

**Instytut Badawczy Dróg i Mostów  
Zakład Diagnostyki Nawierzchni**

## **S P R A W O Z D A N I E**

z pracy pt.:

„Analiza polskich przepisów dotyczących właściwości  
przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych w świetle wymagań  
obowiązujących w krajach europejskich”

Praca wykonana na zlecenie  
Instytutu Badawczego Dróg i Mostów

Wykonawcy:

mgr inż. Tomasz Mechowski  
inż. Beata Krzysztofowicz  
Radosław Borucki

Kierownik Zakładu

mgr inż. Tomasz Mechowski

Warszawa, luty 2002

## **Zakres pracy**

1. Porównanie metod pomiarowych stosowanych w różnych krajach i w Polsce oraz wymagań dotyczących właściwości przeciwpoślizgowych
2. Wytypowanie odcinków badawczych
3. Wykonanie serii pomiarów na odcinkach badawczych według procedury przyjętej w Rozporządzeniu MTiGM z dnia 2 marca 1999 roku
4. Analiza wyników pomiarów
5. Sformułowanie wniosków co do zasadności przyjętych w Rozporządzeniu wartości progowych oraz procedury pomiarowej
6. Opracowanie propozycji aktualizacji metody pomiarowej i wymagań wobec wartości współczynnika tarcia.

Spis treści	str.
1. Wstęp .....	4
2. Porównanie metod pomiarowych stosowanych w różnych krajach i w Polsce .....	5
3. Porównanie wymagań dotyczących właściwości przeciwpoślizgowych w różnych krajach i w Polsce .....	9
4. Wybór odcinków badawczych .....	14
5. Wykonanie serii pomiarów na odcinkach badawczych według procedury przyjętej w Rozporządzeniu MTiGM z dnia 2 marca 1999 roku .....	15
6. Analiza wyników pomiarów .....	17
7. Ocena przyjętych w Rozporządzeniu wartości progowych oraz procedury pomiarowej .....	22
8. Wnioski i propozycje w sprawie aktualizacji metody pomiarowej i wymaganych wartości współczynnika tarcia .....	23
Załączniki .....	24

## 1. Wstęp

Polskie przepisy zawierające wymagania względem właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych budzą wiele wątpliwości zarówno co do wymaganych procedur pomiarowych jak i możliwości spełnienia tych wymagań. Podnoszony jest szczególnie, jako aktualnie nierealny, postulat prowadzenia pomiarów współczynnika tarcia przy 4 prędkościach pomiarowych, w tym przy prędkości 120 km/h. Taka prędkość pomiarowa jest po prostu niebezpieczna, głównie wobec zagrożeń ze strony innych uczestników ruchu drogowego

Propozycje w tej sprawie są przedstawione we wnioskach.

Pewne światło na omawianą problematykę może rzucić porównanie naszych wymagań i kryteriów oceny z podobnymi wymaganiami zagranicznymi. Być może kluczem do tych problemów będzie porównanie metod, urządzeń i warunków pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni w Polsce i zagranicą.

W niniejszej pracy dużo miejsca zajmuje weryfikacja istniejącej metodyki badań własności przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych, wynikająca bezpośrednio z obowiązującego Rozporządzenia Ministra w tym zakresie.

Wybór odcinków drogowych, metodyka pomiarów, zakres przeprowadzonej analizy oraz wynikające stąd wnioski zawarte są w dalszej części sprawozdania.

W tym miejscu należy podkreślić fakt o zasadniczym znaczeniu dla całej sprawy: - jedyne urzędzeniami do badania przyczepności (współczynnika tarcia nawierzchni) w Polsce są wdrożone przez IBDiM zestawy pomiarowe SRT-3. Rzutuje to w określony sposób na możliwość zastosowania metodykę pomiarów i na poziom rejestrowanych współczynników tarcia nawierzchni.

## 2. Porównanie metod pomiarowych stosowanych w różnych krajach i w Polsce

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

### 1<sup>0</sup> - Urządzenia mierzące współczynnik przyczepności poprzecznej (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 przyczepności (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 (wymienione poniżej) mierzy siłę poprzecznego naporu, na jaki napotyka koło pomiarowe swobodnie toczone, odchylone od kierunku ruchu o pewien kąt  $\alpha$ . 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 przyczepności pomierzone urządzeniem SCRIM przy prędkości  $v=60$  km/h odpowiadają wynikom pomiarów dokonanym 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 – patrz p. 4<sup>0</sup>).

**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<sup>0</sup> - Urządzenia mierzące współczynnik przyczepności wzdłużnej 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 przyczepności obwodowej (wzdłużnej) – 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)<br>(w jednej z opcji pomiarowych)           | s = 20% |
| - Skiddometer BV-11 (Szwecja, Słowacja)  | s = 18% |
| - Stuttgarter Reibungsmesser (Niemcy, Szwajcaria)<br>( w jednej z opcji pomiarowych) | s = 20% |
| - Norsemeter Oskar (Norwegia)<br>(w jednej z opcji pomiarowych)                      | 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<sup>0</sup> - Urządzenia mierzące współczynnik przyczepności w warunkach zmiennego poślizgiem 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-4, ale pracujące na zupełnie innej zasadzie, o czym będzie mowa w p. 4<sup>0</sup>.

