

dr inż. Marta Wasilewska^{1*)}

ORCID: 0000-0001-6834-5206

mgr inż. Dominik Grzyb¹⁾

ORCID: 0000-0002-4001-3119

Test stand for simulating road surface wear

Stanowisko badawcze do symulacji zużycia powierzchni nawierzchni drogowych

DOI: 10.15199/33.2026.05.06

Abstract. This paper presents an assessment of the macrotexture, skid resistance, and luminance of asphalt concrete (AC) and Stone Mastic Asphalt (SMA) layers in laboratory conditions. A Plate Polisher II rig for testing the wear of upper road surfaces was used for this purpose. It enables the simulation of abrasion, polishing and car traffic phenomena that cause changes in texture during road use. The CTM profilometer, the DFT device, and the retroreflectometer LTL-XL were used to measure individual properties. The use of the Plate Polisher II allows you to arrange materials intended for the upper layers of road surfaces and select the optimal production technology in terms of macrotexture, skid resistance and luminance.

Keywords: texture; wearing course; asphalt mixture; CTM and DFT devices; luminance coefficient in diffused light.

Streszczenie. W artykule przedstawiono ocenę właściwości przeciwpoślizgowych, makrotekstury i jasności warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych: z betonu asfaltowego (AC Asphalt Concrete) i SMA w warunkach laboratoryjnych. Do tego celu wykorzystano stanowisko do badania zużycia powierzchni górnych warstw nawierzchni drogowych „Polerkę płytową II”. Umożliwia ono symulację zjawiska ścierania i polerowania oraz ruchu samochodowego, które powodują zmianę w teksturze w okresie użytkowania dróg. Do pomiarów poszczególnych właściwości wykorzystano profilometr CTM, urządzenie DFT i retroreflektometr LTL-XL. Zastosowanie „Polerki płytowej II” pozwala uszeregować materiały przeznaczone do górnych warstw nawierzchni drogowych i wybrać optymalną technologię wykonania w aspekcie makrotekstury, właściwości przeciwpoślizgowych i jasności.

Słowa kluczowe: tekstura; warstwa ścieralna; mieszanka mineralno-asfaltowa; urządzenia CTM i DFT; współczynnik luminancji w świetle rozproszonym.

Pursuant to the Regulation of the Minister of Infrastructure of 24 June 2022 on technical and construction regulations for public roads (Journal of Laws of 2022, item 1518, as amended), skid resistance, longitudinal and transverse evenness, must be checked both before and during the commissioning of roads [1]. The frequency of these activities, the choice of method, and the assessment criteria remain at the discretion of road managers. It should be noted that technological requirements were specified at the design and construction stages of the pavement to prevent deformations in the longitudinal and transverse cross-sections. However, there are no procedures to prevent the incorporation of asphalt mixtures, which can lead to slippery surfaces. The only preventive measure is to determine the polishing resistance of coarse aggregates incorporated into the wearing course. This has been proven to be insufficient. Under the influence of car tires, water, and contamination, the texture of the pavement changes during its service life [2]. The differences in the level of skid resistance of surfaces are influenced not only by the resistance to polishing of the aggregate, but also by the grain composition of individual technological solutions [3, 4].

Although there is no obligation in any country to perform laboratory tests of skid resistance, several test stands have been developed to enable their performance [5]. For the

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. 2022 poz. 1518 z późn. zm.) właściwości przeciwpoślizgowe oraz równość podłużna i poprzeczna nawierzchni powinny być kontrolowane zarówno przed oddaniem dróg do użytkowania, jak i w jego okresie [1]. Częstotliwość tych działań, wybór metody i kryteria oceny pozostają w decyzji zarządców dróg. Aby zapobiec powstawaniu deformacji w przekroju podłużnym i poprzecznym nawierzchni, sprecyzowano wymagania technologiczne dotyczące projektowania i budowy nawierzchni. Nie określono jednak procedur zapobiegających śliskości nawierzchni. Jedynym działaniem prewencyjnym jest ocena odporności na polerowanie kruszyw grubych wbudowanych do warstwy ścieralnej, ale wykazano, że jest ono niewystarczające. Pod wpływem oddziaływania opon samochodowych, wody i zanieczyszczeń tekstura powierzchni nawierzchni zmienia się w okresie użytkowania [2]. Wpływ na różnice pomiędzy poziomem właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni ma nie tylko odporność na polerowanie kruszywa, ale również skład uziarnienia poszczególnych rozwiązań technologicznych [3, 4].

Mimo że w żadnym kraju nie ma obowiązku wykonywania laboratoryjnych badań właściwości przeciwpoślizgowych, to opracowano kilka stanowisk badawczych umożliwiających ich przeprowadzenie [5]. Na potrzeby projektów badawczych powstały prototypy, potocznie określane „karuzelą”, których koła obracają się wokół własnej osi, a tocząc się po próbce, symulują ruch pojazdów. W efekcie na powierzchni powsta-

