

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
Zakład Diagnostyki Nawierzchni

SPRAWOZDANIE
z realizacji pracy TD-88 pt.:
„Analiza zmienności właściwości przeciwpoślizgowych warstwy ścieralnej
nawierzchni w początkowym okresie jej eksploatacji”

Zleceniodawca: GDDKiA, umowa nr 2193/2008

Opracował:

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI
mgr inż. Zbigniew MŁYNARCZYK
Artur GRĄCZEWSKI
Radosław BORUCKI

Kierownik Zakładu
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, czerwiec 2009

SPIS TREŚCI

1. Podstawa i zakres pracy	3
2. Wprowadzenie	3
3. Ocena wymagań wobec współczynnika tarcia nowych nawierzchni drogowych stawianych w polskich przepisach technicznych	7
4. Międzynarodowy eksperyment „HERMES”	21
5. Wybór odcinków badawczych i wykonanie serii pomiarów współczynnika tarcia	39
6. Wykonanie badań porównawczych na wytypowanych odcinkach drogowych urządzeniami SRT-3 i SCRIM	42
7. Wykonanie badań opóźnienia hamowania	49
8. Wnioski	56
Bibliografia	58
Załącznik 1: Wyniki obliczeń miarodajnego współczynnika tarcia na odcinkach badawczych	
Załącznik 2: Wyniki pomiarów w badaniach porównawczych urządzeniami SRT-3 i SCRIM	

1. Podstawa i zakres pracy

Praca wykonana została na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w ramach umowy nr 2193/2008 z dnia 11.08.2008 roku. Celem pracy jest zbadanie zmian wartości współczynnika tarcia warstwy ścieralnej nawierzchni, w szczególności wykonanej w technologii SMA, w ciągu kilkunastu pierwszych miesięcy od dopuszczenia ruchu drogowego. Wyniki pracy pomogą wskazać miarodajny termin wykonywania badań odbiorczych oraz opracować wymagania wobec współczynnika tarcia nowych nawierzchni drogowych.

2. Wprowadzenie

Przepisy dotyczące właściwości przeciwpoślizgowych nowych nawierzchni dróg publicznych opisuje Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999r w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 43 z 1999r, poz. 430) [1]. W załączniku nr 6 do tego rozporządzenia zestawiono w tabeli wartości miarodajnego współczynnika tarcia wymagane po dwóch miesiącach od oddania drogi do użytkowania. Interpretację zapisów rozporządzenia podaje „Komentarz do warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie” [2]. Poniżej podajemy cytat z „Komentarza ...” (Część I, Wprowadzenie, wydanie drugie) dotyczący procedury pomiaru współczynnika tarcia:

„... Badanie właściwości przeciwpoślizgowych nowych nawierzchni jest utrudnione zjawiskiem śliskości powykonawczej. Fakt ten jest podkreślony przez zapis w „Warunkach technicznych”, który należy interpretować następująco: warstwa ścieralna nowej nawierzchni powinna mieć takie właściwości, aby po dwóch miesiącach eksploatacji miarodajny współczynnik tarcia był nie mniejszy niż podany w „Warunkach technicznych”. Proponuje się zatem następujące podejście: 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. ...”.

Przepisy rozporządzenia, od daty ich opublikowania miały 5-cio letni okres karencji w stosowaniu. W międzyczasie zmieniona została opona testowa (zaprzesano produkcji opony bezpieczeństwa) na oponę Barum Bravura, a następnie na Barum Bravuris, stosowaną obecnie. Opracowano również współczynniki pozwalające na przeliczanie wartości uzyskiwanych na różnych oponach [3, 4, 5]. Można więc stwierdzić, że już w momencie wprowadzenia przepisów nie można ich było bezpośrednio zastosować ze względu na zmianę opony testowej. Wątpliwości budziła również możliwość wykonywania pomiarów z prędkością 90 km/h i 120 km/h, pod ruchem. Dlatego też często w specyfikacjach technicznych dotyczących badań odbiorczych stosuje się procedurę pomiarową zaczerpniętą z Wytycznych SOSN [6] (prędkość 60 km/h).

Odrębną kwestię stanowi wykonywanie pomiarów współczynnika tarcia i ocena wyników dla nawierzchni z SMA. W przepisach nie wzięto pod uwagę innej charakterystyki zmienności współczynnika tarcia nawierzchni z tej mieszanki. W „Komentarzu ...” [2] autorzy piszą o tzw. śliskości powykonawczej, natomiast w przypadku SMA, bezpośrednio po wykonaniu nawierzchnia jest uszorstniona dzięki czemu cechuje się dobrymi właściwościami przeciwpoślizgowymi. Stopniowy ubytek posypki uszorstniającej powoduje obniżenie wartości współczynnika tarcia, a następnie wzrost wraz ze ścieraniem się błonki asfaltu z ziaren kruszywa. W przypadku SMA proces ten jest dłuższy niż w przypadku np. betonu asfaltowego, ze względu na grubszą warstwę asfaltu modyfikowanego. Autorzy zapisów w rozporządzeniu nie wzięli tego zjawiska pod uwagę przy opracowywaniu wymagań. Potwierdzają to badania IBDiM, wykonane w 2004 r. w ramach pracy zleconej przez GDDKiA [7]. Wykazały one, że wymagany współczynnik tarcia:

- uzyskiwany był w większości na warstwach ścieralnych z betonu asfaltowego, powierzchniowego utrwalenia oraz cienkich warstwach na zimno,
- w większości nie był uzyskany na warstwach SMA (wówczas tylko nieliczne odcinki wykonane były z uszorstnieniem drobnym grysem).

Wyniki tej pracy oraz doświadczenia z ostatnich lat wskazują, że w początkowym okresie użytkowania nawierzchni z warstwą ścieralną z SMA (1 – 2 lata, w zależności od zawartości asfaltu i elastomeru) zmienność współczynnika jest bardzo duża i można otrzymywać wysokie lub niskie wartości, zależnie od terminu wykonania pomiarów. W takiej sytuacji trudno jest jednoznacznie stwierdzić, czy nawierzchnia spełnia wymagania odpowiednich właściwości przeciwpoślizgowych. Określenie miarodajnego terminu wykonywania badań odbiorczych oraz wymagań dla wartości współczynnika tarcia są głównymi celami do osiągnięcia w niniejszej pracy badawczej.

Problem, który obserwujemy w ostatnich latach w Polsce występował również wcześniej w Niemczech. Warstwy ścieralne z SMA są promowane w Niemczech i Polsce do stosowania na głównych drogach. Często są jednak przypadki niespełnienia wymagań dotyczących właściwości przeciwpoślizgowych mimo poprawnego składu mieszanki, dobrych materiałów i dobrej jakości wykonanych robót. Stosowanie warstw ścieralnych z mieszanek SMA upowszechniło się w Niemczech i innych krajach w ostatnich latach. Nawierzchnie takie stają się coraz bardziej popularne w USA. Powodem tego są poprawione właściwości i trwałość nawierzchni: odporność na deformacje trwałe, działanie wody, środków odladzających. Jedną z ważnych zalet jest również zmniejszenie hałaśliwości ruchu. Ta zaleta może być wykorzystana zwłaszcza w naszej strefie klimatycznej, w której stosowanie asfaltu porowatego jest ryzykowne. Zmniejszenie hałaśliwości uzyskuje się, stosując zwłaszcza mieszanki o drobniejszym uziarnieniu.

Przy weryfikacji procedur pomiarowych oraz wymagań dotyczących współczynnika tarcia należy brać pod uwagę to, że jego wartość zależy od wielu, często złożonych czynników [8]. 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 [9, 10]. Oznacza to, że wysokie wartości współczynnika tarcia uzyskać można zarówno na nawierzchniach o rozwiniętej teksturze jak i na nawierzchniach z kruszywem drobnosiarnistym. Duże znaczenie dla osiągania dobrych właściwości przeciwpoślizgowych przypisuje się odporności na polerowanie kruszywa.

W artykule [11] 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 [12]. 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 [13] 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 [12] 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 łanego 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.

3. Ocena wymagań wobec współczynnika tarcia nowych nawierzchni drogowych stawianych w polskich przepisach technicznych

Procedura wykonywania pomiarów odbiorczych warstwy ścieralnej dróg publicznych określona została w punkcie 4. 2 załącznika nr 6 do Rozporządzenia [1]:

„4. 2. Pomiar wykonuje się nie rzadziej niż co 50 m na nawierzchni zwilżonej wodą w ilości 0.5 l/m^2 , a wynik pomiaru powinien być przeliczony na wartość przy 100% poślizgu opony zabezpieczającej rozmiaru 5.60 S x 13 (wg komentarza do Warunków Technicznych wydanego przez GDDP w 2000 r jest tu oczywisty błąd, powinno być „opony zabezpieczającej rowkowanej o wymiarach 165 R 13). Miara 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 tab. 1.

Tabela 1. 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 [6], 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 jedynego urządzenia służącego 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 [6], tzw. miarodajny współczynnik tarcia. Pomiary wykonuje się aparatem SRT-3 przy prędkości $v = 60 \text{ km/h}$ 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 tab. 2. Podobnie jak dla dróg publicznych wartości przeliczono dla opony gładkiej z obwodowymi rowkami.

Tabela 2 *Klasyfikacja stanu technicznego nawierzchni wg SOSN, pod względem właściwości przeciwpślizgowych*

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 [14]. 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 tabeli 3 wykonuje się dodatkowo pomiary współczynnika tarcia. Wymagania dla wartości współczynnika tarcia określone zostały w tabeli 4. Wartości przeliczono dla opony gładkiej z obwodowymi rowkami (w celu porównania z wymaganiami dla dróg publicznych).

Tabela 3. *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

Tabela 4. Wymagane poziomy miarodajnego współczynnika tarcia dla nawierzchni autostrad płatnych, w odniesieniu do opony F.O. Dębica (gładkiej z obwodowymi rowkami) o wymiarach 165 R 13

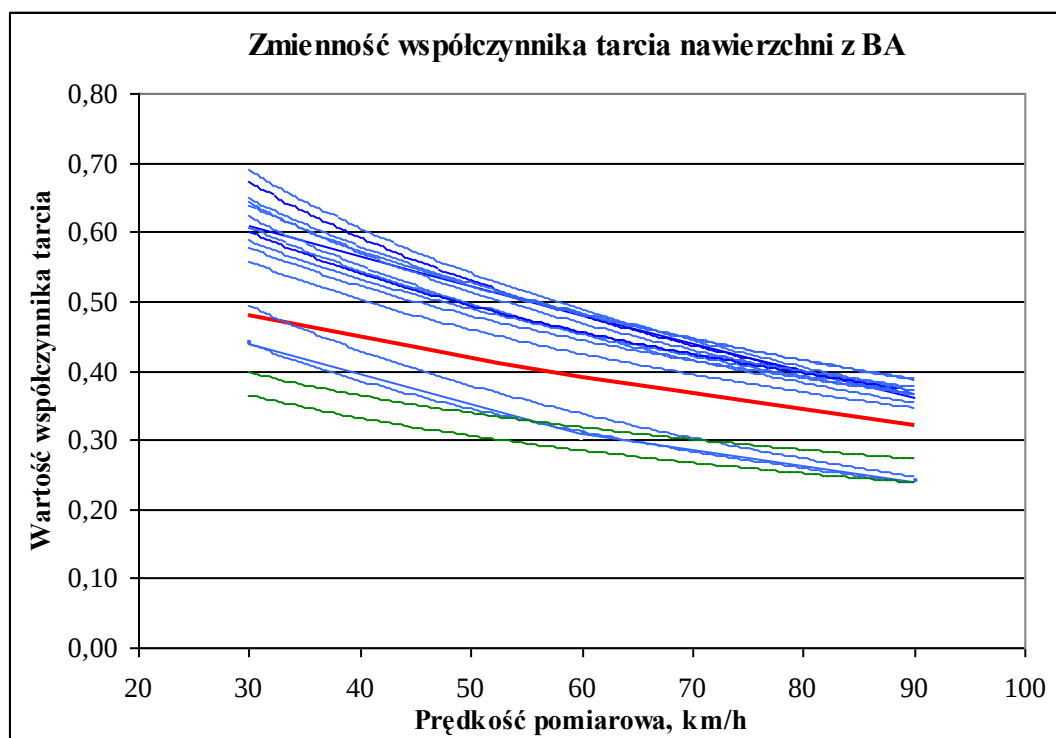
Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni			
	30 km/h	60 km/h	90 km/h	120 km/h
Pasy ruchu zasadnicze i dodatkowe, pasy awaryjne	0,62	0,52	0,44	0,37
Pasy włączeń i wyłączeń, jezdnie łącznic i PPO	0,63	0,55	0,48	-
Jezdnie SPO	0,59	0,48	-	-

Polskie przepisy zawierające wymagania względem właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych [1, 14] 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 [7]. Najważniejsze zgłoszone postulaty dotyczące pomiarów współczynnika tarcia są następujące:

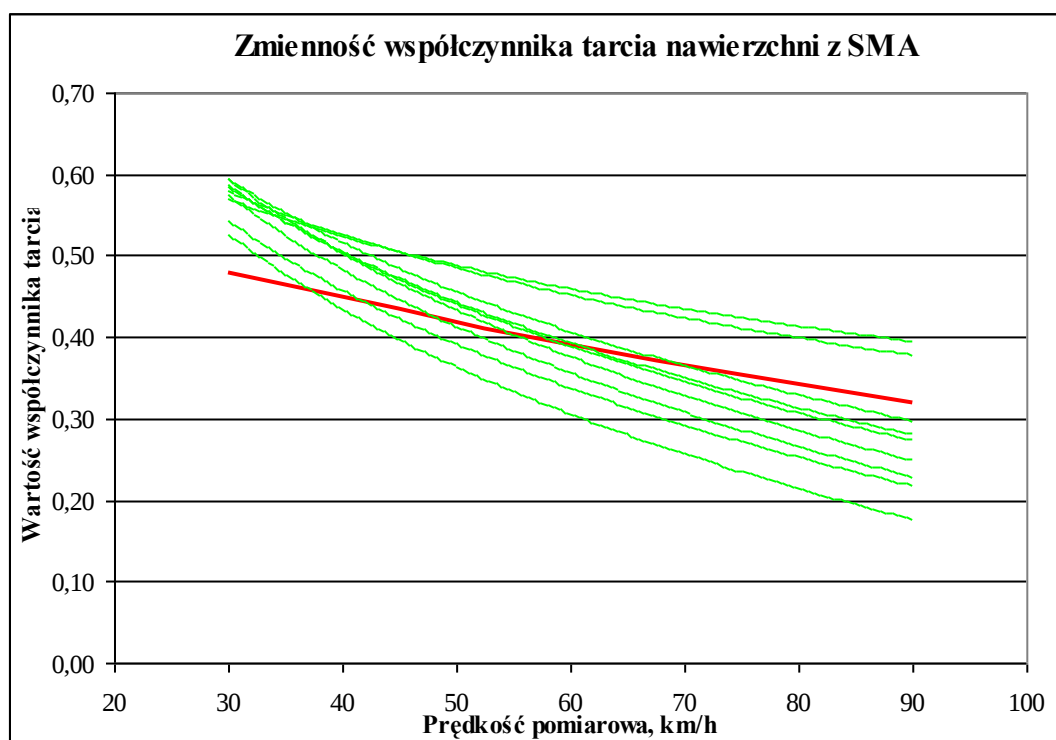
- należy uporządkować sprawę opon testowych stosowanych w badaniach współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3; w obu obowiązujących w Polsce przepisach wymienia się opony, które już od paru lat nie są stosowane w pomiarach,
- brak jest korelacji odnośnie wartości miarodajnego współczynnika tarcia dla autostrad podanych w obu Rozporządzeniach (różne wartości progowe); zdaniem laboratoriów wartości powinny być ujednolicone,
- 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 [1] 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 [14]; 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.