**Do tej grupy urządzeń pomiarowych zaliczamy:**

- |  |              |
|--|--------------|
| - Norsemeter Oskar (Norwegia)<br>(w jednej z opcji pomiarowych)            | s = 5 – 95%  |
| - Petra (Niemcy)<br>(na prawach prototypu – nie zdało egzaminu w praktyce) | s = 0 – 100% |

4<sup>0</sup> - **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 przyczepności odpowiada klasycznej definicji tarcia (koło pomiarowe się nie obraca)

$$\mu = \frac{F}{Q} \cong \frac{F}{Q_0} \quad (1)$$

wg której siłę tarcia F, rozwijaną między kołem pomiarowym a nawierzchnią drogi porównuje się z reakcją statyczną Q<sub>0</sub>.

**Do tej grupy urządzeń pomiarowych zaliczamy**

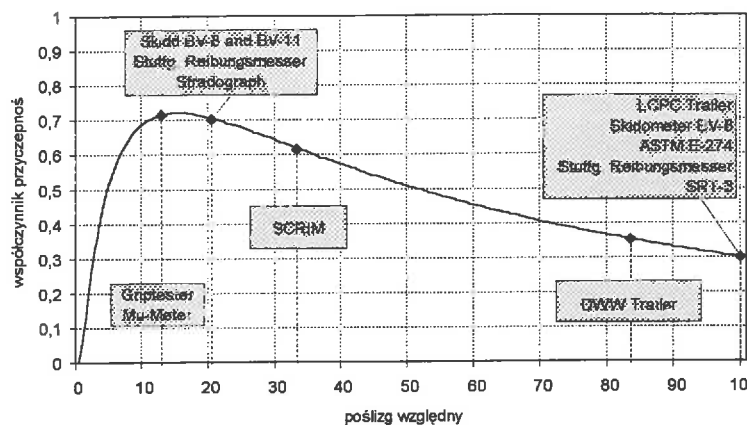
- LCPC Adhera (Francja)
- Stuttgarter Reibugsmesser (Niemcu, Szwajcaria) (w jednej z opcji pomiarowych)
- Skiddometer BV-8 (Szwecja, Szwajcaria) (w jednej z opcji pomiarowych)
- ASTM E – 274 (USA, stosowany również w Anglii i we Francji)
- Skid Resistance Tester (SRT-3) (Polska, Litwa)

**Porównując wymienione grupy urządzeń pomiarowych należy podkreślić**, że odmienne warunki pomiaru (głównie poślizgu) powodują, iż każde z tych urządzeń ocenia (mierzy) współczynnik przyczepności 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. Choć formalnie jest ono klasyfikowane jako urządzenie mierzące współczynnik przyczepności 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 przyczepności przy tych wartościach poślizgu, przy których pracują wszystkie inne urządzenia pomiarowe.



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

Przedstawione omówienie urządzeń badawczych ze względu na metodę pomiaru współczynnika przyczepności - stosowanych w Europie - 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 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.

Polskie urządzenie pomiarowe, opisane w kilku publikacjach, w tym w Sprawozdaniu z realizacji pracy zleconej dla GDDP wg umowy nr 17/2001 z dnia 22.05.2001, w jednej z opcji oprogramowania umożliwia wyznaczanie granicznych wartości współczynnika przyczepności: maksymalnej  $\mu_{max}$  (Peak Friction), przy częściowym poślizgu i „minimalnej”  $\mu_{100\%}$  - przy pełnej blokadzie koła pomiarowego, co jest zgodne z postulatem projektu normy ISO/DIS/8349 w sprawie metod badania opon i nawierzchni drogowych.



### 3. Porównanie wymagań dotyczących właściwości przeciwpoślizgowych w różnych krajach i w Polsce

W tabelach A, B i C 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.

**Tabela A. Metodyka badań i preferowane urządzenia pomiarowe**

Lp	Kraj	Wielkość pomiarowa	Urządzenie preferowane	Metoda pomiaru
1	Anglia	SFC	SCRIM	SFC 20 <sup>0</sup>
2	Belgia Flandria	SFC	Odoliograph	SFC 15 <sup>0</sup>
3	Belgia Walonia	SFC	Odoliograph	SFC 15 <sup>0</sup>
4	Francja	SFC	SCRIM	SFC 20 <sup>0</sup>
5	Francja	BFC	ADHERA	Locked Wheel, Opona gładka wg PIARC
6	Węgry	SFC	SCRIM	SFC 20 <sup>0</sup>
7	Włochy	SFC	SCRIM (SUMMS)	SFC 20 <sup>0</sup>
8	Dania	SFC	Stradograph	SFC 12 <sup>0</sup> , opona PIARC, pomiary w obu śladach kół równocześnie
9	Holandia	BFC	DWW Trailer	BFC przy poślizgu 86 %
10	Hiszpania	BPN	Wahadło angielskie	Trzy powtórzenia w każdym punkcie
11	Szwecja	Współczynnik tarcia	Skiddometer	Locked Wheel
12	Szwecja	Współczynnik tarcia	Wahadło	wg instrukcji
13	Polska	Współczynnik tarcia	SRT-3	Locked Wheel

Oznaczenia do tabeli: - 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 tabelach B i C omówione są 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.

