



LESZEK BUKOWSKI

Generalna Dyrekcja Dróg
Krajowych i Autostrad
lbukowski@gddkia.gov.pl

Zagadnienia dotyczące współczynnika tarcia nawierzchni jezdni

Celem publikacji jest przedstawienie czytelnikom podstawowych informacji dotyczących pomiarów współczynnika tarcia wykonywanych na drogach krajowych. Drogi krajowe, pomimo że stanowią jedynie około 5% ogólnej długości dróg publicznych w Polsce, przenoszą niemal połowę ruchu pojazdów w naszym kraju. Również prędkości i natężenia pojazdów są największe spośród innych kategorii dróg. Z tego powodu zagadnienia związane z oceną właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni stały się niezwykle istotne i w tej dziedzinie możliwy jest dalszy rozwój. Należy przy tym podkreślić, że uczestnicy ruchu oczekują, iż nawierzchnia drogowa, po której się poruszają, musi zapewnić dobre właściwości przeciwpoślizgowe, również w najmniej korzystnych warunkach na mokrej nawierzchni.

Uzyskanie odpowiedniego współczynnika tarcia, zarówno w przypadku nawierzchni asfaltowych, jak i betonowych, wymaga szeregu przedsięwzięć mających na celu wytworzenie odpowiedniej tekstury nawierzchni. Oddziaływanie tekstury wpływa na siły szczytowości występujące pomiędzy oponą pojazdu i nawierzchnią w określonych warunkach na drodze. Z tego względu w przepisach technicznych w Polsce, a także w większości krajów, zawarte zostały zapisy dotyczące poziomu wymagań w zakresie właściwości przeciwpoślizgowych, a dokładniej współczynnika tarcia, dotyczące nowo budowanych nawierzchni w okresie ich odbioru i na zakończenie okresu gwarancji.

Z punktu widzenia zlecniodawcy robót i zarządzającego siecią drogową, zasadniczą sprawą jest jednoznaczna z punktu technicznego ocena właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni. Aktualnie istnieje bardzo wiele metod oceny tego parametru i są one stale udoskonalane.

Publikacja ma stanowić przyczynek do dyskusji prowadzonych na różnych forach drogowców, na których przedmiotowe zagadnienia były szeroko omawiane.

Współczynnik tarcia jako miara właściwości przeciwpoślizgowych

Nawierzchnia drogowa, tak jak wszystkie inne obiekty, jest postrzegana poprzez pewne cechy. Pod pojęciem „cechy nawierzchni” rozumie się te właściwości, które zmieniają się w procesie jej eksploatacji wskutek oddziaływania ruchu pojazdów, a także uwarunkowań atmosferycznych, włącznie z utrzymaniem zimowym, które w naszych warunkach klimatycznych jest bardzo istotnym czynnikiem.

Podstawowymi cechami nawierzchni są:

- nośność opisująca zdolność nawierzchni do przenoszenia obciążeń od ruchu drogowego,
- równość określająca, w jakim stopniu powierzchnia nawierzchni drogowej jest zbieżna z powierzchnią wymaganą (idealną),
- właściwości przeciwpoślizgowe, charakteryzujące przyczepność pomiędzy nawierzchnią a oponą pojazdu; w szczególności opisują zdolność do wytwarzania siły tarcia podczas poślizgu koła,
- właściwości powierzchniowe, charakteryzujące uszkodzenia nawierzchni

oraz inne jej właściwości, istotne z punktu widzenia zarządzania eksploatacją nawierzchni, widoczne na jej powierzchni [1].

Najistotniejszą cechą z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu są m.in. właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni charakteryzowane współczynnikiem tarcia, umożliwiające nie tylko poruszanie się pojazdu, ale w dużym stopniu determinujące utrzymanie trajektorii jazdy i przyczyniające się do skrócenia drogi hamowania [2].

Pojęcia te często używane zamiennie, co nie jest do końca właściwe, zostały zdefiniowane w [1] i oznaczają:

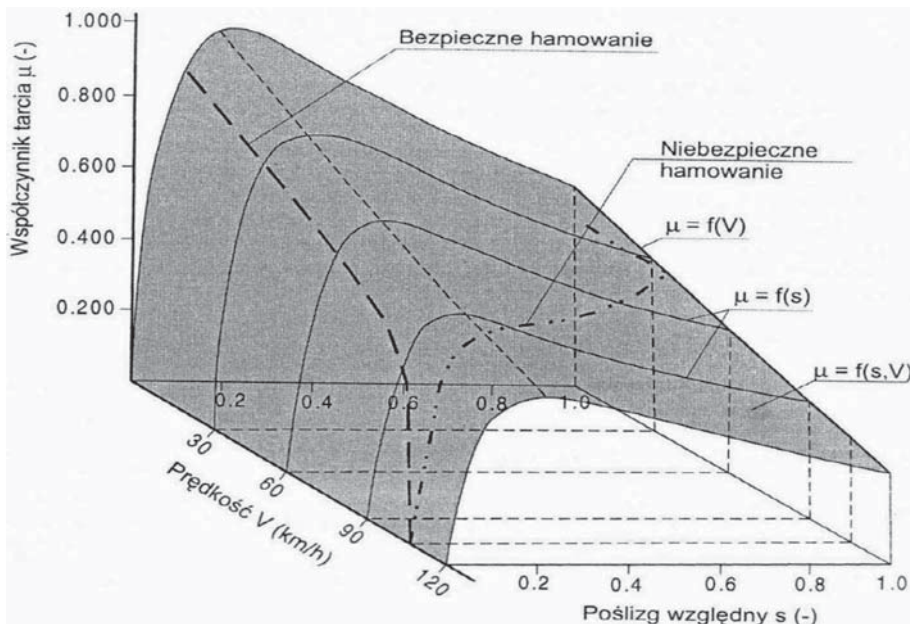
- właściwości przeciwpoślizgowe – zdolność do wytwarzania sił tarcia między nawierzchnią drogi a kołami pojazdów w warunkach wzajemnego poślizgu,
- współczynnik tarcia μ – stosunek wypadkowej siły tarcia wytwarzanych między hamowanym kołem urządzenia pomiarowego a nawierzchnią drogi do nacisku koła na drogę.