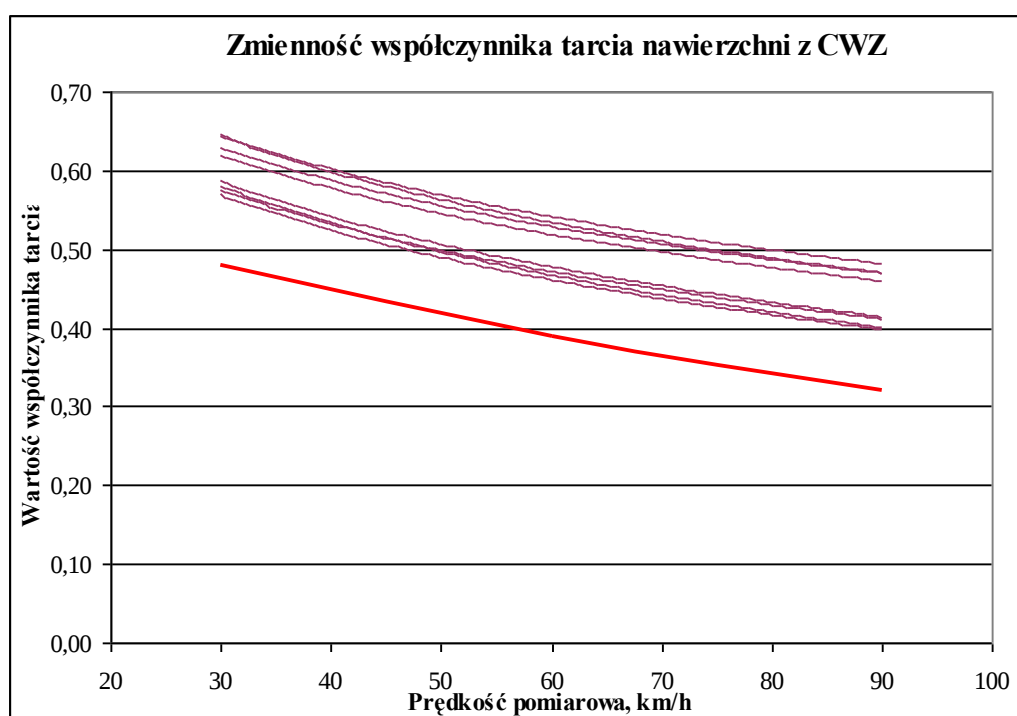
W pracy [7] wykonano serie badań na nowych nawierzchniach drogowych. Pomiary prowadzono w trzech prędkościach: 30, 60 i 90 km/h na odcinkach z warstwą ścieralną wykonaną w różnych technologiach: beton asfaltowy (BA), SMA, warstwa o nieciągłym uziarnieniu układana na zimno (CWZ), powierzchniowe uziarnienie (PU). Ilustrację graficzną zbiorów wyników otrzymanych w badaniach przedstawiają rysunki 1 - 4.



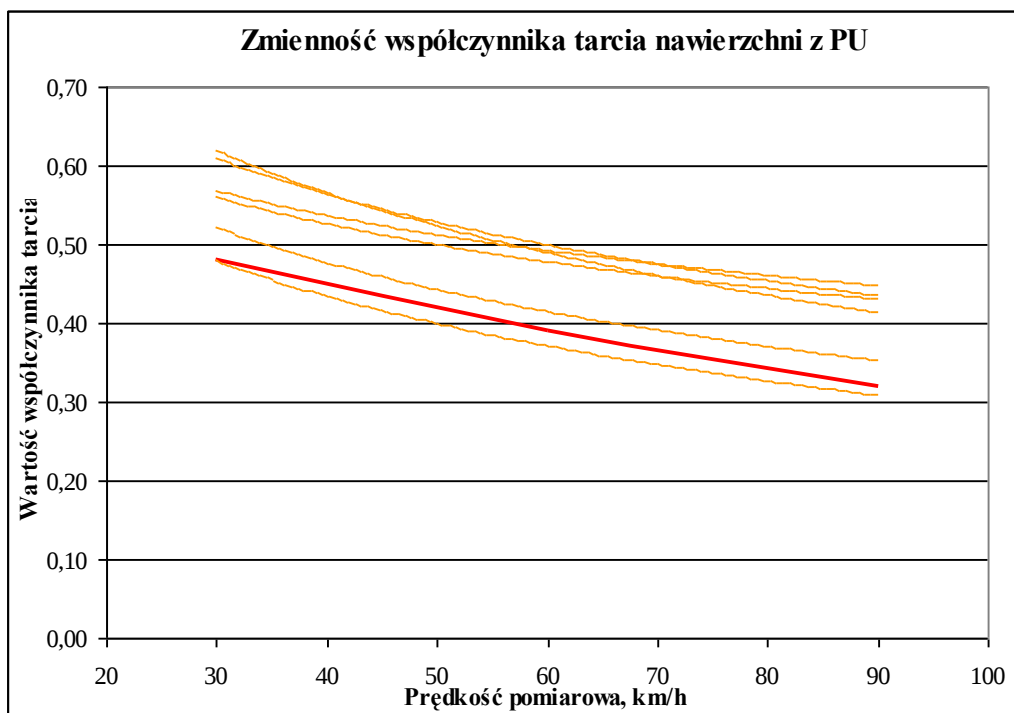
Rysunek 1. Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii BA z wymaganiami dla dróg publicznych



Rysunek 2. Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii SMA z wymaganiami dla dróg publicznych



Rysunek 3 Porównanie miarodajnych wartości współczynnika tarcia na odcinkach badawczych wykonanych w technologii CWZ z wymaganiami dla dróg publicznych



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

Na przedstawionych rysunkach linią czerwoną zaznaczono krzywą zmienności współczynnika tarcia w zależności od prędkości pomiarowej, odpowiadającą wymaganiom wg [1]. Na rysunku 1 kolorem zielonym zaznaczono dodatkowo wyniki pomiarów wykonanych na odcinku z nawierzchnią z betonu cementowego.

Jak pokazują wyniki badań przedstawione na rys. 1 – 4 wymagany współczynnik tarcia uzyskiwany był w większości na warstwach ścieralnych z betonu asfaltowego, powierzchniowego utrwalenia oraz cienkiej warstwy na zimno. Często natomiast nie był uzyskiwany na warstwach SMA nieuszlusowanych drobnym grysem.

Jednym z wniosków tej pracy badawczej było zalecenie stosowania uszlusowania wszystkich warstw ścieralnych SMA (z wyjątkiem nawierzchni miejskich ze względu na mniejszą prędkość i zanieczyszczenie instalacji odwodnieniowej). Nie mając jeszcze wówczas odpowiedniego doświadczenia i wystarczająco dużego zbioru danych, pozostano przy dotychczasowych wymaganych wartościach współczynnika tarcia, po ich przeliczeniu na nową oponę Barum Bravura. Zaproponowano też nowe zapisy opisujące procedurę wykonania badań współczynnika tarcia, które uwzględniały sugestie laboratoriów drogowych oraz ograniczały badania do jednej prędkości pomiarowej dla poszczególnych kategorii dróg:

Przy ocenie właściwości przeciwpślizgowych 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. Miara właściwości przeciwoślizgowych 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 5:

Tabela 5 Propozycje wymaganych poziomów miarodajnego współczynnika tarcia dla dróg publicznych w pracy [7]

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

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 przeciwoślizgowych warstwy ścieralnej. Jeżeli warunki atmosferyczne uniemożliwiają wykonanie pomiaru w wymienionym terminie, powinien być on zrealizowany z najmniejszym możliwym opóźnieniem.

W ostatnim czasie, w IBDiM przygotowano na zlecenie GDDKiA nowe rozporządzenie, które scala trzy dotychczas obowiązujące: dla dróg publicznych, autostrad płatnych i obiektów inżynierskich oraz nowy dokument aplikacyjny „Wymagania Techniczne. Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych WT-2”. Dokumenty te zawierają propozycje nowych procedur wykonywania badań współczynnika tarcia oraz wymagania i odnoszą się do obecnie stosowanej opony testowej. Uwzględniają również zgłaszane przez laboratoria oraz wykonawców problemy związane z uzyskiwaniem wymaganych wartości współczynnika tarcia nowych nawierzchni drogowych, w większości, na drogach krajowych wykonanych w technologii SMA. Poniżej podajemy wartości wymagań w nowych przepisach oraz opis procedury pomiarowej.

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

Pomiar wykonuje się przy temperaturze otoczenia od 5°C do 30°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. Miara 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 wypadku odbioru krótkich odcinków nawierzchni, na których nie można wykonać pomiarów z prędkością 60 lub 90 km/h (np. rondo, dojazd do skrzyżowania, niektóre łącznice), poszczególne wyniki pomiarów współczynnika tarcia nie powinny być niższe niż 0,47, przy prędkości pomiarowej 30 km/h.

Graniczne wartości miarodajnego współczynnika tarcia nawierzchni wymagane w okresie od 4 do 8 tygodni po oddaniu warstwy do eksploatacji, podczas odbioru technicznego nawierzchni określa tab. 6.

Tabela 6 Graniczne wartości miarodajnego współczynnika tarcia wymagane przy odbiorze nawierzchni

Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni	
		60 km/h	90 km/h
A, S	Pasy ruchu zasadnicze	-	0,40
	Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic	0,47	-
GP, G, Z	Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza	0,38	-

Jeżeli warunki atmosferyczne uniemożliwiają wykonanie pomiaru w wymienionym terminie, powinien być on zrealizowany z najmniejszym możliwym opóźnieniem.

Przed upływem okresu gwarancyjnego wartości miarodajnego współczynnika tarcia nie powinny być mniejsze niż podane w tab. 7. W wypadku badań na krótkich odcinkach nawierzchni, rondach lub na dojazdach do skrzyżowań poszczególne wyniki pomiarów współczynnika tarcia nie powinny być niższe niż 0,44, przy prędkości pomiarowej 30 km/h.

Tabela 7 Graniczne wartości miarodajnego współczynnika tarcia wymagane przed upływem okresu gwarancyjnego

Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni	
		60 km/h	90 km/h
A, S	Pasy ruchu zasadnicze	-	0,37
	Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic	0,44	-
GP, G, Z	Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza	0,36	-

Jak widać z wartości zestawionych w tabelach 5 i 6 proponuje się obecnie obniżenie wymagań dla nowych warstw asfaltowych. Sygnały o podobnych zmianach w przepisach mamy również od naszych zachodnich sąsiadów. W obowiązujących do 2007 roku wymaganiach niemieckich ZTVAsphalt - StB 01 [13] podano następujące wymagania:

Pojedyncza wartość współczynnika tarcia odcinka 100 m nie powinna być mniejsza o więcej niż 0,03 od wartości granicznej:

- Podczas odbioru:
 - przy 80 km/h $\mu_{SKM} = 0,46$
 - przy 60 km/h $\mu_{SKM} = 0,53$
 - przy 40 km/h $\mu_{SKM} = 0,60$
- Przed zakończeniem okresu gwarancyjnego:
 - przy 80 km/h $\mu_{SKM} = 0,43$
 - przy 60 km/h $\mu_{SKM} = 0,50$
 - przy 40 km/h $\mu_{SKM} = 0,56$.

W nowym, obowiązujących ZTV Asphalt –StB 07 [15]:

Współczynnik tarcia warstwy ścieralnej na drogach klas SV i I do VI nie powinien być mniejszy, przy zastosowaniu metody pomiaru siły bocznej (SKM) od poniższych wartości granicznych dla odcinków 100 m, o więcej niż 0,03:

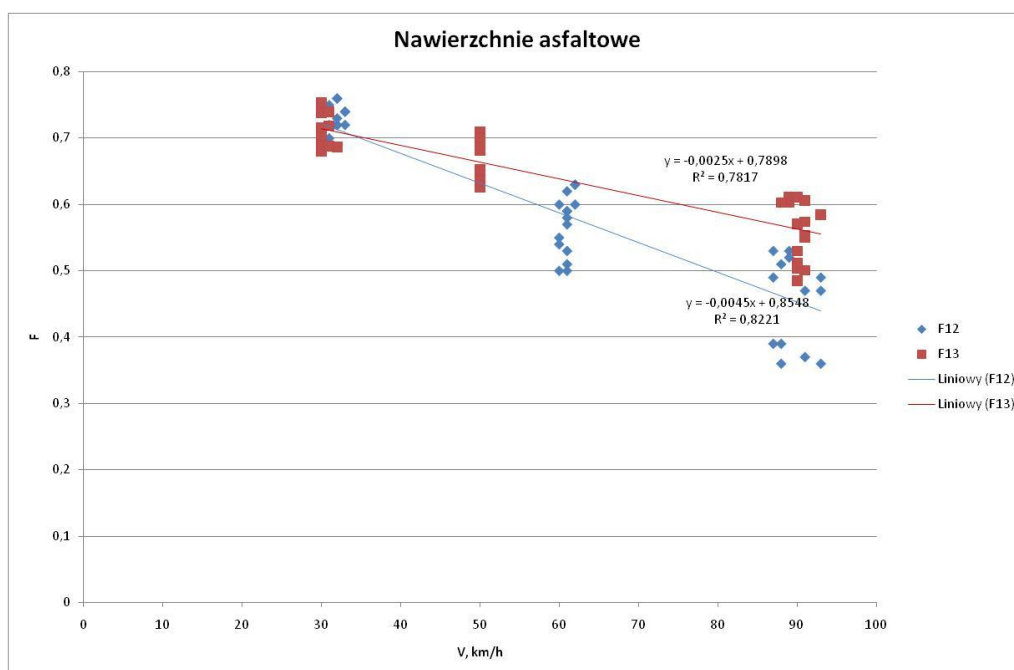
- Podczas odbioru:
 - przy 80 km/h $\mu_{SKM} = 0,46$
 - przy 60 km/h $\mu_{SKM} = 0,51$
 - przy 40 km/h $\mu_{SKM} = 0,56$
- Przed zakończeniem okresu gwarancyjnego:
 - przy 80 km/h $\mu_{SKM} = 0,43$
 - przy 60 km/h $\mu_{SKM} = 0,48$
 - przy 40 km/h $\mu_{SKM} = 0,52$.

Powyższe wartości graniczne dla metody SKM nie dotyczą zbiorczych dróg dojazdowych do posesji, dróg pomocniczych, stref ruchu pieszego, dróg dojazdowych do domów, dróg rowerowych i chodników, a także parkingów miejskich.

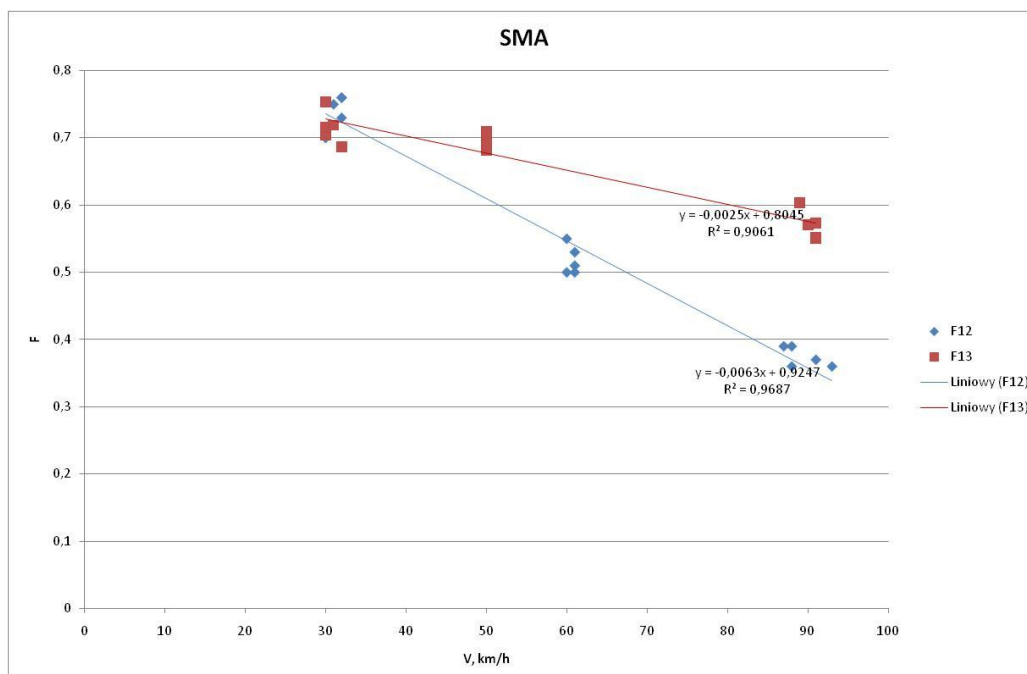
Prędkość pomiarową dla metody SKM można wybrać z zakresu 40, 60, 80 km/h w zależności od lokalnych warunków i podać w opisie wymagań.

Należy tu zaznaczyć, że w Niemczech [29] i w Polsce stosowane są różne urządzenia pomiarowe: odpowiednio SCRIM i SRT-3. Udział IBDiM w ramach stowarzyszenia FEHRL w projekcie badawczym HERMES pozwolił na uzyskanie porównania między SRT3 a innymi aparatami pomiarowymi, m.in. SCRIM (choć nie tym stosowanym w Niemczech, lecz o tej samej metodyce pomiarowej). Porównanie wyników wskazuje, że korelacja wartości pomiarowych zależy od typu nawierzchni i prędkości pomiarowej (rysunki 5 - 7). Mieszanka

SMA wykazuje największą zależność współczynnika tarcia od prędkości pomiarowej, a różnice między wynikami pomiarów SCRIM i SRT-3 są największe przy prędkości 90 km/h.