**Tabela B. Warunki pomiaru współczynnika przyczepności**

Lp	Kraj	Warunki pomiaru	Wartość miarodajna	Długość odcinka pom.	Normy i procedury
1	Anglia	50 lub 20 km/h	wartość średnia	100, 50 lub 10 m	HD 28/94 Vol. 7, s. 3,1
2	Belgia Flandria	50 km/h, 20 <sup>0</sup> C, 1 mm wody	współczynnik między 0 a 1.00	na całej długości	-
3	Belgia Walonia	oczyszczona nawierzchnia przy temp. 5 – 35 <sup>0</sup> C	jw.	jw	CCT W10 + recommendations
4	Francja	50 km/h, 0.5 mm wody	jw.	rezultat za każde 10 lub 20 m	NFP-98-220-3 i 220-4
5	Francja	60 km/h, 1 mm wody	jw.	20 m	NFP-98-220-2
6	Węgry	50 km/h, 0-40 <sup>0</sup> C	wartość średnia	20 m	Norma państwowa
7	Włochy	nawierzchnia mokra	wartość średnia	co najmniej na 10% długości	
8	Dania	0.23 mm wody	wartość średnia w każdym śladzie kół	na całej długości (po 10 lub 100 m)	Norma państwowa
9	Holandia	50 km/h, 0.5 mm wody	współczynnik między 0 a 1.00	100 m	Norma RAW Con.95,150
10	Hiszpania	nawierzchnia mokra 3 miesiące po oddaniu	BPN	punkt pomiarowy	NLT 150
11	Szwecja	nawierzchnia mokra	wartość średnia	20 m - co 50 lub 100 m	ROAD94 VVMB 104
12	Szwecja	nawierzchnia mokra	na. odc. jednorodnym $\geq 1$ m	kilka punktów pomiarowych	ROAD94 VVMB 582
13	Polska	60 km/h 0.5 mm wody	wartość średnia minus odchylenie standardowe	co 100 m	Procedura PB/TD-1/1 Roporządzenie MTiGM

Warunki pomiaru współczynnika przyczepności 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.

**Tabela C. Minimalne poziomy utrzymaniowe (wartości współczynników tarcia)**

Lp	Kraj	Uwagi	Wymagany poziom współczynnika tarcia	wymagania szczególne
1	Anglia	różne wymagania dla dróg różnych kategorii	od 0.35 do 0.65	patrz komentarz do tabeli
2	Belgia Flandria		$SFC \geq 0.45$	
3	Belgia Walonia		$SFC \geq 0.45$	przy 80 km/h na autostradach i 50 km/h na innych drogach
4	Francja	brak specyfikacji dla SFC		
5	Francja	brak specyfikacji dla BFC		
6	Węgry	wartości - średnia i minimalna są porównywalne z wartością wymaganą	na autostradach $SFC > 0.6 \pm 0.04$	
7	Włochy	$SFC > 0.47$ do 0.65 w zależności od rodzaju nawierzchni	$SFC \geq 0.55$	na nowych nawierzchniach pomiary są wykonywane w 15 i w 180 dniu po oddaniu do użytku
8	Dania	w każdym śladzie kół	$SFC \geq 0.4$	
9	Holandia	opona gładka PIARC - obciążenie 1962 N	wymagania konstrukcyjne: 0.52 utrzymaniowe: 0.45	
10	Hiszpania	dla ruchu ciężkiego $BPN > 0.65$ dla ruchu lekkiego $BPN > 0.60$	0.60 i 0.65	
11	Szwecja	dot. urządzenia Skiddometer	wymagania konstrukcyjne: 0.5 utrzymaniowe: $> 0.45$	
12	Szwecja	dot. wahadła	wymagania konstrukcyjne $> 0.45$	
13	Polska	po zmianie opony testowej	w zależności od kategorii drogi	

Analiza tabel A, B i C 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 tabela D:

**Tabela D. Wymagania angielskie w zakresie minimalnych poziomów współczynnika przyczepności na drogach różnych kategorii**

Kategoria drogi	Charakterystyka drogi	Prędkość pomiarowa km/h	Współczynnik przyczepności
A	Autostrady (trasy główne)	50	0.35
B	Drogi dwupasmowe (szybkiego ruchu) - nie na wszystkich odcinkach	50	0.35
C	Drogi jednopasmowe (szybkiego ruchu) - nie na wszystkich odcinkach	50	0.40
D	Drogi dwupasmowe z małą liczbą skrzyżowań	50	0.40
E	Drogi jednopasmowe z małą liczbą skrzyżowań	50	0.45
F	Dojazdy do skrzyżowań	50	0.45
G1	Odcinki z nachyleniem 5-10% na długości większej niż 50 m	50	0.45
G2	Strome wzniesienia dłuższe niż 50 m (na drogach dwupasmowych tylko na zjazdach, na drogach jednopasmowych na zjazdach i podjazdach)	50	0.50
H1	Krzywizny (łuki) z dopuszczalną prędkością 40 mph (mil/h) lub mniejszą dla $R < 250$ m	50	0.45
J	Dojazdy do ronda	50	0.55
K	Dojazdy do sygnalizacji świetlnej, przejść dla pieszych, przejazdów kolejowych itp.	50	0.55
H2	Krzywizny (łuki) z dopuszczalną prędkością 40 mph (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 współczyn-

nika przyczepności 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.

