

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
Zakład Diagnostyki Nawierzchni

SPRAWOZDANIE
z realizacji pracy TD-71 pt.:
**„Analiza i weryfikacja wymagań i procedur pomiarowych oceny
właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni dróg publicznych i
autostrad płatnych”**

Zleceniodawca: GDDKiA, umowa nr 686/2004

Opracował:

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Kierownik Zakładu
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, czerwiec 2005

SPIS TREŚCI

1. Podstawa i zakres pracy	3
2. Wprowadzenie	3
3. Metody pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni	
7	
4. Porównanie wymagań dotyczących właściwości przeciwpoślizgowych	12
5. Wybór odcinków badawczych i wykonanie serii pomiarów współczynnika tarcia i makrotekstury metodą objętościową	16
6. Analiza wyników badań	20
7. Propozycje zmian wymagań i procedur pomiarowych oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni dróg publicznych i autostrad płatnych	26
Bibliografia	29
Załącznik: Wyniki pomiarów współczynnika tarcia i makrotekstury nawierzchni na wybranych odcinkach testowych	

1. Podstawa i zakres pracy

Praca wykonana została na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w ramach umowy nr 686/2004 z dnia 7.04.2004 roku. Celem pracy jest weryfikacja wymagań oraz procedur pomiarowych dotyczących oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych. Niniejsze sprawozdanie opisuje przebieg realizacji zadań ustalonych w programie pracy.

2. Wprowadzenie

Polskie przepisy zawierające wymagania względem właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych [1, 2] budzą wiele wątpliwości zarówno co do wymaganych procedur pomiarowych jak i możliwości spełnienia tych wymagań. Problemy związane z pomiarami współczynnika tarcia oraz interpretacją otrzymanych wyników często były sygnalizowane przez Laboratoria Drogowe. Trudności te były również wielokrotnie zgłaszane przez pracowników IBDiM, na szkoleniach, konferencjach oraz w pracach badawczych. W związku z wprowadzeniem do stosowania w ubiegłym roku (po pięciu latach karencji) wymagań dotyczących minimalnych wartości współczynnika tarcia dla nawierzchni dróg publicznych [2] problemy te należy rozwiązać w możliwie najkrótszym czasie.

W sierpniu 2004 roku Biuro Studiów GDDKiA przesłało do Instytutu pismo zawierające uwagi zgłaszane przez Laboratoria Drogowe w sprawie pomiarów odbiorczych właściwości przeciwpoślizgowych. Najważniejsze zgłoszone postulaty są następujące:

- należy uporządkować sprawę opon testowych stosowanych w badaniach współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3; w obu obowiązujących w Polsce przepisach wymienia się opony, które już od paru lat nie są stosowane w pomiarach,
- brak jest korelacji odnośnie wartości miarodajnego współczynnika tarcia dla autostrad podanych w obu Rozporządzeniach (różne wartości progowe); zdaniem laboratoriów wartości powinny być ujednocnione,
- dotychczasowe doświadczenia laboratoriów (również Instytutu) wykazują, że wartości współczynników tarcia podane dla poszczególnych prędkości nie są spełnione jednocześnie; fakt ten nie wynika ze złego wykonawstwa lecz z niewłaściwie dobranych wartości granicznych; stwarza to ryzyko zakwestionowania parametrów właściwości przeciwpoślizgowych dla dobrze wykonanej nawierzchni,
- prędkość pomiarowa 120 km/h jest dobrana teoretycznie; stanowi ona zagrożenie zarówno dla ekip pomiarowych jak i innych użytkowników drogi; stosowane obecnie zestawy pomiarowe nie gwarantują uzyskania takiej prędkości w każdych warunkach (podjazd pod wzniesienie, łuki poziome, poruszanie się potoku samochodów); nawet pomiar przy prędkości 90 km/h często jest trudny do wykonania ze względu na geometrię drogi i konieczność realizacji badań pod ruchem,

- brak określenia warunków termicznych przy wykonywaniu pomiarów współczynnika tarcia; w przypadku wykonania nawierzchni w październiku – pomiar zgodnie z [2] należy wykonać na przełomie grudnia i stycznia,
- w przepisach brak jest precyzyjnego określenia postępowania w przypadku krótkich odcinków od 100 do 500 m oraz odcinków w obrębie skrzyżowań, na których właściwości przeciwpoślizgowe stanowią istotny parametr bezpieczeństwa ruchu,
- ponieważ badanie wykonuje się pod ruchem (2 miesiące po oddaniu nawierzchni do eksploatacji) pomiary przy wszystkich prędkościach są trudne do wykonania ze względu na odbywający się ruch,
- wymagania dotyczące właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni uwzględniają jedynie wartości miarodajnych współczynnika tarcia, zdaniem laboratoriów celowym jest określenie wymagań również dla wartości minimalnych,
- profilometryczna metoda pomiaru średniej głębokości profilu (MPD) równoważna metodzie piasku kalibrowanego nie jest wymieniona w [1]; powodem może być ograniczenie w dostępie do odpowiedniego sprzętu badawczego, jednakże ze względu na wydajność i bezpieczeństwo wykonywania pomiarów należy ją uwzględnić przy ocenie makrotekstury nawierzchni,
- jednoznacznego określenia wymaga procedura pomiaru tekstury metodą objętościową; występują różnice w przygotowaniu próbki oraz w materiale używanym do badania.

Opracowując nowe procedury oraz wartości progowe współczynnika tarcia należy pamiętać, że jedynymi urządzeniami do badania przyczepności (współczynnika tarcia nawierzchni) w Polsce są wdrożone przez IBDiM zestawy pomiarowe SRT-3. Rzutuje to w określony sposób na możliwą do zastosowania metodykę pomiarów i na poziom rejestrowanych współczynników tarcia nawierzchni.

Administracje drogowe w różnych krajach stosują zróżnicowane metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni, dostosowane do użytkowanej aparatury pomiarowej [3, 4, 5, 6]. Metody te można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- pomiar współczynnika tarcia nawierzchni,
- pomiar tekstury nawierzchni.

Współczynnik tarcia nawierzchni jest to stosunek siły tarcia rozwijanej między kołem pomiarowym a nawierzchnią drogi do wartości reakcji normalnej, w warunkach pełnej lub częściowej blokady koła pomiarowego. Pomiar współczynnika tarcia wykonywany jest na świecie z zastosowaniem różnych aparatów. Z założenia służą one do oceny tego samego zjawiska, jednak zróżnicowanie konstrukcyjne układów pomiarowych sprawia, że pomiarowi podlegają różne charakterystyki fizyczne. Tekstura opisuje geometrię nierówności warstwy jezdnej nawierzchni. Makroteksturę tworzą nierówności na powierzchni warstwy ścieralnej spowodowane wystającymi ziarnami kruszywa. Zależy ona od składu materiału, z którego jest wykonana warstwa ścieralna oraz od technologii jej wbudowania. Mikroteksturę natomiast tworzą drobne nierówności o głębokości dziesiątych części milimetra, spowodowane wystającymi ziarnami drobnego kruszywa lub chropowatością powierzchni wystających

grubych ziaren. Pomiar tekstury nawierzchni wykonywany jest obecnie na świecie najróżniejszymi metodami, bazującymi zarówno na starych, wypróbowanych sposobach jak i wykorzystujących najnowsze zdobycze techniki (metody profilometryczne).

Przy weryfikacji procedur pomiarowych oraz wymagań dotyczących współczynnika tarcia należy brać pod uwagę to, że jego wartość zależy od wielu, często złożonych czynników [7]. Z dotychczasowych badań wynika, że największy wpływ na właściwości przeciwpoślizgowe mają:

- rodzaj i stan techniczny nawierzchni,
- prędkość ruchu pojazdu,
- głębokość i stan rzeźby bieżnika opony,
- głębokość filmu wodnego na powierzchni jezdni.

Wartość współczynnika tarcia maleje wraz ze wzrostem prędkości ruchu pojazdu. Maleje również przy zwiększaniu ilości wody na nawierzchni. Na pogorszenie właściwości przeciwpoślizgowych mają również wpływ nierówności podłużne, wskutek chwilowej utraty kontaktu opony z nawierzchnią oraz nierówności poprzeczne (koleiny), które akumulują grube warstwy wody.

Wpływ tekstury na właściwości przeciwpoślizgowe nie jest jednoznacznie określony. Badania prowadzone w IBDiM wykazują, że brak jest ścisłej i wysokiej korelacji między wartościami współczynnika tarcia i makroteksturą nawierzchni [8, 9]. Oznacza to, że wysokie wartości współczynnika tarcia uzyskać można zarówno na nawierzchniach o rozwiniętej teksturze jak i na nawierzchniach z kruszywem drobnoziarnistym. Duże znaczenie dla osiągnięcia dobrych właściwości przeciwpoślizgowych przypisuje się odporności na polerowanie kruszyw.

W artykule [10] prezentowane były doświadczenia francuskie w ocenie współczynnika tarcia na nawierzchniach wykonanych w różnych technologiach wykonania warstwy ścieralnej. W przypadku betonu asfaltowego uziarnienie 0/14 jest bardziej korzystne niż 0/10. W przypadku warstw „slurry seal” również zwiększenie uziarnienia kruszywa powoduje wzrost współczynnika tarcia. Natomiast na nawierzchniach wykonanych w technologiach: betonu asfaltowego porowatego, cienkich, bardzo cienkich i ultra cienkich warstw korzystniejsze jest stosowanie drobniejszego kruszywa. Najlepszym rozwiązaniem okazała się nawierzchnia z mieszanki o nieciąglym uziarnieniu 0/6 mm. Badania francuskie wykazują więc, że nie powierzchniowe utrwalenia lecz technologie bazujące na nieciąglym uziarnieniu kruszywa dają wysokie współczynniki tarcia. Coraz większe znaczenie przypisuje się również mikroteksturze nawierzchni.

Od początku 2001 roku w Niemczech obowiązują jednolite wymogi w odniesieniu do właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych [11]. Uregulowania te wywołały szeroką dyskusję wśród fachowców. Wskazuje się, że zapewnienie trwałej przyczepności kół pojazdów do nawierzchni jest przede wszystkim zadaniem inwestora. W rzeczywistości jednak na końcowy efekt wpływa wiele różnych czynników, a także firmy uczestniczące w procesie projektowania, produkcji i budowy.

Przy projektowaniu mieszanki do warstwy ścieralnej decydującą rolę odgrywa dobór kruszywa o właściwym uziarnieniu. Również w Niemczech szczególne znaczenie przypisuje się odporności na polerowanie skał, z których wykonywana jest mieszanka mineralna. Obserwuje się częste przypadki, że przy dużym natężeniu ruchu i małych wartościach PSV zastosowanych kruszyw współczynnik tarcia jest niedostateczny. Przy projektowaniu mieszanek bierze się również pod uwagę rodzaj i gatunek lepiszcza. Zupełnie niewłaściwe jednak byłoby optymalizowanie składu mieszanek asfaltowych w oparciu o obniżenie zawartości asfaltu. Grozi to bowiem znacznym obniżeniem trwałości ułożonej warstwy.