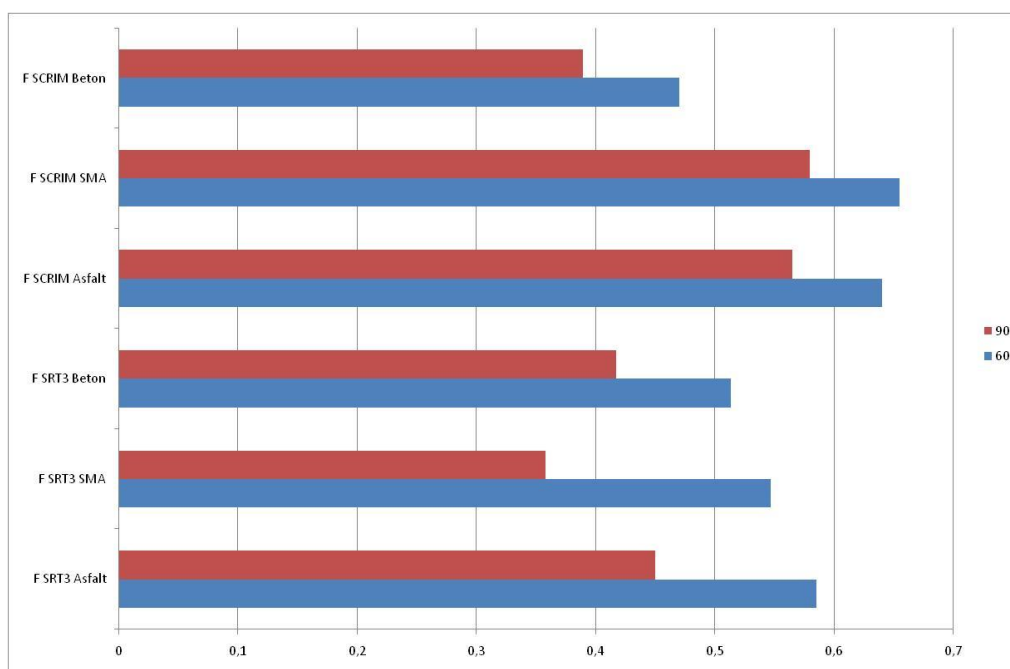


Rysunek 5. Projekt HERMES GB 1.1. Porównanie współczynnika tarcia SCRIM (F13) i SRT3 (F12) – nawierzchnie asfaltowe (wszystkie łącznie)



Rysunek 6. Projekt HERMES GB 1.1. Porównanie współczynnika tarcia SCRIM (F13) i SRT3 (F12) – nawierzchnie asfaltowe SMA

Należy zwrócić także uwagę, że współczynnik tarcia mierzony SRT-3 jest niższy niż SCRIM oraz, że im większa prędkość, tym różnica ta jest większa. Nie można zatem w żadnym wypadku przenosić bezpośrednio wymagań opracowanych na podstawie SCRIM (np. Niemcy) do polskich warunków (SRT-3). Należy w tym celu wykonać odpowiednie badania porównawcze.



Rysunek 7. Projekt HERMES GB 1.1. Porównanie zbiorcze współczynnika tarcia SCRIM i SRT-3 przy prędkości 60 i 90 km/h na różnych nawierzchniach

W jednej z prac badawczych wykonywanych przez IBDiM w 2007 roku podjęto się próby sprawdzenia, czy i w jakim stopniu niższe od wymaganych wartości współczynnika tarcia nawierzchni powodują niebezpieczeństwo dla użytkowników drogi. W tym celu przeprowadzono eksperyment z udziałem rzeczoznawców samochodowych, polegającym na wykonaniu serii pomiarów opóźnienia hamowania samochodem osobowym na odcinku drogi o niskim współczynniku tarcia $\mu = 0,32$ oraz o obniżonych parametrach geometrycznych. Próby wykonano dla dwóch prędkości jazdy **60 km/h** i **80km/h** dla nawierzchni asfaltowej suchej i mokrej. Badania przeprowadzono samochodem Daewoo Lanos wyposażonym w aparaturę pomiarowo - badawczą do rejestrowania opóźnień hamowania i nacisku na pedał hamulca. W czasie prób masa całkowita samochodu obciążonego przez dwie osoby siedzące na przednich siedzeniach tj. kierującego pojazdem i pasażera operatora komputera rejestrującego pomiary wynosiła 1182 kg. Pojazd badawczy wyposażony był w opony firmy Dębica Pasio w rozmiarze 185/60R14. Charakterystykę jezdni w miejscu badań opisano w tabeli 8.

Tabela 8 *Charakterystyka geometryczna ocenianego odcinka drogi*

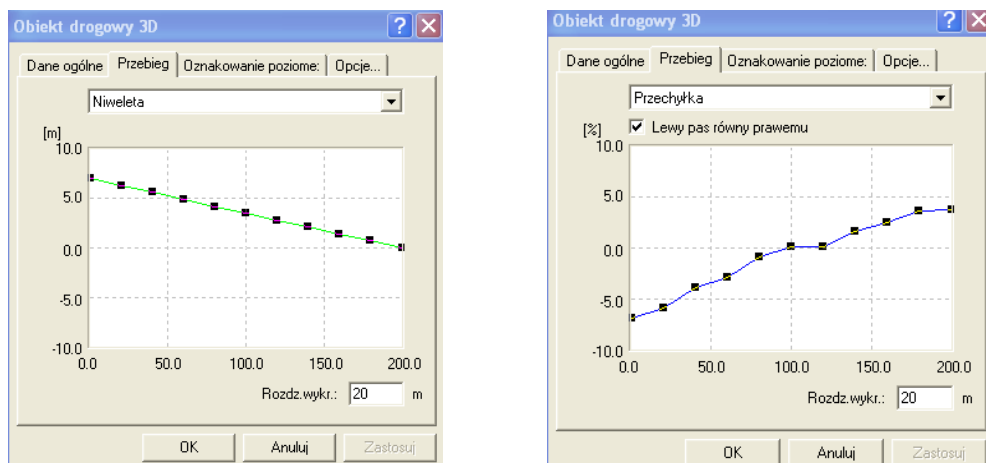
Parametr	Wartości parametru dla ocenianego odcinka drogi
Spadki poprzeczne	od 2% do 7%
Spadki podłużne	od 0,3% do 3.7%
Łuki poziome	min. 300m
Łuki pionowe wklęsłe	min. 3000m
Łuki pionowe wypukłe	min. 4500m

Wykonujący badania naciskał pedał hamulca do zablokowania kół utrzymując stan poślizgu samochodu do zatrzymania korygując nacisk w sytuacji, gdy samochód w istotny sposób zbaczał z toru jazdy.

Z uzyskanych w eksperymencie danych wynika, że na nawierzchni otrzymano dość duże różnice pomiędzy opóźnieniami hamowania dla suchej i mokrej nawierzchni. Minimalna wartość opóźnienia hamowania ślizgowego uzyskana na jezdni mokrej wyniosła 3 m/s^2 . Wartość ta odpowiada wartości współczynnika tarcia ślizgowego $\mu = 0,31$ i jest wartością zbliżoną do minimalnych wartości określonych w publikacjach fachowych [16] w zakresie $\mu_s = 0,3 - 0,5$.

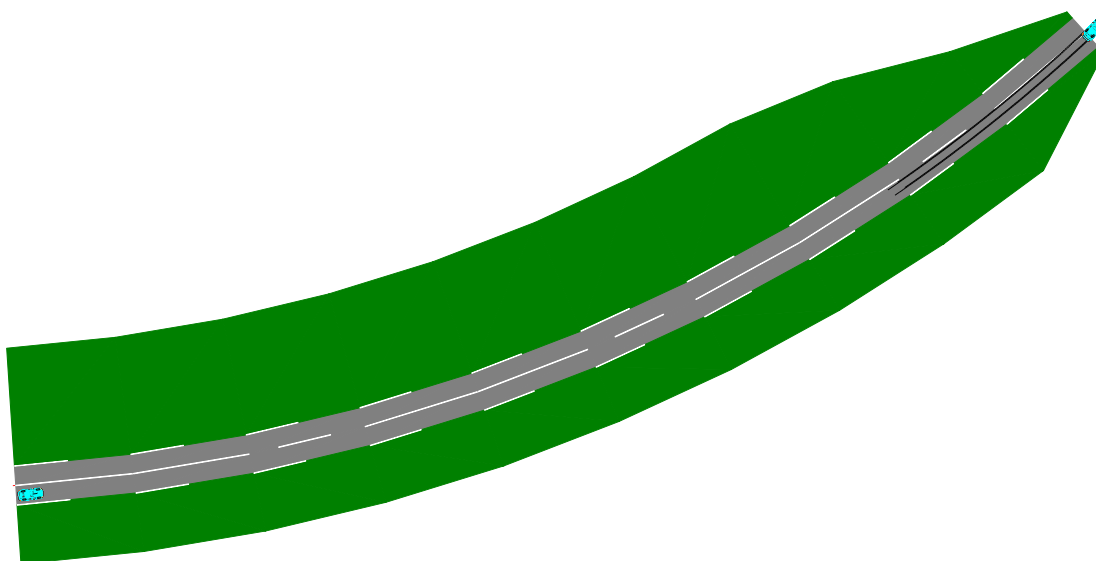
Dla potrzeb analizy wykonano również symulacje ruchu pojazdu o parametrach pojazdu badawczego w wybranej geometrii miejsca pomiarów. Na podstawie danych zawartych w tabeli 8 oraz rysunkach projektowych określających charakterystyki spadków poprzecznych i wzdłużnych na badanych odcinkach jezdni dla potrzeb symulacji jako najbardziej niekorzystny układ wybrano charakterystykę drogi na łuku o minimalnym promieniu $R_{\text{pmin}} = 300 \text{ m}$, gdy następowała jednocześnie zmiana pochylenia wzdłużnego z 3,7% do 0,3%, a pochylenia poprzecznego z 7% do 2%. Dla tak zaprojektowanej charakterystyki drogi określono graniczną prędkość jazdy samochodu po przekroczeniu, której następuje utrata stateczności ruchu, przy czym należy zauważyć, że dodatkowo wykonany w takich warunkach jazdy manewr hamowania lub pogłębienia skrętu powoduje natychmiastowy niekontrolowany poślizg pojazdu.

Przebieg zmiany niwelety i przechyłki na symulowanym odcinku drogi przedstawiono na rysunku 8.



Rysunek 8. Przebieg niwelety i przechyłki dla symulowanego odcinka drogi.

Z wykonanych wielu symulacji wynika, że utrata stateczności ruchu pojazdu na mokrej asfaltowej nawierzchni występuje w miejscu przejścia z odcinka o zmiennym spadku wzdłużnym i poprzecznym do miejsca o maksymalnym spadku wzdłużnym i minimalnym spadku poprzecznym. Wartość graniczna prędkości dla tych warunków ruchu wynosiła około $V_{gr} = 97$ km/h. Obraz symulacji dla prędkości granicznej przedstawiono na rysunku 9.



Rysunek 9. Przebieg symulacji na wybranym odcinku drogi z widocznymi śladami zarzucania.



Rysunek 10. *Przebieg symulacji na wybranym odcinku drogi, prędkość $V=115\text{km/h}$ z widocznymi śladami zarzucania.*

Gdy przyjęto większy promień łuku $R=500\text{m}$, prędkość graniczna wyniosła około 123km/h . Należy się spodziewać, że przy założeniu stałej przechyłki na łuku (7%) wartość prędkości granicznej jeszcze bardziej wzrośnie.

Przeprowadzone badania rzeczoznawców samochodowych pokazują, że nawet przy niskich wartościach współczynnika tarcia bezpieczeństwo użytkowników może być zachowane, jeżeli przestrzegane są przepisy ruchu drogowego (dopuszczalnej prędkości jazdy). W przedstawionym przypadku administrator drogi wprowadził ograniczenie prędkości ruchu pojazdów do 50 km/h .

4. Międzynarodowy eksperyment „HERMES”

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 16-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 europejskiej (w obecnym kształcie) w związku ze stwierdzeniem wielu sprzeczności w postulowanych procedurach obliczeniowych. Tym niemniej Instytut bierze czynny udział w kolejnych eksperymentach z stosowanym w Polsce 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. Wskazują oni na zbyt małą korelację pomiędzy wynikami pomiarów uzyskiwanymi różnymi urządzeniami. Dlatego też projekt normy został wycofany z poziomu ankietyzacji i jest obecnie weryfikowany. W grupie 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.

Administracje drogowe w różnych krajach stosują zróżnicowane metody oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni, dostosowane do użytkowanej aparatury pomiarowej [17, 18, 19, 20]. 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).

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 $\alpha = 20^0$ odpowiada poślizg poprzeczny równy składowej prędkości wzdłużnej, tj.

$$S_p = v \cdot \sin \alpha = v \cdot \sin 20^0 = 0.34 \cdot v$$

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) – fot. 1 | $\alpha = 20^0, \quad s = 34\%$ |
| ▪ Mu-Meter (Hiszpania, stosowany również w Anglii) – fot. 2 | $\alpha = 7,5^0, \quad s = 13\%$ |
| ▪ Stradograph (Dania) | $\alpha = 12^0, \quad s = 20\%$ |
| ▪ Odoliograph (Belgia) | $\alpha = 15^0, \quad s = 25\%$ |



Fot. 1 SCRIM



Fot. 2 Mu-meter

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) – fot. 3 | $s = 14\%$ |
| ▪ DWW Trailer (Holandia) – fot. 4 | $s = 86\%$ |
| ▪ Skiddometer BV-8 (Szwecja, Szwajcaria) | $s = 20\%$ |
| ▪ Skiddometer BV-11 (Szwecja, Słowacja) – fot 5 | $s = 18\%$ |
| ▪ Stuttgarter Reibungsmesser (Niemcy, Szwajcaria) | $s = 20\%$ |
| ▪ Norsemeter ROAR (Norwegia) – fot. 6 | $s = 18\%$ |

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.



Fot. 3 *Griptester*



Fot. 4 *DWW Trailer*



Fot. 5 *Skiddometer BV-11*



Fot. 6 *Norsemeter ROAR*

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.

Do tej grupy urządzeń pomiarowych zaliczamy:

- Norsemeter OSCAR (Norwegia) – fot. 7 $s = 5 - 95\%$
- Petra (Niemcy) $s = 0 - 100\%$



Fot. 7 Norsemeter OSCAR

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) – fot. 8,
- Stuttgarter Reibugsmesser (Niemcy, Szwajcaria),
- Skiddometer BV-8 (Szwecja, Szwajcaria),
- ASTM-E274 (USA, stosowany również w Anglii i we Francji) – fot. 9,
- Skid Resistance Tester (SRT-3 - Polska, Litwa) – fot. 10 i 11.



Fot. 8 ADHERA



Fot. 9 ASTM-E274

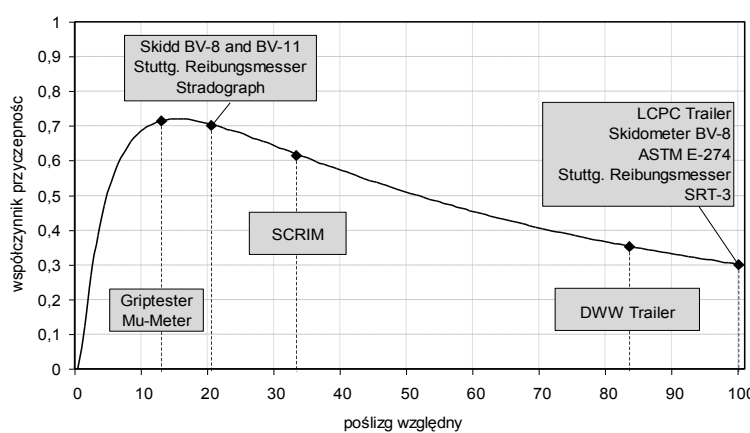


Fot. 10 Zestawy pomiarowe SRT-3

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. 11, 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 właściwościach 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 [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]. Choć formalnie jest ono klasyfikowane jako urządzenie mierzące współczynnik tarcia przy pełnej blokadzie koła pomiarowego, posiada ono zdolność wyznaczania pełnych charakterystyk przyczepności wzdluznej $\mu=f(s)$ (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.