Definicje należy uznać za poprawne, niemniej wymagają pewnego doprecyzowania.

Znaczna różnorodność warunków drogowych, a także prędkości przemieszczania się pojazdów oznacza, że nie jest możliwe opisanie właściwości przeciwpoślizgowych konkretnej nawierzchni drogi przy użyciu pojedynczego współczynnika tarcia. Zależy to od konkretnej sytuacji i okoliczności.

W celu określenia właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogi za pomocą pojedynczego parametru, tj. wskaźnika, zostało wprowadzone pojęcie *współczynnik tarcia nawierzchni*. Termin *właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni drogi* określa się jako *współczynnik tarcia nawierzchni drogi, mierzony w znormalizowanych warunkach*.

W praktyce w Europie (jak również i na całym świecie) stosuje się wiele różnych znormalizowanych standardów pomiarowych w charakterystycznych warunkach. Wobec czego wyniki pomiarów współczynnika tarcia i określenie



Rys. 1. Zależność współczynnika tarcia w funkcji poślizgu i prędkości [5]

właściwości przeciwpoślizgowych w większości nie są bezpośrednio porównywalne [3].

Ogólnie współczynnik tarcia w funkcji poślizgu został opisany wzorem:

$$\mu = f(s, v) = \begin{cases} \left(\frac{0,432}{s+0,20} - \frac{0,0864}{(s+0,20)^2} \right) \times (0,6 \times 10^{-4} \times v^2 - 1,7 \times 10^{-2} \times v + 1,8) & \text{dla } s < 1,0 \\ \frac{0,18 \times 10^{-4} \times v^2 - 0,51 \times 10^{-2} \times v + 0,540}{0,18 \times 10^{-4} \times v^2 - 0,51 \times 10^{-2} \times v + 0,540} & \text{dla } s = 1,0 \end{cases}$$

Funkcja przestrzenna współczynnika tarcia w zależności od prędkości i od wielkości (stopnia) poślizgu została przedstawiona na rysunku 1.

W celu określenia właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogi w warunkach krajowych posługujemy się miarodajnym współczynnikiem tarcia wyznaczanym urządzeniem przy pełnej blokadzie koła (100% poślizgu), SRT-3 (Skid Resistance Tester). Miarodajny współczynnik to różnica wartości średniej E(m) i odchylenia standardowego D: E(m) – D z serii pomiarów współczynnika na 1 km odcinku drogi (co najmniej 10 przyhamowań). Wyniki podaje się z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku [4].

Miarodajne wartości współczynników tarcia podane w pierwotnych rozporządzeniach (Dz. U. Nr 62/1997, poz. 392 oraz Dz. U. Nr 43/1999, poz. 430) zostały ustalone na podstawie dostępnych w tym okresie badań wykonanych przez IBDiM w latach 1992–1998 na odcinkach autostrad A1, A2 i A4 o długości 96 km oraz na pozostałych drogach krajowych o długości 113 km. Pomiaru były wykonywane na różnych nawierzchniach przy trzech prędkościach: 30, 60 i 90 km/h [5].

Miarodajny współczynnik tarcia jako miara właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni posłużył autorom

rozporządzeń o warunkach technicznych dla dróg publicznych i autostrad płatnych do ustalenia standardów technicznych dróg, skrzyżowań i węzłów (m.in. promienie łuków, widoczność na zatrzymanie). Miarodajny współczynnik tarcia służy także do:

- ocen jakości robót drogowych,
- diagnostyki stanu nawierzchni,
- ocen stanu BRD na drogach publicznych,
- badań zdarzeń drogowych,
- prowadzenia innych badań i analiz [5].

Wpływ tekstury nawierzchni na właściwości przeciwpoślizgowe

W przypadku zjawiska tarcia między oponą pojazdu a nawierzchnią drogową, tekstura nawierzchni drogi w sposób istotny wpływa na właściwości przeciwpoślizgowe danego typu nawierzchni.

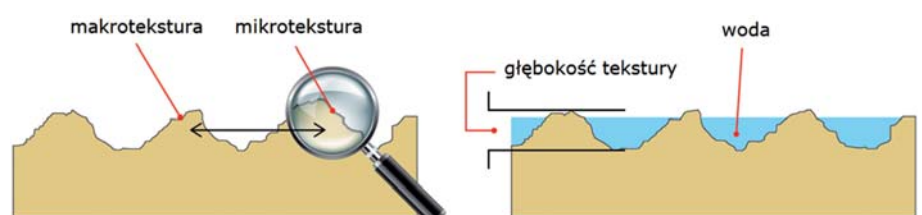
Według zaleceń PIARC tekstura nawierzchni jest zróżnicowana ze względu na „długość fali tekstury” (Texture Wavelengths) – długości między fizycznie powtarzającymi się cechami w tzw. analizie widmowej nierówności nawierzchni. Teksturę nawierzchni drogowej możemy podzielić na:

- mikroteksturę,
- makroteksturę,
- megateksturę.

