



Polski Kongres Drogowy

Kolokwium nt.:

Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni a bezpieczeństwo ruchu drogowego i ochrona środowiska

***O punktowej i ciągłej
metodzie pomiaru poślizgowości
nawierzchni drogowych***

dr inż. Dariusz GODLEWSKI, d.godlewski@il.pw.edu.pl

Stanisław SZPINEK, s.szpinek@polskainzynieria.pl

Warszawa, 28 czerwca 2017 roku



Krótko o tym, dlaczego *poślizgowość* nawierzchni a nie *szorstkość* czy *właściwości przeciwpoślizgowe*?

Wybrane urządzenia stosowane w Polsce do pomiaru poślizgowości nawierzchni drogowych i lotniskowych

Wyniki badań porównawczych poślizgowości nawierzchni mierzonej urządzeniem TWO i SRT-3

O źródłach niepewności wyników pomiaru i ich propagacji na ocenę odbiorczą



Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni według rozporządzeń?

Przed 1997 r.:

tarcie (współczynnik) było miarą szorstkości (niekiedy przyczepności, szepności)

wg AP_1997:

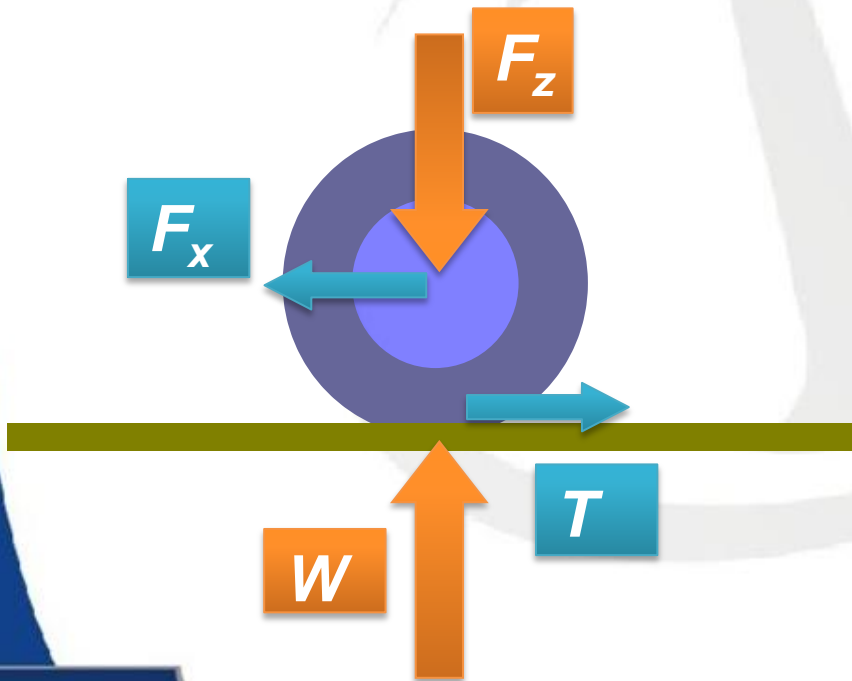
tacie i makrotekstura (faktura) są miarami właściwości przeciwpoślizgowych

zaś wg DP_1999 i późniejsze:

tacie (bez makrotekstury) jest miarą właściwości przeciwpoślizgowych
czy lepiej: **jest miarą szorstkości jako właściwości przeciwpoślizgowej**



- **Poślizgowość** nawierzchni (*inaczej: tarcie, szorstkość, przyczepność, właściwości przeciwpoślizgowe itp.*) – zdolność do wytwarzania sił tarcia między nawierzchnią drogi a kołami pojazdów w warunkach wzajemnego poślizgu
- **Współczynnik poślizgowości** (*tarcia albo szorstkości, przyczepności, itp.*) – stosunek wypadkowej sił tarcia między hamowanym kołem urządzenia pomiarowego na nawierzchni drogi do nacisku koła na drogę



Współczynnik tarcia

$$\mu = \frac{T}{W} = \frac{F_x}{F_z}$$

Właściwości przeciwpoślizgowe:

wg AP_1997: *tacie i makrotekstura* (faktura)

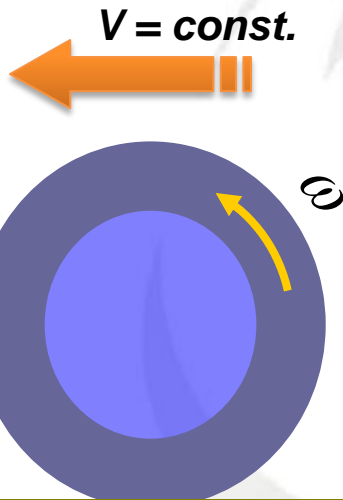
wg DP_1999: tylko *tarcie* (bez makrotekstury)



- **Urządzenie pomiarowe** – urządzenie pozwalające na określenia współczynnika tarcia w określonych warunkach poślizgu koła pomiarowego, z zastosowaniem określonego typu opony testowej

