast w tabeli 2 różnice pomiędzy miarodajnymi wartościami współczynnika tarcia obliczone pomiędzy poszczególnymi urządzeniami i okresami pomiarowymi.

W zależności od ocenianego odcinka o długości 1000 m, wartości μ_m otrzymane z urządzenia SRT-3 (1) 24 marca wynoszą $0,41 \div 0,48$. W związku z tym, że są one mniejsze od minimalnej wymaganej wartości 0,49, podjęto decyzję o śrutowaniu powierzchni. Ma on na celu regenerację mikro- i makrotekstury. Po jej przeprowadzeniu, wartości μ_m w przypadku SRT-3 (1) wynoszą $0,42 \div 0,51$, a SRT-3 (2) $0,41 \div 0,51$. Porównując wartości z SRT-3 (1) przed i po śrutowaniu obserwuje się zarówno ich spadek, jak i wzrost, ale różnice, poza odcinkiem od km 100+000 do km 101+000, są nieznaczne. Dysponując jedynie wynikami z jednego urządzenia, można byłoby przypuszczać, że śrutowanie nie przyniosło pożądanych efektów, ale różnice pomiędzy μ_m z SRT-3 (1) i (2)

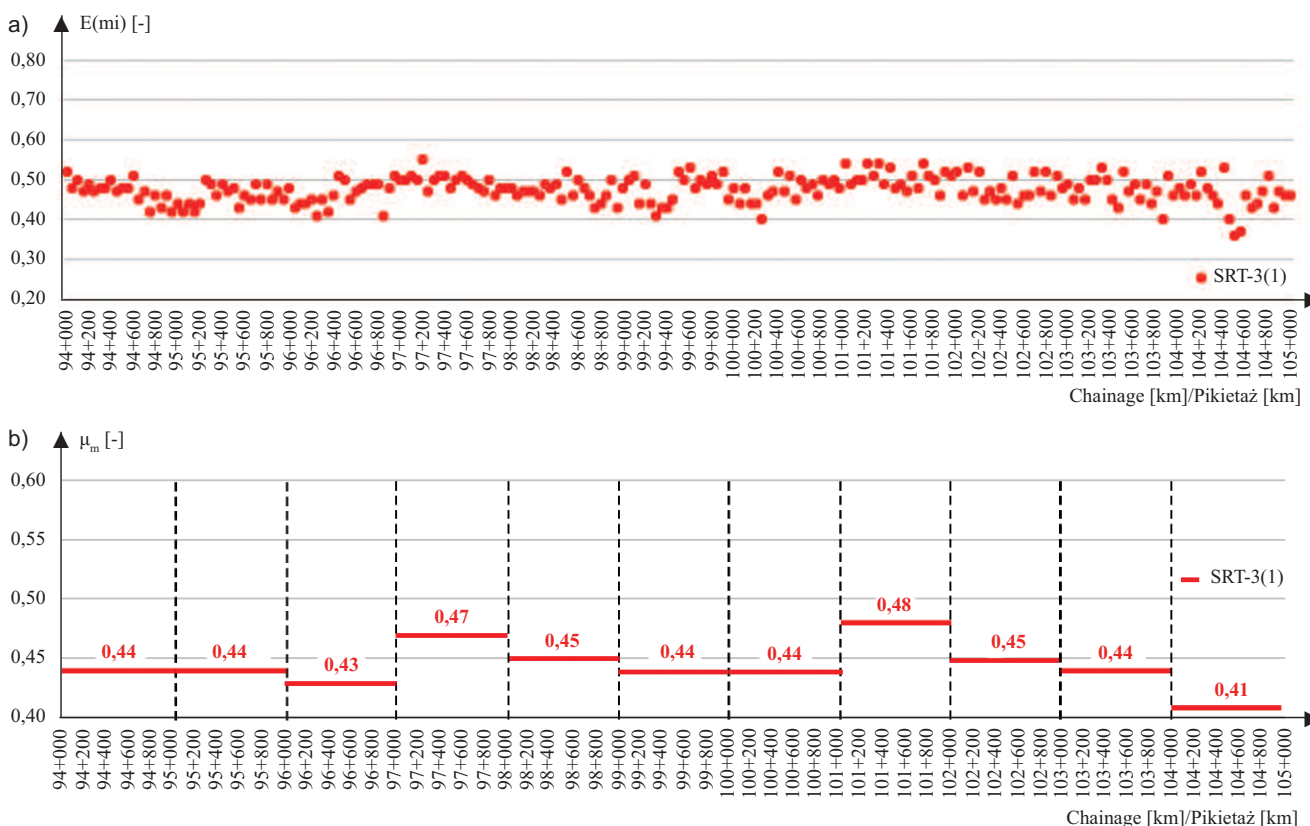


Fig. 1. E(mi) (a) and μ_m (b) values on OT-1 before shot-blasting
Rys. 1. Wartości E(mi) (a) oraz μ_m (b) na OT-1 przed śrutowaniem