Dla porównania przytaczamy wartości średnie współczynników przyczepności pomierzone przez polskie urządzenie SRT-3 (z oponą o bieżniku „generalskim” – 5.60 S x 13) oraz przez angielski SCRIMTEX (z oponą gładką PIARC) w czasie Międzynarodowego Eksperymentu w 1992 roku na wszystkich odcinkach testowych w Belgii i Hiszpanii:

	SCRIMTEX (Anglia)	SRT-3 (Polska)
wyniki uśrednione z Belgii i Hiszpanii po przeliczeniu opony 5.60 S - do poziomu opony 165x13	0.6332	0.4325  0.5957

Przytoczone porównanie wykazuje, że wyniki pomiarów uzyskiwanych na tej samej nawierzchni drogowej za pomocą urządzenia SCRIMTEX są relatywnie wyższe niż wyniki pomiarów uzyskiwane za pomocą polskiego urządzenia SRT-3 z oponą 165x13 (przywołaną w Rozporządzeniu Ministra). Trzeba jednak dodać, że w Anglii pomiary przyczepności wykonywane są z reguły przy prędkości 50 km/h, co sprzyja generowaniu wyższych sił tarcia, a tym samym wyższych współczynników przyczepności.

Z porównania uśrednionych wyników pomiarów SCRIMTEX-a z wynikami pomiarów SRT-3 wynika współczynnik skali, który będzie uwzględniony przy porównywaniu wymagań progowych dla tych dwóch urządzeń pomiarowych:

$$k_1 = \frac{\text{wyniki}_{SRT-3}}{\text{wyniki}_{SCRIMTEX}} = \frac{0.5957}{0.6332} = 0.941 \quad (2)$$

Przez taki współczynnik należy pomnożyć progowe wartości wg wymagań angielskich, aby można je było porównać z wymaganiami polskimi.

W ten sposób będą przeliczone skale względne wyników pomiarów między różnymi urządzeniami europejskimi a urządzeniem SRT-3.

Wg informacji nadesłanej przez Ośrodek Transportu i Badań Drogowych w Crowthorne (TRL) – w Anglii nie stosuje się pomiaru współczynnika przyczepności 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.

#### 4. Wybór odcinków badawczych

Do pomiarów współczynnika tarcia wybrano 14 odcinków dróg oddanych do eksploatacji w okresie od czerwca do sierpnia 2001 roku, wykonanych w różnych technologiach. Wyniki pomiarów zestawiono w załączniku.

Tabela 1. Odcinki badawcze

**WYKAZ ODCINKÓW DO POM. WSPÓŁ. TARCIA - TEMAT TD-55**

Lp	Oddział GDDP	Droga	Pikietaż	Długość, km	Odcinek	Klasa	Technologia
1	Północno-Wschodni	51	24+300 do 27+137	2,837	Osieka - Samolubie	GP	BA 0/12,8
2	Północno-Wschodni	57	2+153 do 4+550	2,397	?	G	BA 0/16
3	Północno-Wschodni	58	62+770 do 64+990	2,22	Zielonka - Stare Kiejkuty	G	CWZ 0/10
4	Północno-Wschodni	58	67+700 do 69+930	2,23	Zielonka - Stare Kiejkuty	G	CWZ 0/10
5	Wschodni	12	219+700 do 224+410	4,71	Końskowola - Kurów	GP	SMA 0/12,8
6	Wschodni	17	250+260 do 254+200	3,94	Krynice - Budy	GP	SMA 0/12,8
7	Wschodni	74	59+400 do 63+661	4,221	Husynne - Strzyżów	G	BA 0/16
8	Wschodni	74	2+900 do 5+400	2,5	Zamość - Jarosławiec	G	BA 0/16
9	Wschodni	19	292+890 do 295+260	2,37	Łukowisko - Międzyrzecz Podl.	GP	SMA 0/12,8
10	Wschodni	17	261+000 do 263+700	2,7	Tarnawatka Tartak - Tomaszów Lub.	GP	PU poj. 5/8
11	Wschodni	17	269+450 do 271+350	1,9	Tomaszów Lub. - Bełzec	GP	PU poj. 5/8
12	Wschodni	76	20+250 do 21+100	0,85	Dąbie - Łuków	G	PU poj. 5/8
13	Wschodni	19	562+361 do 563+361	3,069	Trzebownisko-Rzeszów	GP	BA 0/12,8
14	Wschodni	9	184+900 do 187+400	2,5	Głogów Małopolski	GP	BA 0/12,8

Długość odcinka - 1 km  
Krok pomiarowy - 50 m, w obu kierunkach  
Prędkość pomiarowa: 30, 60, 90, 120 km/h

## 5. Wykonanie serii pomiarów na odcinkach badawczych według procedury przyjętej w Rozporządzeniu MTiGM z dnia 2 marca 1999 roku

Zarys procedury wykonywania pomiarów zawarty jest w p. 4. 2 załącznika nr 6 do Rozporządzenia pt. „Warunki Techniczne” (D.U. nr 43 poz. 430. Cytujemy:

**4. 2. Pomiar wykonuje się nie rzadziej niż co 50 m na nawierzchni zwilżonej wodą w ilości 0.55 l/m<sup>2</sup>, 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 przeciwpoślizgowych 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 tabela, wymieniona w p. 4.3 załącznika jw.

Tabela 2. Wymagane poziomy miarodajnego współczynnika tarcia w odniesieniu do opony F.O. Dębica (gładkiej z obwodowymi rowkami) 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
1	2	3	4	5	6
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, nawet do 20 %, niż w okresie letnim.

### 5. 1. Metodyka badań

Pomiary współczynnika tarcia na wytypowanych odcinkach drogowych przeprowadzono tylko przy 3 prędkościach pomiarowych: 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.

Wszystkie pomiary przeprowadzono 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.

### 5. 2. Wyniki pomiarów

W Tabeli 3 przytoczone są uśrednione wyniki pomiarów dla każdego odcinka badawczego (po stronie lewej i prawej) oraz dla każdej z 3 prędkości pomiarowych, sprowadzone do współczynnika miarodajnego  $E(\mu) - D$ .