Poślizg

$$S_x = \frac{V - \omega R}{V}$$

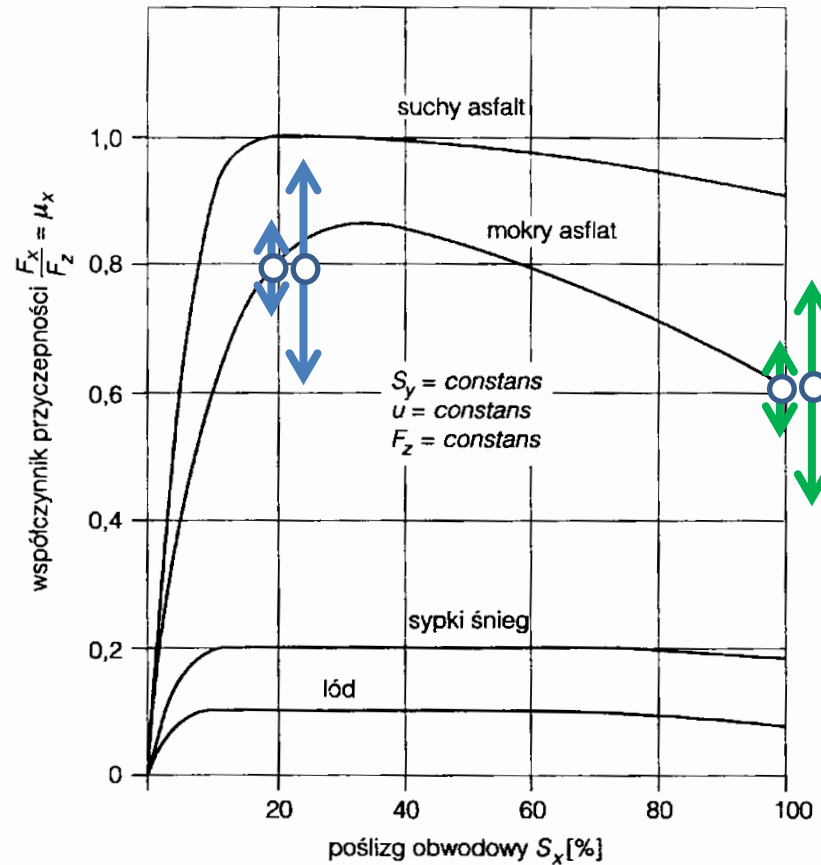


Koło toczone, $\omega R = V$ $S_x = 0$

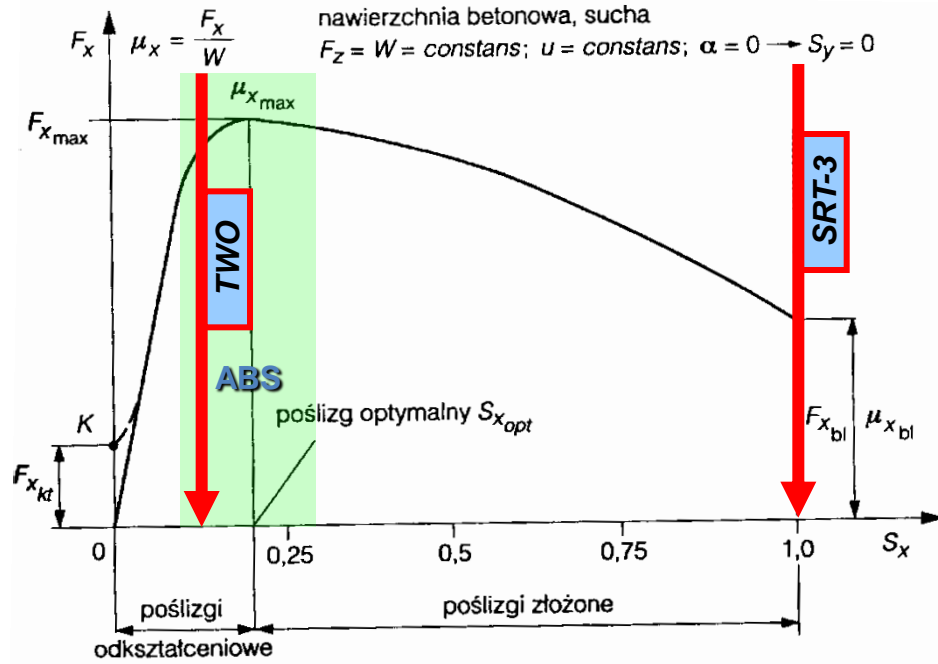
Koło hamowane, $\omega R < V$ $S_x > 0$

Koło zblokowane, $\omega R = 0$ $S_x = 1$

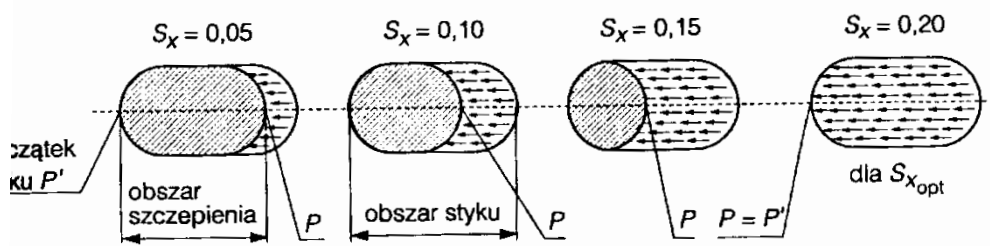
$$\mu = f(S_x)$$



ys. 4.3. Charakterystyka ogumienia koła toczącego się bez znoszenia, po nawierzchniach o różnych przyczepnościach: $F_z = \text{constans}$



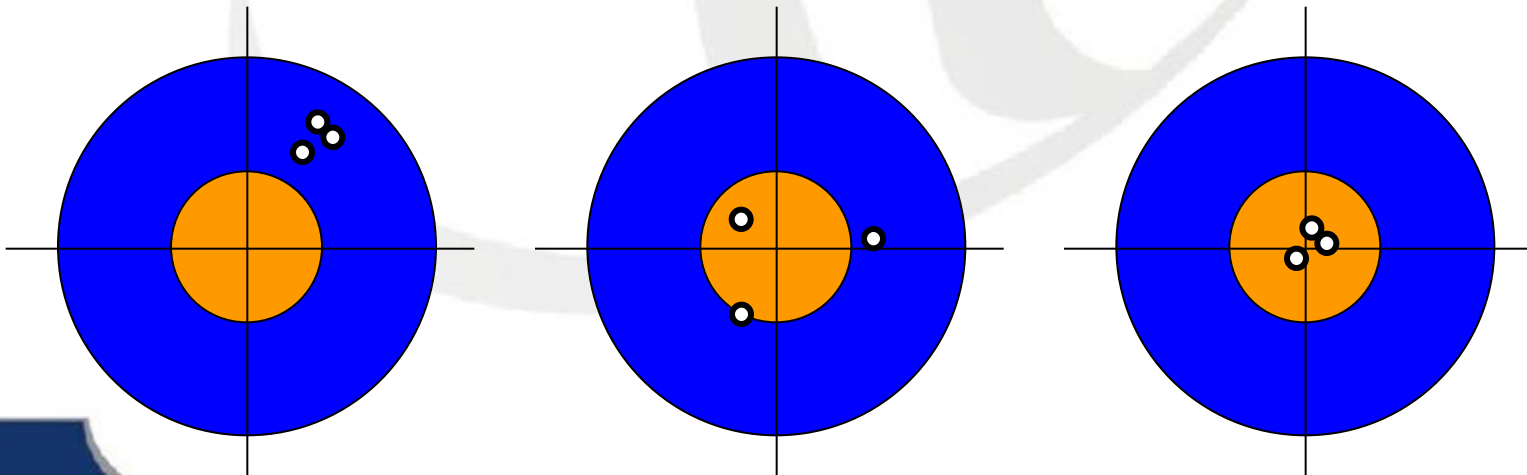
$$\mu = f(S_x)$$



Rys. 4.2. Charakterystyka ogumienia koła toczącego się bez znoszenia, opisana równaniem $F_x = h(S_x)$ – a; rozkład prędkości poślizgu w obszarze styku dla różnych wartości poślizgu S_x – b

OCENA ZDOLNOŚCI POMIAROWEJ URZĄDZENIA

- **Poprawność (obciążenie, dokładność)** – stopień zgodności między wynikiem pomiaru a przyjętą wartością odniesienia
- **Precyzja** – stopień zgodności pomiędzy niezależnymi wynikami badania otrzymanymi w ustalonych warunkach (powtarzalność, odtwarzalność po czasie)
- **Niepewność pomiaru** – parametr związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej, np. miarą niepewności może być odchylenie standardowe lub jego wielokrotność





SRT-3

Pomiar współczynnika tarcia



SRT-3 IBDiM & GRAPOL-ELECTRONIC aparat nr: 3 droga:OBJ km: 0.0 0.7
CONFIG=21102003

/LOT/

lp	km	v	miM	miF	mik	Fz	dyst	d	data	p.ref.	diagnost
1	0.0	47.2	0.69	0.67	0.68	1.01	0	0	03.10.21	0	00000000
2	0.1	57.2	0.59	0.60	0.59	1.01	97	0	03.10.21	0	00000000
3	0.2	60.8	0.55	0.55	0.54	1.03	199	0	03.10.21	0	00000000
4	0.3	61.4	0.58	0.58	0.59	0.98	300	0	03.10.21	0	00000000
5	0.4	61.5	0.55	0.56	0.54	1.01	401	0	03.10.21	0	00000000
6	0.5	62.0	0.57	0.58	0.57	1.00	501	0	03.10.21	0	00000000
7	0.6	62.0	0.53	0.54	0.52	1.01	599	0	03.10.21	0	00000000
8	0.7	60.4	0.63	0.64	0.64	0.99	698	0	03.10.21	0	00000000