¹⁾ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
*) Correspondence address: marta.wasilewska@pb.edu.pl

purposes of research projects, prototypes called "carousels" were created, whose wheels rotate around their own axis, rolling over the sample, simulating vehicle movement. As a result, traces are created on the surface, intended for measurement. They differ in a number of technical details and the process aimed at reproducing traffic conditions on the road [6]. Two popular stations in laboratories around the world are MMLS-3 (*Model Mobile Load Simulator*) and FAP (*Friction After Polishing*). The first of them was built in South Africa. Eight pneumatic tires roll over the samples, four of which are coated with corundum abrasive. Since water is not added during the process, surface changes do not simulate polishing. The assessment of skid resistance is performed based on CTM and DFT measurements or an British Pendulum Tester. The second FAP device, known as the Wehner/Schulze, was built in Germany, and the test procedure is described in the EN 12697-49 standard [7]. The device consists of two In the first chamber, three conical heads simulate the polishing phenomenon with a constant supply of water and quartzite flour. In the second chamber, the coefficient of friction is measured on the specimen surface using a disk with three sliders. Their dimensions prevent the use of stationary devices used in real-world conditions. Hofko et al. [8] developed a linear regression model that combines cumulative traffic intensity with the number of passes of the polishing cones in the FAP device to predict the skid resistance determined by the RoadSTAR device, which is used only in Austria. [8]. Differences between dynamic devices for measuring the coefficient of friction limit the scope of their practical use in Europe [9]. The best solution is to use the same devices in laboratory and field conditions. Additionally, before testing in the FAP, the samples must be subjected to abrasive blasting to remove the binder film from the aggregates, which is intended to simulate abrasion. This process has been shown to influence changes in the shape of the aggregate grains and their microtexture [10].

Taking into account the limitations of individual devices related to the reproduction of phenomena occurring on the surface in real traffic conditions and the possibility of using equipment for measuring the friction coefficient, a research station called a **Plate Polisher II was constructed at the Białystok University of Technology to simulate the wear of road surfaces [11]. Its design allows for:**

- 1) a controlled process of reproduction of the impact of car tires and related phenomena: abrasion and polishing of surfaces made of asphalt, concrete and mineral-rubber-asphalt mixtures;
- 2) performing measurements using CTM (*Circular Track Meter*), DFT (*Dynamic Friction Tester*) and a British Pendulum Tester; the changes that occur in the surface texture as a result of these phenomena also affect its luminance, i.e., its ability to reflect light [12].

In 2014, Poland introduced a mandatory requirement to assess the luminance of coarse aggregate and asphalt mixture surfaces intended for the wearing course of national roads in laboratory conditions. The luminance coefficient in diffuse light, Q_d , was adopted as the luminance measure.

ją ślady, przeznaczone do pomiarów. Różnią się one wieloma szczegółami technicznymi oraz procesem mającym na celu odwzorowanie warunków ruchu na drodze [6]. W laboratoriach na świecie rozpowszechniono dwa stanowiska MMLS-3 (*Model Mobile Load Simulator*) i FAP (*Friction After Polishing*). Pierwsze z nich powstało w RPA. Po próbkach toczy się osiem kół z oponami pneumatycznymi, z których cztery są pokryte ścierniwem korundowym. W związku z tym, że w procesie nie jest dozowana woda, zmiany powierzchniowe nie symulują polerowania. Ocena właściwości przeciwpoślizgowych jest wykonywana na podstawie pomiaru CTM i DFT lub wahadłem angielskim. Natomiast drugie urządzenie FAP znane jako Wehner/Schulze zbudowano w Niemczech, a procedurę badań opisano w normie EN 12697-49 [7]. Urządzenie składa się z dwóch komór. W pierwszej z nich trzy głowice stożkowe symulują zjawisko polerowania powierzchni, przy stałym dopływie wody i mączki kwarcytowej. W drugiej komorze wykonywany jest pomiar współczynnika tarcia na powierzchni próbek za pomocą dysku z trzema ślizgaczami. Ich wymiar uniemożliwia zastosowanie stacjonarnych urządzeń wykorzystywanych w rzeczywistych warunkach. Hofko i in. [8] opracowali model regresji liniowej, który łączy skumulowane natężenie ruchu z liczbą przejść stożków polerujących w urządzeniu FAP w celu przewidywania właściwości przeciwpoślizgowych określanych przez urządzenie RoadSTAR, które stosuje się w tylko Austrii [8]. W Europie różnice pomiędzy urządzeniami dynamicznymi do pomiaru współczynnika tarcia ograniczają zakres ich praktycznego wykorzystania [9]. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie tych samych urządzeń w warunkach laboratoryjnych i terenowych. Dodatkowo przed badaniem w FAP, próbki powinny być poddane obróbce strumieniowej w celu usunięcia błonki lepiszcza z kruszyw, co ma symulować ściernie. Wykazano, że proces ten ma wpływ na zmianę kształtu ziaren kruszywa i jego mikrotekstury [10].

Mając na uwadze ograniczenia poszczególnych urządzeń związane z odwzorowaniem zjawisk zachodzących na powierzchni w rzeczywistych warunkach ruchu oraz możliwość ich wykorzystania do pomiarów współczynnika tarcia, w **Polytechnice Białostockiej skonstruowano stanowisko badawcze – „Polerkę płytową II” do symulacji zużycia powierzchni nawierzchni drogowych [11]. Jego konstrukcja pozwala na:**

- 1) kontrolowany proces odwzorowania oddziaływania opon samochodowych oraz związanych z tym zjawisk: ścierania i polerowania powierzchni z mieszanki mineralno-asfaltowej, betonowej i mineralno-gumowo-asfaltowej;
- 2) wykonanie pomiarów za pomocą CTM (*Circular Track Meter*), DFT (*Dynamic Friction Tester*) i wahadła angielskiego; zmiany, które w rezultacie tych zjawisk zachodzą w teksturze powierzchni, wpływają również na jej jasność, czyli zdolność do odbijania światła [12].

W 2014 r. wprowadzono w Polsce obowiązek oceny jasności kruszywa grubego i powierzchni mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych do warstwy ścieralnej dróg krajowych w warunkach laboratoryjnych. Jako miarę luminacji przyjęto współczynnik luminancji w świetle rozproszonym Q_d . Zgodnie z Wymaganiami technicznymi *Nawierzchnie as-*

According to the Technical Guidelines for *Asphalt Surfaces on National Roads* (WT-2:2014) [13], the specimen surfaces should be subjected to glass blasting prior to measurement to remove the binder film from the aggregate. This is a quick and inexpensive procedure, but this technique does not reflect the changes in texture that occur under the influence of traffic, dirt, and water [14, 15]. Therefore, it is crucial to correctly simulate abrasion and polishing phenomena to achieve a comparable level of texture as during its service life.