Przy każdej z prędkości pomiarowych wykonano 20 pomiarów na odcinku badawczym (20 pomiarów co 50 m ma odcinku testowym o długości 1 km).

W Tabeli 3 podane są również obliczone dla każdego odcinka testowego współczynniki  $S_0$  krzywej eksponentyjnej (wykładniczej), jako współczynniki równania trendu o postaci

$$\mu(v) = A_0 \exp[-(v / S_0)] \quad (3)$$

W ostatniej kolumnie podane są pomierzone na badanych odcinkach wartości tekstury  $T_{MPD}$  (podane wartości tekstury posłużą do zweryfikowania wzorów obliczeniowych wiążących teksturę z parametrem  $S_0$ , zalecanych do stosowania w algorytmach Międzynarodowego Indeksu Tarcia i Europejskiego Indeksu Tarcia.)

Wszystkie wyniki pomiarów wykonanych na oponie Barum Bravura zostały przeliczone do poziomu własności ciernych opony gładkiej z obwodowymi rowkami o wymiarach 165 R 13

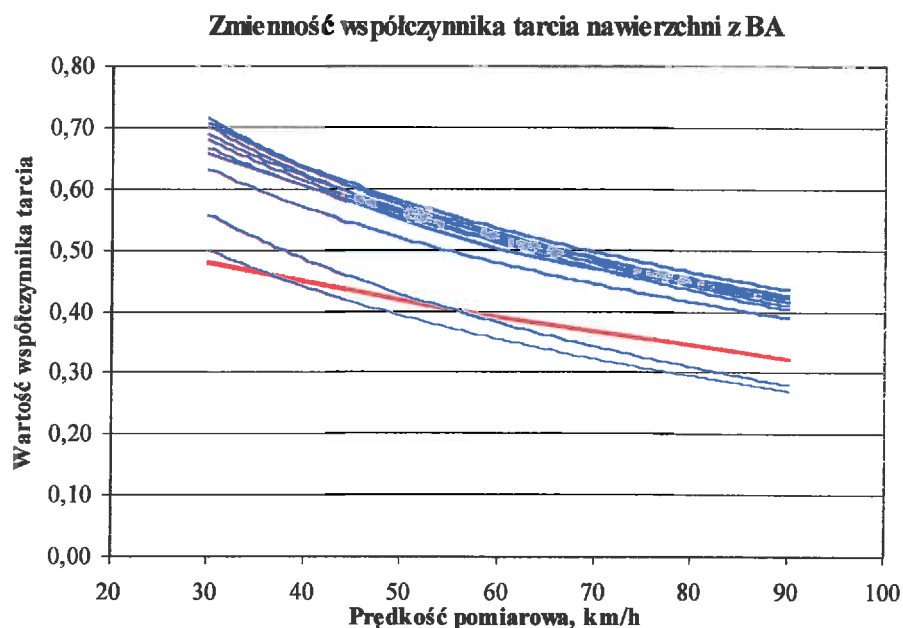


Tabela 3. Wartości miarodajnych współczynników tarcia na odcinkach badawczych, sprawdzone do poziomu opony gładkiej z obwodowymi rowkami o wymiarach 165 R 13

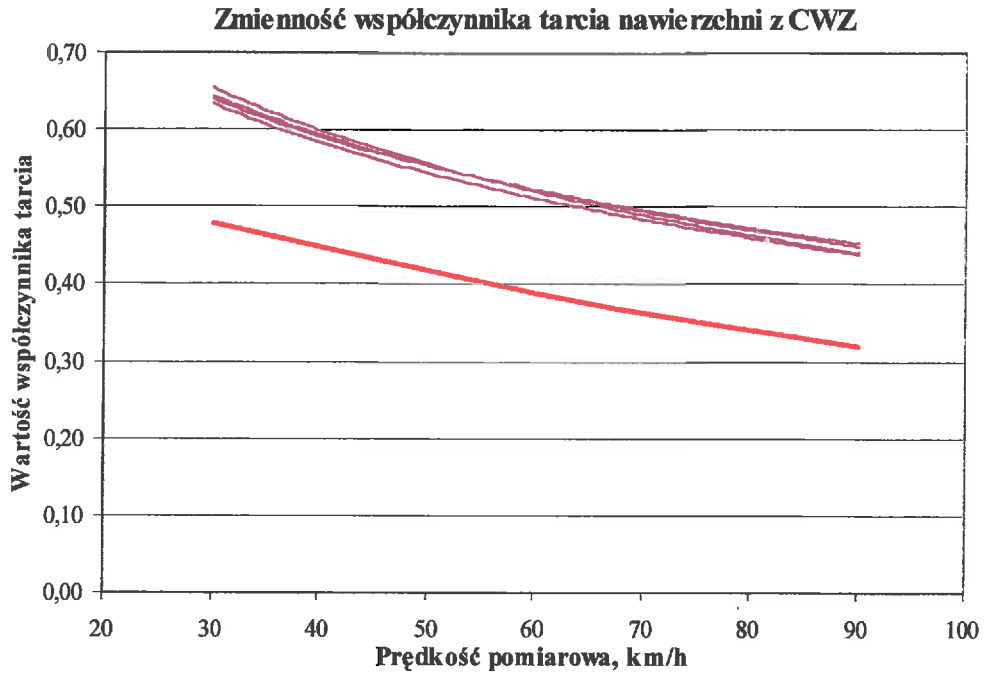
Lp	Odcinek (Tecchn.)	Miarodajny współczynnik tarcia						S <sub>0</sub> strona prawa	Tekstura MPD
		Strona lewa			Strona prawa				
		30 km/h	60 km/h	90 km/h	30 km/h	60 km/h	90 km/h		
1	BA	0.69	0.53	0.42	0.71	0.53	0.42	115	0.29
2	BA	0.70	0.48	0.41	0.71	0.49	0.41	105	0.35
3	CWZ	0.65	0.51	0.46	0.66	0.52	0.44	130	0.84
4	CWZ	0.63	0.51	0.44	0.65	0.52	0.45	145	1.09
5	SMA	0.69	0.41	0.30 *)	0.67	0.38 *)	0.28 *)	70	0.61
6	SMA	0.63	0.37 *)	-	0.62	0.31 *)	-	45	0.68
7	BA	0.71	0.53	0.40	0.70	0.55	0.42	114	0.25
8	BA	0.55	0.40	0.27 *)	0.50	0.35 *)	0.27 *)	115	0.30
9	SMA	0.68	0.43	0.33	0.67	0.43	0.32	90	0.52
10	PU	0.65	0.57	0.49	0.66	0.58	0.51	205	1.05
11	PU	0.55	0.42	0.35	0.59	0.48	0.40	150	0.61
12	PU	0.70	0.57	-	0.69	0.56	-	160	1.64
13	BA	0.67	0.51	0.43	0.64	0.47	0.40	125	0.52
14	BA	0.68	0.52	0.42	0.66	0.50	0.42	115	0.45