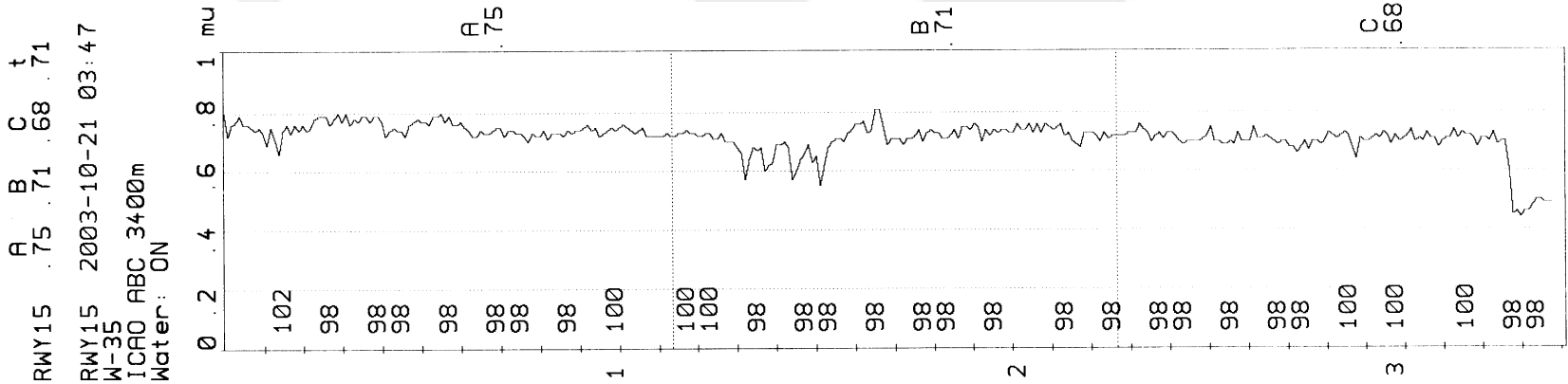
B. Szwabik, W. Hanula, S. Szpinek, pod kierunkiem K. Czarnec-kego, *Kontrakt na wykonanie pięciu zestawów SRT-3²*, Sprawozdanie dla GDDP, IBDiM, Warszawa 1994

Autorzy Sprawozdania są współtwórcami patentu „PL 174435 B1 *Urządzenie do pomiaru przyczepności nawierzchni drogowych*”, nazywanego w skrócie SRT-3, którego właścicielem jest IBDiM.



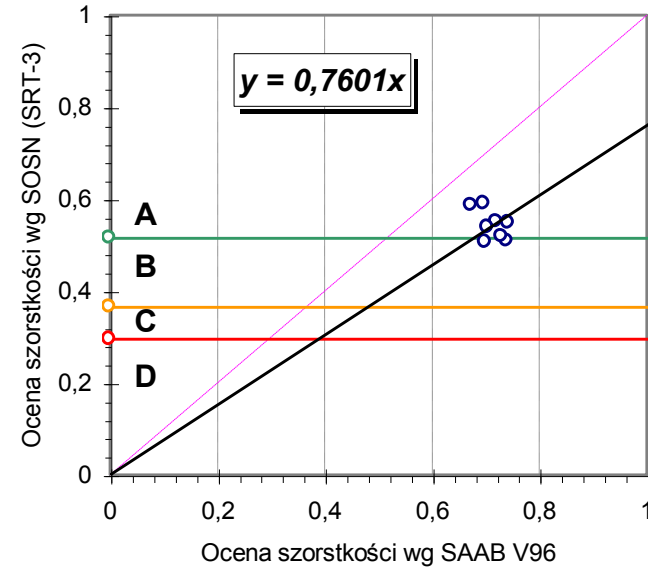
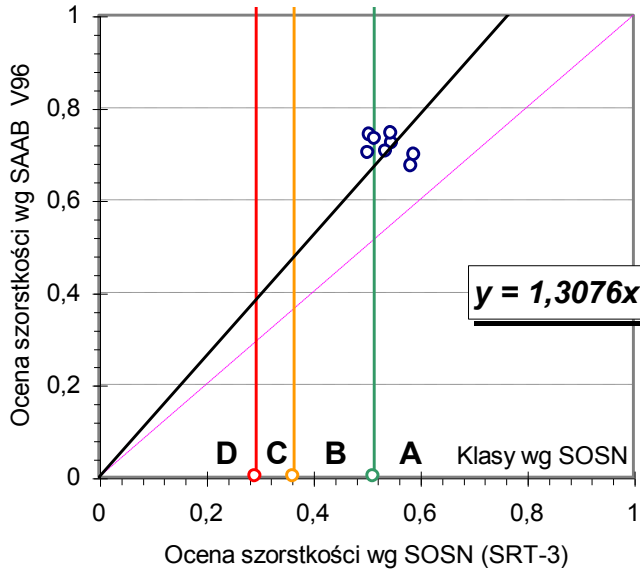
SAAB

Pomiar poślizgowości

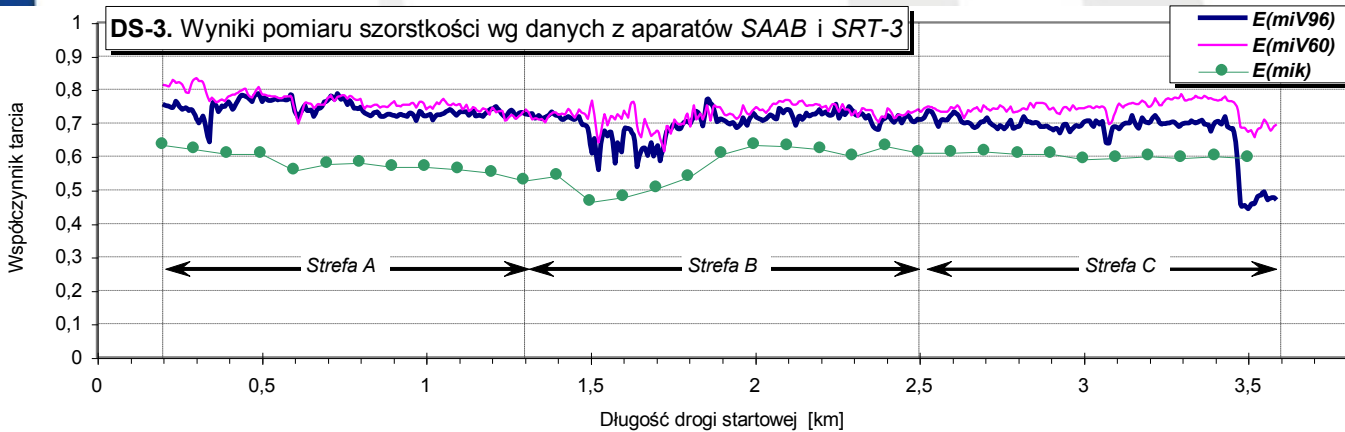


Nawierzchnie lotniskowe

Ocena poślizgowości



DS-3. Wyniki pomiaru szorstkości wg danych z aparatów SAAB i SRT-3



Niepewność standardowa:
 SAAB:

$0,040 / E = 0,70 \quad u = 6\%$

SRT-3:

$0,025 / E = 0,60 \quad u = 4\%$

Traction Watcher One (TWO)

Podstawowe parametry

- Szerokość – 53,4 cm
- Długość – 108,9 cm
- Wysokość – 56,5 cm
- Waga – 75 kg



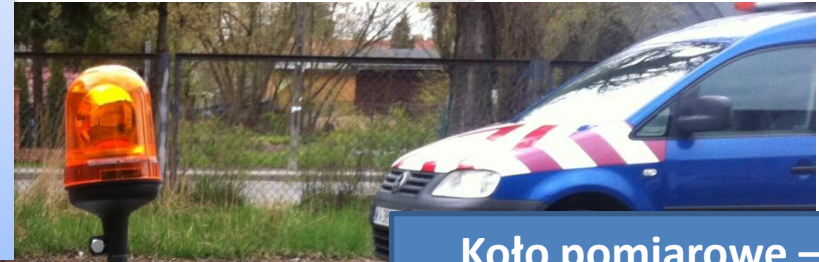
Możliwości pomiarowe

- Pomiar może być wykonywany w zakresie prędkości od 5 do 110 km/h
- Poślizg koła pomiarowego $S_x = 17,8\%$
- Obciążenie koła pomiarowego – 60 kg
- Możliwość ustawienia filmu wody pod kołem pomiarowym w granicach od 0,1 do 1,0 mm
- Krok pomiarowy od 0,5 m (standard wg SRT-3, to ok. 10 m)