Na etapie produkcji również wskazuje się kilka podstawowych zasad, których przestrzeganie jest warunkiem otrzymania warstwy ścieralnej o odpowiednich właściwościach przeciwpoślizgowych. Zalicza się do nich:

- równomierna, nie za wysoka temperatura mieszanki,
- stosowanie suchych mieszanek kruszywa, ponieważ woda i lepiszcze w wysokiej temperaturze powodują powstanie na powierzchni kruszywa spienionej warstwy, która zmniejsza przyczepność asfaltu,
- kontrola zastosowanych grysów, zwłaszcza wówczas gdy stosowane są mieszanki skał o różnej polerowalności.

Znaczny wpływ na początkowe (powykonawcze) właściwości przeciwpoślizgowe ma wykonawca robót drogowych poprzez dobór i zastosowanie walców oraz przeprowadzenie działań zwiększających szorstkość nawierzchni. Niebagatelny wpływ ma również odpowiedni okres czasu na wprowadzenie ruchu drogowego. W niemieckich przepisach ZTV Asphalt-StB01 wymaga się aby „do momentu dopuszczenia do ruchu przestrzegać wystarczająco długiego okresu na schłodzenie górnej warstwy lub nawierzchni – po ukończeniu prac nad nawierzchnią konieczne jest co najmniej 24 godziny schładzania, a w przypadku nawierzchni wykonywanej w ramach jednej operacji – co najmniej 36 godzin ...”. Aspekt ten jest szczególnie istotny w przypadku wykonywania prac latem w wysokich temperaturach. W [11] podano przykład drogi, na której ze względu na brak alternatywnych objazdów ruch został dopuszczony już po 10 godzinach. W krótkim czasie w śladach kół pojawiło się na powierzchni lepiszcze, a w czasie kontroli współczynnika tarcia stwierdzono, że obowiązujące wymagania na wielu odcinkach nie były spełnione.

Powykonawcze właściwości przeciwpoślizgowe w znacznym stopniu uzależnione są od rodzaju zastosowanych mieszanek mineralno-asfaltowych. W przypadku nawierzchni z asfaltu lanego praktycznie zawsze stosuje się działania zwiększające wartość współczynnika tarcia (posypywanie wstępnie zagęszczonej warstwy ścieralnej drobnym kruszywem i wtłoczeniem go w nawierzchnię walcami). Podobne zabiegi wykonuje się w stosunku do mieszanki SMA. Powierzchnia warstwy z mieszanki mastyksu grysowego składa się w przeważającej części z ziaren kruszywa łamanego, które narażone są na większe polerowanie niż np. powierzchni wykonane z betonu asfaltowego. Mając powyższe na względzie konieczne jest stosowanie kruszyw o odpowiednio wysokim wskaźniku PSV. Przed wejściem w życie uregulowań wytycznych ZTV Asphalt-StB01 prawie na żadnym odcinku z betonu asfaltowego nie przeprowadzono prac polepszających właściwości przeciwpoślizgowe. Obecnie również dla warstw z betonu asfaltowego zaleca się stosowanie powierzchniowego uszorstnienia.

Różnorodność metod pomiarowych, stosowanych w różnych krajach utrudnia wnioskowanie o rzeczywistych właściwościach przeciwpoślizgowych badanych nawierzchni drogowych, tym bardziej, że różnym metodom pomiaru i reprezentującym je urządzeniom badawczym przypisane są z reguły inne kryteria oceny. Wielość metod i urządzeń pomiarowych powoduje, że od lat postulowane było wprowadzenie, jako unormowanej skali oceny właściwości przeciwpoślizgowych Międzynarodowego lub Europejskiego Indeksu Tarcia (IFI lub EFI), ostatnio zaś Indeksu Właściwości Przeciwpoślizgowych (SRI). Indeks uwzględnia miarę tekstury badanej nawierzchni drogowej, co rodzi różnego rodzaju kontrowersje. O tym, że sprawa wspólnego międzynarodowego lub Europejskiego Indeksu Tarcia nie dojrzała jeszcze do powszechnego wprowadzenia świadczy ponad 10-letni kres badań (eksperymentów) podejmowanych z udziałem prawie wszystkich liczących się urządzeń pomiarowych – w różnych krajach, w różnych okresach klimatycznych. Jednym z najważniejszych, nierozwiązanych do tej pory problemów, leżących u podstaw tych trudności, jest sprawa kalibracji względnej wszystkich urządzeń pomiarowych (tych państw, które zaakceptują normę jako dokument obligatoryjny). Instytut Badawczy Dróg i Mostów dawał wielokrotnie wyraz swojego krytycznego stanowiska w sprawie projektu normy (w obecnym kształcie) w związku ze stwierdzeniem wielu sprzeczności w postulowanych procedurach obliczeniowych. Tym niemniej bierzemy czynny udział w kolejnych eksperymentach z naszym urządzeniem pomiarowym SRT-3, co spotyka się z uznaniem i wysoką oceną zagranicznych ośrodków i organizacji drogownictwa.

Zastrzeżenia do projektu normy prEN 13036-2 „Cechy powierzchniowe nawierzchni dróg i lotnisk. Metody badań – Część 2. Procedura wyznaczania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni” mają również eksperci współpracujący z CEN. Dlatego też projekt normy został wycofany z poziomu ankietyzacji i postanowiono go zweryfikować. Obecnie w pracach grupy WG5, która w komitecie CEN227 zajmuje się cechami powierzchniowymi nawierzchni, ścierają się dwie koncepcje sprowadzania wyników badań właściwości przeciwpoślizgowych do jednego poziomu (używając różnych metod pomiarowych):

- budowa nowego, europejskiego urządzenia pomiarowego, referencyjnego dla innych aparatów badawczych,
- wykonanie referencyjnych odcinków badawczych, na których będzie można kalibrować urządzenia pomiarowe.

Która koncepcja zostanie wybrana, trudno obecnie wskazać.

3. Metody pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni

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 (Sideway-Force Coefficient)

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 toczone, odchylone od kierunku ruchu o pewien kąt α . Można wykazać, że kątowi odchylenia koła pomiarowego $\alpha = 20^{\circ}$ odpowiada poślizg poprzeczny równy składowej prędkości wzdłużnej, tj.

$$S_p = v \cdot \sin \alpha = v \cdot \sin 20^{\circ} = 0.34 \cdot v$$

Przy prędkości urządzenia pomiarowego SCRIM $v=60$ km/h odpowiada to rzeczywistej prędkości względnej elementów koła pomiarowego i nawierzchni drogi zaledwie $v_s = 20.4$ km/h. Inaczej mówiąc wyniki pomiarów współczynnika tarcia pomierzone urządzeniem SCRIM przy prędkości $v=60$ km/h odpowiadają wynikom pomiarów dokonanych urządzeniem LCPC Adhera lub urządzeniem SRT-3 z pełną blokadą koła pomiarowego (ostatnia z wymienionych niżej grup urządzeń pomiarowych), ale przy prędkości około 20 km/h.

Do tej grupy urządzeń pomiarowych zaliczamy:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| ▪ SCRIM (Anglia, Włochy, Francja, Hiszpania, Niemcy) | $\alpha = 20^{\circ}$, $s = 34\%$ |
| ▪ Mu-Meter (Hiszpania, stosowany również w Anglii) | $\alpha = 7,5^{\circ}$, $s = 13\%$ |
| ▪ Stradograph (Dania) | $\alpha = 12^{\circ}$, $s = 20\%$ |
| ▪ Odoliograph (Belgia) | $\alpha = 15^{\circ}$, $s = 25\%$ |

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

Jest to 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.

Do tej grupy urządzeń pomiarowych należą:

- | | |
|---|------------|
| ▪ Griptester (Anglia, Szkocja, Norwegia) | $s = 14\%$ |
| ▪ DWW Trailer (Holandia) | $s = 86\%$ |
| ▪ Skiddometer BV-8 (Szwecja, Szwajcaria) | $s = 20\%$ |
| ▪ Skiddometer BV-11 (Szwecja, Słowacja) | $s = 18\%$ |
| ▪ Stuttgarter Reibungsmesser (Niemcy, Szwajcaria) | $s = 20\%$ |
| ▪ Norsemeter Oskar (Norwegia) | $s = 20\%$ |

Na uwagę zasługuje urządzenie holenderskie DWW Trailer, jako jedyne ze znanych na świecie urządzeń pomiarowych, w którym poślizg koła pomiarowego względem nawierzchni jest bliski pełnej blokady.

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

Jest to specyficzna grupa urządzeń pomiarowych, w których koło pomiarowe w procesie pomiaru hamowane jest z kontrolowanym poślizgiem. Z założenia ta grupa urządzeń powinna umożliwiać wyznaczanie 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, o czym będzie mowa w pkt 4).

Do tej grupy urządzeń pomiarowych zaliczamy:

- Norsemeter Oskar (Norwegia) s = 5 – 95%
- Petra (Niemcy) s = 0 – 100%

To ostatnie urządzenie jest na prawach prototypu ponieważ nie zdało egzaminu w praktyce.

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

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 się nie obraca):

$$\mu = F/Q$$

wg której siłę tarcia F, rozwijaną między kołem pomiarowym a nawierzchnią drogi porównuje się z reakcją statyczną Q

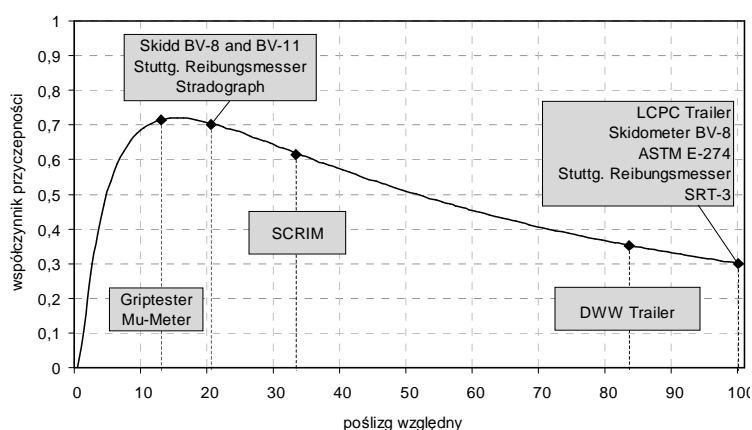
Do tej grupy urządzeń pomiarowych zaliczamy:

- LCPC Adhera (Francja),
- Stuttgarter Reibugsmesser (Niemcy, Szwajcaria),
- Skiddometer BV-8 (Szwecja, Szwajcaria),
- ASTM E – 274 (USA, stosowany również w Anglii i we Francji),
- Skid Resistance Tester (SRT-3 - Polska, Litwa).