W tabeli 1 i na rysunku 2 przedstawiono podstawowe kategorie tekstury nawierzchni, ich długości fali oraz cechy nawierzchni.

Tabela 1. Rodzaje tekstury w podziale na długość fali

	Długość fali tekstury (Texture Wavelengths)	Wpływ na:
Mikrotekstura	< 0,5 mm	Właściwości przeciwpoślizgowe
Makrotekstura	od 0,5 do 50 mm	Właściwości przeciwpoślizgowe Hałas nawierzchnia-opona
Megatekstura	od 50 do 500 mm	Właściwości przeciwpoślizgowe Hałas nawierzchnia-opona Równość



Rys. 2. Mikrotekstura i makrotekstura nawierzchni [3]

Mikrotekstura

Parametr ten oznacza najmniejszą teksturę nawierzchni bezpośrednio powiązaną z powierzchnią i składem mineralogicznym kruszywa; w analizie widmowej nierówności nawierzchni długości fali mikrotekstury zawiera się w przedziale od 0 do 0,5 mm.

Mikrotekstura jest odpowiedzialna za przerwanie cienkiego filmu wodnego na mokrej nawierzchni, utworzenie suchego kontaktu obydwu elementów oraz zapewnienie odpowiedniego tarcia pomiędzy kołem a nawierzchnią poprzez tworzenie wiązań międzycząsteczkowych [3].

Makrotekstura

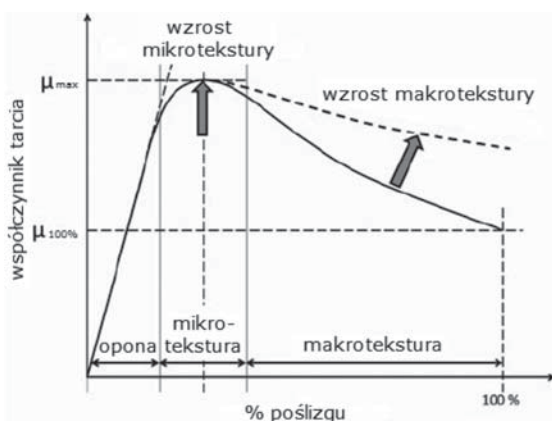
Makrotekstura w analizie widmowej nierówności nawierzchni długości fali zawiera się w przedziale od 0,5 do 50 mm. Na wielkość makrotekstury decydujący wpływ ma uziarnienie mieszanki mineralno-asfaltowej warstwy ścieralnej, względnie uziarnienie wierzchniej warstwy nawierzchni betonowej (eksponowanie kruszywa), względnie sposób nadania tekstury nawierzchni betonowej (np. szczotkowanie, jutowanie).

Istotny wpływ na współczynnik tarcia ma również rodzaj makrotekstury. Rozróżniamy dwa rodzaje makrotekstury – pozytywny i negatywny – przy tej samej głębokości (długości fali). Pozytywny rodzaj makrotekstury charakteryzuje się ostro zakończonymi wierzchołkami ziaren kruszywa ($\wedge \wedge \wedge$) typowymi dla powierzchniowych utwaleń. Negatywny rodzaj makrotekstury charakteryzuje się natomiast łagodnie zakończonymi wierzchołkami kruszywa w nawierzchni ($\vee \vee \vee$), np. warstwa ścieralna z SMA.

Przy tej samej głębokości, makrotekstura pozytywna ma nieznacznie wyższy współczynnik tarcia i nieco niższą zależność prędkości od współczynnika tarcia niż makrotekstura negatywna [3].

Megatekstura i nierówności

W przypadku megatekstury chodzi o długości fali między 50 mm a 0,5 m, natomiast nierówności obejmują dalszy zakres widma (większe długości fali). Bezpośrednio sama



Rys. 3. Wpływ tekstury nawierzchni na współczynnik tarcia w funkcji poślizgu [6]

megatekstura nie ma wpływu na współczynnik tarcia. Może natomiast indukować pionowe drgania w kołach i pojeździe, zmieniając tym samym siły normalne, a tym samym współczynnik tarcia [3].

Mikrostruktura (długość fali poniżej 0,5 mm) reguluje wartość maksymalną współczynnika tarcia w funkcji poślizgu, podczas gdy makrotekstura (długości fali między 0,5 a 50 mm) reguluje jego spadek (rys. 3). Im niższa jest makrotekstura, tym większy spadek, lub odwrotnie. Odpowiednia mikrostruktura (co oznacza dużą zdolność odprowadzania wody) jest konieczna, aby zapewnić bezpieczeństwo ruchu w szerokim zakresie prędkości [6]. Natomiast mikrostruktura na powierzchni ziaren kruszywa warstwy ścieralnej nawierzchni niezbędna jest do przerwania cienkiego filmu wodnego i bezpośredniego kontaktu nawierzchni z oponą pojazdu [6].

Z analizy dotychczasowych doświadczeń oraz badań wynika, że przy prędkości powyżej 90 km/h makrotekstura odpowiada za ponad 90% tarcia [7].