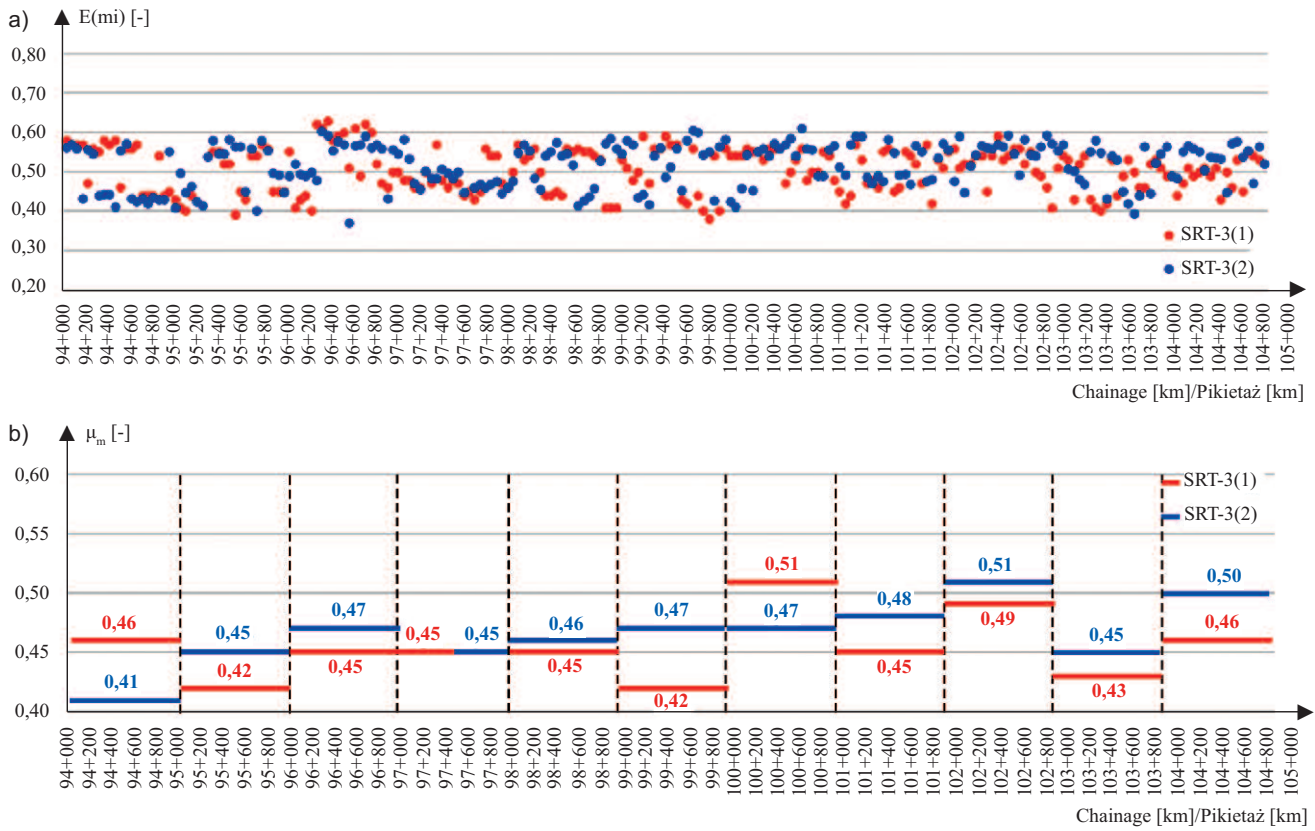


Fig. 2. $E(mi)$ (a) and μ_m (b) values on OT-1 after first shot-blasting
Rys. 2. Wartości $E(mi)$ (a) oraz μ_m (b) na OT-1 po I śrutowaniu

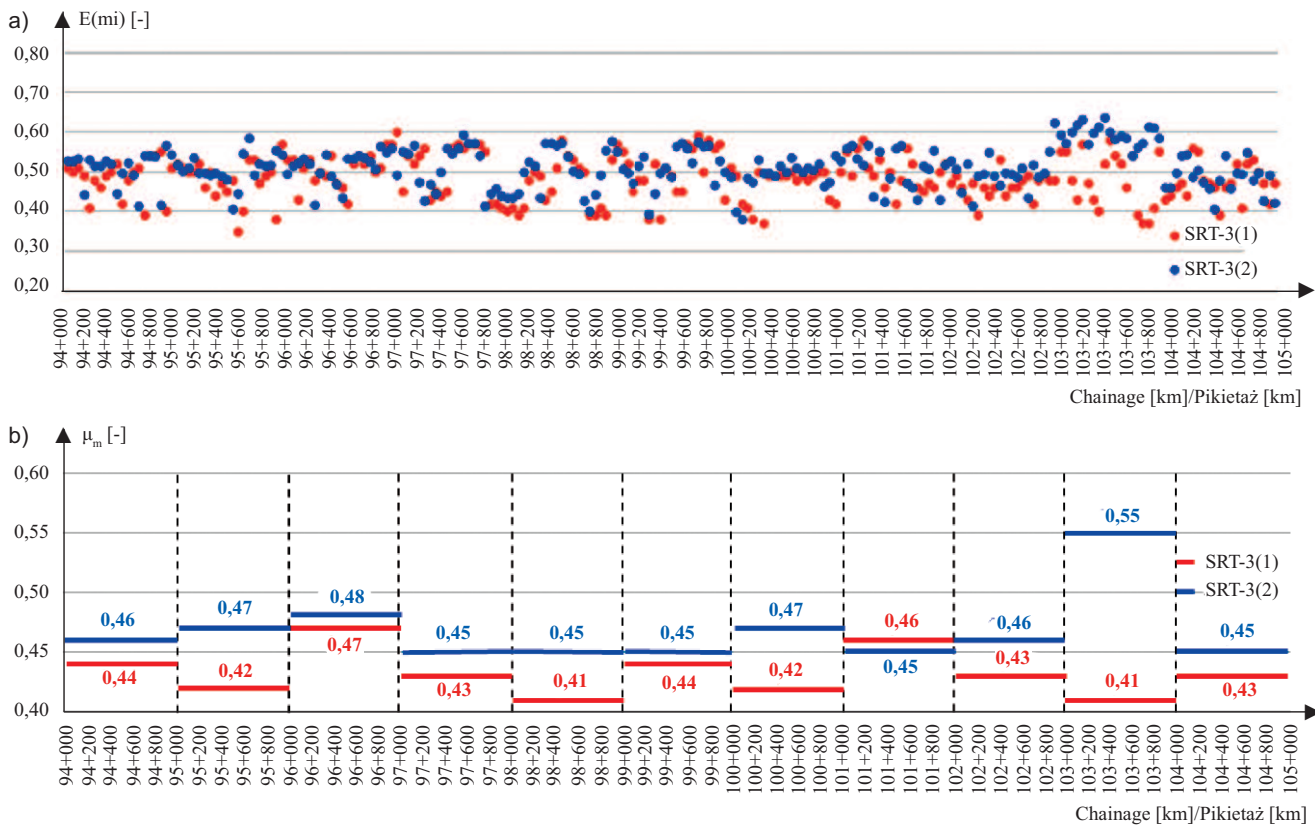


Fig. 3. $E(mi)$ (a) and μ_m (b) values on OT-1 after second shot-blasting
Rys. 3. Wartości $E(mi)$ (a) oraz μ_m (b) na OT-1 po II śrutowaniu