Porównując wymienione grupy urządzeń pomiarowych należy podkreślić, że odmienne warunki pomiaru (głównie poślizgu) powodują, iż każde z tych urządzeń ocenia (mierzy) współczynnik tarcia jakby w innej skali, na innym poziomie wartości liczbowych. Ilustracją graficzną tej sytuacji jest rys. 1, na którym wszystkie grupy urządzeń pomiarowych są pokazane na tle przykładowej (rzeczywistej) charakterystyki przyczepności wzdłużnej nawierzchni drogowej $\mu=f(s)$ (w funkcji poślizgu względnego). Ten właśnie fakt tak dużej różnicy skali wyników pomiarów utrudnia wnioskowanie o własnościach przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych bez uprzedniego określenia metody pomiaru i miarodajnego zakresu wyników pomiarów. Poważnym problemem jest ocena porównawcza wyników pomiarów dokonanych różnymi urządzeniami pomiarowymi, zwłaszcza w różnych

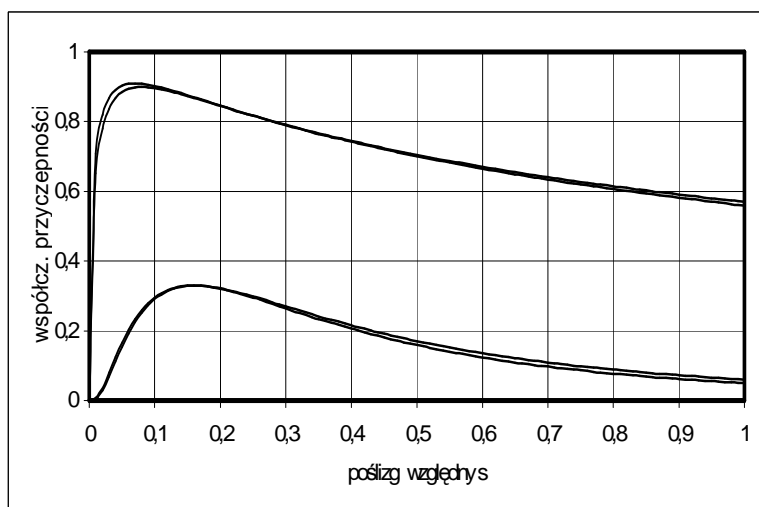
krajach przez różne ośrodki badawcze. W niektórych krajach stosowanych jest równocześnie kilka metod pomiaru, niekiedy związanych z tym samym urządzeniem badawczym.

Oddzielnego omówienia wymaga urządzenie polskie SRT-3 [12, 13, 14, 15, 16,]. Choć formalnie jest ono klasyfikowane jako urządzenie mierzące współczynnik tarcia przy pełnej blokadzie koła pomiarowego, posiada ono zdolność wyznaczania pełnych charakterystyk przyczepności wzdłużnej $\mu=f(s)$ (w funkcji poślizgu względnego) lub $\mu=f(v_s)$ (w funkcji prędkości poślizgu) w każdym hamowaniu, pozwala więc na wyznaczanie współczynnika tarcia przy tych wartościach poślizgu, przy których pracują wszystkie inne urządzenia.



Rys. 1. Zróźnicowanie metod pomiaru współczynnika tarcia na tle przykładowej charakterystyki $\mu=f(s)$

Na rys. 2. zamieszczone są wykresy charakterystyk $\mu=f(s)$ wykonane przez zestaw pomiarowy SRT-3 na dwu odcinkach testowych w Anglii podczas ostatniego Eksperymentu (koniec października 200 roku) w ramach realizacji Projektu HERMES. przez polski zestaw pomiarowy SRT-3



Rys. 2. Charakterystyki przyczepności wzdłużnej wyznaczone na odcinkach doświadczalnych w Anglii

Oba odcinki były radykalnie zróżnicowane pod względem przyczepności. Jeden z tych odcinków, o współczynniku tarcia w warunkach pełnej blokady koła na poziomie średnim 0.05, imitował nawierzchnię oblodzoną. Polski zestaw pomiarowy, jako jedyny, przedstawił pełne charakterystyki tych dwóch odcinków, praktycznie się pokrywające, wykonane przy dwóch kolejnych pomiarach.

W urządzeniu SRT-3 pomiar wykonywany jest w dwóch niezależnych torach pomiarowych:

- poprzez pomiar momentu hamującego,
- poprzez pomiar siły tarcia, wolnej od oddziaływań momentu stycznych sił bezwładności koła pomiarowego.

Własność ta, nie występująca w innych systemach pomiarowych z dwupunktowym prowadzeniem koła pomiarowego, okazuje się niezwykle cenna w badaniach współczynnika tarcia. W pomiarach drogowych jednym z najważniejszych problemów jest zapewnienie odpowiedniej miarodajności wyników pomiarów, wykonywanym w różnych warunkach atmosferycznych, na drogach w ogólnym przypadku nierównych, przy bardzo dużych niekiedy zmianach współczynnika tarcia badanych nawierzchni. Bardzo często obserwowane (rejestrowane) rozrzuty pomierzonych wartości współczynnika tarcia są przypisywane „błędemu” działaniu urządzeń pomiarowych. Jeśli taki problem występuje w czasie badań porównawczych lub kontrolnych może być szybko wychwycony i wyjaśniony. Gorzej, gdy wątpliwości co do poprawności wykonanych pomiarów, np. w wyniku uszkodzenia czujnika siły. Takie wątpliwości mogą dotyczyć zbiorów wyników nie tylko z jednego dnia, ale, w niektórych systemach pomiarowych, z całego tygodnia). Takich wątpliwości, związanych z prawidłowością pracy systemu pomiarowego, nie ma w przypadku zestawów pomiarowych SRT-3.

Przedstawione omówienie urządzeń badawczych ze względu na metodę pomiaru współczynnika tarcia nie jest pełne. Przed kilku laty zostało wprowadzone do eksploatacji urządzenie Norsemeter ROAR, które zdobywa dużą popularność w krajach północnych, zwłaszcza w Norwegii, Danii i Holandii. Podany podział nie obejmuje również urządzeń specjalizowanych do badań nawierzchni lotniskowych, np. Saab Friction Tester (stosowanych również w Polsce). Firma Norsemeter zapowiada wprowadzenie do eksploatacji urządzenia nowej generacji SALTAR, zdolnego do prowadzenia badań również w warunkach zimowych.

4. Porównanie wymagań dotyczących właściwości przeciwpoślizgowych

W tablicach 1, 2 i 3 porównano stosowane w praktyce metodyki badań, warunki pomiaru i minimalne poziomy utrzymaniowe (poziomy współczynnika tarcia) dla stosowanych w danym kraju urządzeń pomiarowych i opony testowej.

Tablica 1 *Metodyka badań i preferowane urządzenia pomiarowe*

Kraj	Wielkość pomiarowa	Urządzenie preferowane	Metoda pomiaru
Anglia	SFC	SCRIM	SFC 20°
Belgia	SFC	Odoliograph	SFC 15°
Francja	BFC	ADHERA	LW, gładka opona PIARC
Węgry	SFC	SCRIM	SFC 20°
Włochy	SFC	SCRIM	SFC 20°
Dania	SFC	Stradograph	SFC 12°, pomiar w dwóch śladach
Holandia	BFC	DWW Trailer	BFC przy poślizgu 86%
Hiszpania	BPN	Wahadło angielskie	trzy pomiary w punkcie
Szwecja	BFC	Skiddometer	LW
Szwecja	BPN	Wahadło angielskie	wg instrukcji
Polska	BFC	SRT-3	LW

Oznaczenia w tablicy 1:

SFC - współczynnik tarcia poprzecznego (przy swobodnym toczeniu koła pomiarowego),
BFC - współczynnik tarcia wzdłużnego przy pełnej blokadzie koła pomiarowego,
BPN - „British Pendulum Number” – miara dla wahadła angielskiego.

W tablicach 2 i 3 omówione zostały warunki pomiaru przypisane w wymienionych krajach oraz minimalne, poziomy utrzymaniowe (współczynniki tarcia w danej metodzie pomiaru). Podane są również nazwy i numery norm i procedur, stosowanych w tych krajach, regulujące pomiary przyczepności nawierzchni drogowych.

Tablica 2 Metodyka badań i preferowane urządzenia pomiarowe

Kraj	Warunki pomiaru	Wartość miarodajna	Długość odcinka pomiarowego	Normy i procedury
Anglia	50 lub 120 km/h	wartość średnia	100, 50 lub 20 m	HD 28/94
Belgia Flandria	50 km/h, 20°C, 1 mm wody	współczynnik od 0,00 do 1,00	na całej długości	-
Belgia Walonia	czysta naw., temp. 5-35°C	jw	jw	CCT W10
Francja	50 km/h, 0,5 mm wody	jw.	średnia dla 10 lub 20 m	NFP-98-220-3 i NFP-98-220-4
Francja	60 km/h	jw	20 m	NFP-98-220-2
Węgry	50 km/h, 0-40°C	wartość średnia	20 m	norma państwowa
Włochy	nawierzchnia mokra	wartość średnia	co najmniej na 10% długości	-
Dania	0,23 mm wody	wartość średnia w każdym śladzie	na całej długości (po 10 lub 100m)	norma państwowa
Holandia	50 km/h, 0,5 mm wody	współczynnik między 0 i 1,00	100 m	norma RAW Con. 95,150
Hiszpania	nawierzchnia mokra, po 3 m-cach po oddaniu	BPN	punkt pomiarowy	NLT 150
Szwecja	nawierzchnia mokra	wartość średnia	20 m – co 50 lub 100 m	ROAD94 VVMB 104
Szwecja	nawierzchnia mokra	Na odcinku jednor. > 1 m	Kilka punktów pomiarowych	ROAD94 VVMB 582
Polska	60 km/h, 0,5 mm wody	wartość miarod. (E – D)	co 100 m	Procedura PB/TD-1/1, rozporządzenia

Warunki pomiaru współczynnika tarcia w poszczególnych krajach są bardzo zróżnicowane. Zróżnicowanie dotyczy nie tylko grubości filmu wodnego pod kołem pomiarowym (od 0,23 mm do 1 mm), ale również sposobu tworzenia wartości miarodajnej. Jest to szczególnie widoczne w przypadku urządzenia SCRIM, zwłaszcza w Anglii, gdzie przyjmowane są różne długości dla uśredniania mierzonej wartości.

Tablica 3 Minimalne poziomy utrzymaniowe (wartości współczynnika tarcia)

Kraj	Uwagi	Wymagany poziom wsp. tarcia	Wymagania szczególne
Anglia	wymagania zależne od kategorii drogi	od 0,35 do 0,60	w komentarzu
Belgia Flandria		$SFC \geq 0,45$	
Belgia Walonia		$SFC \geq 0,45$	przy 80 km/h na autostradach i 50 km/h na innych drogach
Francja	brak specyfikacji dla SFC		
Francja	brak specyfikacji dla BFC		
Węgry	wartości – średnią i minimalną porównuje się z wymaganą	na autostradach $SFC > 0,6 \pm 0,04$	
Włochy	$SFC > 0,47$ do 0,65 w zależności od rodzaju nawierzchni	$SFC \geq 0,55$	na nowych naw. pomiar wykonuje się w 15 i 180 dniu
Dania	w każdym śladzie kół	$SFC \geq 0,40$	
Holandia	opona gładka PIARC	nowe naw. 0,52, utrzymaniowe 0,45	
Hiszpania	w zależności od wielkości ruchu	ruch ciężki $> 0,65$, ruch lekki $> 0,60$	
Szwecja	Skiddometer	nowe naw. 0,50, utrzymaniowe 0,45	
Szwecja	wahadło	utrzymaniowe 0,45	
Polska	różne typy opon	wartości w zależności od prędkości i klasy drogi	

Analiza tablic 1, 2 i 3 pozwala na wyciągnięcie kilku ważnych wniosków. Po pierwsze - z przywołanych materiałów wynika, że pomiary kontrolne współczynnika tarcia są przeprowadzane na danej drodze (danej kategorii) w zasadzie przy jednej tylko prędkości pomiarowej. Po drugie – w niektórych krajach istnieje duże zróżnicowanie wymaganego współczynnika tarcia na drogach zaliczanych do różnych kategorii, zwłaszcza w przypadku różnego rodzaju zagrożeń. Tak np. w Anglii różnica poziomów wymaganych współczynników przyczepności jest w niektórych przypadkach prawie dwukrotna, o czym świadczy tablica 4.