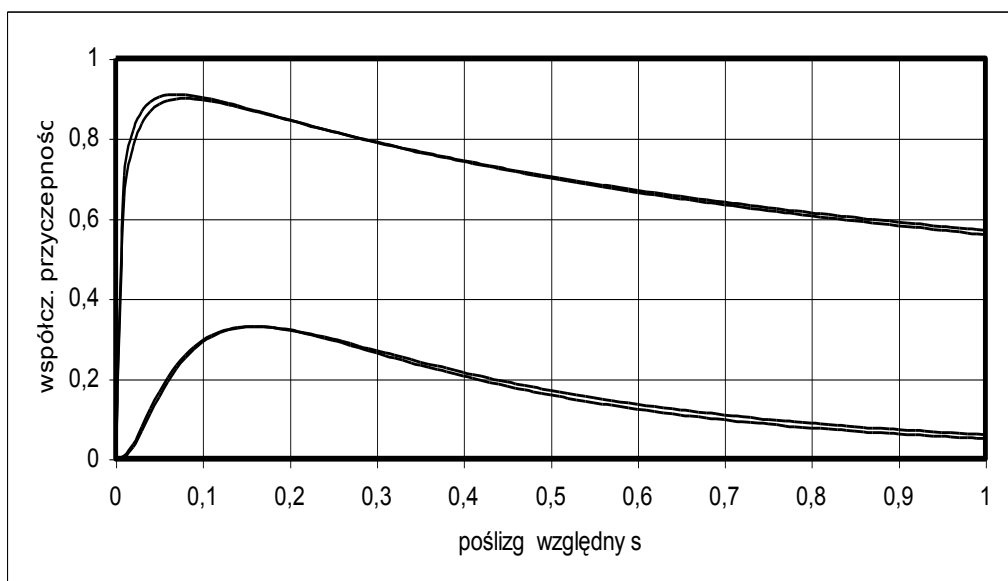


Rysunek 11. *Zróżnicowanie metod pomiaru współczynnika tarcia na tle przykładowej charakterystyki $\mu=f(s)$*

Na rys. 12. zamieszczono wykresy charakterystyk $\mu=f(s)$ wykonane przez zestaw pomiarowy SRT-3 na dwu odcinkach testowych w Anglii podczas ostatniego Eksperymentu (koniec października 2002 roku) w ramach realizacji Projektu HERMES przez polski zestaw pomiarowy SRT-3.



Fot. 11 *Przyczepa dynamometryczna SRT-3 podczas wykonywania pomiaru*



Rysunek 12. *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, 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 wyżej zestawienie urządzeń badawczych, ze względu na metodę pomiaru współczynnika tarcia nie jest pełne. Podany podział nie obejmuje urządzeń specjalizowanych do badań nawierzchni lotniskowych, np. Saab Friction Tester (stosowanych również w Polsce). Firma Norsemeter wprowadziło do eksploatacji urządzenia nowej generacji SALTAR, zdolne do prowadzenia badań również w warunkach zimowych.

W tabelach 9, 10 i 11 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 9. *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.

Tablica 10. *Metodyka badań i preferowane urządzenia pomiarowe*

Kraj	Warunki pomiaru	Wartość miarodajna	Długość odcinka pomiarowego	Normy i procedury
Anglia	50 lub 20 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 11 *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 9, 10 i 11 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 12.

Tablica 12 *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.

Trzykrotnie w 2001 i 2002 roku ekipa pomiarowa IBDiM uczestniczyła z zestawem SRT-3 w badaniach porównawczych współczynnika tarcia, w ramach realizacji projektu HERMES (**H**armonisation of **E**uropean **R**outine and **M**easuring **E**quipment for Skid Resistance of Roads and Runways). Do udziału w tych badaniach, o bardzo dużym znaczeniu poznawczym, ekipa Instytutu została zaproszona jako jedyna spośród krajów, które nie stanowią głównego trzonu tzw. Laboratoriów Wiodących, przewidzianych decyzją FEHRL do realizacji eksperymentu. Pierwszy tego typu projekt zorganizowany został w roku 1992. Wówczas kilkadziesiąt ekip pomiarowych z Europy oraz Japonii i USA wykonywało przez 1,5 miesiąca badania porównawcze na odcinkach drogowych w Belgii i Hiszpanii. W eksperymencie HERMES zdecydowano się na zmianę organizacji pomiarów. Postanowiono, że badania prowadzone będą w kilku turach, po kilka urządzeń testowych w każdej części eksperymentu. Zestaw SRT-3 został przydzielony do realizacji badań w trzech turach:

- w październiku 2001 roku, na terenie Centralnego Ośrodka Transportu i Badań Drogowych (TRL) w Crowthorne w Anglii,
- w marcu 2002 roku, na terenie Ośrodka Badawczo Rozwojowego LCPC w Nantes we Francji,
- w październiku 2002 roku, również w Nantes.

Polski zestaw pomiarowy wyróżniał się na tle innych urządzeń pomiarowych mobilnością, niezawodnością i precyzją pomiarów, co podkreślano było przez organizatorów pomiarów w podsumowaniach poszczególnych części eksperymentu HERMES. Zaprezentowane zostały wszystkie własności i możliwości pomiarowe zestawu SRT-3, zwłaszcza wyznaczanie pełnych charakterystyk przyczepności $\mu = f(s)$ (w funkcji poślizgu względnego w każdym hamowaniu) oraz możliwość samokontroli poprawności wyników badań.

Inicjatorem eksperymentu jest FEHRL. Uznano, że stan zaawansowania prac nad projektem normy w sprawie SRI (ang. Skid Resistance Index) jest niedostateczny, zwłaszcza wobec zastrzeżeń zgłoszonych przez szereg ośrodków badawczych i organizacji drogowych, m.in. IBDiM. Główne cele projektu HERMES (**H**armonisation of **E**uropean **R**outine and **M**easuring **E**quipment for Skid Resistance of Roads and Runways) można streścić w następujących punktach:

1. Rewizja projektu europejskiej normy pr EN 13036-2:2001 „Pomiar współczynnika tarcia metodą dynamiczną – Wyznaczenie Wskaźnika Tarcia” i zawartej w nim procedury kalibracji względnej różnych urządzeń pomiarowych.
2. Określenie założeń dla FEHRL w sprawie szczegółowej organizacji kalibracji urządzeń pomiarowych w Europie – łącznie z aspektami nietechnicznymi.
3. Opracowanie specyfikacji (wymagań technicznych) dla zharmonizowania w przyszłości systemu prac kalibracyjnych – opartego o referencyjne urządzenie pomiarowe lub referencyjną nawierzchnię drogową.

Na realizację projektu przeznaczono 900 tys. EUR, które rozdzielono pomiędzy siedmioma jednostkami badawczymi: TRL, LCPC, DWW, VTI, BRRC, DRI, BAST, które mają stanowić trzon w badaniach poznawczych i kalibracyjnych. Poszczególne laboratoria są odpowiedzialne za określone zadania. Największy udział w planowanych na 3 lata pracach (2001 – 2003) przypadł belgijskiemu BRRC. Polski zestaw SRT-3 został zaproszony do udziału w kolejnych etapach prac pod warunkiem pokrycia wszystkich kosztów, związanych z uczestnictwem przez Instytut. Uznano, że warto ponieść pewne koszty, mając na uwadze, że eksperyment przyczyni się nie tylko do wyjaśnienia wątpliwych kwestii lecz również pozwoli na zgromadzenie obszernego materiału o charakterze poznawczym. Nie bez znaczenia było również przedstawienie możliwości badawczych urządzenia SRT-3 szerokiemu gronu specjalistów europejskich. Udział w projekcie HERMES pozwoli także na umieszczenie powszechnie stosowanego w naszym kraju aparatu na liście urządzeń referencyjnych zestawionych w normie europejskiej.

Badania przeprowadzono wg następującego schematu:

I tura badań – październik 2001 roku, TRL, Crowthorne, Anglia

W badaniach uczestniczyło 8 ekip (tab. 13). Wszystkie pomiary wykonano na torze doświadczalnym TRL.

Tabela 13. *Zestawienie urządzeń pomiarowych i organizacji (Instytutów Badawczych) uczestniczących w I turze pomiarów w Crowthorne.*

Lp	Jednostka badawcza	Kraj	Urządzenie
1	TRL	Wielka Brytania	Adhera
2	IBDiM	Polska	Odoliograph
3	RTD Trondheim	Norwegia	ROAR Mk2
4	NPRA Oslo	Norwegia	OSKAR
5	TRL	Wielka Brytania	PFT
6	Douglas Equip.	Wielka Brytania	Mu Meter
7	Babtie Kent	Wielka Brytania	Grip Tester
8	Findlay Irvine	Wielka Brytania	Grip Tester D

Na torze pomiarowym wyodrębniono 8 odcinków testowych charakteryzujących się różną technologią wykonania, różną teksturą i własnościami ciernymi. Na każdym odcinku testowym pomiary współczynnika tarcia wykonywano przy trzech prędkościach 30, 60 i 90 km/h, z pięcioma powtórzeniami. Po każdej serii dokonywano zmiany kolejności ustawienia ekip przed następnymi pomiarami. W czasie badań (w czasie poruszania się po zamkniętym torze) ekipy nie widziały się wzajemnie. Badania prowadzono na następujących nawierzchniach:

- UK1 - beton cementowy rowkowany,
- UK2 - beton cementowy szczotkowany,
- UK3 - cienka warstwa na zimno,

- UK4 - beton cementowy polerowany,
- UK5 - nawierzchnia typu NCAP,
- UK6 - grube uziarnienie „Mars”,
- UK7 - nawierzchnia epoksydowa,
- UK8 - nawierzchnia asfaltowa typu HRA.

II tura badań – marzec 2002 roku, LCPC, Nantes, Francja

Badania zrealizowane zostały na terenie zamkniętym LCPC, dysponującym własnym torem badawczym i bardzo dobrym zapleczem technicznym. W badaniach uczestniczyło 5 ekip, w tym 2 z Francji, 2 z Belgii i ekipa polska – tabela 14.

Tabela 14. *Zestawienie urzędzeń pomiarowych i organizacji (Instytutów Badawczych) uczestniczących w II turze pomiarów w Nantes*

Lp	Jednostka badawcza	Kraj	Urządzenie
1	CETE Lyon	Francja	Adhera
2	BRRC	Belgia	Odoliograph
3	IBDiM	Polska	SRT-3
4	STBA	Francja	IMAG
5	MET	Belgia	Griptester

Na torze doświadczalnym było wyodrębnionych 6 odcinków testowych charakteryzujących się inną technologią wykonania, inną teksturą i własnościami ciernymi. Na uwagę zasługuje fakt, że przed przystąpieniem do pomiarów odcinki testowe były dokładnie szczotkowane i myte. W czasie pomiarów nadmiar wody był na bieżąco usuwany między kolejnymi seriami pomiarów. Te działania miały na celu zapewnienie wszystkim ekipom porównywalnych warunków pomiarów.

Odcinki testowe:

- FR1 - powierzchniowe utrwalenie,
- FR2 - beton asfaltowy,
- FR3 - bardzo cienka warstwa betonu cementowego,
- FR4 - nawierzchnia epoksydowa,
- FR5 - asfalt piaskowy,
- FR6 - asfalt porowaty

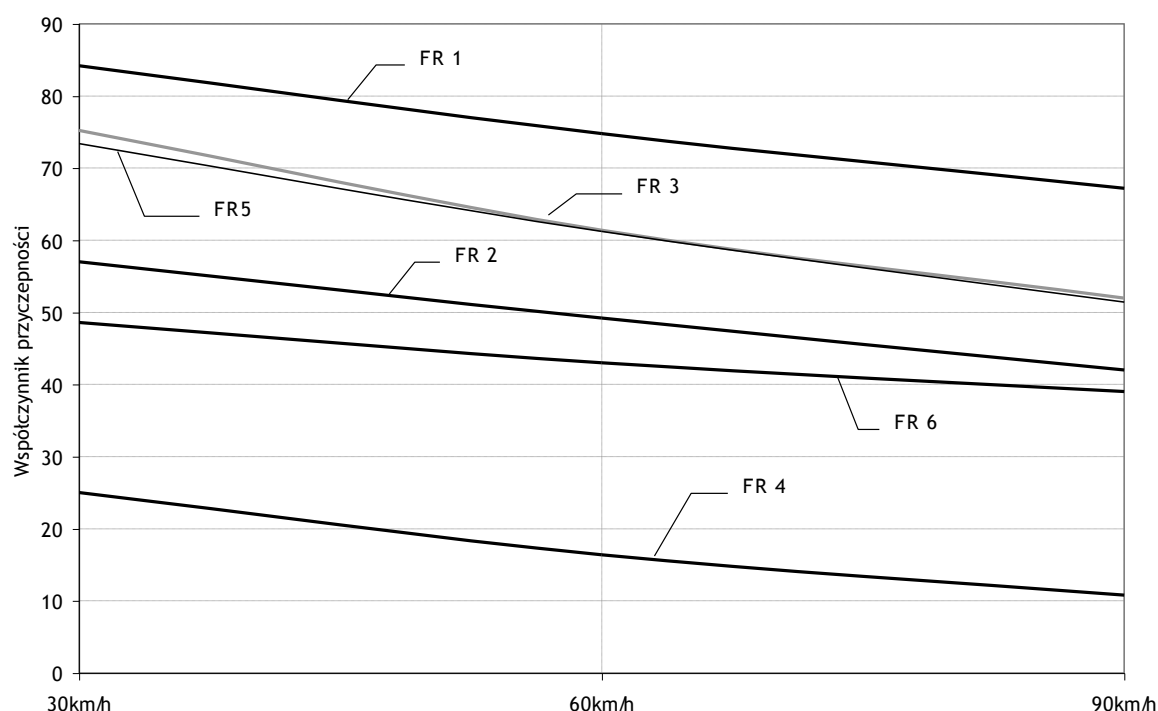
Poważnym utrudnieniem dla wszystkich ekip było dokonanie pomiarów na odcinkach testowych, usytuowanych wprawdzie w kolejności FR1+FR2+FR3 (w czasie pierwszego przejazdu przez tor doświadczalny i FR4+FR5+FR6 (w czasie drugiego przejazdu przez tor doświadczalny), ale nie w jednej linii. Na krótkim dystansie trzeba było zmienić tor ruchu, nawet przy prędkości 90 km/h i trafić w bardzo wąski pas pomiarowy na kolejnym odcinku testowym. Niektóre urządzenia pomiarowe były wyrzucane siłami bezwładności poza wyznaczone granice pomiaru. Polski zestaw SRT-3 nie stwarzał pod tym względem żadnych problemów.

Innym utrudnieniem była konieczność tankowania wody w celu zapewnienia regulaminowej grubości filmu wodnego pod kołem pomiarowym w czasie badań. Zjazd z toru badań jakiegokolwiek ekipy w celu uzupełnienia wody pociągał za sobą przerwę w badaniach (dla zachowania ustalonej kolejności pomiarów na odcinkach testowych). Zestaw SRT-3, z komputerowo kontrolowanym wydatkiem wody, tylko 3-krotnie (w ciągu 4 dni badań) zjeżdżał z toru w celu uzupełnienia wody, podczas kiedy inne ekipy uzupełniały wodę kilka razy dziennie.

Dla przykładu, uśrednione wyniki pomiarów dla każdej prędkości testowej, w badaniach tury II) zamieszczono w tab. 15 i na rys.13.

Tabela 15. Uśrednione wyniki pomiarów na odcinkach testowych w II turze badań

Odcinek	30 km/h			60 km/h			90 km/h		
	próba	v_{rzecz}	μ	próba	v_{rzecz}	μ	próba	v_{rzecz}	μ
FR1	1÷5	29,98	0,84	1÷5	59,96	0,75	1÷5	90,50	0,67
FR2	1÷5	30,40	0,57	1÷5	60,02	0,49	1÷5	89,94	0,42
FR3	1÷5	30,54	0,75	1÷5	60,20	0,61	1÷5	90,20	0,52
FR4	1÷5	30,06	0,25	1÷5	61,52	0,16	1÷5	90,18	0,11
FR5	1÷5	30,10	0,73	1÷5	59,76	0,61	1÷5	89,94	0,51
FR6	1÷5	30,32	0,49	1÷5	60,34	0,43	1÷5	89,84	0,39



Rysunek 13. Charakterystyki przyczepności na odcinkach testowych w II turze badań

Na rys. 13 zamieszczone są wykresy, charakteryzujące zależność pomierzonych współczynników przyczepności od prędkości poślizgu koła pomiarowego względem nawierzchni odcinków testowych. Odcinek FR4, imitujący nawierzchnię oblodzoną, odznaczał się bardzo małą wartością współczynnika tarcia i był traktowany jako sprawdzian możliwości pomiarowych poszczególnych urządzeń badawczych. Niektóre z urządzeń

wykazywały przy prędkości 90 km/h ujemną wartość współczynnika tarcia, co oczywiście jest niezgodne z prawami fizyki (błąd kalibracji urządzenia pomiarowego).