differences between the μ_m of SRT-3 (1) and (2) after the first shot-blasting are in several cases the same or higher than the differences between the μ_m of SRT-3 (1) before and after the treatment. Additionally, according to the results of measurements with the SRT-3 (2) device, the sections from km 102+000 to km +103+000 and km 104+000 to km 105+000 meet the criteria for the minimum value of the reliable coefficient of

friction, and in the case of the SRT-3 (1) measurement – they do not. The opposite situation occurs on the section from km 100+000 to km 101+000. As a result, a decision was made to shot-blast the surface again. The SRT-3 (1) device recorded a decrease in μ_m in relation to the surface condition after the first shot-blasting treatment after its execution. In the case of the section from km 100+000 to km 101+000 it is 0.09. On the other hand, the μ_m values calculated based on data from SRT-3 (2) indicate a decrease in the range from $-0.01 \div 0.05$ and an increase from 0.01 to 0.05, and in the section from km 103+000 to km 104+000 by 0.10.

The differences determined using the results from two devices obtained before and after the treatments do not allow us to clearly state that shot-blasting the surface on these sections improved skid resistance. Additionally, they cast doubt on the reliability of the methodology used.

The presented doubts were also influenced by the results recorded by SRT-3 (1) and (2) on July 12 on the OT-2 section (Fig. 4). The μ_m values were in the following ranges: SRT-3 (1) from 0.32 to 0.45, and SRT-3 (2) from 0.38 to 0.50. This surface was not subjected to any treatments that would improve skid resistance. Considering the fact that the measurements were taken on the same day, the differences between the individual devices are high (from 0.04 to 0.08). They are higher than the differences before and after shot-blasting on OT-1.

Higher differences were obtained on OT-3 (Fig. 5). On the outer belt they ranged from $0.06 \div 0.10$, and on the inner belt from 0.01 to 0.10. However, on OT-2 higher friction coefficient values were indicated by the SRT-3 device (2), and on OT-3 by the SRT-3 device (1). If it were not for the fact that the right carriageway was constructed in 2021 and opened to traffic in December 2021, the reason for this difference could be explained by the phenomenon of „post-construction slipperiness”. It occurs on cement concrete surfaces due to the presence of a

Table 2. Differences between μ_m values
Tabela 2. Różnice pomiędzy wartościami μ_m

km/road/ km drogi	Differences between μ_m Różnice pomiędzy μ_m				
	before and after the first shot blasting SRT-3 (1) */ przed i po I śrutowaniu SRT-3 (1)*	After the first shot blasting between SRT-3 (1) and (2)/ po I śrutowaniu pomiędzy SRT-3 (1) i (2) (1) – (2)	between I and II shot-blasting*/ pomiędzy I a II śrutowaniem*		After the second shot blasting between SRT-3 (1) and (2)/ po II śrutowaniu pomiędzy SRT-3 (1) i (2) (1) – (2)
			SRT-3 (1)	SRT-3 (2)	
94 – 96	0,02	0,05	-0,02	0,05	0,02
95 – 96	-0,02	0,03	0	0,02	0,05
96 – 97	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
97 – 98	-0,02	0	-0,02	0	0,02
98 – 99	0	0,01	-0,04	-0,01	0,04
99 – 100	-0,02	0,05	0,02	-0,02	0,01
100 – 101	0,07	0,04	-0,09	0	0,05
101 – 102	-0,03	0,03	0,01	-0,03	0,01
102 – 103	0,04	0,02	-0,05	-0,05	0,03
103 – 104	-0,01	0,02	-0,02	0,10	0,14
104 – 105	0,05	0,04	-0,03	-0,05	0,02

* a negative value indicates a decrease compared to the state before the given treatment/wartość ujemna oznacza spadek w stosunku do stanu przed danym zabiegiem

po I śrutowaniu są w kilku przypadkach takie same lub większe niż różnice pomiędzy μ_m z SRT-3 (1) przed i po zabiegu. Ponadto zgodnie z rezultatami pomiarów urządzeniem SRT-3 (2), odcinki od km 102+000 do km +103+000 i km 104+000 do km 105+000 spełniają kryteria minimalnej wartości miarodajnego współczynnika tarcia, a w przypadku pomiaru SRT-3 (1) – nie spełniają. Odwrotna sytuacja ma miejsce na odcinku od km 100+000 do km 101+000. W konsekwencji podjęto decyzję o ponownym śrutowaniu nawierzchni. Po jego wykonaniu SRT-3 (1) zarejestrował spadek μ_m w stosunku do stanu nawierzchni po zabiegu I śrutowania. W przypadku odcinka od km 100+000 do km 101+000 wynosił on 0,09. Natomiast wartości μ_m obliczone na podstawie danych z SRT-3 (2) wskazują na spadek o $-0,01 \div 0,05$ i wzrost o $0,01 \div 0,05$, a na odcinku od km 103+000 do km 104+000 o 0,10.

Różnice, które określono, dysponując wynikami z dwóch urządzeń otrzymanymi przed i po wykonaniu zabiegów, nie pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że śrutowanie nawierzchni na tych odcinkach poprawiło właściwości przeciwoślizgowe. Dodatkowo podają w wątpliwość wiarygodność zastosowanej metodyki.