Tablica 4 Wymagania angielskie w zakresie minimalnych poziomów współczynnika tarcia

Kategoria drogi	Charakterystyka drogi	Prędkość pomiarowa, km/h	Współczynnik tarcia
A	Autostrady	50	0,35
B	Drogi szybkiego ruchu	50	0,35
C	Drogi szybkiego ruchu, jednojezdniowe	50	0,40
D	Drogi dwujezdniowe z małą liczbą skrzyżowań	50	0,40
E	Drogi jednojezdniowe z małą liczbą skrzyżowań	50	0,45
F	Dojazdy do skrzyżowań	50	0,45
G1	Odcinki z nachyleniem 5-10% na odcinkach > 50 m	50	0,45
G2	Strome wzniesienia dłuższe niż 50 m	50	0,50
H1	Łuki poziome z dopuszczalną prędkością powyżej 40 mil/h lub mniejszą dla R<250 m	50	0,45
J	Dojazd do ronda	50	0,55
K	Dojazd do skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, przejść dla pieszych, przejazdów kolejowych itp.	50	0,55
H2	Łuki poziome z dopuszczalną prędkością do 40 mil/h lub mniejszą dla R<100 m	20	0,60
L	Ronda	20	0,55

Na uwagę zasługuje stopniowanie wymagań na drogach kolejnych kategorii. Wbrew intuicyjnym odczuciom najniższe wymagania są na autostradach. Można to tłumaczyć ustabilizowanym ruchem pojazdów, choć odbywającym się z dużą prędkością, na drogach o dużych krzywiznach i właściwym nachyleniu jezdni. Inaczej traktowane są dojazdy do skrzyżowań, przejazdów kolejowych, przejść dla pieszych i rond, gdzie wymagania są zdecydowanie wyższe. Na uwagę zasługuje również zalecany sposób pomiaru na drogach różnych kategorii. Tak np. na drogach kategorii A, B i C zaleca się tworzenie miarodajnych wartości współczynnika tarcia z kolejnych odcinków drogi o długości 100 m każdy. Na drogach kategorii D, E, F, J i K zalecane są odcinki o długości 50 m, a dla kategorii L – 10 m. Wg informacji nadesłanej przez Ośrodek Transportu i Badań Drogowych w Crowthorne (TRL) – w Anglii nie stosuje się pomiaru współczynnika tarcia na nowych nawierzchniach.

Wychodzą z założenia, że użyte materiały i technologia wykonania nawierzchni, określone odpowiednimi normami, zapewniają wymagany poziom przyczepności. Na drogach głównych zarządzanych przez Państwową Agencję Dróg (HA) wykonują kontrolne badania przyczepności co 3 lata, głównie z użyciem urządzenia SCRIM, a na drogach regionalnych zarządzanych przez Hrabstwa, również z użyciem urządzenia Griptester.

5. Wybór odcinków badawczych i wykonanie serii pomiarów współczynnika tarcia i makrotekstury metodą objętościową

Procedura wykonywania pomiarów odbiorczych warstwy ścieralnej dróg publicznych określona została w punkcie 4. 2 załącznika nr 6 do Rozporządzenia [2]:

„4. 2. Pomiar wykonuje się nie rzadziej niż co 50 m na nawierzchni zwilżonej wodą w ilości 0.5 l/m², a wynik pomiaru powinien być przeliczony na wartość przy 100% poślizgu opony bezpieczeństwa rozmiaru 5.60 S x 13 (wg komentarza do Warunków Technicznych wydanego przez GDDP w 2000 r jest tu oczywisty błąd, powinno być „opony bezpieczeństwa rowkowanej o wymiarach 165 R 13). Miarą właściwości przeciwoślizgowych jest miarodajny współczynnik tarcia. Za miarodajny współczynnik tarcia przyjmuje się różnicę wartości średniej $E(\mu)$ i odchylenia standardowego D: $E(\mu) - D$.

Parametry miarodajnego współczynnika tarcia nawierzchni, wymagane po dwóch miesiącach od oddania drogi do użytkowania określa tablica 5.

Tablica 5. Wymagane poziomy miarodajnego współczynnika tarcia dla dróg publicznych w odniesieniu do opony F.O. Dębica o wymiarach 165 R 13

Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni			
		30 km/h	60 km/h	90 km/h	120 km/h
A	Pasy ruchu zasadniczego	0,52	0,46	0,42	0,37
	Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic	0,52	0,48	0,44	-
S, GP, G	Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza	0,48	0,39	0,32	0,30

Przytoczona wyżej procedura nie precyzuje warunków określania odchylenia standardowego, tzn. nie określa ani długości odcinka kontrolnego, na którym mają być wykonane pomiary nie rzadziej niż co 50 m, ani liczby niezbędnych powtórzeń. Można przyjąć, jak to jest zwykle praktykowane w badaniach dla SOSN, że podstawowym odcinkiem kontrolnym jest odcinek o długości 1 km, natomiast liczba powtórzeń pomiarów na odcinku kontrolnym powinna odpowiadać innym wymaganiom, np. wynikać z instrukcji użytkowania urządzenia SRT-3, jako jedyne urządzenie służące do badania przyczepności nawierzchni drogowych w Polsce.

Podana procedura nie precyzuje również, jakich miesięcy roku dotyczą przywołane, jako wymagane, poziomy miarodajnego współczynnika tarcia. Jest to sprawa bardzo ważna, ponieważ wiadomo, że współczynniki w miesiącach wczesnojesiennych i późnozimowych jest wyższy, niż w okresie letnim.

W klasyfikacji nawierzchni pod względem współczynnika tarcia stosuje się w Polsce, zgodnie z wytycznymi SOSN [17], tzw. miarodajny współczynnik tarcia. Pomiary wykonuje się aparatem SRT-3 przy prędkości $v = 60$ km/h w punktach co 100 m na odcinku jednego kilometra. Miarodajny współczynnik tarcia oblicza się ze wzoru:

$$\mu = \mu_{\text{sr}} - s$$

gdzie:

- μ - miarodajny współczynnik tarcia,
- μ_{sr} - wartość średnia współczynnika tarcia (z pomiarów),
- s - odchylenie standardowe wyników pomiaru współczynnika tarcia.

Klasyfikację nawierzchni pod względem współczynnika tarcia podano w tabelicy 6. Podobnie jak dla dróg publicznych wartości przeliczono dla opony gładkiej z obwodowymi rowkami.

Tablica 6 Klasyfikacja nawierzchni wg SOSN, pod względem właściwości przeciwoślizgowych

Klasa przyczepności wg SOSN	Wartości graniczne miarodajnego współczynnika przyczepności	Ocena stanu nawierzchni
A	powyżej 0,48	dobry
B	0,35 ÷ 0,48	zadowalający
C	0,29 ÷ 0,34	niezadowalający
D	0,28 lub mniej	zły

Procedura wykonywania pomiarów odbiorczych warstwy ścieralnej autostrad płatnych określona została w Rozporządzeniu [1]. Pomiary wykonywane są dwustopniowo: w pierwszej kolejności przeprowadza się badanie makrotekstury metodą objętościową, a następnie jeżeli jej wartość (TD) jest mniejsza niż wymagana dla nawierzchni, lecz znajduje się w przedziale określonym w tabelicy 7 wykonuje się dodatkowo pomiary współczynnika tarcia. Wymagania dla wartości współczynnika tarcia określone zostały w tabelicy 8. Wartości przeliczono dla opony gładkiej z obwodowymi rowkami.

Tablica 7. Wymagane poziomy makrotekstury warstwy ścieralnej

Element nawierzchni	Wartość TD, mm
Pasy ruchu zasadnicze i dodatkowe, pasy awaryjne	0,6 – 1,0
Pasy włączeń i wyłączeń, jezdnie łącznic i PPO	0,8 – 1,2
Jezdnie SPO	0,4 – 0,6

Tablica 8. Wymagane poziomy miarodajnego współczynnika tarcia w odniesieniu do opony F.O. Dębica (gładkiej z obwodowymi rowkami) o wymiarach 165 R 13

Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni			
	30 km/h	60 km/h	90 km/h	120 km/h
Pasy ruchu zasadnicze i dodatkowe, pasy awaryjne	0,62	0,52	0,44	0,37
Pasy włączeń i wyłączeń, jezdnie łącznic i PPO	0,63	0,55	0,48	-
Jezdnie SPO	0,59	0,48	-	-

Pomiary współczynnika tarcia na wytypowanych odcinkach drogowych przeprowadzono w różnych prędkościach. Zazwyczaj były to prędkości: 30, 60 i 90 km/h. Warunki drogowe nie sprzyjały rozwinięciu prędkości 120 km/h, a same pomiary przy tak dużej prędkości ruchu samochodu Ford Transit, z jednoczesnym hamowaniem opony testowej, były zbyt niebezpieczne. Badania przy prędkości zbliżonej do 120 km/h wykonano tylko na odcinku autostrady A2.

Pomiary wykonywano najczęściej co 50 m, co stwarzało pewne trudności przy prędkości 90 km/h. W tym przypadku zachodziła konieczność wykonywania pomiarów co 100 m drogi – z przesunięciem względnym punktów pomiarowych o 50 m. Wszystkie pomiary wykonano na pasach ruchu zasadniczego, a więc uzyskane wyniki pomiarów mogą być porównywane tylko z wartościami miarodajnych współczynników tarcia, które tych pasów dotyczą.