Historia rozwoju pomiarów właściwości przeciwpoślizgowych urządzeniem SRT w Polsce [8]

W naszym kraju pomiary współczynnika tarcia rozpoczęto na początku lat 60. ubiegłego stulecia. Z perspektywy czasu należy stwierdzić, że wzorowano się na konstruowanych w tym czasie urządzeniach tzn. przyczepkach z kołem blokowym ciągnionych przez pojazd pomiarowy, przy pełnej blokadzie koła i zwilżeniu nawierzchni odpowiedniej grubości błoną wody. Należy również podkreślić, że właściwości przeciwpoślizgowe wykonywanych nawierzchni asfaltowych, głównie betonów asfaltowych ze stosunkowo dużą zawartością lepiszcza, były generalnie złe.

Kalendarium

1961 rok – pierwsze badania wspólne Centralnego Ośrodka Badań i Rozwoju Techniki Drogowej (COBiRTD) z Ośrodkiem Badań Transportu Samochodowego – pomiary opóźnień hamowania samochodem Nysa (rejestracja aparatem Askania – wykresy opóźnień w funkcji czasu). Badania prowadzono na nawierzchniach uszorstnionych i porównywano z typowymi. Samochód wyposażony był w system zraszający nawierzchnię (woda wylewana była przed przednie koła).

1962 rok – opracowanie koncepcji przyczepy pomiarowej przez dr. inż. Stanisława Kowalskiego z Katedry Ciągników Politechniki Warszawskiej (pomiar siły poziomej i nacisku przyczepy na nawierzchnię).

1964 rok – projekt i budowa prototypu zestawu pomiarowego SRT-1 pod kierunkiem prof. Edwarda Habicha z Katedry Ciągników Politechniki Warszawskiej; wykorzystano wiele typowych zespołów i elementów z samochodu „Warszawa”: koło i opona 6,70 × 15 wraz z bębniem i tarczą hamulcową oraz układem zawieszenia, możliwa była regulacja obciążenia koła pomiarowego przez przesuwanie ciężarów; jako czujników użyto dynamometrów pierście-

niowych. Samochód ciągnący Nysa „Towos” z aparaturą pomiarowo-rejestrującą, urządzenie do polewania nawierzchni wodą (zbiornik 150 l), ciśnienie wody wytwarzane płynnym dwutlenkiem węgla z butli. Maksymalna prędkość badań 80 km/h (przy pomiarach 60 km/h). Rejestracja – aparat Kelvina, za pomocą pisaka i taśmy papierowej. Współczynnik z czujnika momentu hamującego. Nacisk 300 kg.

1966 rok – pierwsze kryteria szorstkości (dane z 201 odcinków, przyjęto, że nawierzchnie szorstkie to 4 odcinki z betonu cementowego):

- $\geq 0,35$ – nawierzchnie szorstkie (35%)
- $0,20 \div 0,35$ – nawierzchnie o małej szorstkości (51%),
- $\leq 0,20$ – nawierzchnie śliskie (14%).

1975 rok – opracowanie i budowa nowej aparatury pomiarowo-rejestrującej (poprzedniej, ze względu na zakończenie produkcji nie można było wykorzystać do produkcji następnych zestawów); pozwalała na otrzymywanie bezpośrednio po pomiarze gotowych wyników dotyczących: prędkości, współczynnika tarcia, średniego współczynnika tarcia z serii hamowań; wyniki mogły być rejestrowane na taśmie dziurkarki, wypalane na taśmie węglowej lub odczytywane na dwucyfrowym wskaźniku neonowym.

1978 rok – wykonanie prototypu zestawu SRT-2 opracowanego przez dr inż. Bogumiła Szwabika z Instytutu Pojazdów PW oraz mgr. inż. Edwarda Fortuny z IBDiM; schemat kinematyczny przyczepy podobny do obecnego, opona z bieżnikiem „generalskim” D-97 (Stomil Olsztyn).



Fot. 1. Zestaw pomiarowy, samochód ciągnący Nysa „Towos” z przyczepką SRT

1980 rok – przekazanie do eksploatacji 5 zestawów pomiarowych SRT-2 (Okręgowe Laboratoria Drogowe w Białymstoku, Katowicach, Kielcach, Gdańsku i Poznaniu).

Lata 1981–1984 – praca badawcza IBDiM – pomiary na sieci dróg publicznych (5 zestawów SRT-2, zakres ok. 15.000 km), zebranie danych o wypadkach spowodowanych poślizgiem pojazdów, analiza zależności wskaźnika wypadkowości od współczynnika tarcia.

1985 rok – powstała wstępna klasyfikacja nawierzchni pod względem wartości współczynnika tarcia. Klasyfikację zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Klasyfikacja nawierzchni ze względu na wartość współczynnika tarcia z 1985 r.

Klasa nawierzchni	Wartość współczynnika tarcia μ
I	$\mu > 0,35$
II	$0,31 \leq \mu \leq 0,35$
III	$0,26 \leq \mu \leq 0,30$
IV	$0,21 \leq \mu \leq 0,25$
V	$\mu \leq 0,20$

1989 rok – pierwsze Wytyczne Systemu Oceny Stanu Nawierzchni (SOSN, współczynnik miarodajny – trzecia niższa z dziesięciu wartości na odcinku 1 km).