- **Opony używane przez urządzenie**

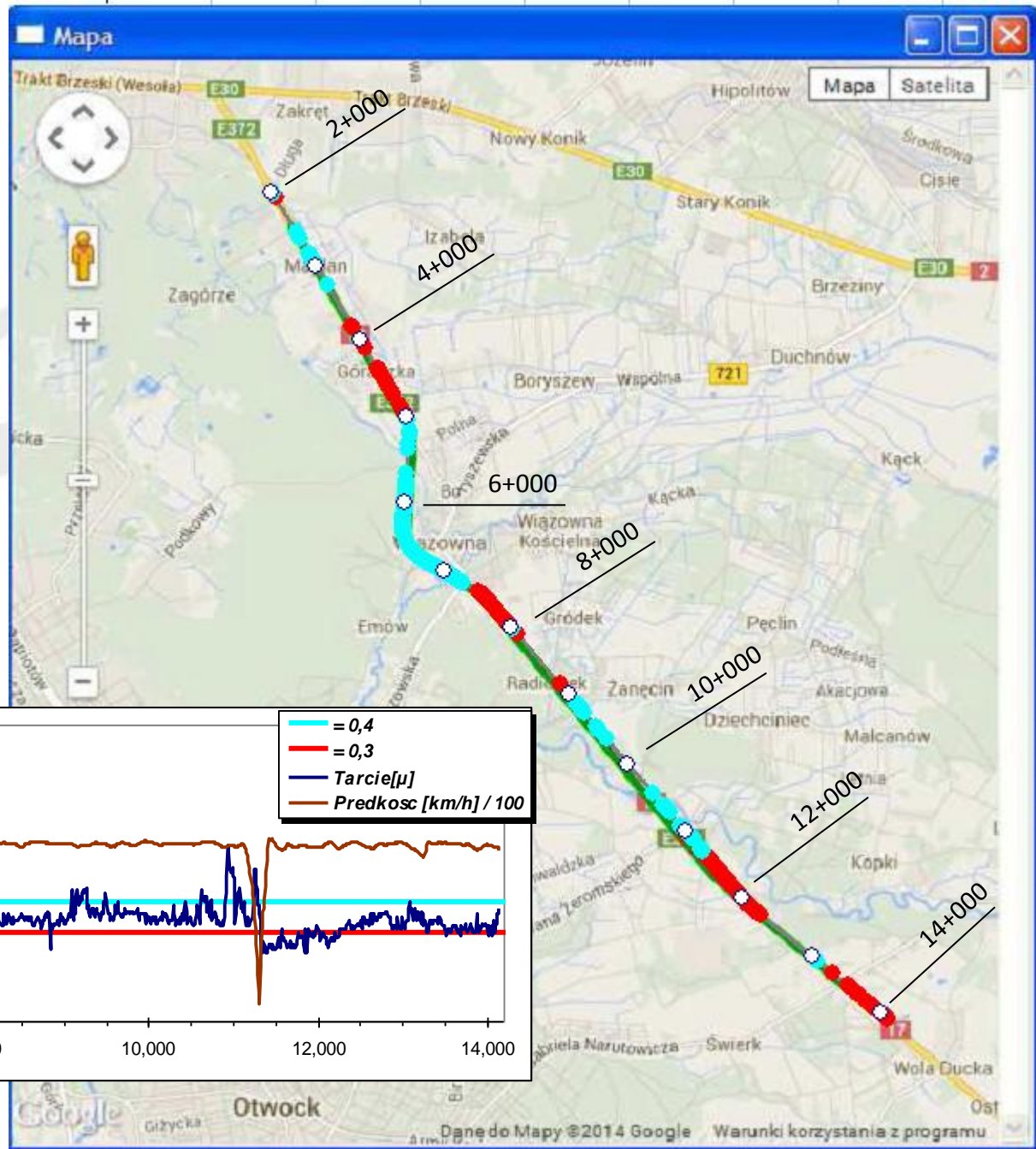
- Opony gładkie wg Standardu ASTM E1551
- Ciśnienie w oponach - 2 bar
- Obciążenie na koło pomiarowe - 60 kg
- Obciążenie koła toczzonego – 120 kg