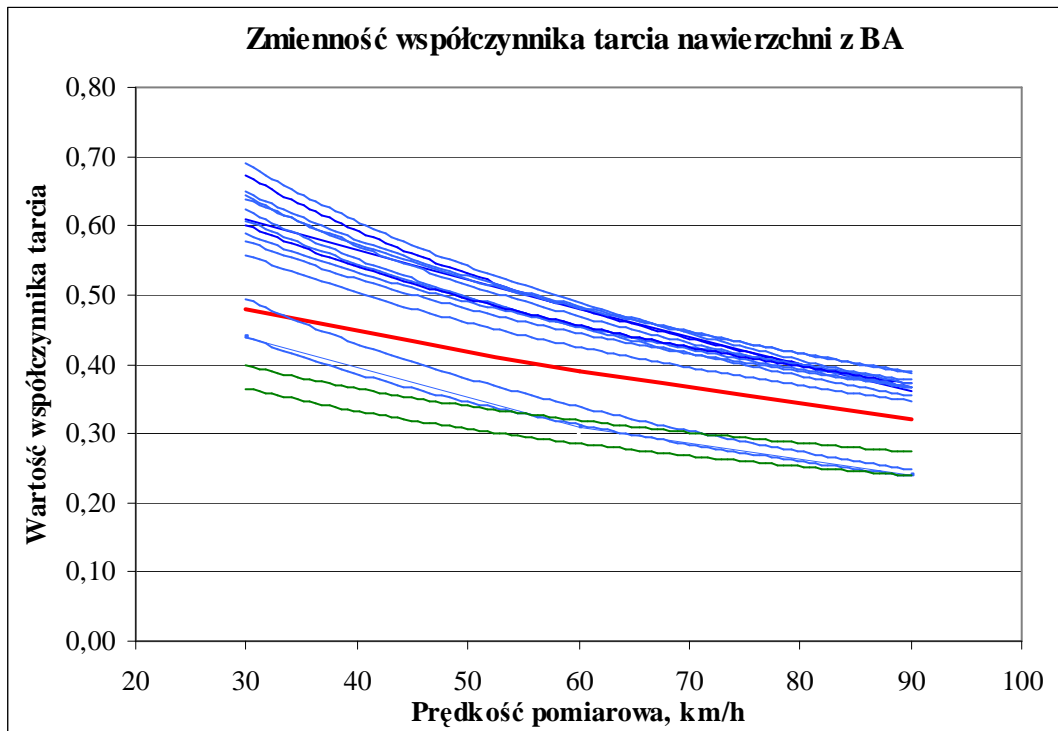
W tablicy 9 podano uśrednione wyniki pomiarów dla każdego odcinka badawczego (po stronie lewej i prawej) oraz dla różnych prędkości pomiarowych, sprowadzone do współczynnika miarodajnego $E(\mu) - D$. Liczba pomiarów uzależniona była od długości odcinka i możliwości prowadzenia badania (np. w mieście przejazd między skrzyżowaniami). Zazwyczaj wykonywano 20 pomiarów w każdej prędkości. W ostatniej kolumnie tablicy 8 podano pomierzone na badanych odcinkach wartości tekstury MTD. Wszystkie wyniki pomiarów wykonanych na oponie Barum Bravuris zostały przeliczone do poziomu własności ciernych opony gładkiej z obwodowymi rowkami o wymiarach 165 R 13.

Tablica 9. Wartości miarodajnych współczynników tarcia na odcinkach badawczych, sprowadzone do poziomu opony gładkiej z obwodowymi rowkami o wymiarach 165 R 13

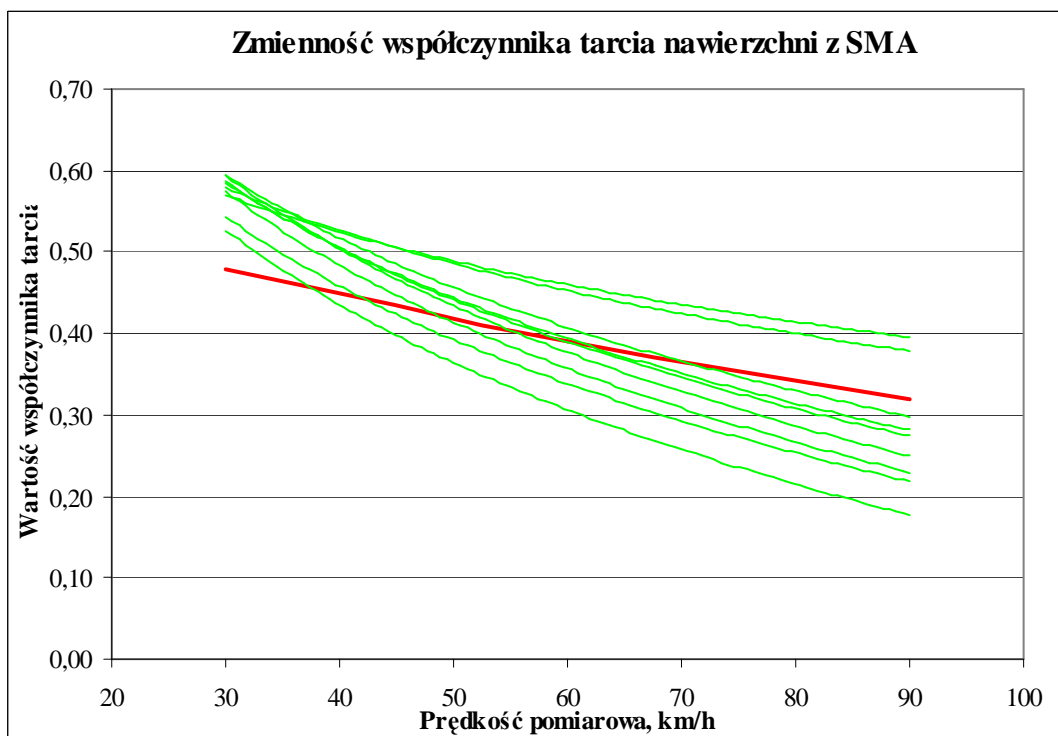
Numer odcinka i technologia		Miarodajny współczynnik tarcia						Tekstura MTD
		Strona lewa			Strona prawa			
		30 km/h	60 km/h	90 km/h	30 km/h	60 km/h	90 km/h	
1	BA	0,64	0,48	0,39	0,65	0,48	0,39	0,29
2	BA	0,64	0,44	0,38	0,65	0,45	0,38	0,35
3	CWZ	0,58	0,46	0,42	0,59	0,47	0,42	0,84
4	CWZ	0,57	0,46	0,40	0,58	0,47	0,40	1,09
5	SMA	0,60	0,36	0,26	0,58	0,34	0,24	0,61
6	SMA	0,55	0,32	-	0,54	0,27	-	0,68
7	BA	0,62	0,46	0,35	0,61	0,48	0,36	0,25
8	BA	0,49	0,35	0,24	0,44	0,31	0,24	0,30
9	SMA	0,59	0,38	0,29	0,58	0,38	0,28	0,52
10	PU	0,56	0,48	0,43	0,57	0,49	0,45	1,05
11	PU	0,48	0,37	0,31	0,52	0,42	0,35	0,61
12	PU	0,61	0,50	-	0,62	0,49	-	1,64
13	BA	0,59	0,45	0,38	0,56	0,42	0,35	0,52
14	BA	0,60	0,46	0,37	0,58	0,44	0,37	0,45
15	CWZ	0,62	0,52	0,46	0,63	0,53	0,47	0,72
16	CWZ	0,65	0,52	0,48	0,65	0,53	0,49	0,76
17	BA	0,68	0,46	0,38	0,70	0,46	0,39	0,52
18	BA	0,61	0,40	0,33	0,61	0,40	0,33	0,33
19	SMA	-	0,42	-	-	-	-	0,45
20	SMA	-	0,37	-	-	-	-	0,48
21	SMA	-	0,36	-	-	-	-	0,56
22	SMA	0,59	0,38	0,28	0,59	0,42	0,29	0,62
23	SMA	0,58	0,45	0,38	0,57	0,46	-	0,55
24	BA	0,61	0,45	0,37	-	-	-	0,60
25	BA	-	-	-	-	0,58	-	0,61
26	BA	-	-	-	-	0,51	-	0,56
27	Beton	0,39	0,34	0,26	0,36	0,30	0,23	-
28	BA	-	0,64	-	-	-	-	-
29	SMA	-	0,48	-	-	-	-	-
30	SMA	-	0,50	-	-	-	-	-

6. Analiza wyników badań

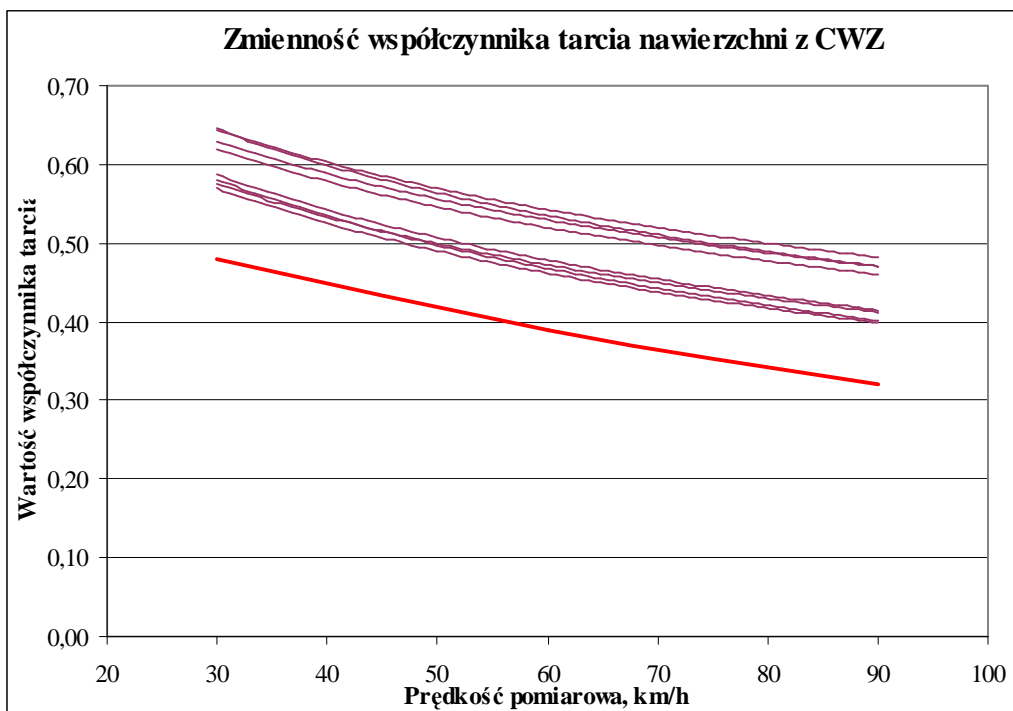
Ilustrację graficzną zbiorów wyników zebranych w tabelicy 9 przedstawiają rysunki 3, 4, 5 i 6.