This paper presents the potential of the Plate Polisher II test stand as a tool for laboratory assessment of the anti-slip properties, macrotexture, and luminance of road surfaces. For this purpose, a comparative analysis of changes in the friction coefficients DFT20, the MPD (*Mean Profile Depth*) parameter and the luminance coefficient in scattered light Q_d of AC (*Asphalt Concrete*) and SMA (*Stone Asphalt Mastic*) specimens was carried out during the simulation of phenomena accelerating their surface wear in the Plate Polisher II.

Research program

The two most commonly used asphalt mixtures for wearing courses were used in the tests: AC and SMA with a maximum grain size of 11 mm. PMB 45/80-55 modified asphalt was used. The composition was designed in accordance with PN-EN 13108-1 [16], PN-EN 13108-5 [17], and WT-2:2014 [13]. A total of six mixtures were developed: three AC 11 and three SMA 11, differing in the type of rock from which the coarse aggregate was produced (trachybasalt, gabbro, granite). Their aggregate properties are presented in Table 1. Fine aggregate from gabbro was used for each mixture (Table 2). Three specimens were made from each mixture in the form of 400 x 400 x 50 mm slabs, compacted in a plate compactor according to PN-EN 12697-33 [18].

The Plate Polisher II consists of three wheels with smooth tires mounted on a disc that rotate at a constant speed (Photo 1). The test lasts 6 h and is divided into:

Table 1. Physical properties of coarse aggregate

Tabela 1. Właściwości fizyczne kruszyw grubych

Properties/Właściwości	Test method/ Procedura	Aggregate/Kruszywo		
		trachybasalt (T)/ trachybazalt (T)	gabbro (Gab)/ gabro (Gab)	granite (Gr)/ granit (Gr)
Resistance to polishing PSV [-]/ Odporność na polerowanie PSV [-]	EN 1097-8	53	52	52
Resistance to fragmentation LA [%]/ Odporność na rozdrabnianie LA [%]	EN 1097-2	12	23	25
Resistance to freezing and thawing F_{NaCl} [%]/ Mrozoodporność w soli F_{NaCl} [%]	EN 1367-6	1	1	1
Density ρ_a [Mg/m ³]/ Gęstość ρ_a [Mg/m ³]	EN 1097-6	2,70	2,90	2,66
Water absorption WA_{24} [%]/ Nasiąkliwość WA_{24} [%]	EN 1097-6	0,5	0,5	0,5
Luminance Q_d [mcd/lx/m ²]/ Jasność Q_d [mcd/lx/m ²]	WT-2:2014	53	83	115

faltowe na drogach krajowych (WT-2:2014) [13], powierzchnia nawierzchni przed pomiarem powinna zostać poddana szkiełkowaniu w celu usunięcia błonki lepischer z kruszywa. Jest to szybki i tani zabieg, ale nie odzwierciedla zmian w teksturze, które zachodzą pod wpływem ruchu samochodowego oraz zanieczyszczeń i wody [14, 15]. W związku z tym tak ważną jest poprawna symulacja zjawisk ścierania i polerowania, aby uzyskać porównywalny poziom tekstury jak w warunkach rzeczywistych.

W artykule zaprezentowano potencjał stanowiska badawczego typu „Polerka płytowa II” jako narzędzia do laboratoryjnej oceny właściwości przeciwpoślizgowych, makrotekstury i jasności nawierzchni drogowych. W tym celu przeprowadzono analizę porównawczą zmiany współczynników tarcia DFT20, parametru MPD (*Mean Profile Depth*) i współczynnika luminancji w świetle rozproszonym Q_d warstw z betonu asfaltowego AC (*Asphalt Concrete*) i mastyksu grysowego SMA (*Stone Mastic Asphalt*) w czasie symulacji zjawisk przyspieszających ich zużycie powierzchniowe w „Polerce płytowej II”.

Program badań

Do badań przyjęto dwa typy najczęściej stosowanych w praktyce mieszanek mineralno-asfaltowych do warstw ścieranych: AC i SMA o uziarnieniu maksymalnym 11 mm. Zastosowano asfalt modyfikowany PMB 45/80-55 o składzie zaprojektowanym zgodnie z PN-EN 13108-1 [16], PN-EN 13108-5 [17] i WT-2:2014 [13]. Łącznie opracowano składy sześciu mieszanek: trzy AC 11 i trzy SMA 11, które różniły się rodzajem skały, z jakiej wyprodukowano kruszywo grube. Skałą tą był trachybazalt (*T*), gabro (*Gab*) i granit (*Gr*). Ich właściwości przedstawiono w tabeli 1. Do każdej z nich użyto kruszywa drobnego z gabra (tabela 2). Z każdej mieszanki wykonano po trzy próbki w formie płyt 400 x 400 x 50 mm zagęszczonych w zagęszczarce płytowej zgodnie z PN-EN 12697-33 [18].

„Polerka płytowa II” składa się z trzech kół z gładkimi oponami zamontowanych na tarczy, które obracają się ze stałą prędkością (fotografia 1). Badanie trwa 6 h z podziałem na:



Photo 1. Slab polishing II
Fot. 1. Polerka płytowa II

- phase I with corundum abrasive of 300/600 μm fraction and water;

- phase II with corundum powder of fraction smaller than 53 μm and water.

The first phase simulates abrasion, while the second simulates polishing. The ability to smoothly apply contact load to the test specimen and regulate the rotational speed allows for full control of the abrasion and polishing process, resulting in a circular mark 116 mm wide and 220 mm in diameter on the asphalt mixture specimen. In this area, before the start (0 h), during phase I (after 0.5 h, 1 h, 3 h) and at the end of phase II (6 h), the MPD, DFT20 and Q_d parameters describing the individual surface properties were recorded.