**Koło pomiarowe –
poślizg $S_x=17,8\%$**

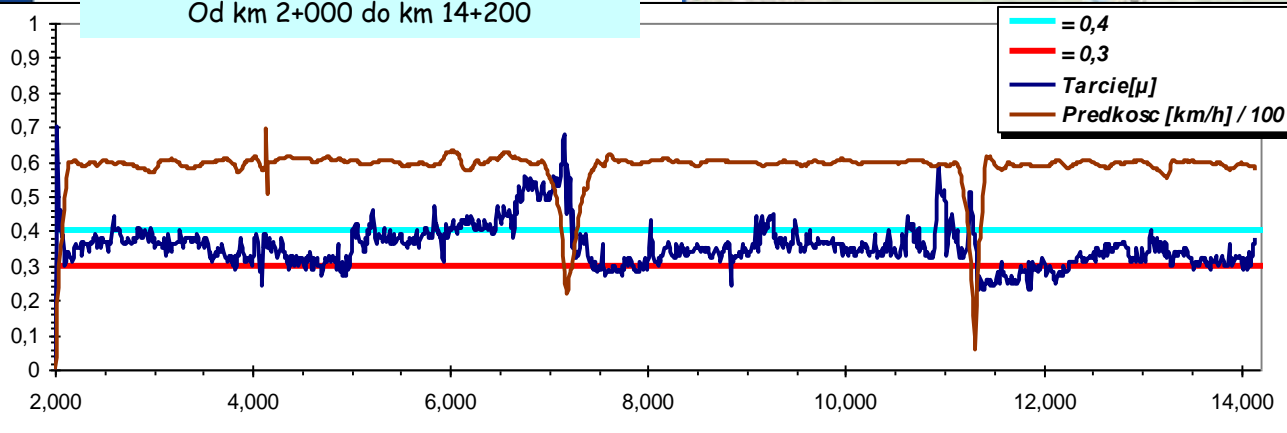


**Koło referencyjne -
toczone**



Droga krajowa nr 17

Od km 2+000 do km 14+200





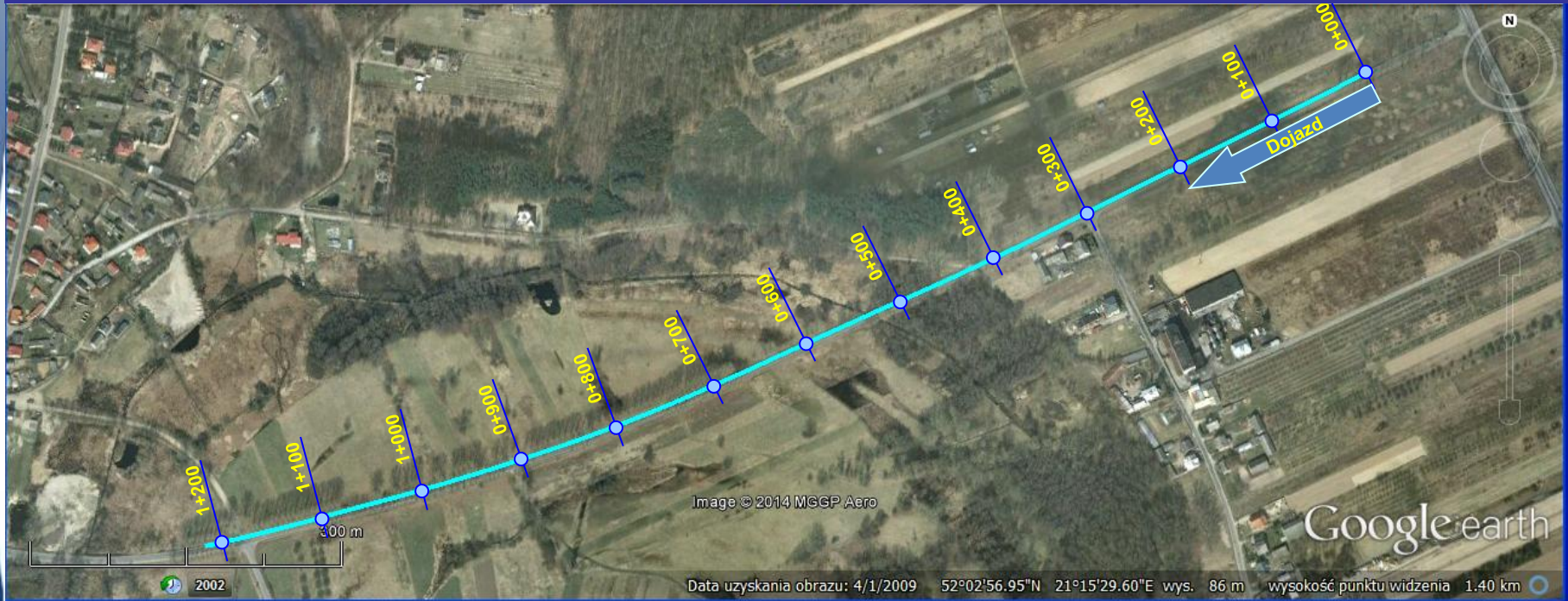
Program badań wdrożeniowych *TWO*

Zakres badań na powtarzalność i odtwarzalność:

Aparat *TWO* - nawierzchnie drogowe
Pomiary jednoczesne z aparatem SRT-3
Prędkości pomiarowe: $V = 30, 60 \text{ i } 90 \text{ km/h}$
Trzykrotny przejazd po wyznaczonej linii pomiarowej
Pomiary na odcinkach nawierzchni o różnym poziomie poślizgowości
Powtórzenie pomiaru na tych samych odcinkach po czasie



Program badań wdrożeniowych TWO

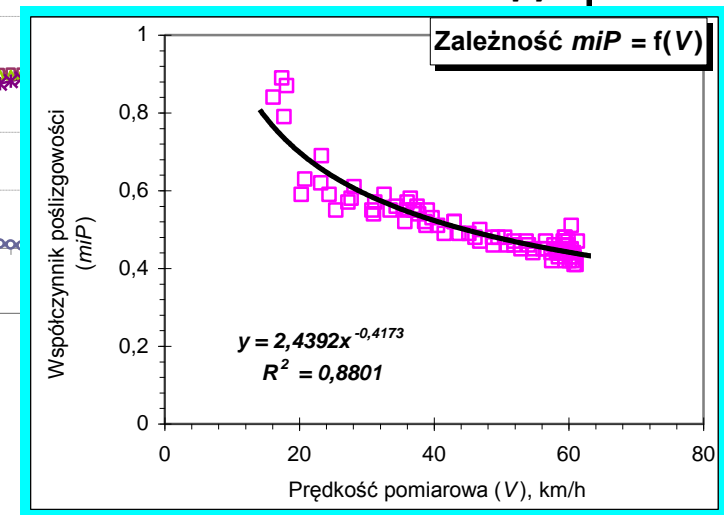
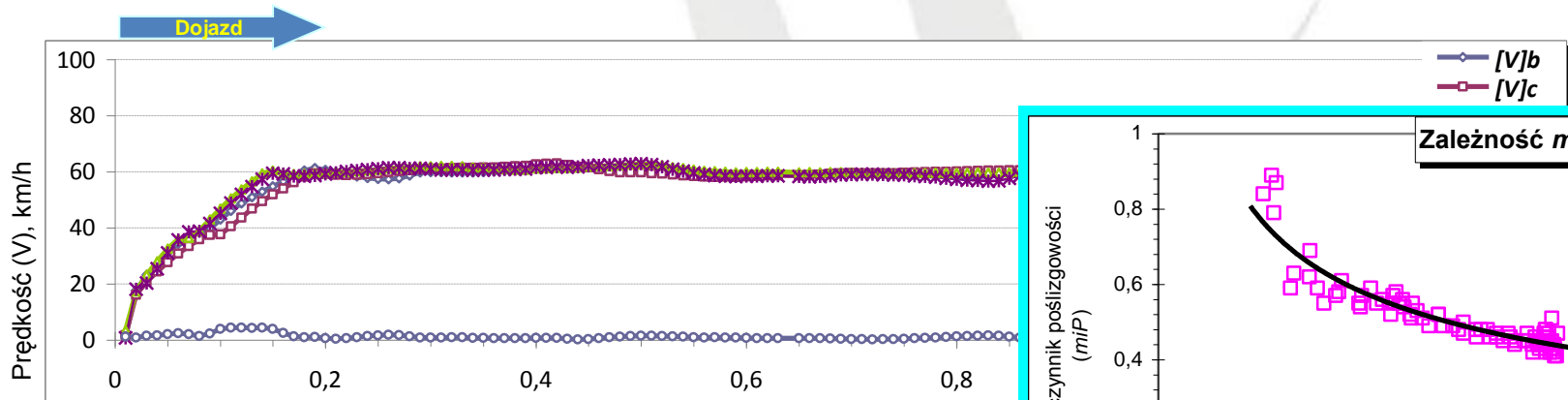
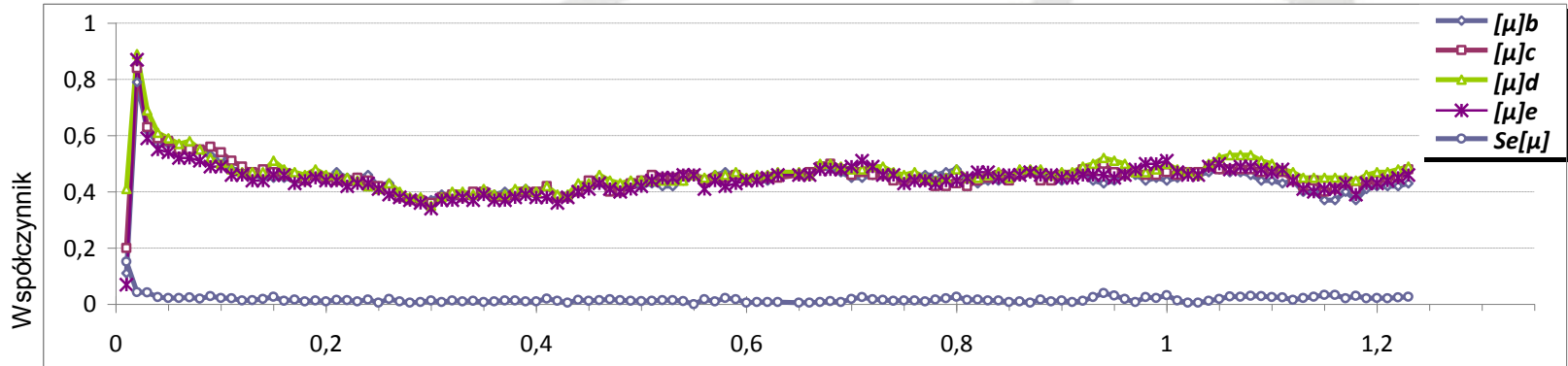