1997 rok – Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 14 maja 1997 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych (Dz. U. 1997 nr 62 poz. 392), wprowadzono pierwsze wymagania odnośnie właściwości przeciwpoślizgowych dla nowych nawierzchni autostrad określone miarodajnym współczynnikiem tarcia i głębokością makrotekstury.

1999 rok – Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. 1999 nr 43 poz. 430), pierwsze wymagania współczynnika tarcia dla dróg publicznych klasy A, S, GP i G z 5-letnim okresem karencji (*Vacatio legis*).

2015 rok – Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lutego 2015 r. zmieniające Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 329), wprowadzono zmianę opony pomiarowej z uwagi na zalety tego rozwiązania. Wprowadzono zapisy dotyczące pomiarów przy pomocy normowej, ustandaryzowanej opony pomiarowej zalecanej do pomiarów przez The World Road Association-PIARC. W konsekwencji, aby zachować ten sam poziom wymagań, który istniał w polskich przepisach od 1999 roku, wymagania musiały zostać przeliczone na właściwą oponę. Cecha nawierzchni i poziom wymagania nie został zmieniony.

W rozporządzeniu ujednolicono wymagania wobec dróg klasy A i S, co było już proponowane w dokumencie „Wymagania Techniczne, Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008”. Wymagania dotyczące materiałów do budowy dróg klasy A i S, ze względu na kategorię ruchu są takie same – efekt w postaci właściwości przeciwpoślizgowych powinien być na tym samym poziomie.

Ze względu na zaistniałą na przestrzeni lat sytuację rynkową oraz z uwagi na dostępność opon pomiarowych, przez wszystkie lata prowadzenia pomiarów urządzeniem SRT stosowane były różne opony pomiarowe:

1. opona z samochodu Warszawa (SRT-1),
2. opona z bieżnikiem „generalskim” Stomil Olsztyn (SRT-2),
3. opona bezbieżnikowa rowkowana (Dębica):
 - Dębica/Stomil (przelicznik 1,377).
4. opona Barum Bravura:
 - Barum Bravura/Dębica (przelicznik 1,079),
 - Barum Bravura/Stomil (przelicznik 1,486).

5. opona Barum Bravuris
 - Barum Bravuris/Barum Bravura (przelicznik 1,007).
6. Opona testowa PIARC RIBBED,
 - PIARC/Barum (przelicznik 0,897).



Fot. 2. Opona testowa PIARC RIBBED, rozmiar 165R15 [8]

Do każdej z opon został zastosowany współczynnik przeliczeniowy (programowo uwzględniany podczas rozkodowywania plików pomiarowych), aby pomiar i klasyfikacja współczynnika tarcia były porównywalna z pierwotnymi założeniami. Przeliczniki są czysto matematyczną operacją, mającą na celu wskazanie odpowiednich wymagań w odniesieniu do opony pomiarowej stosowanej w danym czasie.

W latach 90. ubiegłego wieku oraz na początku obecnego stulecia Instytut Badawczy Dróg i Mostów na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad zrealizował szereg prac naukowo-badawczych w zakresie właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni:

1. TD-36 1997 Zalecenia doboru technologii wykonania warstwy ścieralnej nawierzchni asfaltowych ze względu na jej właściwości przeciwoślizgowe.
2. TD-46 1999 Weryfikacja stosowania kruszywa dolomitowego w warstwie ścieralnej nawierzchni ze względu na jej właściwości przeciwoślizgowe.
3. TD-54 2001 Zgromadzenie danych na temat wymagań dotyczących właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni drogowych w krajach europejskich.
4. TD-55 2001 Analiza polskich przepisów dotyczących właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni drogowych w świetle wymagań obowiązujących w krajach europejskich.
5. TD-63 2003 Badanie wpływu makrotekstury warstwy ścieralnej na właściwości przeciwoślizgowe nawierzchni drogowych.
6. TD-71 2004 Analiza i weryfikacja wymagań i procedur pomiarowych oceny właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni dróg publicznych i autostrad płatnych.

7. TD-88 2008 Analiza zmienności właściwości przeciwoślizgowych warstwy ścieralnej nawierzchni w początkowym okresie jej eksploatacji.
8. TD-89 2010 Opracowanie funkcji przeliczeniowych wartości współczynnika tarcia uzyskiwanych urządzeniami SRT-3 i T2GO.
9. TD-93 2013 Aktualizacja zależności funkcyjnych w pomiarach urządzeniem SRT-3 między wartościami współczynnika tarcia uzyskiwanymi na oponach PIARC i Barum Bravuris.
10. D-531 2017 Opinia w/s propozycji wymagań dotyczących właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni drogowych.

Na podstawie wymienionych prac badawczych była dokonywana aktualizacja rozporządzenia o warunkach technicznych oraz wprowadzane były przeliczniki pomiędzy kolejnymi typami opon. Dodatkowo, po analizie treści prac z powyższej listy należy zauważyć, iż współczynniki tarcia (przeliczone na urządzenie SRT-3) w krajach europejskich były na zbliżonym poziomie jak w wymaganiach krajowych, niekiedy nawet wyższe – np. w Szwecji (praca TD-55 2001).