A CTM profilometer (Photo 2a) compliant with ASTM E2157-01 [18] was used to assess macrotexture. A CCD laser displacement sensor, moving around a circle with a radius of 142 mm, recorded the surface roughness profile, which was used to determine the MPD parameter.

Skid resistance was assessed in accordance with ASTM E1911 [20] using a DFT device (Photo 2b). This consists of two discs connected to a sensor by a spring. Three rubber sliders are mounted on the lower disc. When the discs reach a starting speed of 80 km/h, water flows through nozzles. The discs are then lowered onto the wet surface, and the DFT20 coefficient of friction is measured.

Luminance was assessed based on the scattered light luminance coefficient Q_d determined with an LTL-XL retroreflectometer (Photo 2c). This device is dedicated to the evaluation of road markings and, in accordance with the WT-2 2014 procedure, it was indicated for determining the luminance of asphalt mixture surfaces [13].

Table 2. Composition of mineral mixtures

Tabela 2. Skład mieszanek mineralnych

Sieves # [mm]/ Wymiar sita # [mm]	Passing fraction [%, m/m]/Przesiew [%, m/m]					
	composition AC 11 S 35/50 of mineral mixtures:/ mieszanka AC 11 S 35/50 na kruszywie:			composition SMA 11 S PMB 45/80-55 of mineral mixtures:/mieszanka SMA 11 S PMB 45/80-55 na kruszywie:		
	T	Gab	Gr	T	Gab	Gr
16	100	100	100	100	100	100
11,2	100	98	100	98	96	98
8	69	78	75	57	56	57
5,6	57	58	61	41	41	36
2	43	46	44	25	24	20
0,125	10	12	11	11	10	10
0,063	8,9	10,4	9,1	10,3	9,5	8,9

- I fazę ze ścierniwem korundowym frakcji 300/600 μm i wodą;

- II fazę z proszkiem korundowym frakcji mniejszej od 53 μm i wodą.

Pierwsza faza ma za zadanie symulować ścieranie, a druga polerowanie. Możliwość płynnego zadawania obciążenia kontaktowego kół na testowaną próbkę i regulacji prędkości obrotowej pozwala na pełną kontrolę nad procesem ścierania i polerowania, w wyniku którego na próbkach z mieszanek mineralno-asfaltowych uwidacznia się ślad w postaci okręgu o szerokości 116 mm i średnicy wewnętrznej 220 mm. W tym obszarze przed rozpoczęciem badań (0 h), podczas I fazy (po 0,5 h, 1 h, 3 h)

i na zakończenie II fazy (6 h) rejestrowano parametry MPD, DFT20 i Q_d opisujące poszczególne właściwości nawierzchni.

Do oceny makrotekstury wykorzystano profilometr CTM (fotografia 2a) zgodny z ASTM E2157-01 [19]. Laserowy czujnik przemieszczeń CCD, który porusza się po obwodzie okręgu o promieniu 142 mm, rejestrował profil nierówności, będący podstawą do wyznaczenia parametru MPD.

Ocenę właściwości przeciwpoślizgowych przeprowadzono zgodnie z ASTM E1911 [20], używając urządzenia DFT (fotografia 2b). Składa się ono z dwóch dysków połączonych sprężyną z czujnikiem. Na dysku dolnym są zamocowane trzy ślizgacze gumowe. W momencie osiągnięcia przez dyski prędkości startowej 80 km/h, wypływa woda przez dysze, a dyski zostają opuszczone na mokrą powierzchnię i następuje pomiar współczynnika tarcia DFT20.

Ocenę jasności nawierzchni określono na podstawie współczynnika luminancji w świetle rozproszonym Q_d , wyznaczonego retroreflektometrem LTL-XL (fotografia 2c). Urządzenie jest dedykowane do oceny oznakowania poziomego i zgodnie z procedurą WT-2 2014 zostało wskazane do określenia jasności powierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych [13].

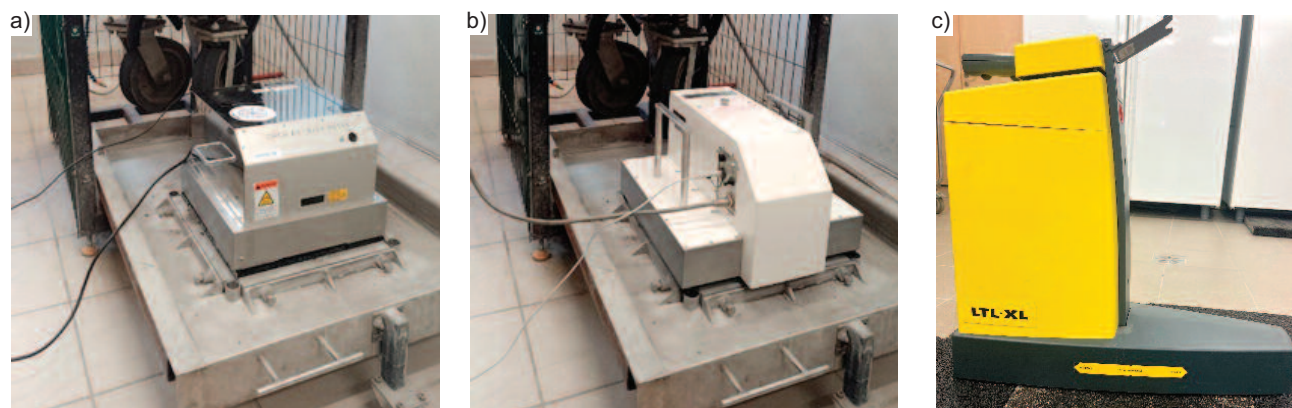


Photo 2. Device: a) CTM; b) DFT; c) retroreflectometer
Fot. 2. Urządzenie: a) CTM; b) DFT; c) retroreflektometr