Na przedstawione wątpliwości miały wpływ również wyniki zarejestrowane przez SRT-3 (1) i (2) 12 lipca na odcinku OT-2 (rysunek 4). Wartości μ_m mieściły się w następujących przedziałach: SRT-3 (1) od 0,32 do 0,45, a SRT-3 (2) od 0,38 do 0,50. Nawierzchnia nie została poddana żadnym zabiegom, które miałyby poprawić właściwości przeciwoślizgowe. Uwzględniając fakt, że pomiary wykonano w tym samym dniu, różnice pomiędzy wartościami poszczególnych urządzeń (od 0,04 do 0,08) są większe od różnic przed i po zabiegach śrutowania na OT-1.

Jeszcze większe różnice otrzymano na OT-3 (rysunek 5). Na pasie zewnętrznym wynosiły one $0,06 \div 0,10$, a pasie wewnętrznym $0,01 \div 0,10$, z tym że na odcinku OT-2 większe wartości współczynników tarcia wskazywało urządzenie SRT-3 (2), a na OT-3 – SRT-3 (1). Gdyby nie fakt, że jezdnia prawa została wykonana w 2021 r. i oddana do ruchu w grudniu 2021 r., przyczynę tej różnicy można byłoby tłumaczyć zjawiskiem „śliskości powykonawczej”. Występuje ono na powierzchniach z betonu cementowego na skutek obecności środka do pielęgnacji nawierzchni betonowych, który zabezpiecza przed odparowaniem wody i pojawieniem się rys skurcz-

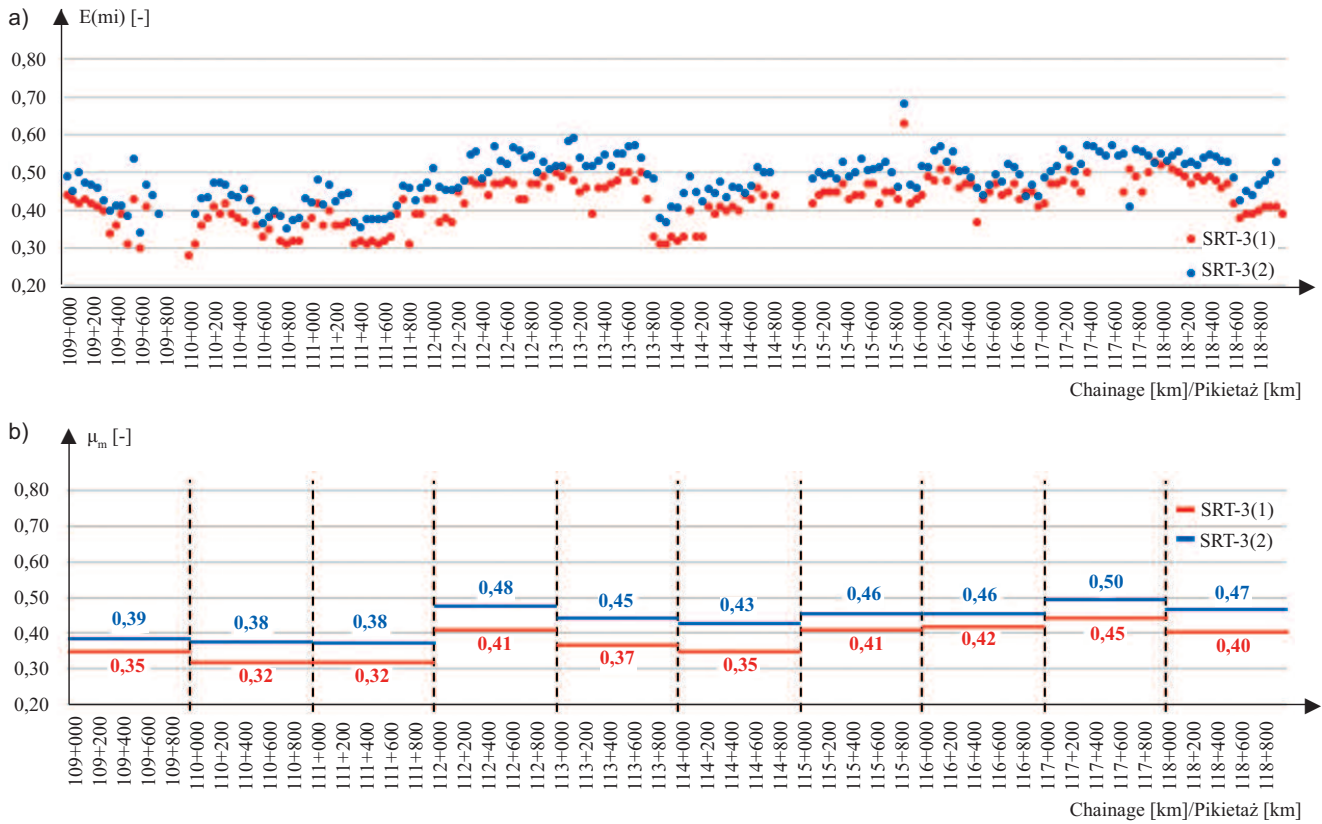


Fig. 4. E(mi) (a) and μ_m (b) values on OT-2
 Rys. 4. Wartości E(mi) (a) oraz μ_m (b) na OT-2