## 6. Analiza wyników pomiarów

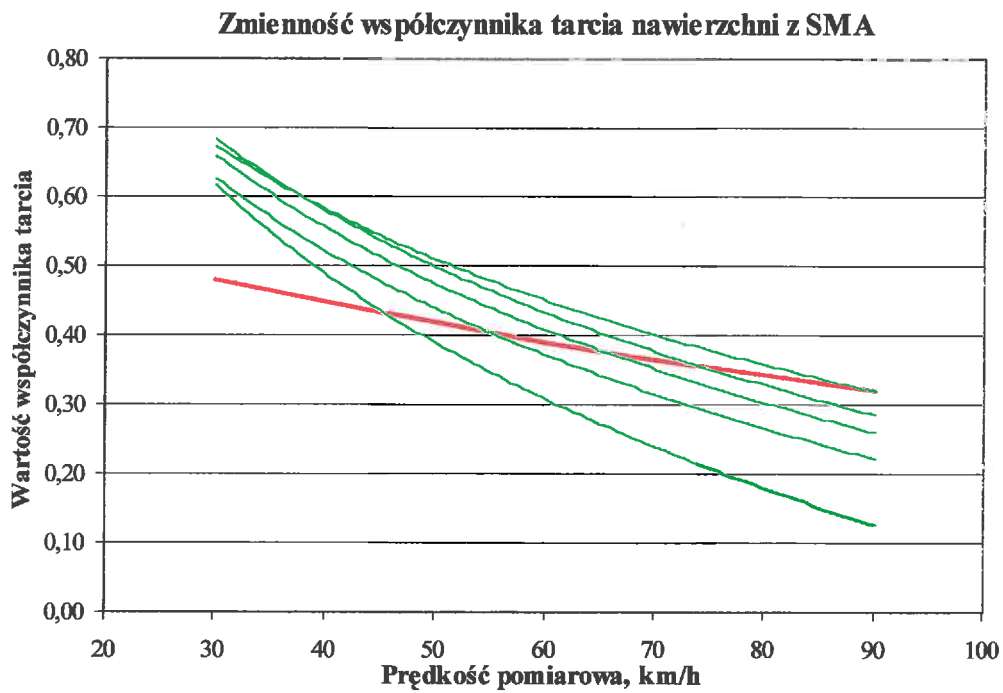
Znakiem \*) zaznaczone są te odcinki pomiarowe, na których wyniki pomiarów są niższe od wartości progowych wg Rozporządzenia podanych w Tabeli 2 (3 odcinki przy niektórych prędkościach pomiarowych). Ilustrację graficzną zbiorów wyników zebranych w Tabeli 3 przedstawiają rysunki 2, 3, 4 i 5.



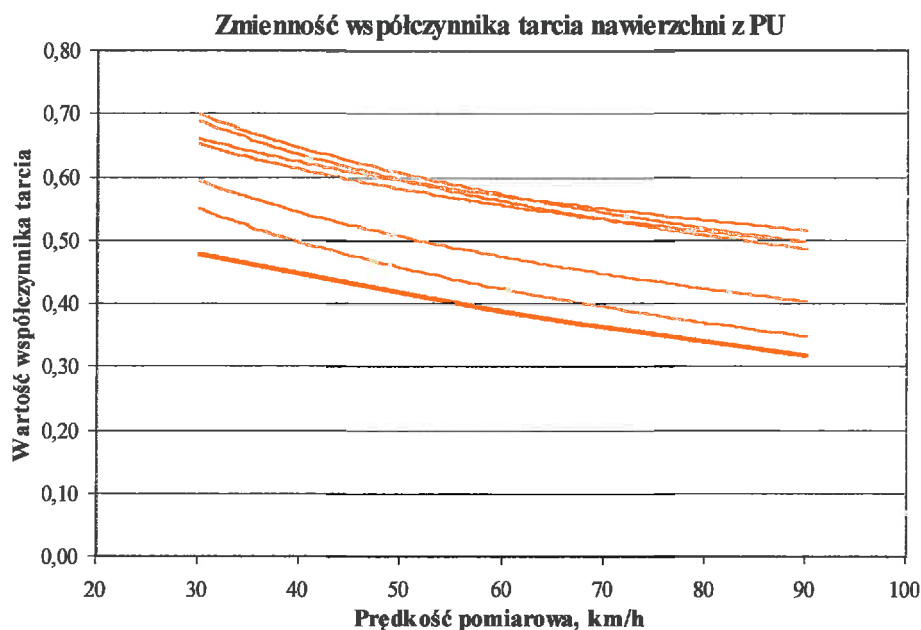
Rys. 2. Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii BA z wymaganiami Rozp. Ministra