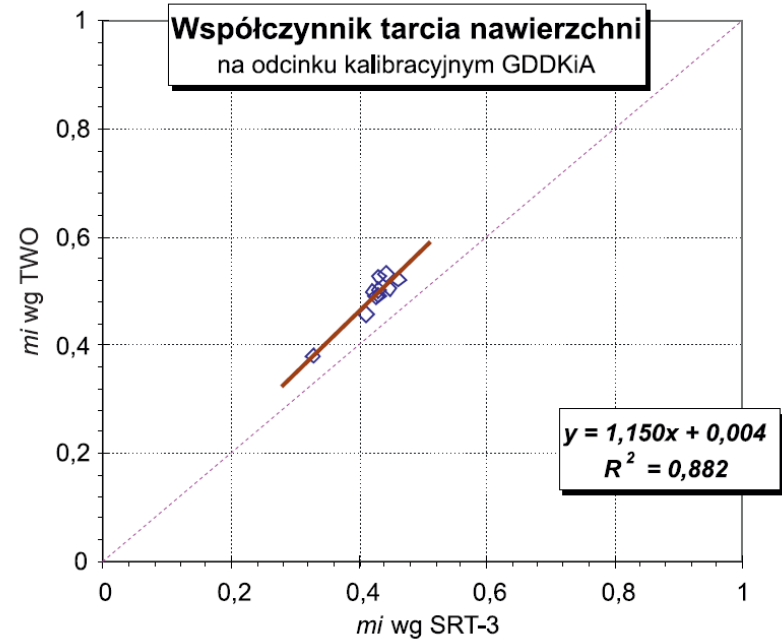
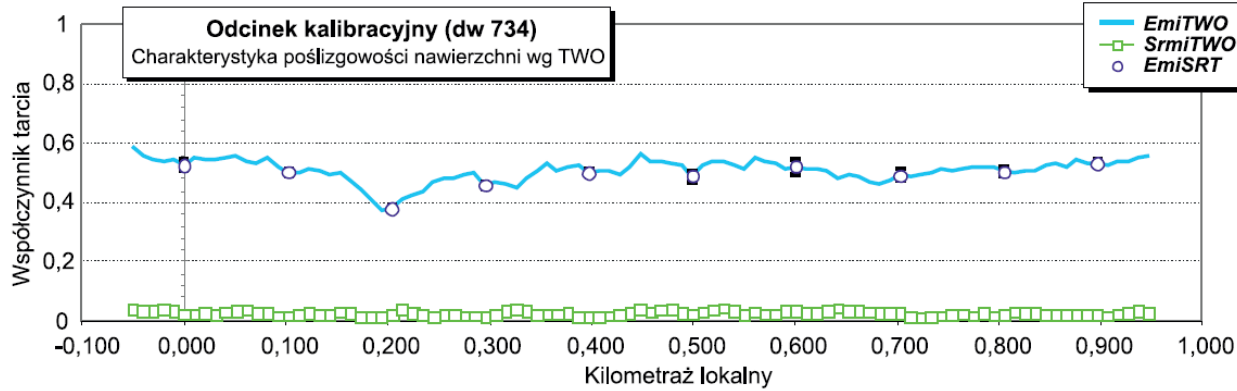
Odcinek testowy na dw nr 734

$L = 1000$ m, od km 0+200 do km 1+200



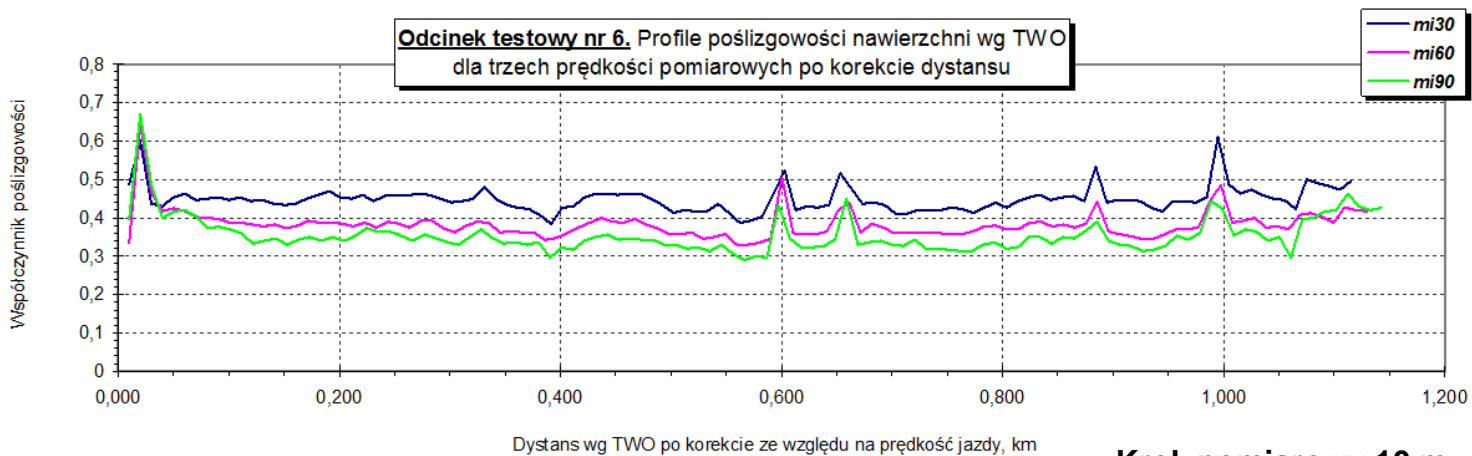
Program badań wdrożeniowych TWO





Rys. 6. Zestawienie wyników pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni w przypadku uogólnionego urządzenia SRT-3 i urządzenia TWO

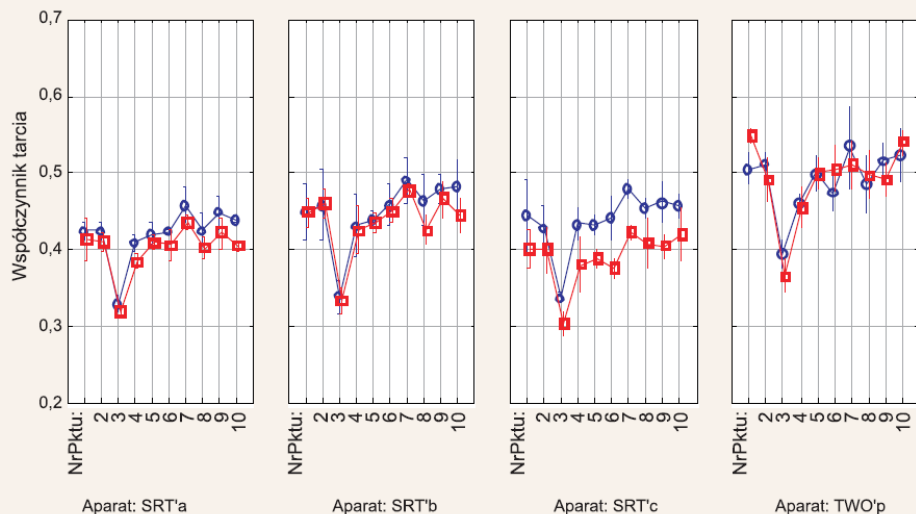
Fot. 1. Urządzenia SRT-3 i TWO. Widok ogólny przyczep do pomiaru współczynnika poślizgowości (tarcia) nawierzchni drogowych (fot. S. Szpinek)



Krok pomiarowy 10 m



Wykres średnich i przedz. ufności (95,00%)



Rozstęp E dla trzech SRT-3: 0,020; 0,013; 0,047
 Rozstęp E między SRT-3: 0,059
 Rozstęp E TWO'punktowy: 0,000
 Rozstęp E TWO'ciągły: 0,003