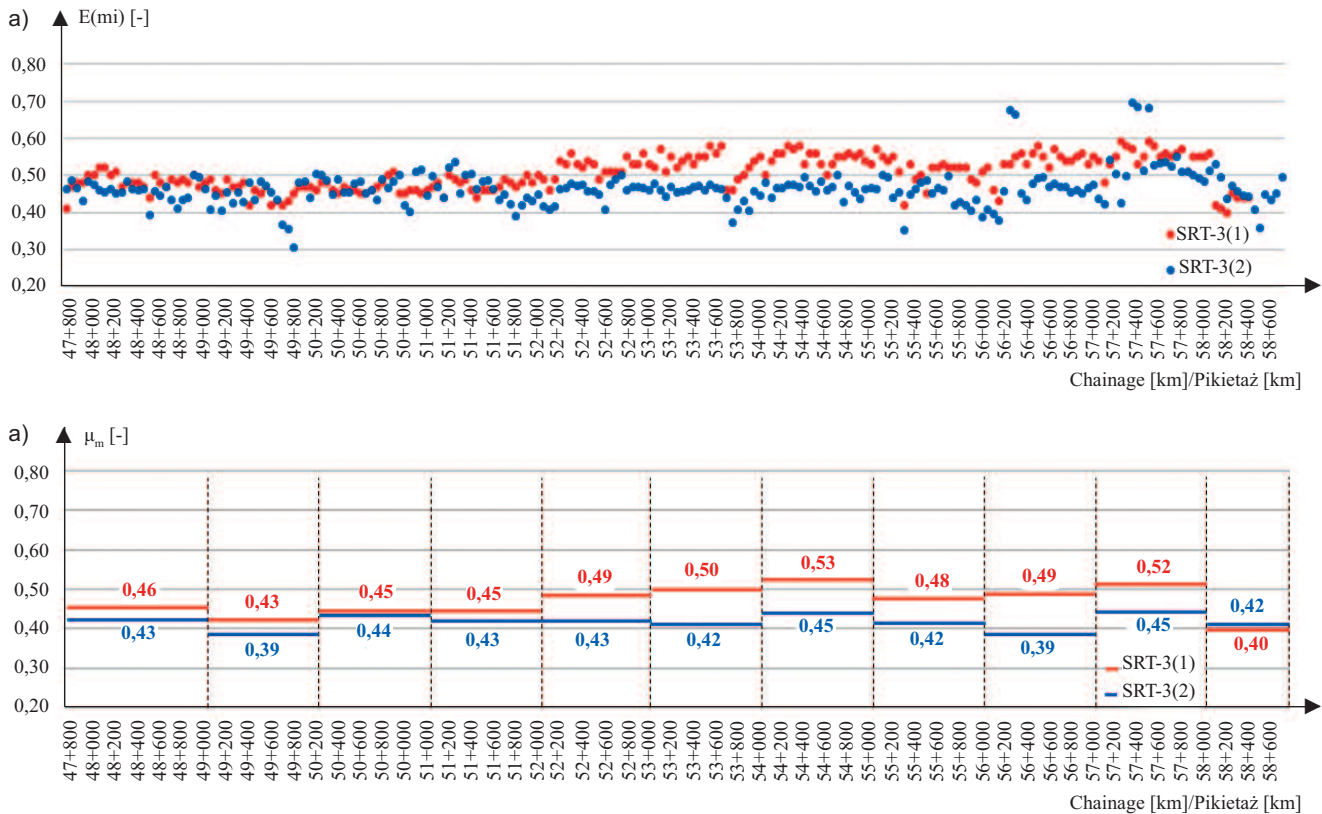


Fig. 5. E(mi) (a) and μ_m (b) values on the OT-3 inner road lane
 Rys. 5. Wartości E(mi) (a) oraz μ_m (b) na OT-3 pas wewnętrzny

concrete surface care agent, which protects against water evaporation and the appearance of shrinkage cracks. Its presence contributes to a reduction in the friction force at the contact point between the tire and the surface of the surface in conditions of mutual slippage. Studies show that the chemical agent is removed from the surface of aggregates due to the impact of atmospheric factors and car traffic [10, 14]. As a consequence, this causes an increase in the friction coefficient after several months, and especially after the winter period. In this case, the difference between the SRT-3 (1) and (2) measurements was only 12 days. However, the fact that since December 2021 there has been car traffic on this surface, the influence of the presence of a concrete curing agent on the obtained differences in the measurement results should be excluded.

The reason for obtaining such high differences (above 0.05) does not result from the non-uniformity of the tested surface. It should be noted that both mineral-asphalt mixture wearing courses and cement concrete surfacing courses are characterized by a certain variability of parameters describing their texture depending on the technology of execution [9 – 12]. However, a clear distinction should be made between non-uniformity of the surface resulting from its texture and the consistency of the registration of friction coefficient results by individual measuring devices along the measuring track on a given lane of the tested surface. If the assessed surface of the traffic lane is non-uniform, each measuring device should record these non-uniformities. Analyzing Figures 1 – 6 (a) with the $E(mi)$ values, it can be seen that the trends of increases or

wych. Jego obecność przyczynia się do zmniejszenia siły tarcia na styku opony i powierzchni nawierzchni w warunkach wzajemnego poślizgu. Badania dowodzą, że środek chemiczny jest usuwany z powierzchni kruszyw na skutek oddziaływania czynników atmosferycznych oraz ruchu samochodowego [10, 14]. W konsekwencji powoduje to wzrost współczynnika tarcia po kilku miesiącach, a przede wszystkim po okresie zimowym. W tym przypadku różnica pomiędzy pomiarami SRT-3 (1) i (2) wynosiła tylko 12 dni. W związku z tym, że od grudnia 2021 r. po nawierzchni odbywał się ruch samochodowy, wpływ obecności środka do pielęgnacji betonu na otrzymane różnice w wynikach pomiarów należy wykluczyć.