Rys. 3. Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii CWZ z wymaganiami Rozp.Ministra



Rys. 4 Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii SMA z wymaganiami Rozp.Ministra



Rys. 5. Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii PU z wymaganiami Rozp. Ministra

Na przedstawionych rysunkach linią czerwoną zaznaczono krzywą zmienności współczynnika tarcia w zależności od prędkości, odpowiadającą wymaganiom wg Rozporządzenia.

Na odcinkach wykonanych w technologii BA tylko na jednym odcinku (po obu stronach) miarodajny współczynnik tarcia nie mieścił się w granicach progowych określonych przez Rozporządzenie Ministra (po stronie prawej przy prędkościach 60 i 90 km/h, po stronie lewej przy prędkości 90 km/h). 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).

Oba badane odcinki drogowe wykonane w technologii CWZ cechuje bardzo duży współczynnik tarcia, a gradient spadku charakterystyki  $\mu=f(v_s)$  jest prawie równoległy do charakterystyki wymaganej Rozp. Ministra. 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 Rozp. Ministra przecina praktycznie wszystkie charakterystyki, zawierające rzeczywiste wyniki pomiarów.

Analiza rysunków 2, 3, 4 i 5 prowadzi do wniosku, że wymagane w Rozp. Ministra poziomy miarodajnego współczynniki tarcia preferują nawierzchnie wykonane w grubej, ostrej teksturze. Świadczą o tym nie tylko charakterystyki na rysunkach jw., ale również zamieszczone w Tabeli 3 wartości tekstury  $T_{MPD}$  pomierzone na poszczególnych odcinkach badawczych.

Pewne światło na tę sprawę rzuca analiza parametrów  $S_0$  przypisanych każdej z charakterystyk  $\mu=f(v_s)$ , reprezentowanych przez wartości współczynnika tarcia przy prędkościach  $v=30, 60$  i  $90$  km/h.

W materiałach pierwszego Międzynarodowego Eksperymentu, poświęconego metodom pomiaru współczynnika tarcia, podany jest wzór, który wiąże parametr  $S_0$  z teksturą badanej nawierzchni drogowej

$$S_0 = 14,23 + 89,72 T_{MPD} \quad (4)$$

z którego można wyznaczyć teksturę

$$T_{MPD} = \frac{S_0 - 14,23}{89,72} \quad (5)$$

Estymowane wartości tekstury wg wzoru (5) oraz wartości pomierzone metodą piasku kalibrowanego są zestawione w Tabeli 4.

Tabela 4. Porównanie estymowanych i pomiarowych wartości tekstury  $T_{MPD}$

Nr odcinka	Technologia	$S_0$	$T_{MPD}$ ESTYMOWANE	$T_{MPD}$ POMIAROWE
1	BA	115	1.12	0.29
2	BA	105	1.01	0.35
3	<b>CWZ</b>	<b>130</b>	<b>1.29</b>	<b>0.84</b>
4	<b>CWZ</b>	<b>145</b>	<b>1.46</b>	<b>1.09</b>
5	<b>SMA</b>	<b>70</b>	<b>0.62</b>	<b>0.61</b>
6	SMA	45	0.34	0.68
7	BA	114	1.11	0.25
8	BA	115	1.12	0.30
9	<b>SMA</b>	<b>90</b>	<b>0.84</b>	<b>0.52</b>
10	PU	205	2.12	1.05
11	PU	150	1.51	0.61
12	<b>PU</b>	<b>160</b>	<b>1.62</b>	<b>1.64</b>
13	BA	125	1.23	0.52
14	BA	115	1.12	0.45
1*		<b>260</b>	<b>2.74</b>	
2*		<b>330</b>	<b>3.51</b>	
3*		<b>155</b>	<b>1.56</b>	

1\*, 2\* i 3\* - estymowane parametry  $S_0$  i wartości  $T_{MPD}$  wg wzoru (5) na podstawie wymaganych wartości progowych wg Rozp. Ministra. Potwierdza się wcześniej sformułowany

wniosek, że charakterystyki  $\mu=f(v_s)$ , reprezentowane przez wartości wymagań progowych wg Rozp. Ministra preferują nawierzchnie o grubej, ostrej teksturze. Estymacja wartości tekstury  $T_{MPD}$  na podstawie parametru  $S_0$  krzywej spadku współczynnika tarcia w funkcji prędkości poślizgu, niestety sprawdziła się tylko w kilku przypadkach (wiersze wytłuszczone w Tabeli 3). W tym przypadku potwierdza się wniosek, sformułowany już kilkakrotnie przez IBDiM, że nie ma jednoznacznego, ogólnego związku między teksturą a przyczepnością (współczynnikiem tarcia) nawierzchni. Tu właśnie może tkwić główna trudność wprowadzenia, jako aktu obowiązującego, projektu europejskiej normy w sprawie Europejskiego Indeksu Tarcia EFI (w najnowszej wersji RSI).