Results and their analysis

Figures 1 ÷ 3 present the results of individual parameters with standard deviation recorded on surfaces made of AC 11 and SMA 11 mixtures during tests in the Plate Polisher II. Slight differences (≤ 0.06 mm) in MPD values were noted during Phase I and Phase II, both between individual AC 11 and SMA 11 slabs. The type of rock from which the coarse aggregate was produced had no effect on macrotexture. The results obtained at the end of the process on the AC 11 surface were comparable, averaging 0.39 to 0.41 mm, and for SMA 11 from 0.59 to 0.63 mm. However, the differences between SMA 11 and AC 11 indicate that macrotexture is related to the grain size of the mineral mixture. The higher coarse aggregate content in SMA 11 mixes than in AC 11 mixes translates into higher MPD. It should be noted that in in-situ conditions, 2/4 aggregate is applied to the surface of SMA layers to eliminate the "as-built slipperiness" phenomenon. This also contributes to greater unevenness in the macrotextural profile. No roughening aggregate was used on the surfaces of the laboratory-prepared samples. Consequently, before the test, the lowest DFT20 values of ≤ 0.30 were recorded for SMA 11 and AC 11. This indicates that the surfaces are characterized by "as-built slipperiness." Due to the interaction of tires, abrasive, and water, the binder was abraded from the aggregates. As

Wyniki i ich analiza

Na rysunkach 1 ÷ 3 przedstawiono wyniki badania poszczególnych parametrów wraz z odchyleniem standardowym, zarejestrowane na powierzchni mieszanki AC 11 i SMA 11 podczas badań w „Polerce płytowej II”. Odnotowano nieznaczne różnice ($\leq 0,06$ mm) wartości MPD podczas I i II fazy, zarówno pomiędzy poszczególnymi płytami z AC 11, jak i SMA 11. Rodzaj skały, z jakiej zostało wyprodukowane kruszywo grube, nie ma wpływu na makroteksturę. Wyniki otrzymane na zakończenie procesu na powierzchni AC 11 są na porównywalnym poziomie i wynoszą średnio $0,39 \div 0,41$ mm, a w przypadku SMA 11 – $0,59 \div 0,63$ mm. Natomiast różnice pomiędzy SMA 11 a AC 11 świadczą, że makrotekstura jest związana z uziarnieniem mieszanki mineralnej. Większa zawartość kruszywa grubego w mieszankach SMA 11 niż w AC 11 przekłada się na większe MPD. Należy zaznaczyć, że w rzeczywistych warunkach na powierzchni z SMA stosuje się kruszywo 2/4 w celu wyeliminowania zjawiska „śliskości powykonawczej”. Przyczynia się to również do uzyskania większej nierówności profilu makrotekstury. Na powierzchni próbek przygotowanych w laboratorium, nie stosowano kruszywa uszarniającego. W konsekwencji przed rozpoczęciem badań odnotowano najmniejsze wartości $DFT20 \leq 0,30$ na SMA 11 i AC 11. Oznacza to, że powierzchnie charakteryzują się „śliskością powykonawczą”. W efekcie oddziaływania opon, ścierniwa i wody, lepiszcze było ścierane

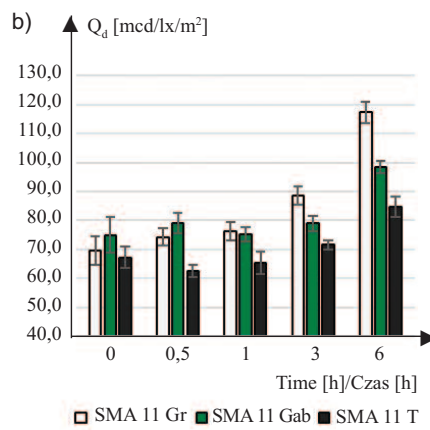
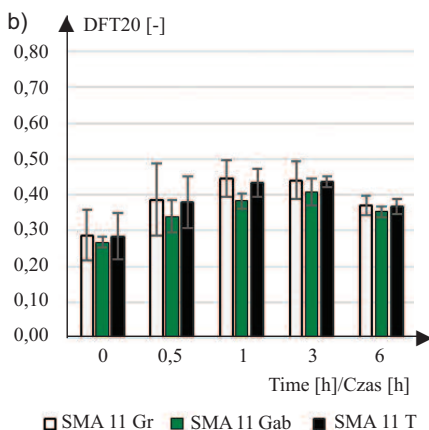
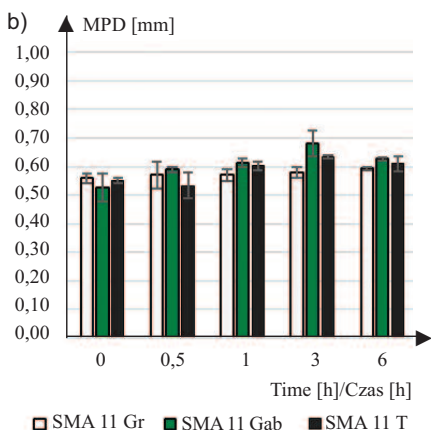
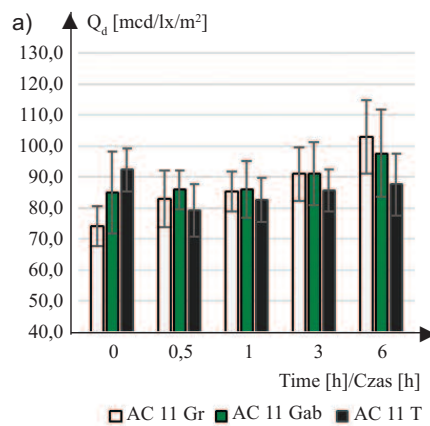
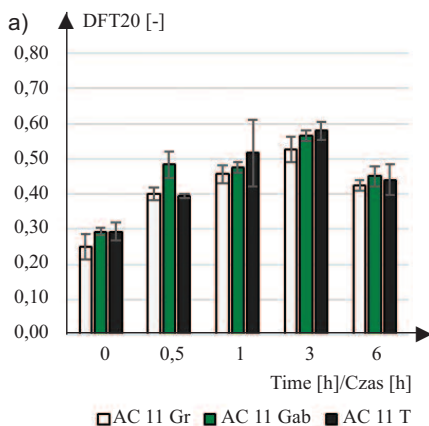
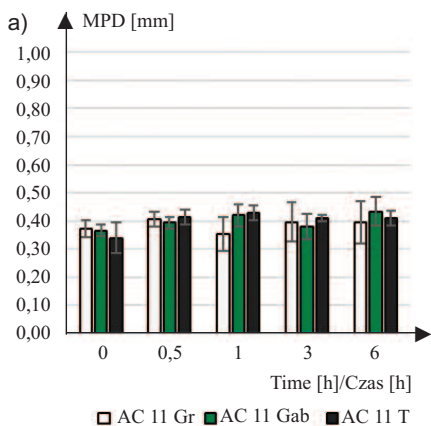