Rys. 3. Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii BA z wymaganiami dla dróg publicznych

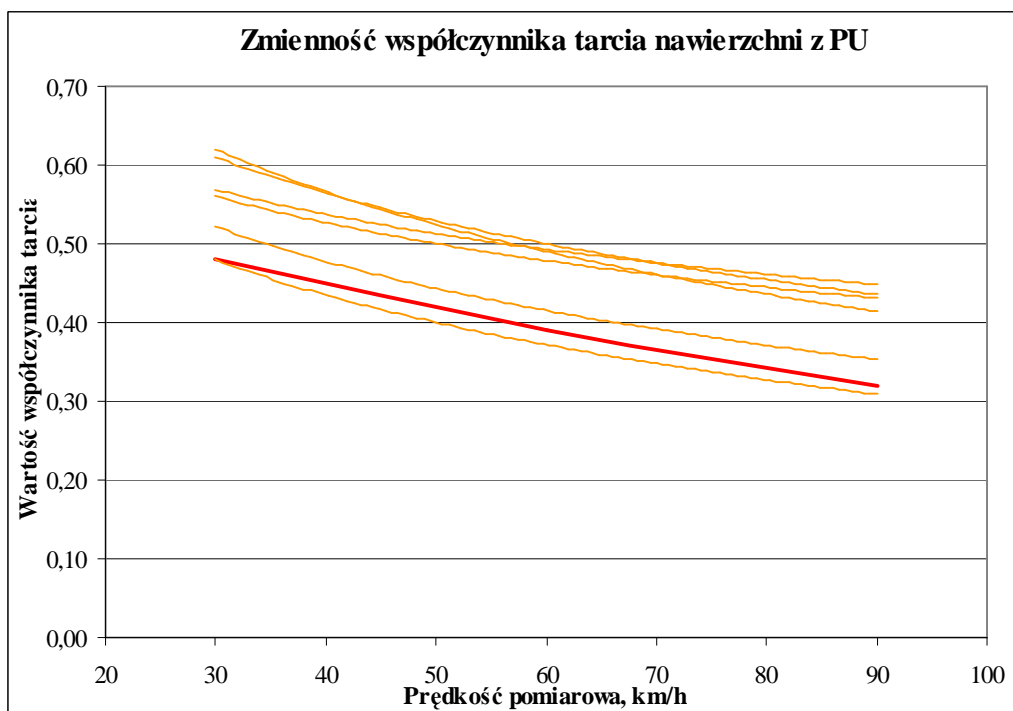


Rys. 4. Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii CWZ z wymaganiami dla dróg publicznych



Rys. 5 Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii SMA z wymaganiami dla dróg publicznych

Na przedstawionych rysunkach linią czerwoną zaznaczono krzywą zmienności współczynnika tarcia w zależności od prędkości pomiarowej, odpowiadającą wymaganiom wg [2]. Na rysunku 3 kolorem zielonym zaznaczono dodatkowo wyniki pomiarów wykonanych na odcinku z nawierzchnią z betonu cementowego.



Rys. 6. Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii PU z wymaganiami dla dróg publicznych

Spośród odcinków wykonanych w technologii BA tylko w trzech przypadkach miarodajny współczynnik tarcia nie mieścił się w granicach progowych określonych przez Rozporządzenie [2]. Można powiedzieć, że dla tej technologii wykonania nawierzchni badanych odcinków drogowych wymagana charakterystyka $\mu=f(v_s)$ tylko w niewielkim stopniu jest zbyt płaska (zbyt mały gradient spadku współczynnika tarcia w funkcji prędkości poślizgu). W przedziale prędkości 60 – 90 km/h wykresy współczynników tarcia nawierzchni z betonu asfaltowego są równoległe do funkcji opisanej przez wymagania [2].

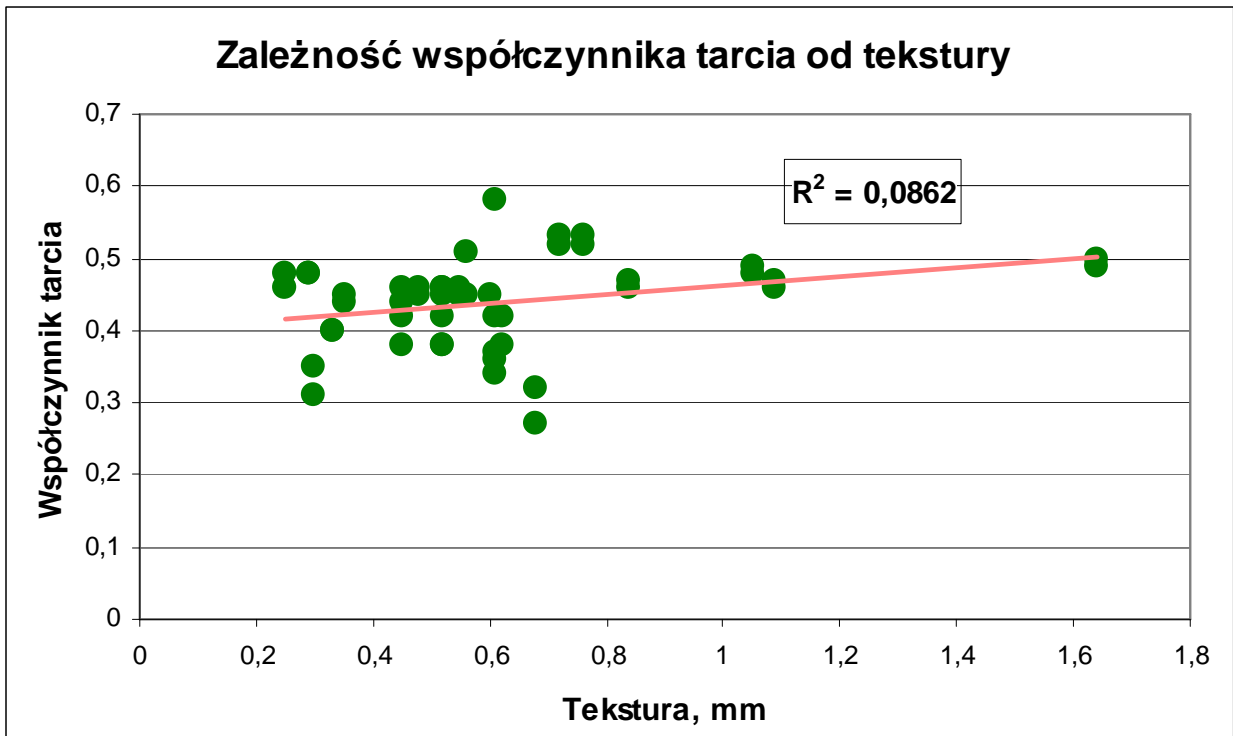
Cztery badane odcinki drogowe wykonane w technologii CWZ cechuje bardzo duży współczynnik tarcia, a wykresy charakteryzujące zmienność współczynnika tarcia w funkcji poślizgu są prawie równoległe do charakterystyki wymaganej w Rozporządzeniu. To samo można powiedzieć o odcinkach drogowych wykonanych w technologii PU.

Odmienny przebieg charakterystyk $\mu=f(v_s)$ występuje na nawierzchniach wykonanych w technologii SMA. Charakterystyka wg wymagań [2] przecina prawie wszystkie krzywe zmienności współczynnika tarcia, zawierające rzeczywiste wyniki pomiarów. Wyjątek stanowią odcinki wykonane w technologii SMA, na których dokonano zabiegu uszorstnienia drobnym grysem podczas zagęszczania mieszanki. Charakterystyki dla tych odcinków są równoległe do krzywej opisującej wymagania, a wartości są wyższe od progowych.

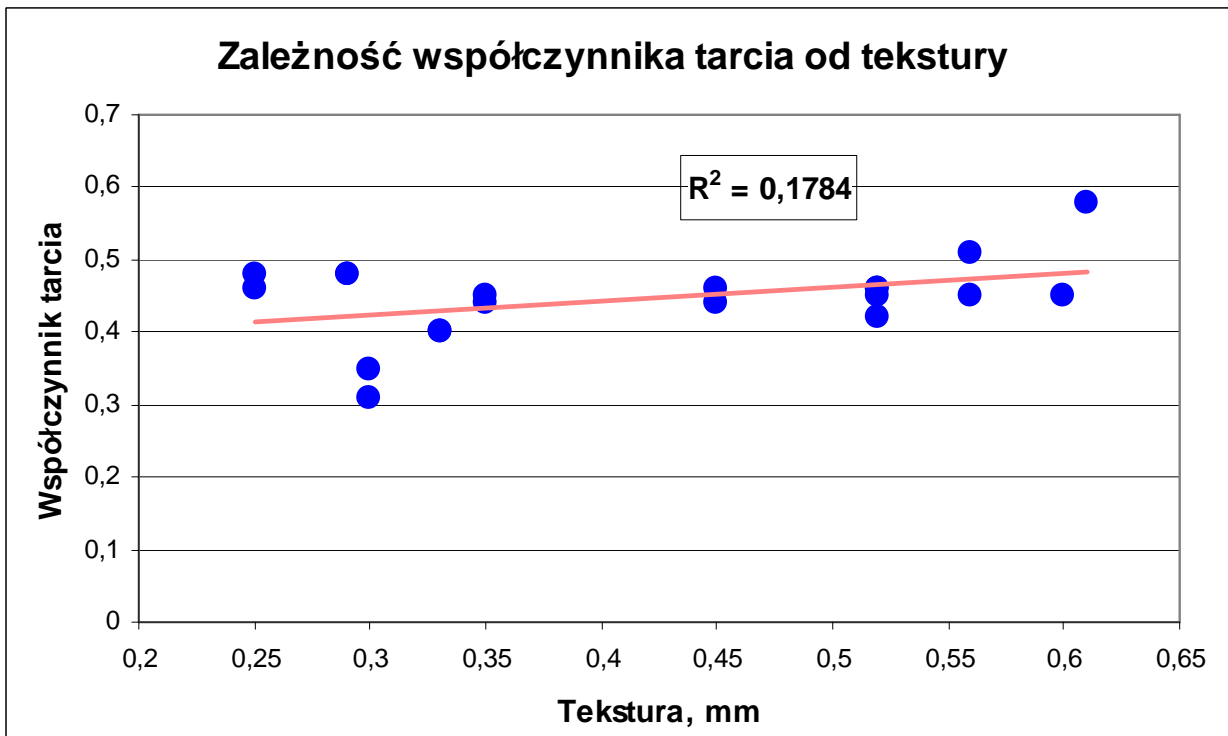
Analiza rysunków 3, 4, 5 i 6 oraz wyników pomiarów zestawionych w tablicy 9 prowadzi do wniosku, że zdecydowana większość (ok. 75% odcinków) spełnia wymagania stawiane w [2]. Potwierdza również obserwacje francuskie – najlepsze właściwości przeciwpoślizgowe mają warstwy o nieciąglym uziarnieniu kruszywa. Wśród odcinków, które nie spełniły wymagań przeważają głównie nawierzchnie z mastyksu grysowego SMA. Wymagają one zabiegów polepszających właściwości przeciwpoślizgowe w celu zwalczania „śliskości powykonalawczej”. Trudności w osiągnięciu dobrych właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni z SMA nie powinny być jednak przesłanką do obniżania wymagań. Konieczność ich spełnienia wymusi na wykonawcach dbałość o prawidłowe wykonywanie warstwy ścieralnej w technologii SMA – z uszorstnieniem drobnym grysem.

Reasumując, wyniki pomiarów współczynnika tarcia na nowych nawierzchniach o różnych technologiach wykonania warstwy ścieralnej wskazują, że wartości progowe ustanowione w [2] są możliwe do spełnienia i mogą być podstawą do opracowania nowych procedur pomiarowych i wymagań dotyczących właściwości przeciwpoślizgowych. Zgodność charakterystyk zmienności współczynnika tarcia w funkcji prędkości z krzywą opisaną przez wartości progowe rozporządzenia [2] skłaniają do rezygnacji z wykonywania pomiarów odbiorczych w różnych prędkościach i przyjęcia jednej, która zależała będzie od klasy drogi.