Metody pomiaru współczynnika tarcia w zależności od rodzaju urządzenia pomiarowego

Stosowane w krajach europejskich metody pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni drogowych można podzielić na 4 grupy – w zależności od sposobu prowadzenia lub hamowania koła pomiarowego:

1) Urządzenia mierzące współczynnik tarcia poprzecznego (Side – force tester)

Jest to grupa urządzeń pomiarowych, w których koło pomiarowe nie jest hamowane, lecz swobodnie toczone, odchylone od kierunku ruchu o pewien kąt – w zależności od ogólnej koncepcji rozwiązania konstrukcyjnego. Współczynnik tarcia jest określany wg klasycznej definicji tarcia przez porównanie siły poprzecznej (*Side-Force*) działającej na koło w warunkach skośnego, swobodnego toczenia względem kierunku ruchu, z obciążeniem statycznym tego koła (lub kół, jeśli w systemie pomiarowym występują dwa koła). Na przykład urządzenie SCRIM mierzy siłę poprzecznego naporu, na jaki napotyka koło pomiarowe swobodnie toczące, odchylone od kierunku ruchu o pewien kąt.



Fot. 3. Urządzenie SCRIM

2) Urządzenia mierzące współczynnik tarcia wzdłużnego przy stałym poślizgu koła pomiarowego względem nawierzchni (Fixed slip tester)

Występuje tu dość liczna grupa urządzeń pomiarowych, w których koło pomiarowe porusza się względem nawierzchni drogi z pewnym poślizgiem, wymuszonym kinematycznie lub hydraulicznie, z zerowym odchyleniem od kierunku ruchu, mierzące współczynnik tarcia obwodowego (wzdłużnego) – przez porównanie siły tarcia z naciskiem (obciążeniem) statycznym.



Fot. 4. Urządzenie TWO (Traction Watcher One)



Fot. 6. Norsemeter OSCAR

4) Urządzenia mierzące współczynnik przyczepności przy pełnej blokadzie koła pomiarowego (Locked wheel tester)

Jest to liczna grupa urządzeń pomiarowych, stosowanych w różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych, jako jedno- i dwukołowe, w których w czasie pomiaru dochodzi do pełnej blokady koła (kół pomiarowych). Współczynnik tarcia odpowiada klasycznej definicji tarcia (koło pomiarowe nie obraca się): $\mu = F/Q$ wg której siłę tarcia F , rozwijaną między kołem pomiarowym a nawierzchnią drogi porównuje się z reakcją statyczną Q .



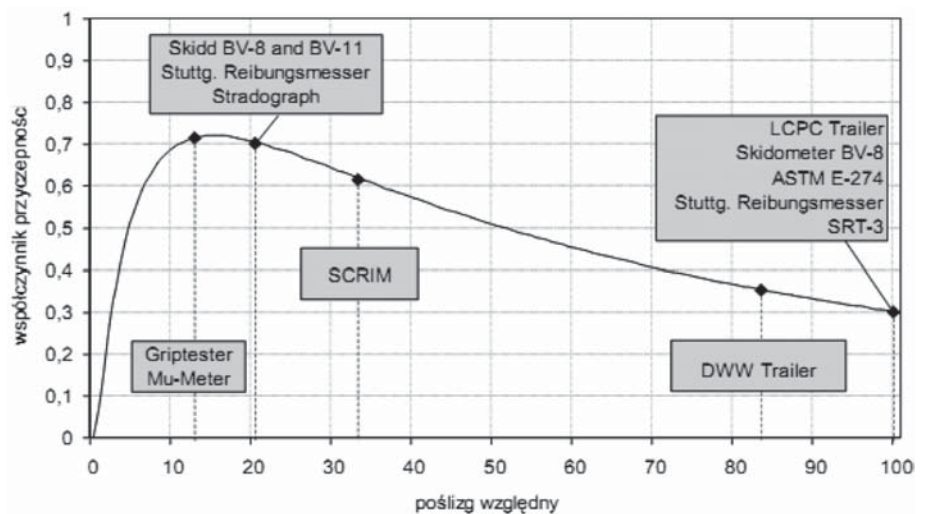
Fot. 5. ViaFriction



Fot. 7. Zestawy pomiarowe SRT-3

3) Urządzenia mierzące współczynnik tarcia w warunkach zmiennego poślizgu koła pomiarowego (Variable slip tester)

Jest to specyficzna grupa urządzeń pomiarowych, w których koło pomiarowe w procesie pomiaru hamowane jest przy kontrolowanym poślizgu. Z założenia omawiana grupa urządzeń powinna umożliwiać wyznaczenie pełnych charakterystyk przyczepności wzdłużnej $\mu=f(s)$ (w funkcji poślizgu względnego) lub $\mu=f(v_s)$ (w funkcji prędkości poślizgu). Takie możliwości ma również polskie urządzenie SRT-3, ale pracujące na zupełnie innej zasadzie.



Rys. 4. Zależność współczynnika tarcia w funkcji poślizgu względnego [9]

Na rysunku 4 został przedstawiony wykres zależności współczynnika tarcia od stopnia poślizgu koła pomiarowego (poślizg względny) ze wskazaniem urządzeń w charakterystycznym dla nich zakresie pomiarowym [9].

Należy zauważyć, iż pierwsza część wykresu w zakresie od 0 do około 18% poślizgu (maksimum krzywej) odpowiada bezpiecznemu hamowaniu pojazdów wyposażonych w układ wspomagania hamowania (ABS). Pomiar przeprowadzany przy 100% poślizgu obrazuje najbardziej niebezpieczną sytuację na drodze, przy najmniej korzystnych warunkach, kiedy następuje pełna blokada hamowanego koła. Odpowiada to hamowaniu pojazdów niewyposażonych w układ ABS względnie z niesprawnym układem ABS. Należy jednak pamiętać, iż takie pojazdy również poruszają się po naszych drogach.