III tura badań – październik 2002 roku, LCPC, Nantes, Francja

W trzeciej turze badań, przeprowadzonych na tym samym torze doświadczalnym, tylko przy innej konfiguracji odcinków testowych, uczestniczyło 7 ekip – tab. 16.

Tabela 16. *Zestawienie urządzeń pomiarowych i organizacji (Instytutów Badawczych) uczestniczących w III turze pomiarów w Nantes.*

Lp	Jednostka badawcza	Kraj	Urządzenie
1	CETE Lyon	Francja	Adhera
2	CEDEX	Hiszpania	SCRIM
3	MET	Belgia	SCRIM
4	MET	Belgia	Griptester
5	NRRL	Norwegia	OSCAR
6	NRRL	Norwegia	ROAR Mk2
7	IBDiM	Polska	SRT-3

Podobnie jak podczas II tury badań na torze doświadczalnym było wyodrębnionych 6 odcinków testowych. Zmianie uległy tylko nawierzchnie oznaczone:

FR5 - asfalt porowaty,

FR6 - asfalt szlifowany

W czasie trwania II tury badań w Nantes odbywały się spotkania, z udziałem wszystkich ekip, na których omawiano przebieg badań i komentowano wstępnie uzyskiwane wyniki. Duże zainteresowanie wzbudzały pełne charakterystyki przyczepności, demonstrowane przez ekipę polską, wyznaczane w każdym hamowaniu, na każdym odcinku testowym. W nieformalnych wypowiedziach przewijało się jednak przeświadczenie, że w przyszłości dominować będą urządzenia z ciągłym pomiarem współczynnika przyczepności, typu IMAG, ROAR czy SALTAR.



Fot. 12 IMAG

We wszystkich turach pomiarów prowadzonych w ramach projektu HERMES wyniki przekazywano organizatorom w formie tabel jak na rys. 14.

 Harmonisation of European Routine and Research Measuring Equipment for Skid Resistance of Roads and Runways										
CALIBRATION TRIAL MEETING - RESULTS SPREADSHEET - FRICTION TEST RESULTS										
This sheet summarises the results from Device F12(SRT3 from Poland), at calibration meeting 3.3 held in France on 15-17 October 2002										
Section Identifier	Section name	Target speed 30km/h			Intermediate speed			Target speed 90km/h		
		Run	actual speed	friction value	Run	actual speed	friction value	Run	actual speed	friction value
FR1	Surface dressing	1	29,6	0,884	1	58,0	0,788	1	89,0	0,680
		2	31,2	0,888	2	57,9	0,787	2	90,5	0,690
		3	31,0	0,887	3	59,4	0,793	3	89,9	0,741
		4	31,4	0,880	4	57,9	0,775	4	89,9	0,673
		5	30,0	0,861	5	58,3	0,800	5	89,6	0,730
FR2	Bituminous concrete	1	29,5	0,595	1	58,8	0,493	1	90,8	0,450
		2	32,0	0,584	2	59,9	0,480	2	91,6	0,453
		3	31,1	0,582	3	59,7	0,497	3	90,2	0,445
		4	31,2	0,588	4	58,9	0,481	4	89,9	0,437
		5	30,7	0,559	5	58,3	0,479	5	90,8	0,421
FR3	Very thin concrete	1	29,1	0,837	1	58,4	0,686	1	88,4	0,623
		2	33,0	0,824	2	61,0	0,650	2	89,6	0,610
		3	32,9	0,823	3	58,0	0,664	3	89,8	0,620
		4	32,1	0,812	4	59,2	0,673	4	89,1	0,623
		5	32,0	0,810	5	59,2	0,654	5	89,0	0,609
FR4	Epoxy	1	29,5	0,237	1	59,2	0,193	1	89,6	0,130
		2	29,3	0,271	2	58,3	0,197	2	87,3	0,120
		3	33,0	0,260	3	60,0	0,185	3	89,9	0,103
		4	32,1	0,226	4	58,9	0,167	4	88,7	0,104
		5	29,5	0,263	5	61,3	0,138	5	88,0	0,091
FR6	Porous Asphalt	1	29,6	0,536	1	60,4	0,447	1	92,5	0,430
		2	30,8	0,536	2	59,7	0,451	2	90,0	0,413
		3	31,8	0,567	3	59,2	0,472	3	90,8	0,412
		4	32,0	0,527	4	59,9	0,455	4	89,6	0,430
		5	32,1	0,513	5	60,7	0,439	5	92,0	0,425
FR7	Ground Asphalt	1	31,9	0,709	1	60,0	0,557	1	91,1	0,480
		2	30,8	0,697	2	59,0	0,532	2	92,2	0,470
		3	30,5	0,721	3	59,2	0,572	3	90,2	0,490
		4	32,8	0,724	4	60,8	0,561	4	89,9	0,483
		5	32,4	0,674	5	58,7	0,521	5	89,0	0,469

Rysunek 14. Formularz do prezentacji wyników pomiarów

Znaczenie poznawcze mają poczynione w trakcie eksperymentu obserwacje dotyczące organizacji i przebiegu badań, w których bierze równocześnie udział kilka urzędów pomiarowych. W szczególności dotyczy to przygotowania odcinków badawczych (czyszczenie, selekcja pod względem tekstury i jednorodności innych cech powierzchniowych, oznakowanie pasów ruchu).

5. Wybór odcinków badawczych i wykonanie serii pomiarów współczynnika tarcia

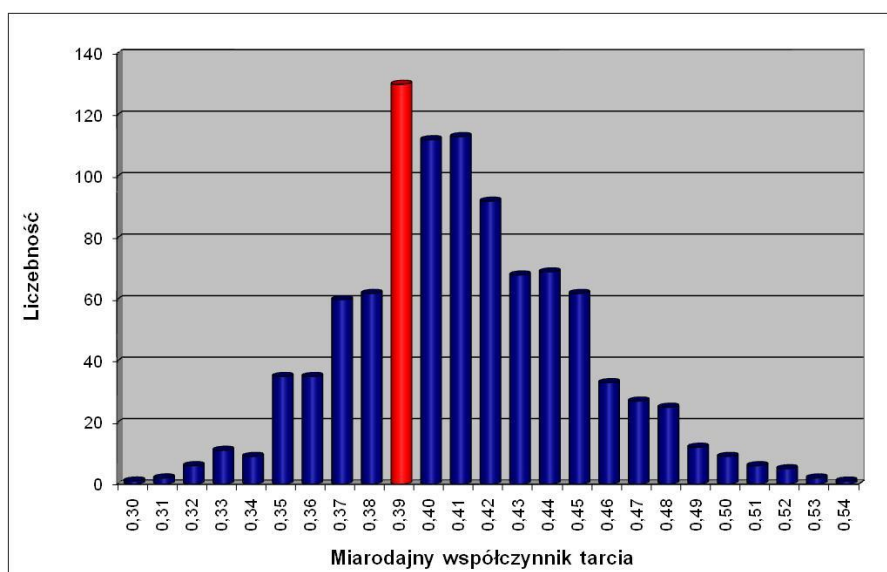
W celu zgromadzenia danych z pomiarów współczynnika tarcia warstwy ścieralnej skontaktowano się z firmami wykonującymi nawierzchnie asfaltowe i uzyskano informacje o planowanych badaniach odbiorczych robót przez nie realizowanych. Dzięki temu wykonano, urządzeniem SRT-3 będącym w posiadaniu Instytutu serie pomiarów na kilkunastu odcinkach nowych nawierzchni. Ponieważ jednak stwierdzono, że jest to zbyt mały materiał do analiz zwrócono się, za pośrednictwem Departamentu Technologii GDDKiA do Laboratoriów Drogowych GDDKiA z prośbą o dostarczenie danych z pomiarów odbiorczych, jakie wykonywały w 2007 i 2008 roku. Informacje miały obejmować:

- wyniki pomiarów odbiorczych współczynnika tarcia,
- datę wykonania pomiarów odbiorczych,
- datę dopuszczenia warstwy ścieralnej do eksploatacji (oddania do ruchu),
- dane o technologii wykonania warstwy ścieralnej (rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej, uziarnienie, rodzaj kruszywa, rodzaj i zawartość asfaltu, uziarnienie i rodzaj kruszywa do uszorstnienia).

Laboratoria dostarczyły bogaty materiał z badań. Zdecydowana większość danych nie zawierała informacji o technologii wykonania warstwy ścieralnej i dacie oddania nawierzchni do eksploatacji. Na podstawie przesłanych informacji oraz pomiarów własnych IBDiM wytypowano 64 odcinki badawcze, na których prowadzono pomiary odbiorcze właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni. Z odcinków tych wybrano 77 sekcji pomiarowych i wykonano na nich powtórne badania współczynnika tarcia. Wytypowane odcinki badawcze oraz zgromadzone na ich temat dane i wyniki pomiarów (wartości miarodajne dla 1000 m sekcji) zestawiono w załączniku 1.

Analiza danych z badań odbiorczych, dostarczonych przez Laboratoria Drogowe pozwoliła na sformułowanie kilku spostrzeżeń:

- laboratoria obsługujące północną część kraju wykonywały w ciągu ostatnich dwóch lat bardzo mało badań odbiorczych; 3 laboratoria: olsztyńskie, białostockie i gdańskie wykonały łącznie pomiary na 10 nowych nawierzchniach drogowych; świadczyć to może o braku zapisów w specyfikacjach technicznych uwzględniających badania odbiorcze właściwości przeciwpoślizgowych,
- najwięcej pomiarów odbiorczych zrealizowało LD w Kielcach - ok. 60 odcinków, nieco mniej (ok. 20) LD w Łodzi i we Wrocławiu,
- praktycznie wszystkie pomiary wykonywano z prędkością 60 km/h, mimo że według rozporządzenia [1] i komentarza do niego [2] należałoby wykonywać badania w trzech lub nawet czterech prędkościach (30, 60, 90 i 120 km/h),
- z wytypowanych odcinków badawczych co czwarty nie spełnia wymagań stawianych w specyfikacji ($\mu_m < 0,39$) i tylko ok. 40% odcinków osiąga wartości $\mu_m > 0,41$ (rysunek 15); potwierdza to uwagi zgłaszane przez laboratoria oraz wykonawców o trudnościach w osiągnięciu zakładanych właściwości przeciwpoślizgowych nowych nawierzchni wykonanych w technologii SMA.



Rysunek 15. *Rozkład liczebności miarodajnego współczynnika tarcia w badaniach odbiorczych na nawierzchniach wykonanych w technologii SMA*

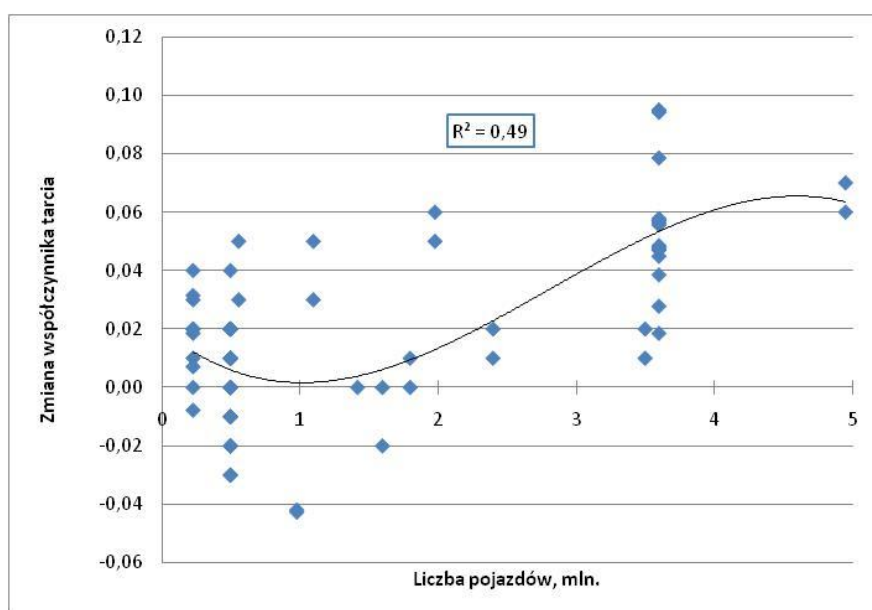
Na podstawie uzyskanych wyników badań odbiorczych i ponownych pomiarów po kilku lub kilkunastu miesiącach trudno jest jednoznacznie opisać zmienność współczynnika tarcia w początkowym okresie jej eksploatacji. Przyczyną tego jest głównie trudność w określeniu stanu nawierzchni w momencie badań odbiorczych, a w szczególności jakości jej uszorstnienia. Jeżeli grys uszorstnienia utrzymuje się na nawierzchni wartość współczynnika tarcia jest dobra i nie ma problemu ze spełnieniem wymagań. Natomiast jeżeli w krótkim okresie czasu grys uszorstnienia zostanie usunięty z nawierzchni przez koła pojazdów wartość współczynnika znacznie maleje i dopiero odsłonięcie kruszywa przez starcie błonki asfaltu zwiększa wartość współczynnika tarcia. Pomiary odbiorcze prowadzone są w różnym czasie. W myśl przepisów powinno się je wykonać w ciągu pierwszych 2 miesięcy od oddania nawierzchni do ruchu. Często jednak wykonanie warstwy ścieralnej przypada na koniec roku i wówczas przesuwa się badania odbiorcze na okres wiosenny następnego roku. Kolejnym czynnikiem utrudniającym wnioskowanie jest zmienność technologii i jakości robót nawierzchniowych wykonywanych przez różne firmy oraz brak doświadczenia w uszorstnianiu świeżej mieszanki warstwy ścieralnej.

Odcinki, które podlegały ocenie w przeważającej większości (ok. 80%) wykazywały wzrost wartości współczynnika tarcia w stosunku do wartości uzyskiwanych w badaniach odbiorczych. Średni wzrost wyniósł 0,03. Praktycznie wszystkie odcinki, na których zarejestrowano obniżenie właściwości przeciwpślizgowych były nawierzchniami spełniającymi wymagania w badaniach odbiorczych. Na tych odcinkach prawdopodobnie w czasie pomiędzy pomiarami nastąpił ubytek z warstwy ścieralnej grysu uszorstnienia.

Na szczególną uwagę zasługują dwa odcinki. Pierwszy to odcinek 60, na którym po dwóch miesiącach od badań odbiorczych, których wyniki uznano za niezadowalające ($\mu_m < 0,39$) wykonano powtórne pomiary współczynnika tarcia i ponownie zarejestrowano niskie wartości (na tym samym poziomie co poprzednio). Prawdopodobną przyczyną tego stanu rzeczy była

szybka utrata grysu stanowiącego uszorstnienie warstwy. Ruch drogowy (ok. 0,5 mln pojazdów w ciągu 2 miesięcy) nie spowodował na tyle istotnego starcia asfaltu z kruszywa aby spowodowało to znaczne polepszenie właściwości przeciwpślizgowych. Na tym odcinku zdecydowano się na zastosowanie zabiegu uszorstniającego. Poprawił on wartość współczynnika tarcia do poziomu ok. 0,42. Po 7 miesiącach wykonano badanie sprawdzające, które ponownie wykazało niższe od wymaganych właściwości przeciwpślizgowe (na poziomie 0,36). Na odcinku 20 badania odbiorcze wykazały spełnienie wymagań ($\mu_m=0,39$), jednak po ok. 20 miesiącach wartość współczynnika tarcia spadła do 0,34. Jest to zastanawiające zjawisko, tym bardziej że warstwę ścieralną wykonano przy zastosowaniu gryków z żużla pomiedziowego. Inne odcinki, na których zastosowano ten materiał wykazują wysokie wartości współczynnika tarcia. Opisane przypadki świadczą o problemach z jakimi borykają się wykonawcy podczas wykonywania warstwy ścieralnej z mieszanki SMA i o konieczności wnikliwej obserwacji tej technologii pod kątem uzyskiwania odpowiednich właściwości przeciwpślizgowych.

W celu zobrazowania zmian współczynnika tarcia w czasie obliczono dla każdej ocenianej sekcji wartość o jaką zmienił się współczynnik tarcia od badań odbiorczych do ponownych pomiarów wykonanych przez Instytut oraz liczbę pojazdów jaka przejechała w tym czasie przez odcinek (na podstawie GPR 2005). Zależności te przedstawiono na rys. 16.



Rysunek 16. *Zmienność współczynnika tarcia w funkcji ruchu drogowego na wytypowanych odcinkach badawczych*

Wykres (linia trendu) zamieszczony na rysunku 16 wskazuje na stabilizację wartości na poziomie badań odbiorczych przez ok. 5 pierwszych miesięcy (do ok. 1 mln. pojazdów), a następnie stopniowy wzrost współczynnika. Po ok. 1 roku od badań odbiorczych następuje wzrost współczynnika tarcia o ok. 0,04 – 0,05.