Fig. 1. Change of the MPD during surface wear simulation: a) AC 11; b) SMA 11

Rys. 1. Zmiana MPD podczas symulacji zużycia powierzchni: a) AC 11; b) SMA 11

Fig. 2. Changes of the DFT20 during surface wear simulation: a) AC 11; b) SMA 11

Rys. 2. Zmiana DFT20 podczas symulacji zużycia powierzchni: a) AC 11; b) SMA 11

Fig. 3. Changes of the Qd during surface wear simulation: a) AC 11; b) SMA 11

Rys. 3. Zmiana Qd podczas symulacji zużycia powierzchni: a) AC 11; b) SMA 11

a result, the DFT20 friction coefficients showed an increasing trend and were highest at the end of Phase I.

Under the influence of corundum flour and water, the protruding aggregate grains of the tires were subjected to polishing in Phase II. A characteristic shine appeared on their surface. This is particularly visible on light-colored minerals (Table 3). **The polishing resistance of aggregates, measured by the PSV index**, has a significant impact on the friction coefficient. The PSV values of trachybasalt, gabbro, and granite aggregates do not differ. Therefore, after Phase II, no significant differences were noted between the DFT20 values obtained on SMA 11 differing in the type of aggregate (from 0.35 to 0.37). A similar trend was observed in the case of AC 11. The DFT20 values are at a comparable level of $0.42 \div 0.45$. Differences were noted between AC 11 and SMA 11. The mechanism of the DFT measuring system reflects the vehicle braking conditions with full lockup of the measuring wheel and a low slip speed of 20 km/h [20, 21]. Consequently, the result is sensitive to microtexture irregularities, which depend on the polishing resistance of the aggregate and the content of fine aggregates in the mineral mixture [4]. The higher content of the 0.063/2 fraction in the AC mixtures than in the SMA mixtures contributed to the higher DFT20 results, despite the use of the same coarse aggregates. Analysis of the changes in the friction coefficient as a function of slip speed proves that at higher speeds, wearing courses made of SMA 11 are a better solution than those made of AC 11. Additionally, the results obtained under real conditions based on CTM and DFT devices confirm the results of tests on macrotexture and anti-slip properties carried out in the laboratory using the Plate Polisher II [21].


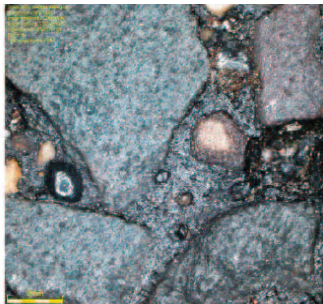

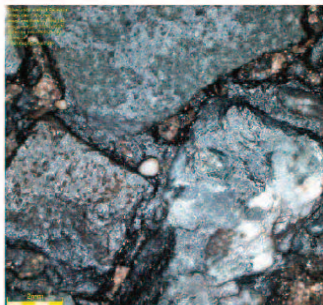


Although the surfaces of each mix were dark before testing in the Plate Polisher II, varying Q_d values were obtained. This was due to the smoothing of the asphalt mix specimen surface by the plate compactor heads. The binder film on the aggregate surface behaved like a mirror, distorting the Q_d results. However, after exposing the aggregate surfaces and polishing them, it was noticed that their brightness affected the luminance of the asphalt mix surfaces. The highest Q_d values were obtained for AC (103 [mcd/lx/m²] and SMA (117 [mcd/lx/m²]), with granite aggregate having the highest Q_d value (115 [mcd/lx/m²]) among the aggregates used. The lowest luminance was observed for the surface of the mix with trachybasalt aggregate, with a Q_d of 53 [mcd/lx/m²]. It should be emphasized that the use of gabbro fine aggregate contributed to the luminance of the AC and SMA surfaces with trachybasalt aggregate (Table 3). This solution improves luminance, while the coarse aggregate has a lower luminance coefficient [12]. The differences between mixtures with a given aggregate of different luminance levels were higher than in the case of comparing the surfaces of mixtures with SMA 11 after removing the binder film by glazing [15]. A characteristic gloss was observed on the surface of the aggregates, indicating their polishing, as during its service life.

z kruszyw. Współczynniki tarcia DFT20 wykazywały tendencję wzrostową i były największe na zakończenie fazy I.