Przyczyna uzyskania tak dużych różnic (powyższej 0,05) nie wynika z niejednorodności testowanej powierzchni. Zarówno warstwy ścieralne z mieszanek mineralno-asfaltowych, jak i warstwy nawierzchniowe z betonu cementowego odznaczają się pewną zmiennością parametrów opisujących ich teksturę w zależności od technologii wykonania [9 – 12]. Należy jednak rozgraniczyć niejednorodność nawierzchni wynikającą z jej tekstury, a zgodność rejestracji wyników współczynników tarcia przez poszczególne urządzenia pomiarowe wzdłuż toru pomiarowego na danym pasie testowanej nawierzchni. Jeżeli oceniana powierzchnia nawierzchni pasa ruchu jest niejednorodna, to każde z urządzeń pomiarowych powinno tę niejednorodność zarejestrować. Z analizy rysunków 1 – 6 z wartościami $E(mi)$ wynika, że trendy wzrostu lub ich spadku na poszczególnych odcinkach, rejestrowane przez

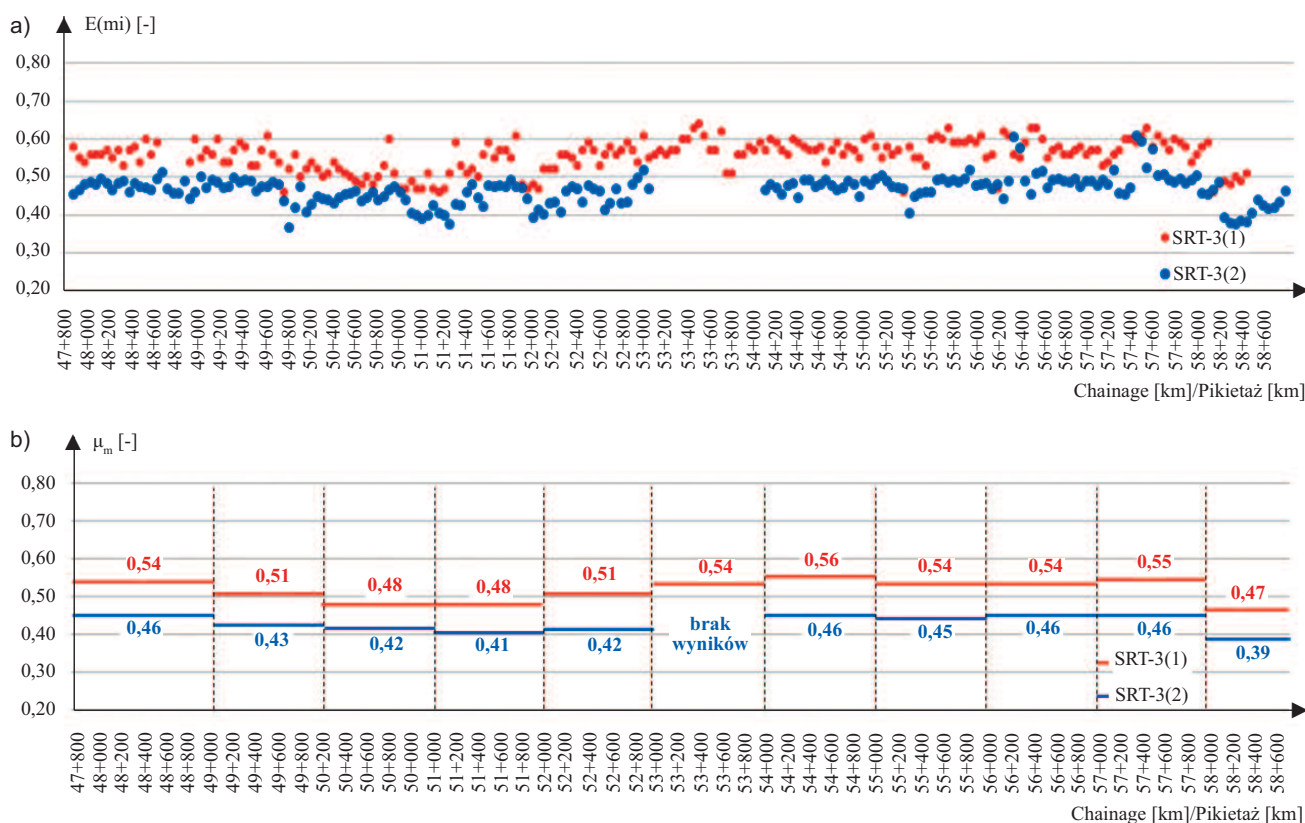


Fig. 6. $E(mi)$ (a) and μ_m (b) values on the OT-3 outer road lane
Rys. 6. Wartości $E(mi)$ (a) oraz μ_m (b) na OT-3 pas zewnętrzny

decreases on individual sections, recorded by both SRT-3 (1) and (2), are comparable. However, they differ in the level of values. Dynamic comparative measurements of devices for determining skid resistance are intentionally performed on surfaces of different textures, which are additionally characterized by certain variability. This allows determining whether each of the tested measuring devices registers this texture change with a set and acceptable measurement uncertainty [1, 3].

It can be assumed that the differences in the results obtained in the period from June to September 2022 are of an incidental nature and after reporting the problem to the users of these devices, the possible cause of the scatter in the results will be eliminated. However, the data recorded on December 18 – 19, 2023 on OT-4 show that this did not happen (Fig. 7).

SRT-3 (1) i (2), są porównywalne. Natomiast różnią się one poziomem wartości. W pomiarach dynamicznych celowo są stosowane nawierzchnie o różnej teksturze, które dodatkowo odznaczają się pewną zmiennością. Pozwala to ustalić, czy każde z testowanych urządzeń pomiarowych rejestruje zmianę tekstury z ustaloną i akceptowalną niepewnością pomiarową [1, 3].

Można przypuszczać, że różnice w wynikach uzyskane w okresie od czerwca do września 2022 r. mają charakter incydentalny i po zgłoszeniu problemu do użytkowników tych urządzeń, ewentualna przyczyna rozrzutu wyników zostanie wyeliminowana. Dane zarejestrowane 18 – 19 grudnia 2023 r. na OT-4 świadczą jednak, że tak się nie stało (rysunek 7).