6. Wykonanie badań porównawczych na wytypowanych odcinkach urządzeniami SRT-3 i SCRIM

W czerwcu br. IBDiM przeprowadził wspólne badania współczynnika tarcia nawierzchni z urządzeniem SCRIM należącym do Hansa-Nord-Labor, według procedury zgodnej z przepisami niemieckimi [29].



Fot. 13 Urządzenie SCRIM firmy Hansa-Nord-Labor

Do pomiarów wytypowano 6 odcinków drogowych o zróżnicowanych właściwościach przeciwpoślizgowych. Badania wykonywano zarówno urządzeniem SCRIM jak i SRT-3 w trzech prędkościach pomiarowych: 40, 60 i 80 km/h. Wyniki pomiarów dla 100 m odcinków zestawiono w załączniku 2.

Procedura pomiaru współczynnika tarcia poprzecznego (SKM) podczas odbioru nowych nawierzchni zakłada wykonanie badań w dwóch przejazdach przez mierzony odcinek. Następnie program obsługujący system, wykorzystując namiary GPS porównuje oba przejazdy w celu kontroli dokładności lokalizacji w wyznaczonym torze pomiarowym. Podczas badania rejestruje się również temperatury: wody, powietrza (otoczenia), nawierzchni i opony testowej. Dane te służą do korekty uzyskanych wartości współczynnika tarcia. Wyniki program zapisuje w odpowiednich formularza (przykład na rys. 17).

1. Messfahrt												
Griffigkeitsmessung mit SKM												
Kontrollprüfung zur Abnahme im Rahmen des Bauvertrages gemäß ZTV Asphalt-StB / ZTV Beton-StB												
Bundesland	SH		Reifen-Nummer		351/08							
zuständiges Bauamt			Reifenabrieb		0 mm							
Straßenbezeichnung	PL-DK-48(0)(2)		Reifen-Laufleistung		160,494 km							
Fahrstreifen	1		Temperatur Luft min/max		19°C/20°C							
Richtung	H		Temperatur Fahrbahn min/max		17°C/38°C							
Startkilometer	0,000 km		Temperatur Wasser min/max		11°C/13°C							
Endkilometer	2,000 km		Temperatur Reifen min/max		2°C/35°C							
von			Witterung		sonnig							
bis			Operator		Wiench							
V-Soll	60 km/h		Kfz.-Führer		Schaffert							
Sollabstand	40 cm		Kfz.-Kennzeichen		PI-NH 1120							
Tag der Messung	17.06.2009		Gerätefaktor		0,9720							
Uhrzeit der Messung	15:34											
Name Messdatei	PL-DK-48(0)(2)_47136.TXT											
Bemerkungen	SKM-Abnahme ZTV Gerätefaktor: 0.972											
Ereignisse	A = Baulos; B = Brücke; C = Kreuzung; D = Swechsel; E = Ampel; F = Kreisel; G = Netzknoten; H = Bahnübergang; I = P. Auto; J = Pflasterst; K = Ampel											
von km	bis km	V [km/h]	μ-20m [-]	Abst. [cm]	Temperatur [°C]				μk-20m	Längengrad	Breitengrad	μk-100m
					Luft	Farb.	Wasser	Reifen	korrigiert			
0,000	0,020	60	0,629	34	19,0	24,0	13,0	27,0	0,620	E020°46,16	N51°34,45	
0,020	0,040	60	0,601	32	19,0	35,0	13,0	28,0	0,605	E020°46,15	N51°34,44	
0,040	0,060	60	0,618	35	19,0	36,0	13,0	28,0	0,623	E020°46,15	N51°34,44	
0,060	0,080	60	0,627	36	19,0	35,0	13,0	28,0	0,631	E020°46,14	N51°34,43	
0,080	0,100	60	0,618	33	19,0	34,0	12,0	28,0	0,619	E020°46,14	N51°34,42	0,620
0,100	0,120	60	0,622	34	19,0	34,0	12,0	28,0	0,623	E020°46,14	N51°34,42	
0,120	0,140	60	0,607	29	19,0	35,0	12,0	27,0	0,609	E020°46,13	N51°34,41	
0,140	0,160	60	0,624	37	20,0	34,0	12,0	28,0	0,625	E020°46,13	N51°34,41	
0,160	0,180	60	0,630	46	20,0	33,0	12,0	28,0	0,630	E020°46,12	N51°34,40	
0,180	0,200	60	0,624	43	20,0	33,0	12,0	28,0	0,624	E020°46,12	N51°34,39	0,622
0,200	0,220	60	0,643	39	20,0	34,0	12,0	29,0	0,644	E020°46,12	N51°34,39	
0,220	0,240	60	0,633	40	20,0	34,0	12,0	28,0	0,634	E020°46,11	N51°34,38	
0,240	0,260	60	0,649	31	20,0	33,0	11,0	27,0	0,647	E020°46,11	N51°34,38	
0,260	0,280	60	0,636	38	20,0	32,0	12,0	28,0	0,634	E020°46,10	N51°34,37	
0,280	0,300	60	0,589	37	20,0	30,0	12,0	27,0	0,585	E020°46,10	N51°34,36	0,629

Rysunek 17. Formularz do rejestracji wyników pomiarów

Wyniki pomiarów SKM są określone dla odcinków długości 1 m, a następnie korygowane ze względu na prędkość pomiarową oraz temperaturę wody i nawierzchni (dostosowywane do zakładanej prędkości i do temperatur referencyjnych).

Korekcja ze względu na prędkość pomiarową odbywa się według formuły:

$$m_v = m + \frac{(v_{actual} - v_{target})}{20 \text{ km/h}} \cdot 0.05$$

w której:

m_v = wartość SKM skorygowana (prędkość pomiaru),

m = wartość pomiaru na 1 m sekcji,

v_{actual} = prędkość pomiaru na 1 m sekcji, km/h

v_{target} = zakładana prędkość pomiaru, km/h,

W następnej kolejności przeprowadza się korekcję względem temperatury wody i nawierzchni dla każdego 1 m sekcji pomiarowej według wzoru:

$$m_{v,T} = m_v + (TW - 20^{\circ}C) \cdot 0.0020/^{\circ}C + (TF - 20^{\circ}C) \cdot 0.0012/^{\circ}C$$

w którym:

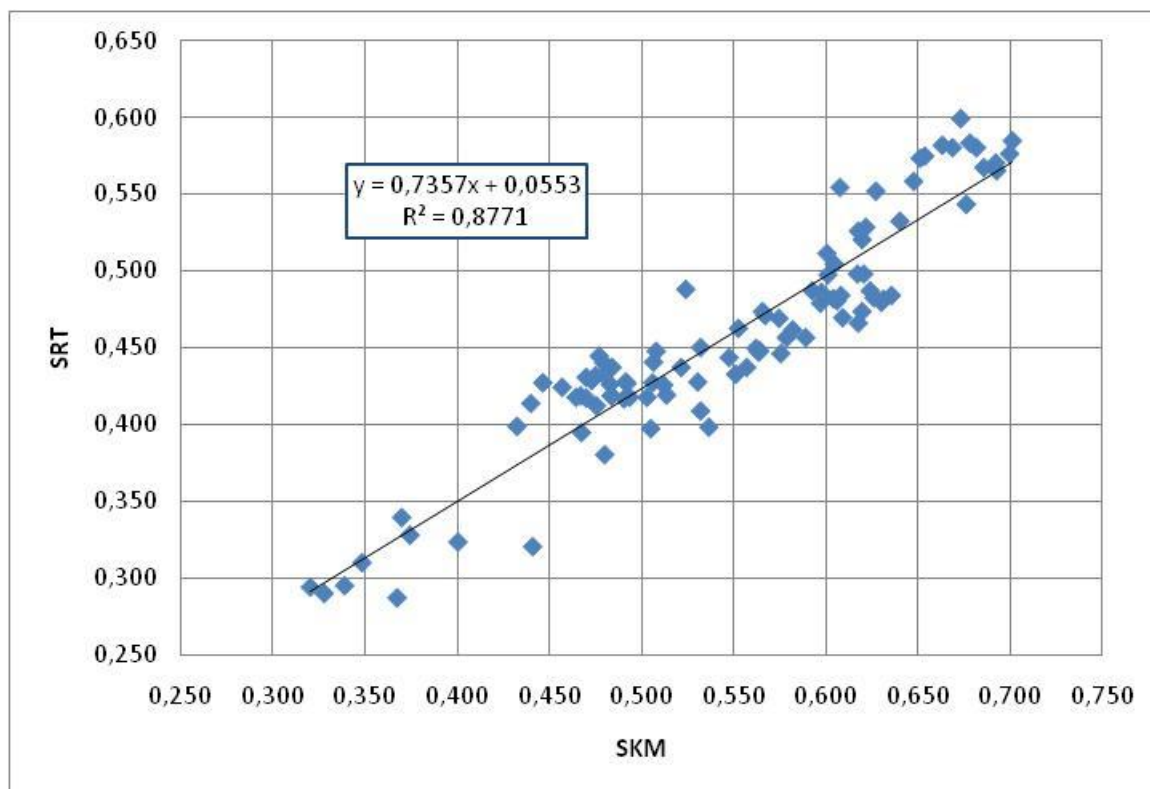
$m_{v,T}$ = wartość SKM po korektach (prędkość pomiaru i temperatury) dla 1 m sekcji,

TW = temperatura wody na 1 m sekcji, $^{\circ}C$,

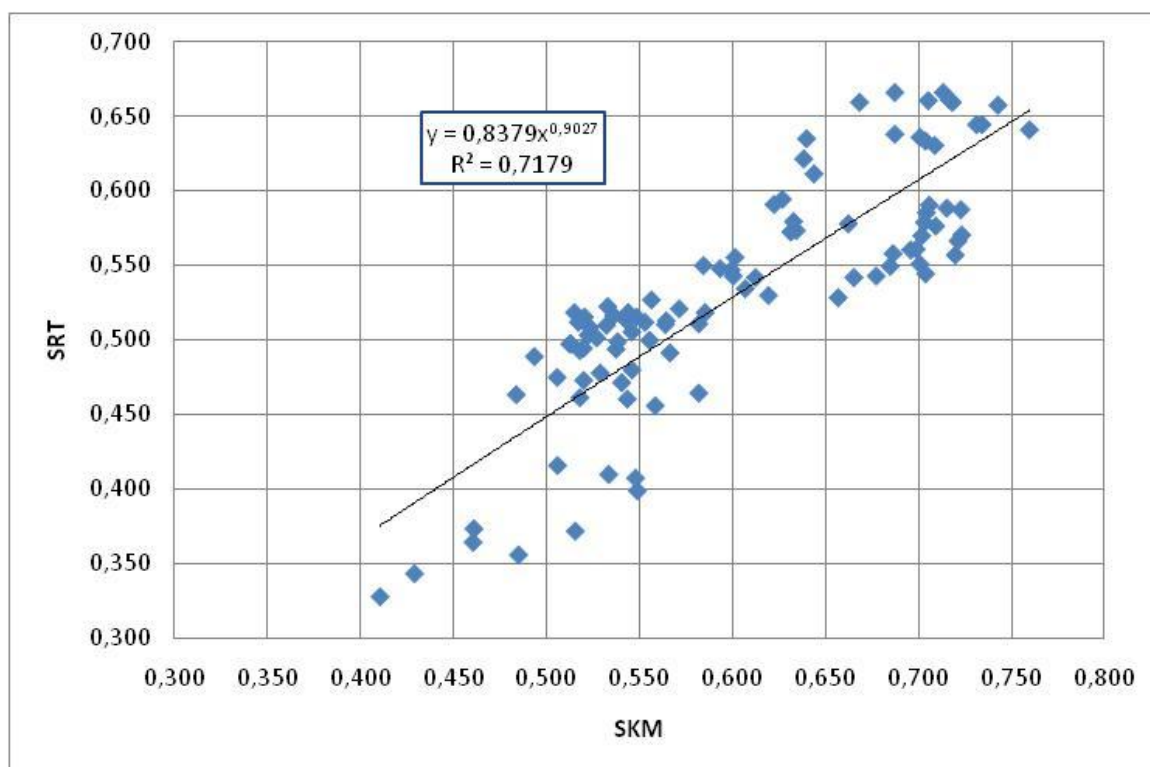
TF = temperatura nawierzchni na 1 m sekcji, $^{\circ}C$.

Wartości $m_{v,T}$ uśrednia się dla odcinków 20 m, a następnie 100 m i otrzymujemy wówczas współczynnik μ_{SKM} porównywany z wymaganiami podczas odbiorów i na koniec okresu gwarancyjnego.

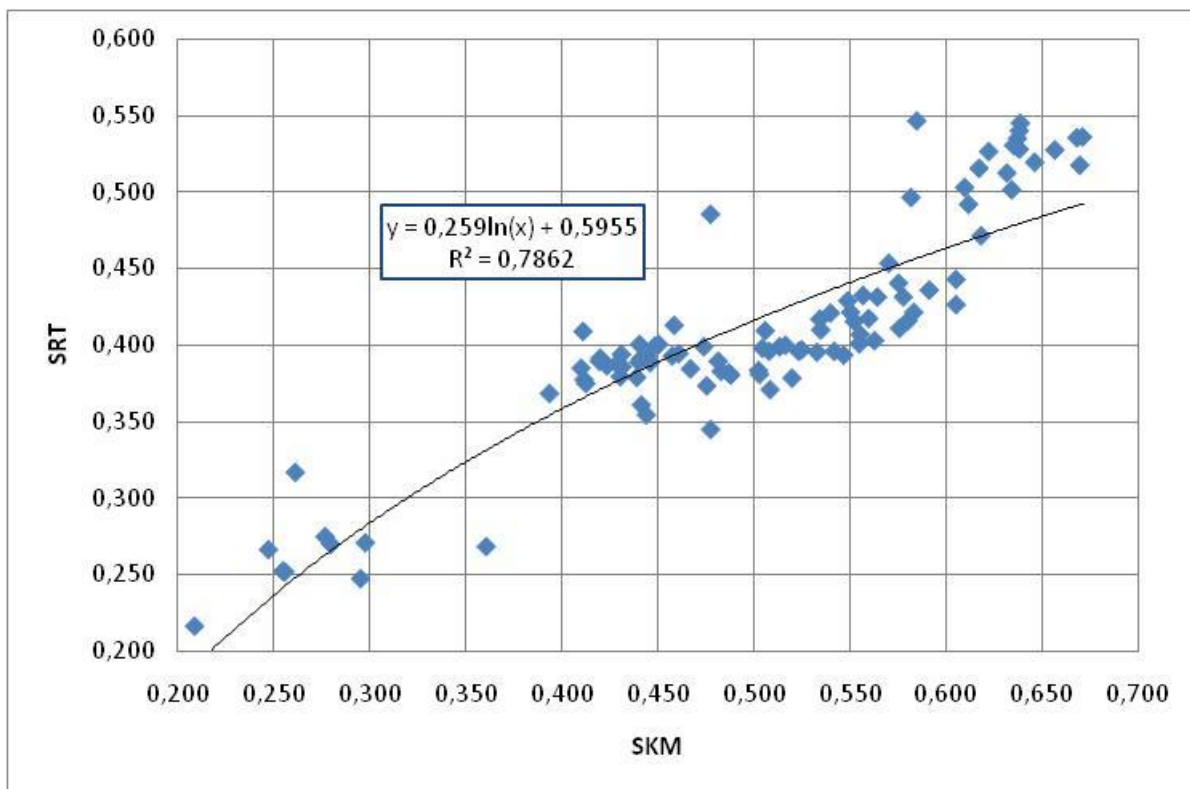
Wykonano badanie korelacji zbioru wyników pomiarów urządzeniem SRT-3 i SCRIM. Celem było ustalenie zależności między metodami pomiarowymi. Ocenę prowadzono oddzielnie dla każdej z trzech prędkości pomiarowych, przyjmując linię trendu: liniową, liniową przechodzącą przez „0”, logarytmiczną, potęgową oraz wielomianową (wielomian 2-go stopnia). Uzyskano wysokie wartości współczynnika korelacji R^2 . Przykłady wykresów przedstawiających analizę korelacji przedstawiają rysunki 18 – 20.