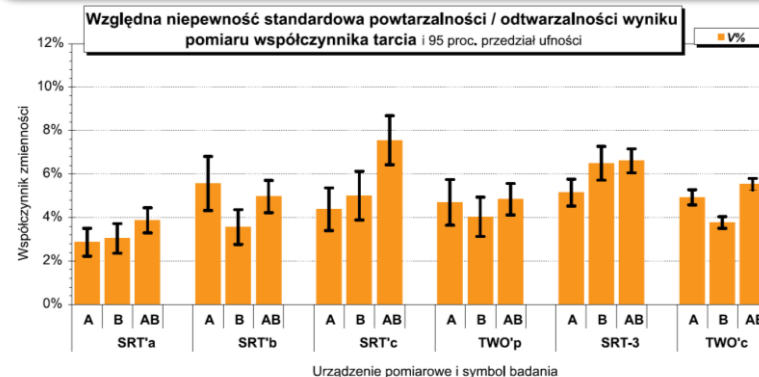


Tabela 2a. Zestawienie wyników badań i statystycznych ocen dla zbiorów danych pomiarowych współczynnika tarcia

Lp.	Urządzenie	Badanie	a	k	E	Da	Se	dE(95%)	F	F(0,05)	V%	R ²
1	SRT'a	A	10	5	0,421	0,035	0,012	0,003	41,96	2,12	2,9%	90,4%
2		B	10	5	0,401	0,032	0,012	0,003	33,33	2,12	3,0%	88,2%
3		AB	10	10	0,411	0,033	0,016	0,003	42,97	1,99	3,9%	81,1%
4	SRT'b	A	10	5	0,450	0,043	0,025	0,007	14,84	2,12	5,6%	76,9%
5		B	10	5	0,437	0,040	0,016	0,004	32,68	2,12	3,6%	88,0%
6		AB	10	10	0,443	0,041	0,022	0,004	34,41	1,99	5,0%	77,5%
7	SRT'c	A	10	5	0,438	0,038	0,019	0,005	19,74	2,12	4,4%	81,6%
8		B	10	5	0,391	0,034	0,020	0,006	15,28	2,12	5,0%	77,5%
9		AB	10	10	0,414	0,036	0,031	0,006	13,04	1,99	7,6%	56,6%
10	TWO'p	A	10	5	0,491	0,041	0,023	0,007	15,81	2,12	4,7%	78,1%
11		B	10	5	0,491	0,050	0,020	0,006	32,43	2,12	4,0%	87,9%
12		AB	10	10	0,491	0,044	0,024	0,005	34,85	1,99	4,8%	77,7%
13	SRT-3	A	10	15	0,436	0,038	0,022	0,004	44,03	1,95	5,1%	73,9%
14		B	10	15	0,410	0,034	0,027	0,004	25,02	1,95	6,5%	61,7%
15		AB	10	30	0,423	0,036	0,028	0,003	50,34	1,91	6,6%	61,0%
16	TWO'c	A	100	5	0,507	0,031	0,025	0,002	7,69	1,28	4,9%	65,6%
17		B	100	5	0,504	0,047	0,019	0,002	30,60	1,28	3,8%	88,3%
18		AB	100	10	0,506	0,037	0,028	0,002	17,46	1,26	5,5%	65,8%



- Względna niepewność standardowa powtarzalności i odtwarzalności wyników z pomiarów nieciągłych (co 100 m) urządzeniami SRT-3 i TWO oraz dla pomiarów ciągłych urządzeniem TWO wynosi około 5%.
- niepewność standardowa powtarzalności jako miara precyzji metody pomiarowej z udziałem urządzeń SRT-3 i TWO jest stała i nie zależy od prędkości pomiarowej (30, 60 i 90 km/h).
- W wyniku badań porównawczych zostały opracowane funkcje przeliczeniowe dla zbiorów pomiarowych, również z uwzględnieniem danych z badań makrotekstury.
- Zgodnie z wytycznymi DSN, to dla potrzeb systemu mogą być wykonywane pomiary:
 - punktowe urządzeniem SRT-3
 - i ciągłe urządzeniem TWO

- R A P O R T -

*Analiza porównawcza parametrów opisujących właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni drogowych, ustalonych w oparciu o wyniki pomiarów współczynnika tarcia i makrotekstury przy wykorzystaniu zestawów pomiarowych: **SRT-3** (Skid Resistance Tester), **TWO** (Traction Watcher One), **DFT** (Dynamic Friction Tester) oraz **CTM** (Circular Track Meter)*



Autorzy opracowania:

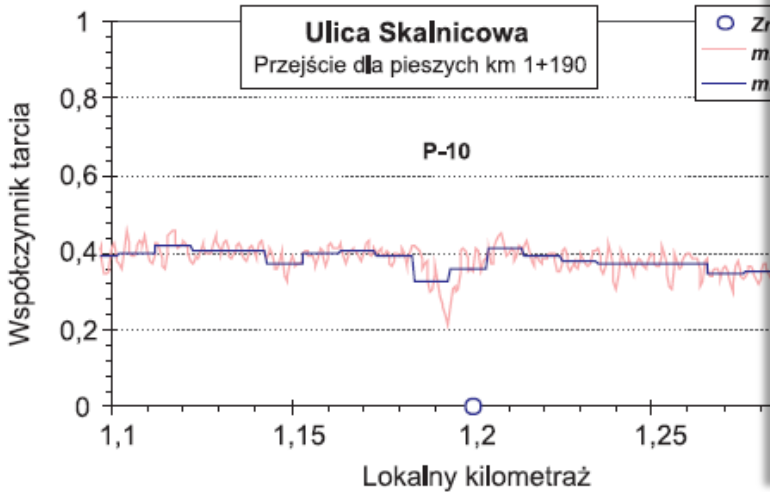
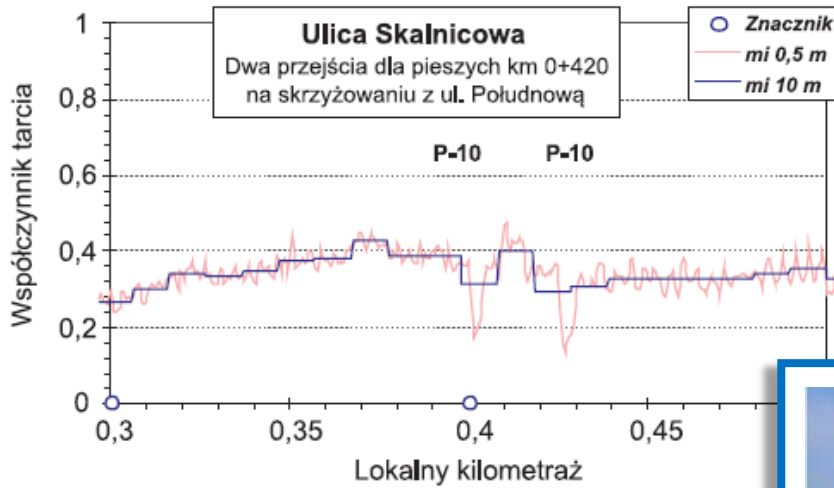
dr inż. Marta Wasilewska – kierownik pracy
dr hab. inż. Władysław Gardziejczyk, prof. PB
mgr inż. Paweł Gierasimiuk
mgr inż. Marek Motylewicz

Współpraca:

mgr inż. Stanisław Szpinek



O wyższości metody ciągłej nad nieciągłą (wg SRT-3: 10 m co 100 m)



Fot. 4. Oznakowanie poziome przejścia dla pieszych na skrzyżowaniu ulic Skalnicowej i Południowej

Rys. 7. Zestawienie wyników badań poślizgowości nawierzchni w pobliżu oznakowanych przejść dla pieszych typu „zebra” (4,0 m x 0,5 m) na ul. Skalnicowej w Warszawie