Urządzenia do pomiaru współczynnika tarcia w różnych krajach

W tabeli 3 zestawiono urządzenia do pomiaru współczynnika tarcia jakie są stosowane w poszczególnych krajach europejskich.

Tabela 3. Wykaz urządzeń pomiarowych w wybranych krajach europejskich [10]

Kraj	Typ urządzenia	Poślizg [%]	Nazwa	Opona
Niemcy	Lockedwheel	100%	StruttgarterGerat	Rowkowana
	Side-force	34%	SKM	Gładka
Francja	Lockedwheel	100%	Adhera	Gładka
	Side-force	34%	SCRiM	Gładka
Szwecja	Flixed slip	13%	SarsysFriction Tester	Rowkowana
Wielka Brytania	Side-force	34%	SCRIM	Gładka
Dania	Side-force	21%	Stradograf	Gładka
	Flixed slip	18%	ROAR	Gładka
	Variable slip		ViaFriction	Gładka
Szwajcaria	Flixed slip	13%	Skiddometer	Gładka
Finlandia	Lockedwheel	100%	RRL-Trailer	Rowkowana
	Flixed slip	13%	BV-11	Rowkowana
Norwegia	Variable slip	16%	ROAR II	Gładka
Hiszpania	Flixed slip	13%	Skiddometer BV8	Gładka
Polska	Lockedwheel	100%	SRT-3	Do 2014 niestandardowa PIARC rowkowana

Z zestawienia wynika, że każdy kraj określił własne wymagania w zakresie pomiarów (urządzeń pomiarowych, wymagań) i brak jest w tym zakresie jednolitego podejścia.

Urządzenia stosowane w Polsce

Podstawowym urządzeniem stosowanym w Polsce do pomiaru współczynnika tarcia jest zestaw SRT-3. W ostatnich latach GDDKiA rozpoczęła poszukiwania urządzeń wykonujących badania współczynnika tarcia nawierzchni w sposób ciągły. W związku z tym zostały zakupione nowe urządzenia, które są na stanie czterech laboratoriów drogowych GDDKiA, są to: TWO, SRT-Conti, ViaFriction. Wstępnie przyjęto założenie, że pomiary współczynnika tarcia nawierzchni na nowych odcinkach dróg krajowych oddawanych do użytkowania (badania odbiorowe) będą w dalszym ciągu wykonywane urządzeniami SRT-3, przy pełnej blokadzie koła (zgodnie z wymaganiami rozporządzenia), natomiast do badań sieciowych w ramach Diagnostyki Stanu Nawierzchni będą sukcesywnie wdrażane urządzenia o pomiarze ciągłym.

Tabela 4. Zestawienie urządzeń do pomiarów współczynnika tarcia będących w posiadaniu GDDKiA

L.p.	Oddział GDDKiA	Nazwa urządzenia	% poślizgu	Rok produkcji
1	Białystok	SRT-3	100%	1996
2	Bydgoszcz	SRT-3	100%	2010
3	Gdańsk	SRT-3	100%	1996
		TWO (faza wdrożeniowa)	18%	2012
4	Katowice	SRT-Conti (faza wdrożeniowa)	18%	2014
5	Kielce	SRT-3	100%	1995
6	Lublin	SRT-3	100%	2011
		ViaFriction (faza wdrożeniowa)	18%	2016
7	Łódź	SRT-3	100%	1995
8	Olsztyn	SRT-3	100%	1996
9	Poznań	SRT-3	100%	1995
10	Rzeszów	SRT-3	100%	1996
11	Szczecin	SRT-3	100%	2010
12	Warszawa	SRT-3	100%	2011
13	Wrocław	SRT-3	100%	1995
14	Zielona Góra	TWO (faza wdrożeniowa)	18%	2015

GDDKiA zaproponowała zmiany w rozporządzeniu umożliwiające zastosowanie również urządzeń przy niepełnej blokadzie koła do wykorzystania przy badaniach odbiorowych. Ostatecznie tekst rozporządzenia warunków technicznych uwzględniające powyższą zmianę, otrzymał brzmienie: (...) lub innej wiarygodnej metody równoważnej, jeśli dysponuje się sprawdzoną zależnością korelacyjną umożliwiającą przeliczenie wyników pomiarów na wartości uzyskiwane zestawem o pełnej blokadzie koła.

Wyniki badań miarodajnego współczynnika tarcia w latach 2010–2016 na podstawie pracy IBDiM D-531 [11]

Praca została wykonana na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA). Program pracy przewidywał realizację następujących zadań:

- A. przeprowadzenia analizy wyników badań odbiorczych z kontraktów zrealizowanych na drogach krajowych w latach 2010–2016 oraz pomiarów wykonanych w ramach systemów SOSN i DSN na tych samych odcinkach,
- B. przeprowadzenia analizy wymagań odbiorczych i gwarancyjnych przedstawionych w dotychczas zrealizowanej pracy badawczej (*Analiza zmienności właściwości przeciwpoślizgowych warstwy ścieralnej nawierzchni w początkowym okresie jej eksploatacji TD-88*) wraz z odniesieniem (przeliczeniem) do obecnie stosowanych określanych na oponie PIARC,
- C. przedstawienia propozycji zapisów dotyczących metodyki pomiarowej oraz kryteriów oceny (wymagań) właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni w polskich przepisach technicznych: Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. 2016 poz. 124), Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych (Dz.U. 2002 nr 12 poz. 116 z późn. zm.) oraz zapisów dokumentu Gwarancja Jakości.