Rysunek 18. Zależność (liniowa) współczynnika SRT od SKM, prędkość 60 km/h



Rysunek 19. Zależność (potęgowa) współczynnika SRT od SKM, prędkość 40 km/h



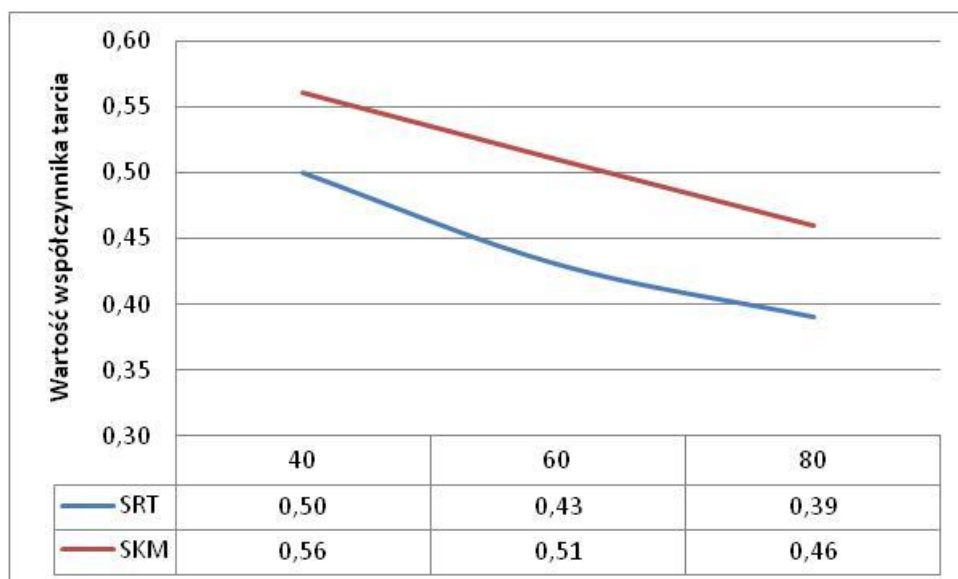
Rysunek 20. Zależność (logarytmiczna) współczynnika SRT od SKM, prędkość 80 km/h

Na podstawie zależności między metodami pomiarowymi wyznaczono wartości współczynnika tarcia z badań SRT-3 odpowiadające wymaganiom ZTV Asphalt –StB 07, dla prędkości 40, 60 i 80 km/h. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 17.

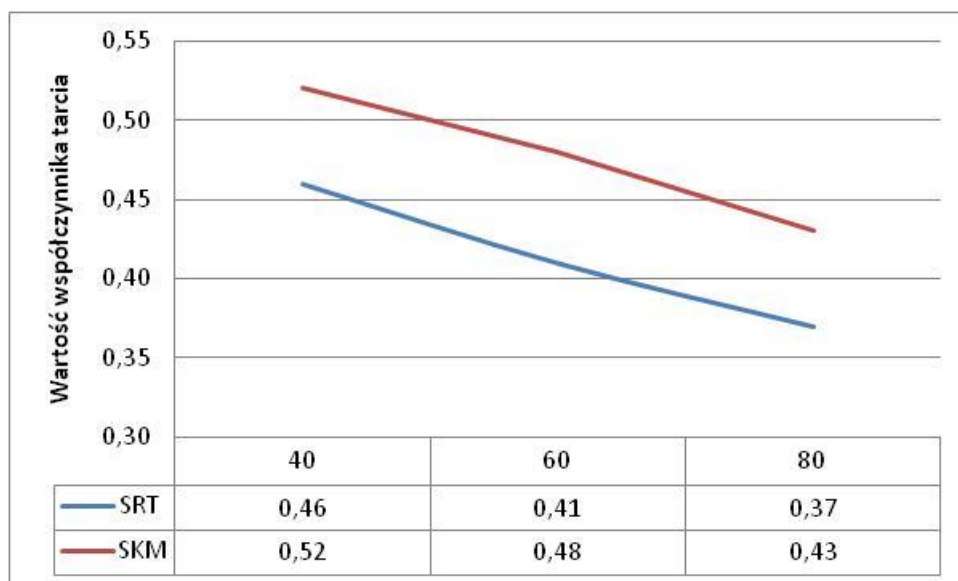
Tabela 17. Wyznaczone z funkcji regresji wartości SRT odpowiadające wymaganiom ZTV

Funkcja	R2	Odbiorcze	Gwarancyjne
40 km/h			
Liniowa	0,72	0,50	0,47
Liniowa "0"	0,70	0,49	0,46
Logarytmiczna	0,73	0,50	0,47
Potęgowa	0,72	0,50	0,46
Wielomianowa	0,72	0,50	0,47
60 km/h			
Liniowa	0,88	0,43	0,41
Liniowa "0"	0,86	0,44	0,41
Logarytmiczna	0,86	0,44	0,41
Potęgowa	0,88	0,43	0,41
Wielomianowa	0,87	0,43	0,41
80 km/h			
Liniowa	0,82	0,38	0,37
Liniowa "0"	0,73	0,37	0,35
Logarytmiczna	0,79	0,39	0,38
Potęgowa	0,84	0,39	0,37
Wielomianowa	0,80	0,39	0,37

Niezależnie od przyjętej funkcji regresji otrzymano podobne wartości współczynnika tarcia SRT. Ostatecznie do dalszych analiz przyjęto wartości jak na rysunkach 21 i 22.



Rysunek 21. „Przeniesienie” wymagań ZTV na poziom współczynnika tarcia SRT
- badania odbiorcze



Rysunek 22. „Przeniesienie” wymagań ZTV na poziom współczynnika tarcia SRT
- badania na koniec okresu gwarancyjnego

Na podstawie wyznaczonych funkcji (rys. 18 i 19) obliczono wartości wymagań współczynnika tarcia SRT odniesione do wymagań niemieckich (tabela 18).

Tabela 18. *Wyznaczone z funkcji regresji wartości SRT odpowiadające wymaganiom ZTV*

Prędkość, km/h	Odbiór	Gwarancja
30	0,55	0,51
60	0,43	0,41
90	0,37	0,36

W przepisach ZTV Asphalt –StB 07 wartością miarodajną SKM jest średni współczynnik tarcia na odcinku 100 m natomiast w polskich wymaganiach wartością miarodajną jest różnica wartości średniej i odchylenia standardowego. Z wykonanych wielu pomiarów współczynnika tarcia, głównie z prędkością 60 km/h wynika, że odchylenie standardowe wynosi w badaniach urządzeniem SRT-3 ok. 6% wartości średnie. Jeżeli więc w wartościach podanych w tabeli 18 uwzględnimy odchylenie standardowe pomiarów, to otrzymamy wymagania ZTV odniesione do metodyki pomiarów i analizy wyników stosowaną podczas oceny właściwości przeciwpoślizgowych urządzeniem SRT-3 (tabela 19).

Tabela 19. *Wyznaczone z funkcji regresji wartości SRT odpowiadające wymaganiom ZTV*

Prędkość, km/h	Odbiór	Gwarancja
30	0,52	0,48
60	0,40	0,38
90	0,35	0,34

7. Wykonanie badań opóźnienia hamowania

W dniu 12 czerwca 2009 roku na czterech wyznaczonych odcinkach dróg krajowych wykonano pomiary opóźnienia hamowania samochodem osobowym. Próby prowadzono na każdym z odcinków dla trzech prędkości jazdy **40km/h, 60 km/h i 80km/h** na nawierzchni asfaltowej mokrej uzyskanej przez polewanie wodą wybranego odcinka drogi bezpośrednio przed próbą (fot. 14 i 15). Na tych samych odcinkach wykonano również pomiary współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3.

Badania przeprowadzono samochodem Daewoo Lanos wyposażonym w aparaturę pomiarowo-badawczą do rejestracji opóźnień hamowania i nacisku na pedał hamulca, składającej się z:

- opóźnieniomierza firmy DYNOMETER,
- zestawu do badań skuteczności hamulców,

Pomiary wykonano według procedury „Badania skuteczności układów hamulcowych pojazdów kategorii M₁, M₂, M₃, N₁, N₂, N₃” stosowanej w Laboratorium Badania Pojazdów Przemysłowego Instytutu Motoryzacji (PIMOT).

W czasie prób masa całkowita samochodu obciążonego przez dwie osoby siedzące na przednich siedzeniach tj. kierującego pojazdem i pasażera-operatora komputera rejestrującego pomiary wynosiła 1185kg. Pojazd badawczy wyposażony był w opony firmy Dębica Pasio w rozmiarze 185/60R14.

Wyniki badań zapisano elektronicznie w formie cyfrowej i w postaci wykresów opóźnień dla kolejnych serii prób, ponumerowanych jako opóźnienie od 1 do 12 przedstawiono na rysunkach 23 i 24 i w tabeli 20.

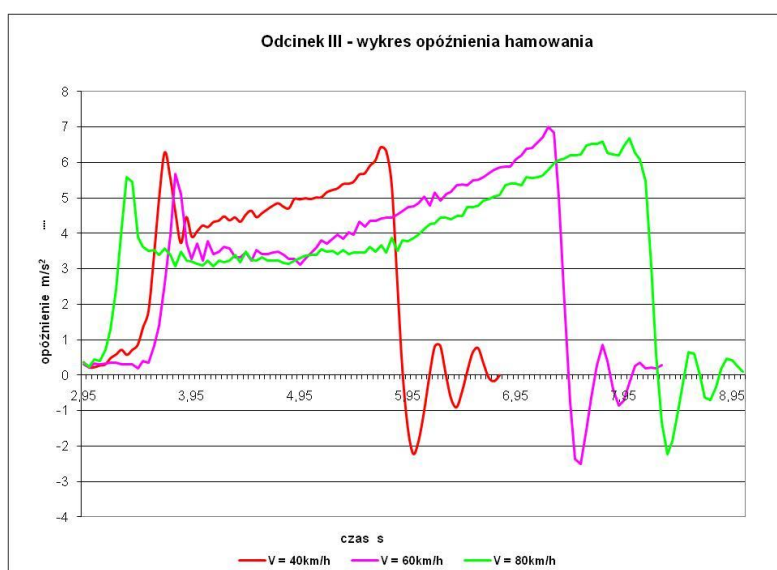
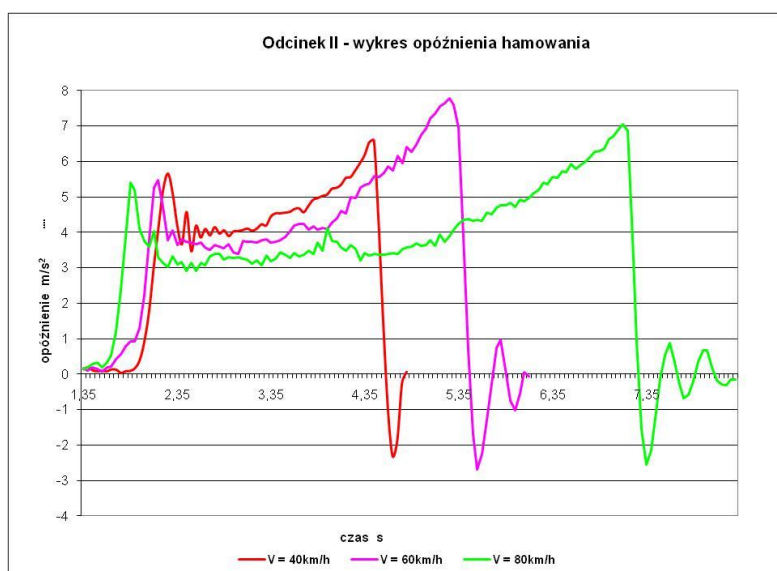
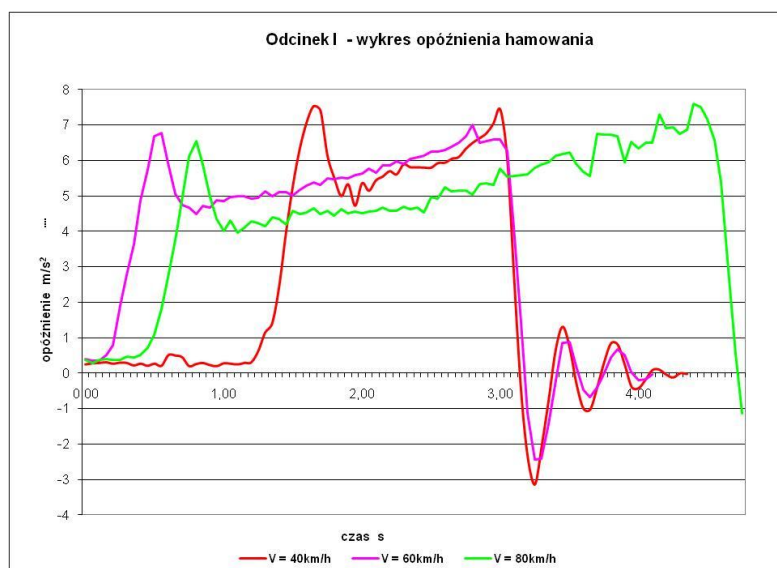
Wykonujący badania naciskał pedał hamulca do zablokowania kół utrzymując stan poślizgu samochodu do zatrzymania, korygując nacisk w sytuacji, gdy samochód w istotny sposób zbaczał z toru jazdy.



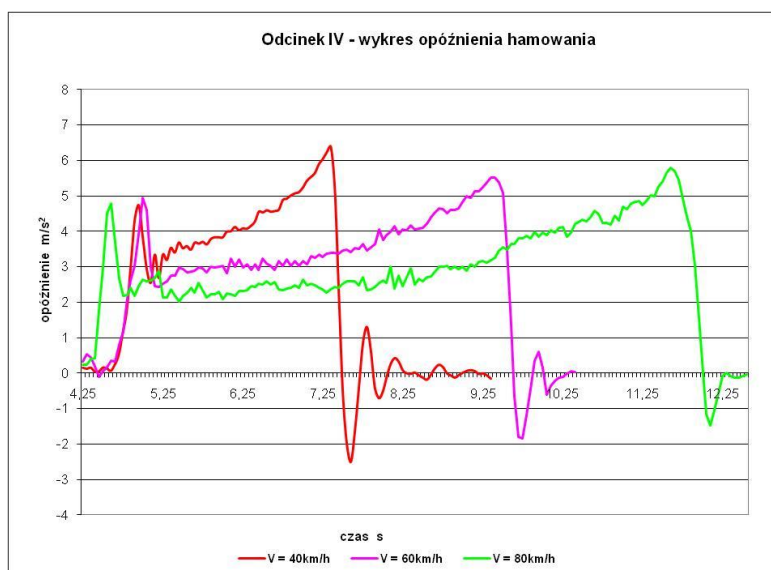
Fot. 14 Przygotowanie nawierzchni do badań (polewanie wodą) – odcinek I



Fot. 15 *Samochód w trakcie badania opóźnienia hamowania – odcinki I, II i III*



Rysunek 23. Wykresy opóźnienia hamowania dla odcinków I, II i III



Rysunek 24. Wykresy opóźnienia hamowania dla odcinka IV

Z przedstawionych wykresów wynika duża powtarzalność pomiarów w zakresie ich przebiegów: na odcinku narastania opóźnienia hamowania w pierwszej jego fazie, spadku opóźnienia w wyniku zablokowania kół, a następnie wzroście opóźnienia hamowania w trakcie jego procesu do uzyskania wartości szczytowej w końcowej fazie hamowania przed zatrzymaniem pojazdu.

Obliczono średnie wartości opóźnień hamowania dla każdego z badanych odcinków, dla wszystkich prędkości początkowych i dla dwóch zakresów:

- dla pełnego obszaru hamowania od początku narastania opóźnienia hamowania do chwili zatrzymania i osiągnięcia zerowej wartości opóźnienia,
- dla obszaru hamowania od chwili zablokowania kół do chwili gdy wartość opóźnienia osiągnęła maksimum a następnie malała do wartości zero.