W fazie II pod wpływem mączki korundowej i wody, opory polerowały wystające ziarna kruszywa. Na ich powierzchni pojawił się charakterystyczny połysk, szczególnie widoczny na minerałach jasnych (tabela 3). **Odporność na polerowanie kruszyw, której miarą jest wskaźnik PSV**, ma istotny wpływ na współczynnik tarcia. Wartości PSV kruszywa trachybazaltowego, gabbrowego i granitowego nie różnią się. W związku z tym po II fazie nie odnotowano istotnych różnic między wartościami DFT20 otrzymanymi na SMA 11 różniących się rodzajem kruszywa (od 0,35 do 0,37). Podobny trend zauważono w przypadku AC 11. Wartości DFT20 są na porównywalnym poziomie i wynoszą $0,42 \div 0,45$. Różnice odnotowano natomiast pomiędzy nawierzchniami z AC 11 a SMA 11. Mechanizm systemu pomiarowego DFT odzwierciedla warunki hamowania pojazdu przy pełnej blokadzie koła pomiarowego i niewielkiej prędkości poślizgu 20 km/h [20, 21]. W konsekwencji wynik jest wrażliwy na nierówności mikrotekstury, które zależą od odporności na polerowanie kruszywa i zawartości kruszywa drobnego w mieszance mineralnej [4]. Większa zawartość frakcji 0,063/2 w mieszankach AC niż SMA przyczyniła się do większego wyniku DFT20, pomimo zastosowania tego samego kruszywa grubego. Analiza zmian współczynnika tarcia w funkcji prędkości poślizgu wykazała, że w przypadku dużej prędkości korzystniejszym rozwiązaniem są warstwy ścieralne z SMA 11 niż AC 11. Dodatkowo wyniki uzyskane w warunkach rzeczywistych na podstawie urządzeń CTM i DFT potwierdzają rezultaty badań makrotekstury i właściwości przeciwoślizgowych zrealizowanych w laboratorium przy użyciu „Polerki płytowej II” [21].

Pomimo tego, że przed rozpoczęciem testów w „Polerce płytowej II” powierzchnie każdej z mieszanek były ciemne, otrzymano zróżnicowane wartości Q_d , co było spowodowane ich wygładzeniem przez głowice zagęszczarki płytowej. Błona lepiszczka na powierzchni kruszyw zachowywała się jak zwierciadło, co zniekształcało wyniki Q_d . Po odsłonięciu powierzchni kruszyw i ich wypolerowaniu zauważono, że ich jasność ma wpływ na jasność powierzchni mieszanek mineralno-asfaltowych. Największe wartości Q_d otrzymano w przypadku AC (103 [mcd/lx/m²] i SMA [117 [mcd/lx/m²]] z kruszywem granitowym o największej wartości $Q_d = 115$ [mcd/lx/m²] spośród zastosowanych kruszyw. Najmniejszą jasnością charakteryzują się powierzchnie z mieszanką z kruszywem trachybazaltowym o $Q_d = 53$ [mcd/lx/m²]. Zastosowanie gabbrowego kruszywa drobnego przyczyniło się do rozjaśnienia powierzchni AC i SMA z kruszywem trachybazaltowym (tabela 3). Rozwiązanie to poprawia jasność, kiedy kruszywem grube odznacza się mniejszym współczynnikiem luminancji [12]. Różnice pomiędzy mieszankami z danym kruszywem o różnym poziomie jasności są większe niż w przypadku porównania powierzchni mieszanek z SMA 11 po usunięciu błonki lepiszczka przez szkiełkowanie [15]. Na powierzchni kruszyw zaobserwowano charakterystyczny połysk świadczący o ich wypolerowaniu, jak w rzeczywistych warunkach ruchu.

Table 3. Images of individual surfaces after the second phase
Tabela 3. Obrazy poszczególnych powierzchni po II fazie

Type of aggregate/ Rodzaj kruszywa	Mixtures/Mieszanki	
	AC 11 S 35/50	SMA 11 S PMB 45/80-55
Trachybasalt / Trachybazalt		
Gabbro/ Gabro		
Granite/ Granit		

Conclusion

During the road surface use phase, monitoring of technical and operational characteristics is conducted, including bearing capacity, longitudinal and transverse evenness, macrotexture, and skid resistance. These activities are important for identifying the technical condition of the surface and, consequently, making effective decisions regarding the selection of technology and the scope of repair or reconstruction procedures, but they require financial resources, access to specialized equipment, and qualified personnel. As a result, they are implemented mainly on national roads, and to a limited extent on provincial, district, and municipal roads. Due to the limited availability of specialized equipment for measuring technical and operational characteristics in actual traffic conditions and the financial outlays required, primarily by local road managers, it is beneficial to continue work towards implementing a tool enabling the prediction of macrotexture, skid resistance and surface luminance at the design stage. The results obtained with "Slab Polishing II" indicate that the differences between

Podsumowanie

Na etapie użytkowania nawierzchni drogowych prowadzony jest monitoring cech techniczno-eksploatacyjnych, tj. nośności, równości podłużnej i poprzecznej, makrotekstry oraz właściwości przeciwpoślizgowych. Działania te są istotne z uwagi na identyfikację stanu technicznego nawierzchni, a w konsekwencji podejmowanie efektywnych decyzji związanych z wyborem technologii i zakresu zabiegów remontowych lub przebudowy, ale wymagają nakładów finansowych, dostępu do specjalistycznej aparatury, wykwalifikowanej kadry. W efekcie są realizowane głównie na drogach krajowych, a w ograniczonym zakresie na drogach wojewódzkich, powiatowych i gminnych. Ze względu na ograniczenie dostępności do specjalistycznego sprzętu do pomiarów cech techniczno-eksploatacyjnych w rzeczywistych warunkach ruchu oraz wymaganych nakładów finansowych, przede wszystkim zarządców dróg samorządowych, korzystne jest kontynuowanie prac w kierunku wdrożenia narzędzia umożliwiającego predykcję makrotekstry, właściwości przeciwpoślizgowych, jasność nawierzchni na etapie jej projektowania.

the MPD parameters and the DFT20 coefficient of friction recorded on the AC 11 and SMA 11 surfaces confirm the influence of the characteristics of the materials and the asphalt mixture on the surface properties of the surface. Its use allows for the selection of materials intended for the upper layers of road pavements and the selection of the optimal construction technology. An advantage is the use of stationary devices, i.e., CTM, DFT, and a retroreflectometer, which are used in actual traffic conditions, to determine macrotexture, skid resistance, and luminance. Their use facilitates the interpretation and comparison of results obtained in the laboratory and in actual conditions in the road. Additionally, the results enable the exchange of experiences regarding technological solutions.