W pracy wykorzystano wyniki pomiarów odbiorczych współczynnika tarcia oraz dane zgromadzone w Systemie Oceny Stanu Nawierzchni (SOSN) oraz systemie Diagnostyka Stanu Nawierzchni (DSN), w latach 2010–2016. Badania wykonały Laboratoria Drogowe GDDKiA, na nowych lub remontowanych odcinkach dróg krajowych.

Dla ujednorodnienia danych i polepszenia ich czytelności wszystkie wyniki i kryteria przeliczono do odpowiadających im wartości uzyskiwanych na oponie PIARC.

Na podstawie danych z badań odbiorczych uzyskano:

- 4113 wartości miarodajnych (ponad 3900 km pasa ruchu),
- 28 wartości miarodajnych przy prędkości pomiarowej 90 km/h; pozostałe uzyskano przy prędkości pomiarowej 60 km/h,
- 128 wartości miarodajnych przy kryterium innym niż w rozporządzeniu,
- 637 wartości miarodajnych dla odcinków dróg, na których obowiązywało wymaganie $\mu_m \geq 0,49$,
- 3320 wartości miarodajnych dla odcinków dróg, na których obowiązywało wymaganie $\mu_m \geq 0,41$.

Uzyskane wyniki z badań odbiorczych wykorzystano do oceny stopnia spełnienia kryteriów podanych w rozporządzeniu o warunkach technicznych dla dróg publicznych. Dane podzielono na dwie grupy: odcinki dróg, na których wymagano wartości miarodajnych nie mniejszych niż 0,41

(drogi klasy G i GP) oraz nawierzchni, którym stawiano wyższe wymaganie $\mu_m \geq 0,49$ (drogi klasy A i S). W obu przypadkach kryteria zostały ustalone do prędkości pomiarowej 60 km/h.

Dane z pomiarów w ramach SOSN i DSN zebrano w celu oceny możliwości spełnienia wymagań w okresie gwarancji. Większość wykorzystanych w analizie miarodajnych wartości współczynnika tarcia pochodzi z systemu DSN – 1010 wartości. Pozostałe 631 uzyskano z badań wykonanych w ramach SOSN. W pomiarach DSN stosowano oponę PIARC, natomiast w badaniach SOSN oponę Barum Bravuris.

Przedstawione w pracy [11] wyniki analiz skłaniają do korekty wymagań zawartych w rozporządzeniu o warunkach technicznych dla dróg publicznych. Przemawiają za tym również wyniki wspólnych badań wykonanych w pracy TD-88 urządzeniami SRT-3 oraz SKM i odniesienie kryteriów niemieckich do warunków polskich. Wskazują one, że wobec dróg w naszym kraju stawiane są wyższe wymagania niż u naszych zachodnich sąsiadów. Największe różnice, dochodzące do 10 SN (0,10) występują w przypadku kryteriów dotyczących dróg klasy A i S. Wynika to przede wszystkim z innego podejścia do oceny nawierzchni dróg wyższych klas technicznych. W przepisach niemieckich (ZTV Asphalt-StB 07) jednakowe kryteria stawiane są nawierzchniom wszystkich kategorii dróg, natomiast w przepisach polskich drogom klasy A i S stawia się wyższe wymagania.

W pracy TD-88 przeprowadzono również analizę teoretyczną polegającą na wyznaczeniu minimalnej wartości współczynnika tarcia przy założonych niekorzystnych, lecz dopuszczalnych parametrach geometrycznych dróg różnych klas technicznych. W ten sposób oszacowano minimalne wartości współczynnika tarcia zapewniające stateczność pojazdu na łuku drogowym. Uzyskano wartości znacznie niższe niż wymagania stawiane nawierzchniom w polskich przepisach technicznych. Wobec tego, aby doszło do wypadku muszą zaistnieć inne, dodatkowe czynniki takie np. jak: wyższa od dopuszczalnej prędkość jazdy, nieprawidłowo wyprofilowana droga, koleiny, gwałtowne hamowanie lub niekontrolowany skręt kołami pojazdu.

Bazując na wnioskach sformułowanych w pracy TD-88 oraz wykorzystując wyniki analiz wykonanych w niniejszej pracy proponuje się:

1. Przyjąć jednakowe zasady oceny właściwości przeciwpoślizgowych, tj. metodykę pomiaru oraz kryteria, w rozporządzeniach dotyczących dróg publicznych oraz autostrad płatnych.
2. Zmniejszyć wartości kryteriów oceny dla nowych nawierzchni, zgodnie z propozycjami przedstawionymi w pracy TD-88 (tabela 5).

Zaproponowano rezygnację z pomiarów przy prędkości 90 km/h ze względu na bezpieczeństwo i sposób badania (konieczność pomiaru w śladzie koła), problem z utrzymaniem stałej prędkości 90 km/h na drogach o dużym natężeniu ruchu, duże obciążenie zestawu pomiarowego oraz biorąc pod uwagę precyzję badania przy pomiarach o mniejszej prędkości.