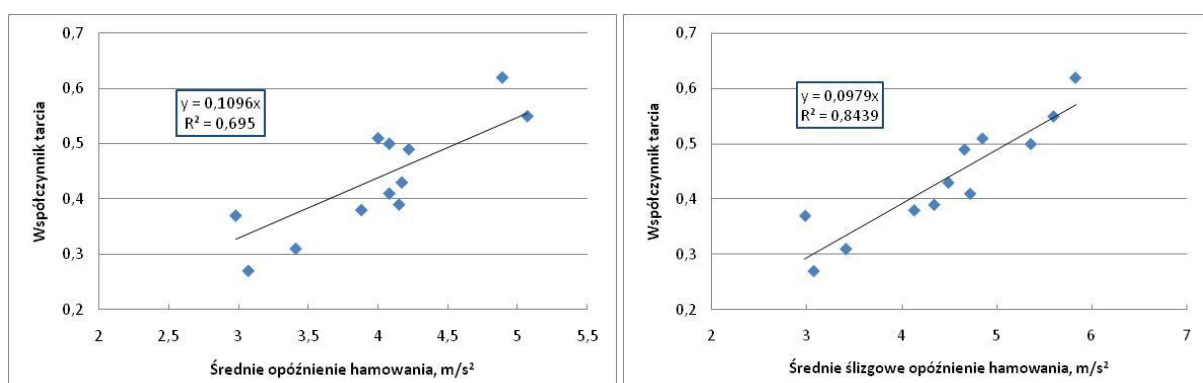
Tabela 20. Zestawienie wyników badania opóźnienia hamowania oraz pomiarów współczynnika tarcia na odcinkach badawczych I - IV

Miejsce badania	Średnie wartość opóźnienia hamowania, m/s^2			Współczynnik tarcia (z pomiaru SRT-3r)		
	Średnia wartość ślizgowa opóźnienia hamowania					
	Prędkość początkowa, km/h			Prędkość pomiaru, km/h		
	40	60	80	40	60	80
Odcinek I	4,00	4,17	4,15	0,51	0,43	0,39
	4,85	4,49	4,34			
Odcinek II	4,22	4,08	3,88	0,49	0,41	0,38
	4,66	4,72	4,13			
Odcinek III	4,89	5,07	4,08	0,62	0,55	0,50
	5,83	5,60	5,36			
Odcinek IV	2,98	3,41	3,07	0,37	0,31	0,27
	4,37	3,63	3,11			

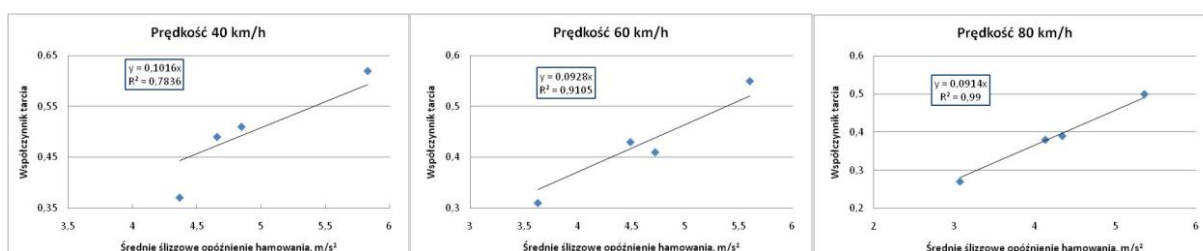
Badania wykazały, że wartość średnia opóźnienia hamowania dla całego zakresu pomiarowego mieści się w zakresie wartości opóźnienia teoretycznego wynikającego z pomiarów współczynnika tarcia na mokrej nawierzchni. Wartość opóźnienia hamowania ślizgowego zmniejsza się w wyraźny sposób ze wzrostem prędkości podobnie jak w przypadku pomiarów współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3.

Otrzymano bardzo dobrą korelację wyników pomiarów wykonanych obiema metodami (patrz rys. 25). Najlepiej widać to w przypadku porównania wartości uzyskanych dla opóźnienia hamowania ślizgowego z wartościami współczynnika tarcia. Wynika to z metody obliczenia wartości opóźnienia – w analizie uwzględniane są tylko wartości uzyskane po przekroczeniu wartości maksymalnej. Podobnie wyznaczany jest współczynnik tarcia w metodzie SRT-3.

Równie dobrą korelację uzyskano porównując wyniki badań opóźnienia hamowania z wartościami współczynnika tarcia w jednej prędkości pomiarowej (rys. 26)



Rysunek 25. Zależność współczynnika tarcia od wartości opóźnienia hamowania



Rysunek 26. Zależność współczynnika tarcia od wartości opóźnienia hamowania, dla różnych prędkości hamowania

Wyniki analiz pomiarów współczynnika tarcia i opóźnienia hamowania wskazują na możliwość zamiennego stosowania obu metod w ocenie właściwości przeciwoślizgowych nawierzchni drogowych

Przeprowadzono również analizę teoretyczną polegającą na wyznaczeniu minimalnej wartości współczynnika tarcia przy założonych, minimalnych parametrach geometrycznych dróg różnych klas technicznych (tabela 21).

Tabela 21 . Parametry geometryczne dróg przyjęte w analizie

Klasa drogi	Prędkość, km/h	Promień łuku poziomego, m pochylenie 6% ^{**)}	Promień łuku poziomego, m pochylenie 2%	Pochylenie podłużne
A	130	1100	4000 ^{*)}	4%
S	110	800	2800 ^{*)}	5%
GP	100	600	2200 ^{*)}	6%
G	90	500	1600 ^{*)}	7%
Z	80	350	1200 ^{*)}	8%
Łącznica 1	70	200	365 ^{**))}	5%
Łącznica 2	50	85	160 ^{**))}	6%
Łącznica 3	30	30	60 ^{**))}	7%

^{*)} pochylenie na zewnątrz łuku (ujemne),

^{**))} pochylenie do środka łuku,

W obliczeniach korzystano z następujących wzorów:

Prędkość graniczna z uwzględnieniem pochylenia bocznego β :

$$V_{gr} = 3.6 \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot \frac{\mu_{sp} \pm tg\beta}{1 \mp \mu_{sp} \cdot tg\beta}}$$

Współczynnik przyczepności dla danego promienia drogi, pochylenia poprzecznego i prędkości:

$$\mu_{sp} = \frac{V_{gr}^2 \mp 3.6^2 \cdot g \cdot R \cdot tg\beta}{3.6^2 \cdot g \cdot R \pm V_{gr}^2 \cdot tg\beta}$$

Wpływ pochylenia wzdłużnego na współczynnik przyczepności

$$\mu_s = (\mu_{sp} \cdot \cos(\alpha) \pm \sin(\alpha))$$

Współczynnik przyczepności dla danego promienia drogi, prędkości, pochylenia poprzecznego i wzdłużnego

$$\mu_{sc} = \frac{V_{gr}^2 \mp 3.6^2 \cdot g \cdot R \cdot tg\beta}{3.6^2 \cdot g \cdot R \pm V_{gr}^2 \cdot tg\beta} \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha$$

Wyniki obliczeń granicznych wartości współczynnika tarcia μ zestawiono w tabeli 22.

Tabela 22. *Obliczone wartości graniczne współczynnika tarcia*

Klasa drogi	μ graniczne dla pochylenia poprzecznego 6%	μ graniczne dla pochylenia poprzecznego 2%	μ graniczne dla pochylenia poprzecznego 6% plus pochylenie wzdłużne	μ graniczne dla pochylenia poprzecznego 2% plus pochylenie wzdłużne
A	0,060	0,056	0,058	0,051
S	0,059	0,056	0,056	0,051
GP	0,071	0,057	0,066	0,052
G	0,067	0,061	0,062	0,056
Z	0,083	0,063	0,076	0,057
Łącznica 1	0,131	0,084	0,124	0,081
Łącznica 2	0,169	0,102	0,159	0,096
Łącznica 3	0,174	0,098	0,161	0,091

Zestawione w tabeli 22 liczby są minimalnymi wartościami współczynnika tarcia, jaki musi zapewnić nawierzchnia aby pojazd mógł się bezpiecznie poruszać. Należy przy tym pamiętać, że każdy dodatkowo wykonany w tych warunkach manewr hamowania lub pogłębienia skrętu powoduje natychmiastowy niekontrolowany poślizg pojazdu. Można więc je zdefiniować jako minimalne wartości współczynnika tarcia zapewniające stateczność pojazdu na łuku drogowym.

Uzyskiwane na drogach wartości współczynnika tarcia są znacznie wyższe od przedstawionych w tabeli 22. Jako wartość graniczną, poniżej której nawierzchnię uważa się za śliską jest $\mu = 0,30$ (w badaniach na mokrej nawierzchni). Istnieje więc znaczny „zapas przyczepności” między kołami samochodu a drogą. Wobec tego, aby doszło do wypadku muszą zaistnieć inne, dodatkowe czynniki takie np. jak: wyższa od dopuszczalnej prędkość jazdy, nieprawidłowo wyprofilowana droga, koleiny, gwałtowne hamowanie lub niekontrolowany skręt kołami pojazdu.

8. Wnioski

Wyniki badań i analiz przeprowadzonych w ramach pracy pozwalają na sformułowanie następujących spostrzeżeń i wniosków:

- pomierzone wartości współczynnika tarcia wskazują na stabilizację właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni na poziomie uzyskiwanym w badaniach odbiorczych przez ok. 5 pierwszych miesięcy (średnio do ok. 1 mln. pojazdów); po tym okresie czasu następuje stopniowy wzrost współczynnika, który po ok. 1 roku od badań odbiorczych wzrasta o ok. 0,04 – 0,05,
- niezbędne jest wykonanie pracy badawczej, która pozwoli na określenie przyczyn małej skuteczności uszorstnienia warstwy ścieralnej z mieszanki SMA; dotychczas stosowane zabiegi nie eliminują śliskości powykonawczej,
- obliczone wartości graniczne współczynnika tarcia dla różnych klas technicznych dróg, przy przyjęciu minimalnych parametrów geometrycznych, są znacznie niższe od rejestrowanych na drogach publicznych; na zaistnienie wypadku drogowego muszą więc nałożyć się jeszcze inne czynniki,
- wyniki analiz pomiarów współczynnika tarcia i opóźnienia hamowania wskazują na możliwość zamiennego stosowania obu metod w ocenie właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych,
- badania współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3 wykonywane są w różnych warunkach atmosferycznych, często późną jesienią w temperaturze otoczenia zbliżonej do 0°C; należy opracować, na podstawie odpowiednich badań, procedurę korekty temperaturowej wartości współczynnika tarcia; z badań wykonywanych urządzeniem SCRIM, wg ZTV Asphalt-StB 07 wynika, że różnica między wartościami uzyskiwanymi jesienią i latem może wynieść nawet $\Delta\mu = 0,05$,
- wspólne badania na odcinkach drogowych urządzeniami SRT-3 i SCRIM pozwoliły na porównanie wymaganych wartości współczynnika tarcia w przepisach niemieckich i polskich (tabela 19); wynika z nich, że zaproponowane w nowym rozporządzeniu dla dróg publicznych i w WT-2 wartości współczynnika tarcia dla najczęściej stosowanej prędkości 60 km/h (odbiorcze: $\mu = 0,38$, gwarancyjne $\mu = 0,36$) są zbliżone do wartości wymaganych wg ZTV Asphalt-StB 07 (odbiorcze: $\mu = 0,40$, gwarancyjne $\mu = 0,38$); potwierdza to zasadność przyjętych wartości wymagań dla tej prędkości,
- porównanie wymagań niemieckich z polskimi dla prędkości 30 i 90 km/h jest utrudnione ponieważ wg ZTV Asphalt-StB 07 badania wykonuje się w innych prędkościach - 40 i 80 km/h; w takich prędkościach były też wykonywane badania porównawcze; dla 30 i 90 km/h wartości współczynnika tarcia należy aproksymować ponieważ są poza obszarem mierzonym; wartości zależą od przyjętej w analizie funkcji regresji; jeżeli przyjmujemy liniową zmianę współczynnika tarcia w funkcji prędkości wówczas dla 30 km/h wartości zaproponowanych nowych wymagań (odbiorcze: $\mu = 0,47$, gwarancyjne $\mu = 0,44$) są zbliżone do wartości wymaganych wg ZTV Asphalt-StB 07 (odbiorcze: $\mu = 0,47$, gwarancyjne $\mu = 0,41$); dla prędkości

pomiarowej 90 km/h, niezależnie od przyjętej funkcji regresji proponowane nowe wartości wymagań są wyższe od wymagań wg przepisów niemieckich o ok. 0,05,

- należy wziąć pod uwagę ew. korektę wymagań dla dróg szybkiego ruchu i autostrad; w polskich przepisach, zarówno obowiązujących jak i w nowych propozycjach wartości wymaganych granicznych wartości współczynnika tarcia są wyższe niż w przepisach niemieckich; w ZTV Asphalt-StB 07 jednakowe wymagania stawiane są nawierzchniom wszystkich kategorii dróg; w przepisach brytyjskich wymagania dla autostrad są nawet niższe niż dla innych dróg,
- wykonane badania potwierdziły, że w projekcie rozporządzenia określającego warunki techniczne dla nowych dróg publicznych oraz w WT-2 wymagania dotyczące właściwości przeciwpoślizgowych zostały ustalone prawidłowo; zapewniają warunki bezpieczeństwa użytkowników a wymagane wartości miarodajnego współczynnika tarcia są możliwe do uzyskania przez wykonawcę nawierzchni (tablice poniżej).

Graniczne wartości miarodajnego współczynnika tarcia wymagane przy odbiorze nawierzchni (projekt rozporządzenia)

Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni	
		60 km/h	90 km/h
A, S	Pasy ruchu zasadnicze	-	0,40
	Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic	0,47	-
GP, G, Z	Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza	0,38	-

Graniczne wartości miarodajnego współczynnika tarcia wymagane przed upływem okresu gwarancyjnego (zapis w WT-2)

Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia przy prędkości zablokowanej opony względem nawierzchni	
		60 km/h	90 km/h
A, S	Pasy ruchu zasadnicze	-	0,37
	Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic	0,44	-
GP, G, Z	Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza	0,36	-

Bibliografia

- [1] 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
- [2] Sandecki T. i inni: Komentarz do warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Transprojekt-Warszawa, 2003 rok
- [3] Mechowski T., Pokorski J., Szwabik B., Kowalski L.: Badanie opon handlowych w celu wyboru nowej opony testowej do zestawu SRT-3”, IBDiM, 1999 rok
- [4] 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
- [5] Mechowski T., Borucki R., Grączewski A.: Testowanie opon do badań właściwości przeciwpoślizgowych, IBDiM, 2003 rok
- [6] System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN”, Wytyczne stosowania. GDDP, 2002
- [7] Mechowski T.: Analiza i weryfikacja wymagań i procedur pomiarowych oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni dróg publicznych i autostrad płatnych”, IBDiM, 2005 rok
- [8] Klim M., Szczęśna J., Szrajber W.: Wstępna analiza wyników pomiarów współczynnika szepności wybranych odcinków sieci dróg państwowych. Prace IBDiM 3/1993
- [9] 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
- [10] 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
- [11] Brosseaud Y., Delalande G.: Performances d’adherence des revetements des chaussees francaises. IV Symposium International SURF 2000. Nantes – France
- [12] Schellenberger M.: Die Herstellung dauerhafter Griffigkeit in der Praxis. Strase + Autobahn 11-2003
- [13] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt -ZTV Asphalt-StB 01, Ausgabe 2001

- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16.01.2002r w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych. Dziennik Ustaw nr 12, poz. 116
- [15] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt - ZTV Asphalt-StB 07, Ausgabe 2007
- [16] Wypadki Drogowe. Vademecum biegłego sądowego
- [17] 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
- [18] Czarnecki K., Szpinek S.: Monitoring szorstkości nawierzchni drogowych na sieci dróg krajowych w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. IBDiM, 1994
- [19] Fortuna E., Szwabik B.: Badania przyczepności nawierzchni drogowych. Prace IBDiM 4/1985
- [20] Rafalski L., Godlewski D., Czarnecki K.: Porównanie metod pomiarowych współczynnika przyczepności i tekstury nawierzchni - eksperyment międzynarodowy. Drogownictwo 5/1993
- [21] Fortuna E., Szwabik B.: Nowa generacja urządzeń do badania przyczepności nawierzchni drogowych. Prace IBDiM 1/1986
- [22] Mechowski T.: Praca naukowo-badawcza związana z potrzebą unowocześnienia czterech zestawów do badania przyczepności nawierzchni poprzedniej generacji tzw. SRT-2. IBDiM, 1996
- [23] 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
- [24] 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.
- [25] Wojdanowicz S., Fortuna E., Zapaśnik W.: Pomiar i ocena parametrów nawierzchni drogowych wpływających na ich stan techniczny. Prace IBDiM 4/1987
- [26] Mechowski T.: Zbieranie danych o wypadkach spowodowanych niedostateczną szorstkością nawierzchni drogowych. Praca własna IBDiM. Warszawa 1997
- [27] 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

- [28] FEHRL Report 2006/01. Harmonization of **E**uropean **R**outine and **M**easuring **E**quipment for Skid Resistance of Roads and Runways.
- [29] Surface Characteristics of Road and Airfield Pavements. Technical specifications: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the sideways-force coefficient SFCD: the SKM. October 2007.

ZAŁĄCZNIK 1

Wyniki obliczeń miarodajnego współczynnika tarcia
na odcinkach badawczych
(Część 1 – badania odbiorcze)

ZAŁĄCZNIK 1

Wyniki obliczeń miarodajnego współczynnika tarcia
na odcinkach badawczych
(Część 2 – badania sprawdzające)

ZAŁĄCZNIK 2

Wyniki pomiarów w badaniach porównawczych
urządzeniami SRT-3 i SCRIM