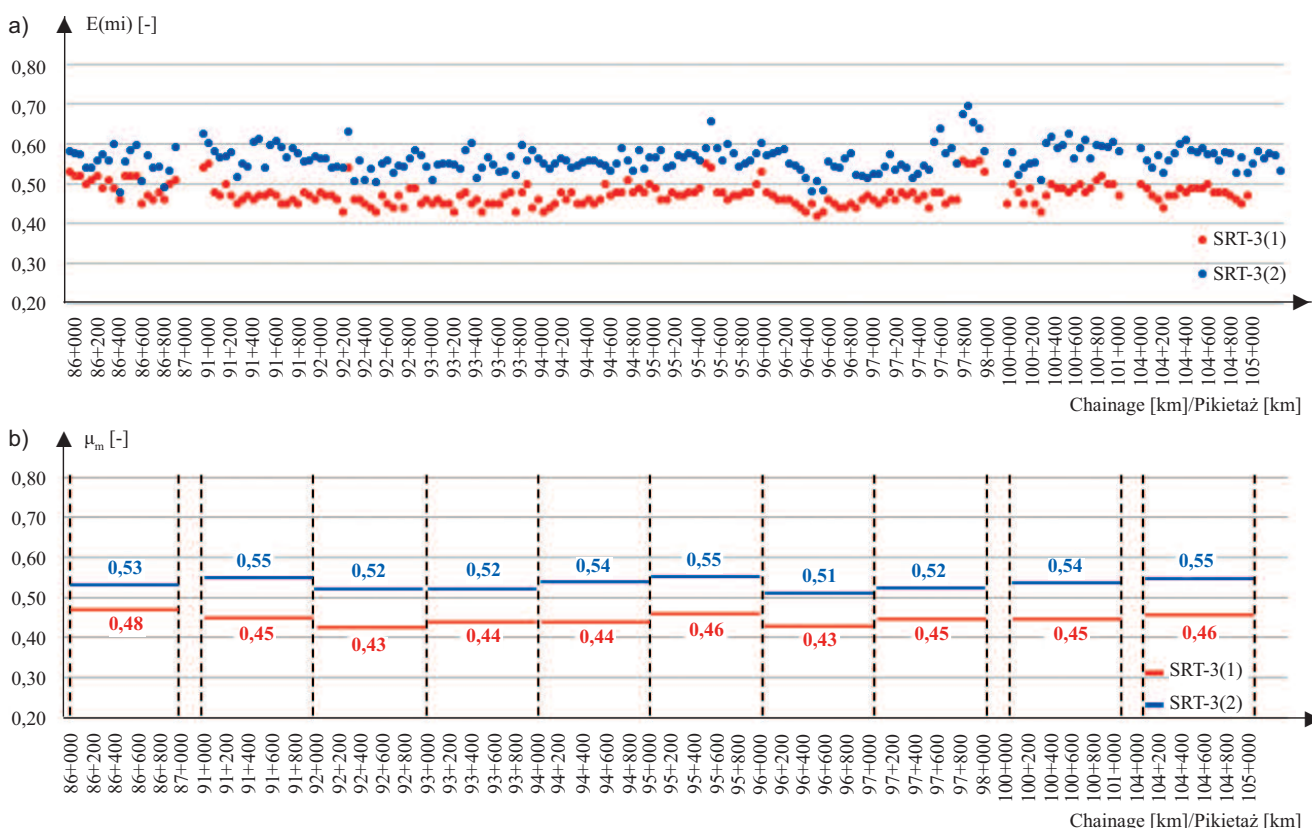


Fig. 7. $E(mi)$ (a) and μ_m (b) values on OT-4
Rys. 7. Wartości $E(mi)$ (a) oraz μ_m (b) na OT-4

The μ_m values were within the following ranges: SRT-3 (1) from 0.43 to 0.48, and SRT-3 (2) from 0.51 to 0.55. The average difference between the reliable friction coefficient values is about 0.09. These are control results after performing hydro blasting on the concrete surface in order to improve skid resistance. The results obtained using the SRT-3 (2) device prove that the surface meets the requirements for the threshold value of 0.49. However, based only on the results from SRT-3 (1), it would be necessary to take action to develop a repair program.

In both the 2022 and 2023 results, it is not possible to clearly state which of the devices indicates the correct level of the surface condition in terms of its anti-skid properties. The interpretation of the results is difficult due to the lack of

Wartości μ_m wynosiły w przypadku: SRT-3 (1) od 0,43 do 0,48, a SRT-3 (2) od 0,51 do 0,55. Średnia różnica pomiędzy miarodajnymi wartościami współczynnika tarcia to ok. 0,09. Są to wyniki kontrolne po wykonaniu zabiegu hydroblastingu na nawierzchni betonowej w celu poprawy poziomu właściwości przeciwpoślizgowych. Rezultaty uzyskane z zastosowaniem urządzenia SRT-3 (2) dowodzą, że nawierzchnia spełnia wymagania progowej wartości 0,49. Natomiast bazując jedynie na wynikach z SRT-3 (1), należałoby podjąć działania w kierunku opracowania programu naprawczego.

Zarówno w przypadku wyników z 2022 r., jak i 2023 r. nie można jednoznacznie stwierdzić, które z urządzeń wskazuje prawidłowy poziom stanu nawierzchni w aspekcie ich właściwości przeciwpoślizgowych. Interpretację wyników utrudnia

information on the acceptable level of differences between the results obtained under the conditions of repeatability and reproducibility of the method. On the other hand, the high dispersion of results (over 0.05) between two SRT-3 devices in short time intervals on the same surface indicates that they may be related to the permanent error of the quality control system for verifying the results recorded by the SRT-3 devices.