The research was conducted as part of the project WZ/WB-IIL/8.2026.

Received: 26.01.2026

Revised: 09.03.2026

Published: 21.05.2026

Wyniki otrzymane dzięki „Polerance płytowej II” wskazują, że różnice pomiędzy parametrami MPD i współczynnikami tarcia DFT20 zarejestrowanymi na powierzchni z AC 11 i SMA 11 potwierdzają wpływ charakterystyki materiałów i mieszanki mineralno-asfaltowej na cechy powierzchniowe nawierzchni. Jej wykorzystanie pozwala uszeregować materiały przeznaczone do górnych warstw nawierzchni drogowych i wybrać optymalną technologię wykonania. Atutem jest wykorzystanie do oceny makrotekstury, właściwości przeciwpoślizgowych i jasności urządzeń stacjonarnych, tj. CTM, DFT i retroreflektometru, które są używane w rzeczywistych warunkach. Ich zastosowanie ułatwia interpretację i porównanie wyników otrzymanych w laboratorium i warunkach rzeczywistych. Dodatkowo rezultaty umożliwiają wymianę doświadczeń w zakresie rozwiązań technologicznych.

Badania wykonano w ramach pracy WZ/WB-IIL/8/2026

Artykuł wpłynął do redakcji: 26.01.2026 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 09.03.2026 r.

Opublikowano: 21.05.2026 r.

Literature

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych, Dz. U. 2022 poz. 1518 z późn. zm.
- [2] Do MT, Cerezo V, Zahouani H. Laboratory test to evaluate the effect of contaminants on road skid resistance. *Proc. Inst. Mech. Eng., Part J: J. Eng. Tribol.* 2014; vol. 228, pp. 1276–1284.
- [3] Wang D, Zhang Z, Kollmann J, Oeser M. Development of aggregate micro-texture during polishing and correlation with skid resistance. *Int. J. Pavement Eng.* 2020. DOI: 10.1080/10298436.2018.1502436.
- [4] Gierasimiuk P, Kane M. Statistical modelling of pavement friction: analyzing the effects of texture characteristics and measurement resolution. *Road Mater. Pavement Des.* 2025. DOI: 10.1080/14680629.2025.2483907.
- [5] Guo F, Pei J, Zhang J, Li JR, Zhou B, Chen Z. Study on the skid resistance of asphalt pavement: A state-of-the-art review and future prospective. *Constr. Build. Mater.* 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124411.
- [6] Wasilewska M. Laboratoryjne metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych. *Materiały Budowlane.* 2018. DOI: 10.15199/33.2018.03.04.
- [7] EN 12697-49: Bituminous mixtures – Test methods – Part 49: Determination of friction after polishing.
- [8] Hofko B, Kugler H, Chankov G, Spielhofer R. A laboratory procedure for predicting skid and polishing resistance of road surfaces. *Int. J. Pavement Eng.* 2019. DOI: 10.1080/10298436.2017.1309191.
- [9] ROSANNE Project. D1.1 Definition of boundaries and requirements for the common scale for harmonisation of skid resistance measurements including draft standard outline.
- [10] Wasilewska M. Evaluation of skid resistance of wearing course made of stone mastic asphalt mixture in laboratory conditions. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2017. DOI: 10.1088/1757-899X/245/2/022043.
- [11] Wasilewska M, Szusta J, Gardziejczyk W, Gierasimiuk P, Motylewicz M, Ejsmont JA, Jaskuła P. Urządzenie do badania zużycia powierzchni górnych warstw nawierzchni drogowych, patent PL Pat. 248486, zgł. P. 444323, zgłosz. 3-04-2023, udzieln. 21-11-2025.
- [12] Mazurek G, Bąk-Patyna P. Application of data mining techniques to predict luminance of pavement aggregate. *Appl. Sci.* 2023. DOI: 10.3390/app13074116.
- [13] Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014 – cz. I: Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne, GDDKiA, Warszawa, 2014.
- [14] ter Huerne HL, Hetebrijd, Elfring J. Design of reflective pavements for roads, in *Proc. 6th Euroasphalt & Eurobitume Congr., Prague, Czech Republic*, 2016.
- [15] Grzyb D, Wasilewska M, Gardziejczyk W. Effect of Asphalt Mixture Surface Preparation Methodology on Determining Luminance Level in Laboratory Conditions: Case Study in Poland. *Materials.* 2026. DOI: 10.3390/ma19071277.
- [16] PN-EN 13108-1: Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 1: Beton asfaltowy.
- [17] PN-EN 13108-5: Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 5: Mieszanka SMA.
- [18] PN-EN 12697-33: Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 33: Przygotowanie próbek zagęszczanych walcem.
- [19] ASTM E2157-01: Standard Test Method for Measuring Pavement Macro-Texture Properties Using the Circular Track Meter.
- [20] ASTM E1911: Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester.
- [21] Wasilewska M, Gardziejczyk W, Gierasimiuk P. Evaluation of skid resistance using CTM, DFT and SRT-3 devices. *Transp. Res. Procedia.* 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.449.