## 7. Ocena przyjętych w Rozporządzeniu wartości progowych oraz procedury pomiarowej

W tabeli 5 porównane są wymagania progowe 8 krajów europejskich z wymaganiami polskimi. W określeniu skali podobieństwa wyników pomiarów różnych urządzeń zachodnich i urządzenia polskiego SRT-3 posłużono się porównaniem wyników pomiarów uzyskanych na 48 odcinkach testowych w Belgii i Hiszpanii w czasie Międzynarodowego Eksperymentu w 1992 roku – z uwzględnieniem współczynnika przeliczeniowego dla opony testowej polskiej (w 1995 r oponę testową 5.60 S x 13 zastąpiono oponą gładką z obwodowymi rowkami o wymiarach 165 R 13).

Tabela 5. Porównanie wymagań progowych różnych krajów europejskich i Polski w zakresie badań przyczepności nawierzchni drogowych

Lp	Kraj	Urządzenie preferowane	Warunki pomiaru	Wymagania progowe		
				Zachodnie *)	Polskie	
					S, GP, G	A
1	Anglia	SCRIM	50 km/h	0.29 A 0.39 inne	0.39	0.46
2	Belgia Flandria	Odoliograph	50 km/h	0.43	0.39	0.46
3	Belgia Walonia	Odoliograph	50 km/h	0.44	0.39	0.46
4	Francja	SCRIM	60 km/h	-	0.39	0.46
5	Francja	Adhera	60 km/h	-	0.39	0.46
6	Węgry	SCRIM	50 km/h	0.52	0.39	0.46
7	Włochy	SCRIM	50 km/h	0.48	0.39	0.46
8	Dania	Stradograph	60 km/h	0.33	0.39	0.46
9	Holandia	DWW Trailer	50 km/h	0.51 k 0.43 u	0.39	0.46
10	Hiszpania	BP (wahadło)	-	-	-	-
11	Szwecja	Skiddometer	60 km/h	0.57 k 0.55 u	0.39	0.46

\*) wartości przeliczone do skali wymagań polskich wg Rozp. MTiGM

k – wymagania konstrukcyjne dla nawierzchni nowych

u – wymagania utrzymaniowe dla nawierzchni eksploatowanych

Duża zgodność wymagań występuje między Polską a Anglią i Danią. Dostateczna zgodność występuje między Polską a Belgią i Holandią. Najostrzejsze wymagania występują w Szwecji.

## **8. Wnioski i propozycje w sprawie aktualizacji metody pomiarowej i wymaganych wartości współczynnika tarcia**

Przeprowadzone pomiary na nowych odcinkach drogowych wykazały, że w zasadzie poziomy progowe podane w Rozporządzeniu MTiGM z dnia 2 marca 1999 r są ustalone prawidłowo. Niewielkie odstępstwo od trendu charakterystyki  $\mu=f(v_s)$  wykazuje wymagany poziom współczynnika tarcia przy prędkości  $v=120$  km/h dla dróg S, GP i G (zawyżenie o 0.02-0.03).

Analiza wyników pomiarów wykazuje, że charakterystyki współczynnika tarcia, opisane na podanych poziomach progowych są nadmiernie spłaszczone względem charakterystyk ciernych najczęściej występujących na naszych nawierzchniach drogowych. Przykładem na potwierdzenie tej tezy są rys. 2 i 4, przedstawiające charakterystyki tarcia na nawierzchniach wykonanych w technologii SMA i BA.

O tym, że charakterystyki tarcia opisane na wartościach progowych wg Rozp. Ministra są zbyt spłaszczone świadczy również ich podobieństwo do charakterystyk ciernych nawierzchni wykonanych w technologiach CWZ i PU – o wysokich wartościach tekstury.

Bardzo ważnym elementem aktualnej procedury wykonywania badań zgodnie z wymaganiami Rozp. Ministra jest postulat pomiarów przy 4 prędkościach pomiarowych – 30, 60, 90 i 120 km/h. Wykonywanie pomiarów przy prędkości 120 km/h jest praktycznie niemożliwe z kilku względów, głównie jednak ze względów bezpieczeństwa. Z drugiej strony wątpliwość budzi konieczność wykonywania badań przy kilku prędkościach pomiarowych. Przypadek może zdarzyć, że przy jednej z prędkości pomiarowych wynik pomiaru może być niższy, niż poziom wymagany. Przykładem mogą być kraje europejskie, które kontrolę wartości progowych ograniczają z reguły do jednej umownej, ale i bezpiecznej prędkości pomiarowej.

**Proponujemy pozostawienie jako obowiązujących poziomów progowych tylko tych wartości Rozp. Ministra, które są podane dla prędkości poślizgu  $v_s = 60$  km/h. W tym przypadku zniknie problem wpływu tekstury na przebieg charakterystyki  $\mu=f(v_s)$ .**

**Wnioskowanie o hipotetycznych własnościach przeciwpoślizgowych danej nawierzchni drogowej powinno być oparte o zależność matematyczną:**

$$\mu(v) = \mu_{60} \exp [(60 - v) / S_0]$$

**dla uśrednionej wartości parametru  $S_0$ , np.  $S_0 = 160$ .**