Conclusion

Discussions have been ongoing in Poland for several years on the need to develop a systemic solution for determining skid resistance in accordance with the current state of technical knowledge in the world. Mainly as a result of changes in regulations concerning roads or works on guidelines, technical specifications, certain actions were taken. However, they were ineffective. The presented results of measurements performed with the SRT-3 device prove that differences in results do occur and are not incidental. Reliable values of friction coefficients calculated on the basis of two SRT-3 devices did not show logical correctness. Despite the performance of treatments on the surface aimed at improving the condition of anti-skid properties, their effects cannot be unequivocally assessed. The lack of effective standard procedures related to quality control of obtained results corresponding to the characteristics of this equipment and the principles of conducting measurements using it, affects its credibility.

The method dedicated to assessing the quality of works should guarantee appropriate quality, reliability, and not doubts. Therefore, in countries that conduct a conscious policy of managing road infrastructure, great importance is attached to the standardization of methods, which is key to the proper functioning of the skid resistance assessment system in the aspect of preventive actions preventing slippery road surfaces. It is important not only in assessing the quality of road works, but also due to the broadly understood public interest, because it has a direct impact on the safety of road users.

Received: 09.09.2024
Revised: 14.10.2024
Published: 25.11.2024

brak informacji o akceptowalnym poziomie różnic pomiędzy wynikami otrzymanymi w warunkach powtarzalności i odtwarzalności metody. Natomiast rozrzuty wyników ponad 0,05 pomiędzy dwoma urządzeniami SRT-3 w krótkich odstępach czasu na tej samej nawierzchni wskazują, że mogą mieć one związek z błędem stałym systemu kontroli jakości do weryfikacji wyników rejestrowanych przez urządzenia SRT-3.

Podsumowanie

Od kilkunastu lat w Polsce trwają dyskusje nad potrzebą opracowania systemowego rozwiązania do oceny właściwości przeciwpoślizgowych zgodnie z aktualnym stanem wiedzy technicznej na świecie. Głównie na skutek zmian rozporządzeń dotyczących dróg lub prac nad wytycznymi, specyfikacjami technicznymi były podejmowane pewne działania, ale miały one charakter prowizoryczny. Przedstawione wyniki pomiarów wykonanych urządzeniem SRT-3 dowodzą, że rozbieżności występują i nie mają charakteru incydentalnego. Miarodajne wartości współczynników tarcia obliczone na podstawie dwóch urządzeń SRT-3 nie wykazały logicznej prawidłowości. Pomimo wykonania na nawierzchni zabiegów mających na celu poprawę stanu właściwości przeciwpoślizgowych, nie można jednoznacznie ocenić ich efektów. Brak skutecznych standardowych procedur kontroli jakości pozyskiwanych wyników i zasad prowadzenia pomiarów z jego wykorzystaniem, wpływa na jej wiarygodność.

Metoda oceny jakości robót nie powinna budzić wątpliwości. W związku z tym w krajach, które powadzą świadomą politykę zarządzania infrastrukturą drogową, dużą wagę przywiązuje się do standaryzacji metod, która jest kluczowa w prawidłowym funkcjonowaniu systemu oceny właściwości przeciwpoślizgowych w aspekcie działań prewencyjnych zapobiegających śliskości nawierzchni drogowych. Jest to istotne nie tylko przy ocenie jakości robót drogowych, ale ze względu na szeroko rozumiany interes publiczny, gdyż ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo użytkowników dróg.

Artykuł wpłynął do redakcji: 09.09.2024 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 14.10.2024 r.
Opublikowano: 25.11.2024 r.

Literature

- [1] ROSANNE a report D1.1. Definition of boundaries and requirements for the common scale for harmonisation of skid resistance measurements including draft standard outline.
- [2] Kogbara RB, MasadEA, KassemE, Scarpas AT, Anupam K. A state-of-the-art review of parameters influencing measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavements. *Constr. Build. Mater.* 2016, 114, 602–617.
- [3] Cerezo V, Rado Z, Kane M. Comparison of european and american methods for harmonizing friction measurements – results of 1st European Pavement Friction Workshop. 8th Symposium on Pavement Surface Characteristics SURF 2018 – Vehicle to Road Connectivity. Brisbane, Queensland, 2018.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz. U. 2022 poz. 1518).
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 1 sierpnia 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. 2019 poz. 1643).
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 1 sierpnia 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych (Dz. U. 2019 poz. 1644).

- [7] Witczak S. Przegląd polskich dokumentów technicznych dotyczących badań współczynnika tarcia SRT-3. *Drogownictwo.* 2017, 10.
- [8] Bukowski L. Zagadnienia dotyczące współczynnika tarcia nawierzchni jezdni. *Drogownictwo.* 2017, 10.
- [9] Gardziejczyk W. Hałaśliwość nawierzchni drogowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej; 2018.
- [10] Leng Z, Fan Z, Liu P, KollmannJ, Oeser M, Wang D, Jiang X. Texturing and evaluation of concrete pavement surface: A state-of-the-art review. *JRE.* 2023. DOI: 10.1016/j.jreng.2023.08.001.
- [11] Kane M, Edmondson V. Skid resistance: understanding the role of road texture scales using a signal decomposition technique and a friction model. *Int. J. Pavement Eng.* 2020. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1757669>.
- [12] Roe PG, Parry A, Viner HE. High and low speed skidding resistance the influence of texture depth. TRL Report 367. Crowthorne; 1998.
- [13] Wasilewska M, Gardziejczyk W, Gierasimiuk P. Comparison of measurement methods used for evaluation the skid resistance of road pavements in Poland – case study. *Int. J. Pavement Eng.* 2021. DOI: 10.1080/10298436.2018.1562188.
- [14] Wasilewska M, Gardziejczyk W, Gierasimiuk P. Evaluation of skid resistance of exposed aggregate concrete pavement in the initial exploitation period. *Roads Bridges.* 2017, 16: 301–314.