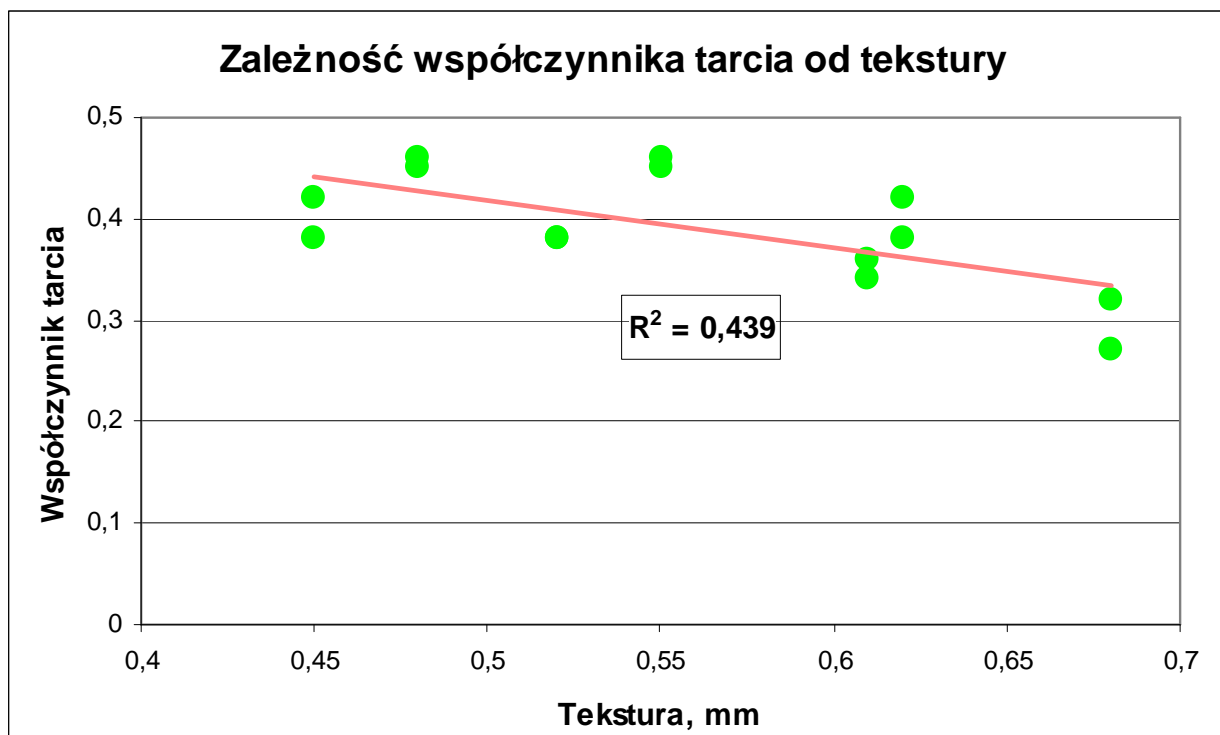
Wykorzystując wyniki przeprowadzonych badań wykonano również analizę zależności wartości współczynnika tarcia od wielkości tekstury mierzonej metodą objętościową. Zależności te przedstawiają rysunki 7 – 11.



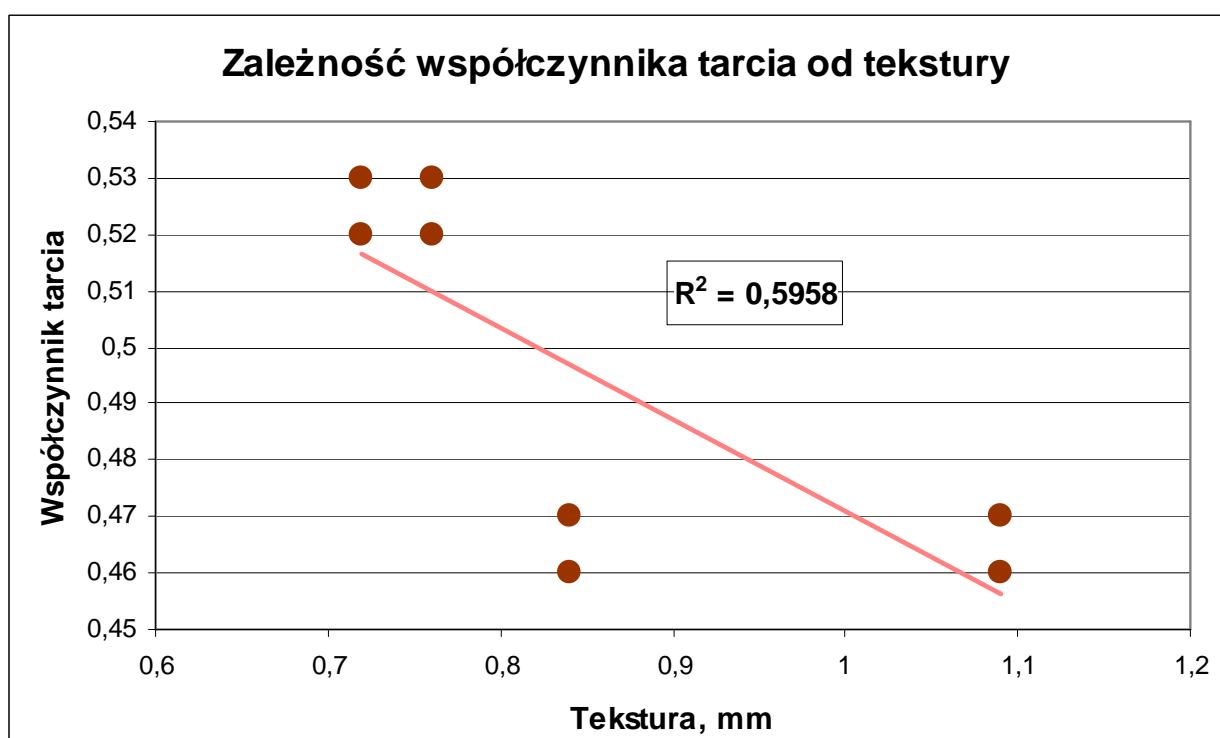
Rys. 7. Zależność współczynnika tarcia od tekstury nawierzchni – wszystkie odcinki



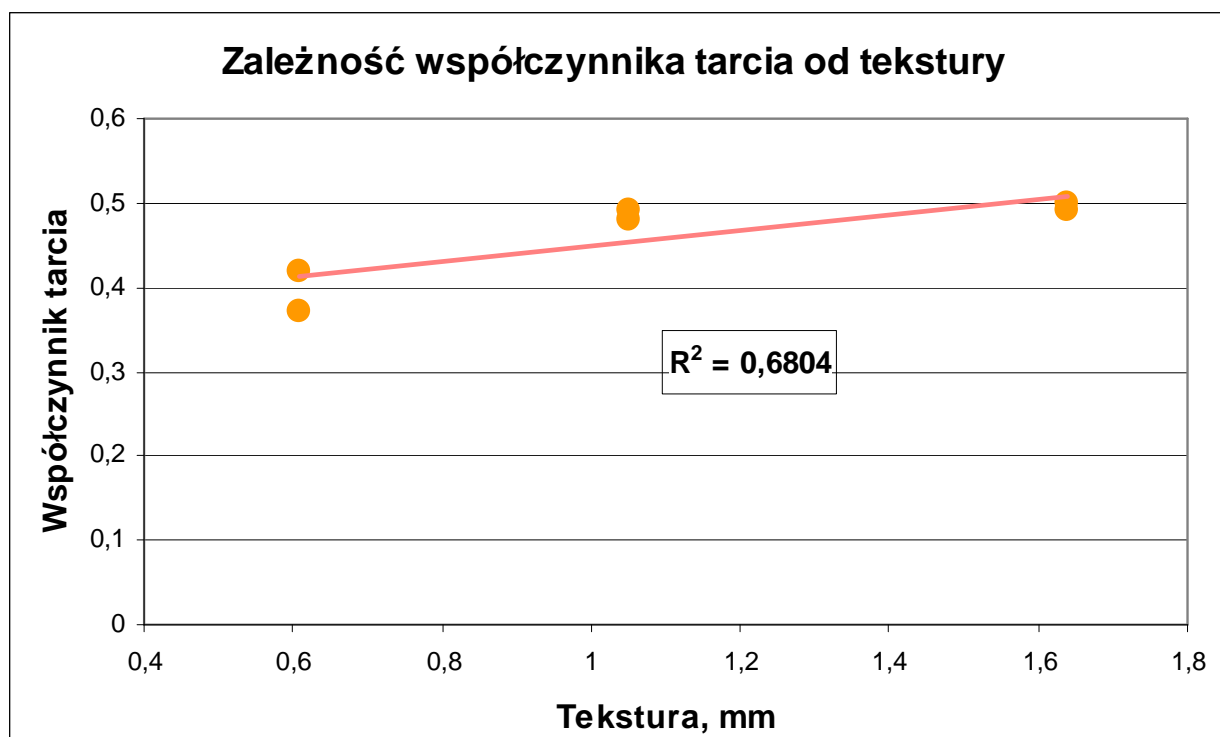
Rys. 8. Zależność współczynnika tarcia od tekstury nawierzchni – odcinki BA



Rys. 9. Zależność współczynnika tarcia od tekstury nawierzchni – odcinki SMA



Rys. 10. Zależność współczynnika tarcia od tekstury nawierzchni – odcinki CWZ



Rys. 11. Zależność współczynnika tarcia od tekstury nawierzchni – odcinki PU

Jak widać z przedstawionych wykresów, brak jest ścisłej zależności wielkości współczynnika tarcia od makrotekstury nawierzchni. Otrzymane wartości współczynnika korelacji R są bardzo niskie i nie skłaniają do stosowania tych dwóch badań zamiennie. Najwłaściwsze wydaje się więc zrezygnowanie z pomiarów tekstury w przypadku oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni autostrad płatnych.

Oceniając wyniki pomiarów współczynnika tarcia wykonanych na odcinkach 24, 25, 26, 28, 29 i 30, tzn. na odcinkach autostrad płatnych należy stwierdzić, że w niektórych przypadkach wymagania stawiane w rozporządzeniu [1] są trudne do spełnienia. Na odcinkach autostrady A-4 (odcinki 29 i 30) wykonanych w technologii SMA z uszorstnieniem otrzymano wartości 0,48 i 0,50 czyli spełniono wymagania wg [2] (0,46), natomiast nie osiągnięto wartości wymaganych w [1] (0,52). Na podobne trudności napotkano podczas odbiorów nowych odcinków autostrady A-2. Wartości współczynnika tarcia na „świeżych” nawierzchniach (odcinki 24 i 26) również były na granicy spełnienia wymagań. Dopiero ponowne pomiary, po kilku miesiącach po oddaniu odcinków autostrady do ruchu otrzymano znacznie wyższe wartości współczynnika tarcia, spełniające wymagania dla autostrad płatnych.

Analiza pomiarów na odcinkach autostrad prowadzi do wniosku, że wartości wymagań ustanowione w rozporządzeniu [2] są na odpowiednim poziomie, zapewniającym bezpieczeństwo użytkowników. Zwiększanie wymagań zmusza wykonawców do stosowania gruboziarnistych kruszyw do warstwy ścieralnej. Powoduje to z kolei trudności w osiągnięciu odpowiedniej szczelności tej warstwy, a co za tym idzie do obniżenia jej odporności na czynniki atmosferyczne i środki odladzające, czyli trwałości.

7. Propozycje zmian wymagań i procedur pomiarowych oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni dróg publicznych i autostrad płatnych

Porównanie przepisów technicznych dotyczących autostrad płatnych [1] oraz dróg publicznych [2] w części dotyczącej autostrad wskazuje na brak racjonalnego wytłumaczenia różnic jakie występują między procedurami i wymaganiami dotyczącymi właściwości przeciwpoślizgowych w obu rozporządzeniach. Przepisy określające:

a) parametry techniczne autostrady:

- prędkość projektową,
- szerokość pasów ruchu,
- pochylenie poprzeczne,
- pochylenie niwelety jezdni,
- największą długość odcinka prostego,
- najmniejszą długość odcinka prostego między odcinkami krzywoliniowymi o zgodnym kierunku zwrotu,
- promień łuku kołowego w planie,
- promień krzywej wypukłej i wklęsłej,

b) bezpieczeństwo użytkownika:

- rozmieszczenie wjazdów i zjazdów z autostrady,
- wyposażenie w urządzenia zapobiegające wejściu na pas drogowy osób niebędących jej użytkownikami oraz zwierząt,

c) wymagania widoczności,

są jednakowe w obu rozporządzeniach. Zgodność przepisów występuje również w ocenie równości podłużnej badanej metodą profilometryczną. W przypadku oceny równości poprzecznej nieco łagodniejsze warunki stawiane są drogom publicznym. Dopuszcza się większe o ok. 1 mm nierówności niż dla autostrad płatnych. Należy jednak pamiętać, że warunki równości poprzecznej w [2] zostały ustalone również dla dróg o niższej niż dla autostrady klasie technicznej (S i GP) i stąd może wynikać to niewielkie złagodzenie wymagań.

Jak widać z powyższego przepisy techniczne związane z bezpieczeństwem ruchu na autostradach płatnych i autostradach publicznych są takie same. Dlatego też proponuje się **przyjęcie w obu rozporządzeniach [1] i [2] jednakowych procedur wykonywania oceny właściwości przeciwpoślizgowych oraz wymagań.**

Zmiany i uściślenia wymaga opis procedury wykonywania pomiarów współczynnika tarcia, ponieważ urządzenia opisane w obu rozporządzeniach zostały wycofane z użycia (zmiana opon testowych). Wartości progowe należy przeliczyć do wartości otrzymywanych na oponie Barum Brawura, stosując przelicznik 1,079. Współczynnik przeliczeniowy wyznaczono na podstawie prac badawczych realizowanych na zlecenie Biura Studiów Sieci Drogowej GDDP [13], [23] i [24]. Obecnie stosowana jest w pomiarach opona Barum Bravuris, wybrana w efekcie realizacji pracy [25]. Aktualne oprogramowanie sterujące urządzeniem SRT-3 oraz archiwizujące wyniki umożliwia zapis wartości w przeliczeniu na oponę Barum Brawura.

Analizy wykonane w pkt. 6 wskazują również na potrzebę:

- przyjęcia jednej prędkości pomiarowej dla poszczególnych kategorii dróg i ustalenia dla niej wymagań dotyczących wartości współczynnika tarcia,
- przyjęcia jako podstawy do opracowania nowych wymagań dotyczących współczynnika tarcia wartości progowych ustanowionych w rozporządzeniu [2],
- rezygnacji z pomiarów makrotekstury nawierzchni jako podstawy oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni autostrad płatnych,

Ponadto, odpowiadając na uwagi zgłaszane przez Laboratoria Drogowe w sprawie pomiarów odbiorczych właściwości przeciwpoślizgowych proponuje się:

- określić warunki termiczne przy wykonywaniu pomiarów współczynnika tarcia, na podstawie wyników pracy [26],
- opisać tryb postępowania w przypadku pomiarów krótkich odcinków do 500 m oraz odcinków w obrębie skrzyżowań, na których właściwości przeciwpoślizgowe stanowią istotny parametr bezpieczeństwa,

Uwzględniając wszystkie uwagi opisane powyżej proponuje się następujące zapisy w rozporządzeniach:

Przy ocenie właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogi klasy G i dróg wyższych klas powinien być określony współczynnik tarcia na mokrej nawierzchni przy całkowitym poślizgu opony testowej.

Pomiar wykonuje się przy temperaturze otoczenia nie niższej niż 5°C, nie rzadziej niż co 50 m na nawierzchni zwilżanej wodą w ilości 0,5 l/m², a wynik pomiaru powinien być przeliczalny na wartość przy 100% poślizgu opony Barum Brawura rozmiaru 185/70 R14. Miarą właściwości przeciwpoślizgowych jest miarodajny współczynnik tarcia. Za miarodajny współczynnik tarcia przyjmuje się różnicę wartości średniej $E(\mu)$ i odchylenia standardowego D : $E(\mu) - D$. Długość odcinka podlegającego odbiorowi nie powinna być większa niż 1000 m. Liczba pomiarów na ocenianym odcinku nie powinna być mniejsza niż 10. W przypadku odbioru odcinka nawierzchni na dojeździe do skrzyżowania poszczególne wyniki pomiarów współczynnika tarcia na długości 200 m przed skrzyżowaniem powinny być nie niższe niż 0,42.

Parametry miarodajnego współczynnika tarcia nawierzchni wymagane po dwóch miesiącach od oddania drogi do użytkowania określa tabela:

Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni	
		60 km/h	90 km/h
A	<i>Pasy ruchu zasadniczego</i>	-	0,45
	<i>Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic</i>	0,52	-
S, GP, G	<i>Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza</i>	0,42	-

Proponuje się jednocześnie, analogicznie jak ma to miejsce w [27], następujące podejście do kwestii terminu realizacji pomiarów po wykonaniu nawierzchni:

Jeżeli pomiar bezpośrednio po wykonaniu nawierzchni wykaże, iż nie spełnia ona wymagań to wykonawca gwarantuje, że po dwóch miesiącach od oddania drogi do użytkowania współczynnik tarcia będzie odpowiedni. Gdyby tak jednak nie było, w ramach gwarancji wykonawca dokonuje poprawy właściwości przeciwpoślizgowych warstwy ścieralnej. Jeżeli warunki atmosferyczne uniemożliwiają wykonanie pomiaru w wymienionym terminie, powinien być on zrealizowany z najmniejszym możliwym opóźnieniem.

Bibliografia

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16.01.2002r w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych. Dziennik Ustaw nr 12, poz. 116
- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999r w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw nr 43, Poz. 430
- [3] Antle Ch., Wambold J., Henry J.J.: International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid-Resistance Measurements. PIARC Technical Committee on Surface Characteristics C1, 1995
- [4] Czarnecki K., Szpinek S.: Monitoring szorstkości nawierzchni drogowych na sieci dróg krajowych w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. IBDiM, 1994
- [5] Fortuna E., Szwabik B.: Badania przyczepności nawierzchni drogowych. Prace IBDiM 4/1985
- [6] Rafalski L., Godlewski D., Czarnecki K.: Porównanie metod pomiarowych współczynnika przyczepności i tekstury nawierzchni - eksperyment międzynarodowy. Drogownictwo 5/1993
- [7] Klim M., Szczęsna J., Szrajber W.: Wstępna analiza wyników pomiarów współczynnika przyczepności wybranych odcinków sieci dróg państwowych. Prace IBDiM 3/1993
- [8] Sybilski D., Mechowski T., Hanula W.: Zalecenia doboru technologii wykonania warstwy ścieralnej nawierzchni asfaltowych ze względu na jej właściwości przeciwpoślizgowe. IBDiM na zlecenie GDDP. Warszawa 1997
- [9] Sybilski D., Mechowski T., Zawadzki J.: Weryfikacja stosowania kruszywa dolomitowego w warstwie ścieralnej nawierzchni ze względu na jej właściwości przeciwpoślizgowe. IBDiM na zlecenie GDDP. Warszawa 1999
- [10] Brosseaud Y., Delalande G.: Performances d'adhérence des revêtements des chaussées françaises. IV Symposium International SURF 2000. Nantes – France
- [11] Schellenberger M.: Die Herstellung dauerhafter Griffigkeit in der Praxis. Strasse + Autobahn 11-2003
- [12] Fortuna E., Szwabik B.: Nowa generacja urządzeń do badania przyczepności nawierzchni drogowych. Prace IBDiM 1/1986
- [13] Mechowski T.: Praca naukowo-badawcza związana z potrzebą unowocześnienia czterech zestawów do badania przyczepności nawierzchni poprzedniej generacji tzw. SRT-2. IBDiM, 1996

- [14] Szwabik B., Pokorski J.: Przesłanki teoretyczne a techniczne środki pomiaru współczynnika przyczepności nawierzchni drogowych. Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników spalinowych, Zeszyt 8, Polska Akademia Nauk, Kraków 1996
- [15] Szwabik B., Pokorski J., Hanula W.: Zestawy pomiarowe SRT-3. Podstawowe urządzenia do badania przyczepności nawierzchni drogowych w Polsce. Seminarium naukowo-techniczne „Diagnostyka i ocena stanu dróg”. Polska Akademia Nauk, Politechnika Szczecińska, 1997.
- [16] Wojdanowicz S., Fortuna E., Zapaśnik W.: Pomiar i ocena parametrów nawierzchni drogowych wpływających na ich stan techniczny. Prace IBDiM 4/1987
- [17] System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN”, Wytyczne stosowania. GDDP, 2002
- [18] Wojdanowicz S.: Ocena szorstkości nawierzchni za pomocą piasku kalibrowanego. Prace IBDiM 4/1977
- [19] Wojdanowicz S.: Instrukcja pomiaru tekstury nawierzchni za pomocą piasku kalibrowanego. Prace IBDiM 4/1977
- [20] PN-EN 13036-1 „Cechy powierzchniowe nawierzchni dróg i lotnisk. Metody badań – Część 1. Oznaczenie głębokości makrotekstury przy użyciu techniki objętościowej
- [21] Zawadzki J.: Polerowalność grysów z różnych rodzajów skał. Zbiór referatów z II Międzynarodowej Konferencji „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”. Kielce 1996
- [22] Mechowski T.: Zbieranie danych o wypadkach spowodowanych niedostateczną szorstkością nawierzchni drogowych. Praca własna IBDiM. Warszawa 1997
- [23] Mechowski T., Pokorski J., Szwabik B., Kowalski L.: Badanie opon handlowych w celu wyboru nowej opony testowej do zestawu SRT-3”, IBDiM, 1999 rok
- [24] Mechowski T., Szwabik B.: Opracowanie projektu aneksu nr 4 do wytycznych Systemu Oceny Stanu Nawierzchni pt.: „Szorstkość – zasady pomiaru i oceny stanu”, IBDiM, 2001 rok
- [25] Mechowski T., Borucki R., Gryczewski A.: Testowanie opon do badań właściwości przeciwpoślizgowych, IBDiM, 2003 rok
- [26] Mechowski T., Szwabik B., Sudyka, J. Hanula W., Borucki R., Gryczewski A., Kowalski A.: Badania poznawcze wpływu sezonowości i warunków zewnętrznych na zmienność współczynnika tarcia nawierzchni drogowych, IBDiM, 2002 rok
- [27] Sandecki T. i inni: Komentarz do warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Transprojekt-Warszawa, 2003 rok

ZAŁĄCZNIK

Wyniki pomiarów współczynnika tarcia
i makrotekstury nawierzchni
na wybranych odcinkach testowych