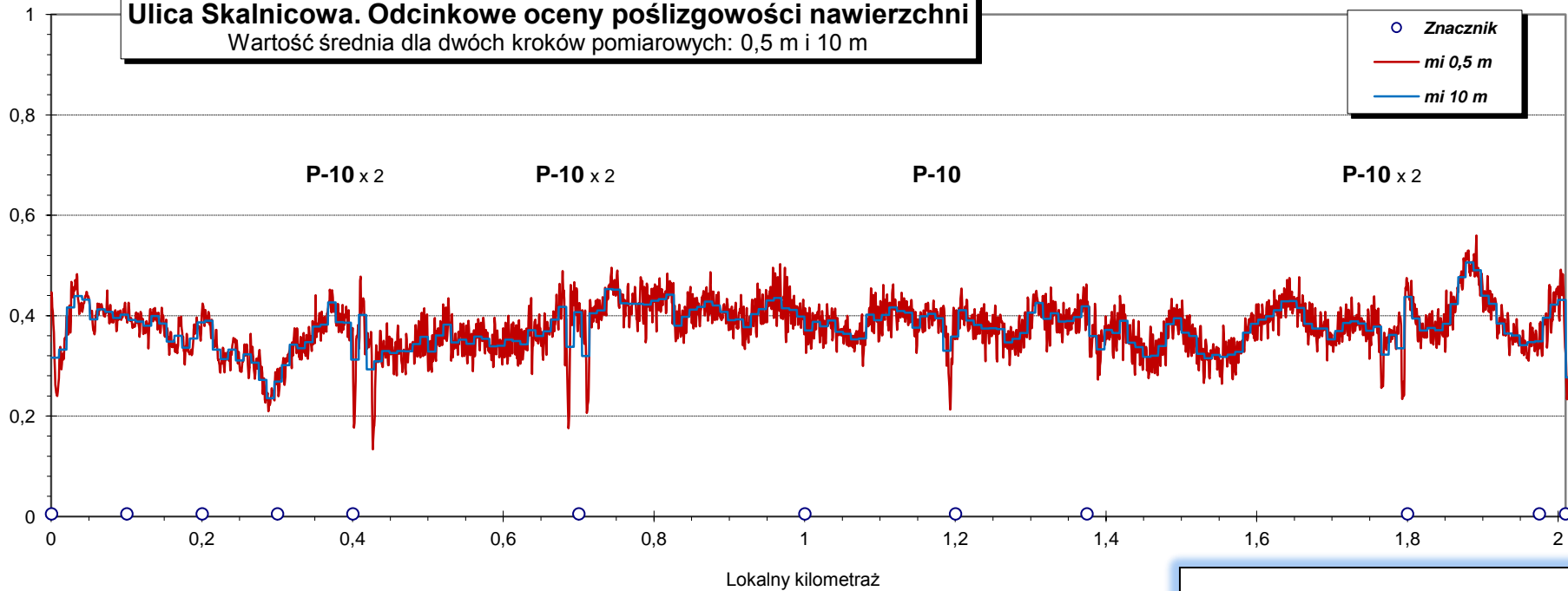
O wyższości metody ciągłej nad nieciągłą (wg SRT-3: 10 m co 100 m)



Diagnostyka nawierzchni jezdni w miejscach zdarzeń drogowych



Ulica Skalnica. Odcinkowe oceny poślizgowości nawierzchni
Wartość średnia dla dwóch kroków pomiarowych: 0,5 m i 10 m

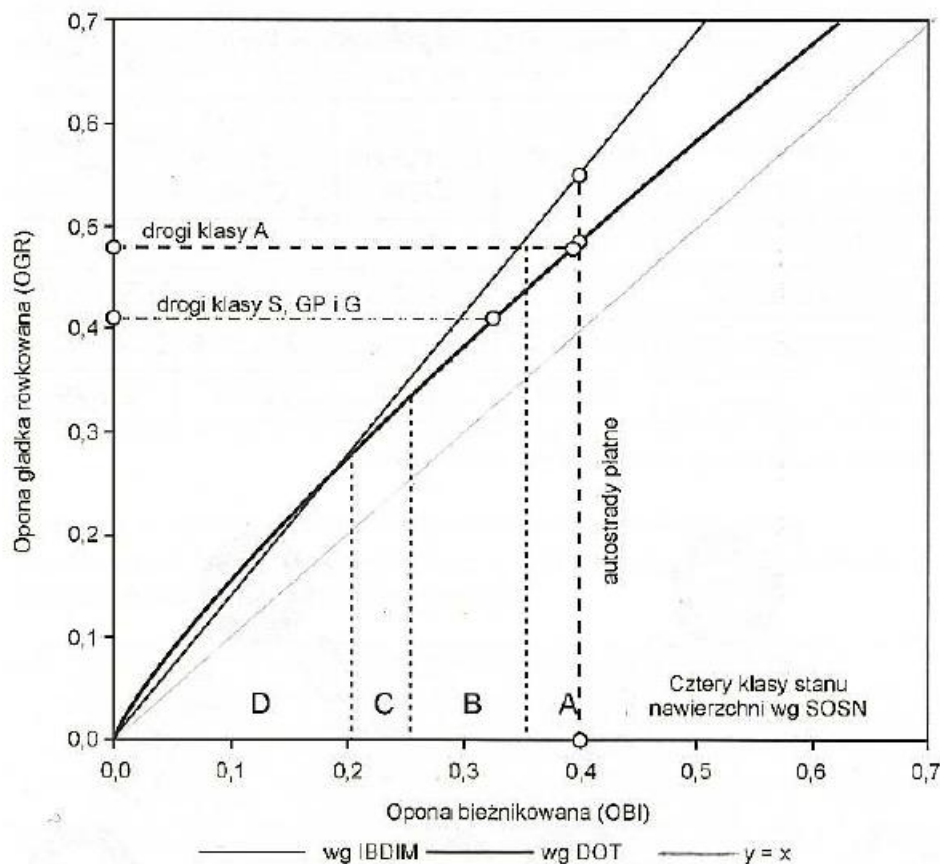


„Drogownictwo” 11/2015

Jak przeliczać współczynniki tarcia nawierzchni

(Artykuł dyskusyjny)

„Drogownictwo” 10/2002



Rys. 6. Porównanie wymagań odbiorczych określonych w dwóch rozporządzeniach MTiGM dla nawierzchni autostrad płatnych dla opony OBI oraz dróg klasy A i dróg klasy S, GP i G dla opony OGR (Uwaga. Wartości graniczne dla miarodajnego współczynnika tarcia są wyrażone według poprzedniej miary SOSN, tj. E-0,6D)



4.1. Ocena odtwarzalności według procedury POLLAB

Oceny odtwarzalności pomiarów porównawczych dokonano stosując metodykę przyjętą i zalecaną przez Klub Polskich Laboratoriów Badawczych „POLLAB”, do którego należy również IBDiM. Wyniki badań (seria 3) otrzymane przez poszczególne ekipy pomiarowe poddane zostały obróbce statystycznej. Dla każdego zestawu określono tzw. „resztę standaryzowaną” ze wzoru:

$$z = \frac{|miM_i - miM_{\text{sr.}}|}{\sigma} \quad (3)$$

w którym:

miM_i - wartość średnia dla zestawu i

$miM_{\text{sr.}}$ - wartość średnia dla wszystkich zestawów

σ - odchylenie standardowe dla wartości średnich zestawów

z - reszta standaryzowana

Kryteria oceny są następujące:

$z = 0$ lub bliski zero – wynik bardzo dobry,

$z \approx 1$ – wynik dobry,

$z < 2$ – wynik zadowolający,

$z < 3$ – wynik wątpliwy, ale do przyjęcia,

$z \geq 3$ – wynik niezadowolający,

Tabela nr 1

Różnica wartości deklarowanej od wartości uzyskanej na etapie odbioru	Redukcja w PLN za 1 km elementu nawierzchni
0,01	1000
0,02	3900
0,03	8800
0,04	15700
0,05	24500
0,06	35300
0,07	48000
0,08	62700
0,09	79400

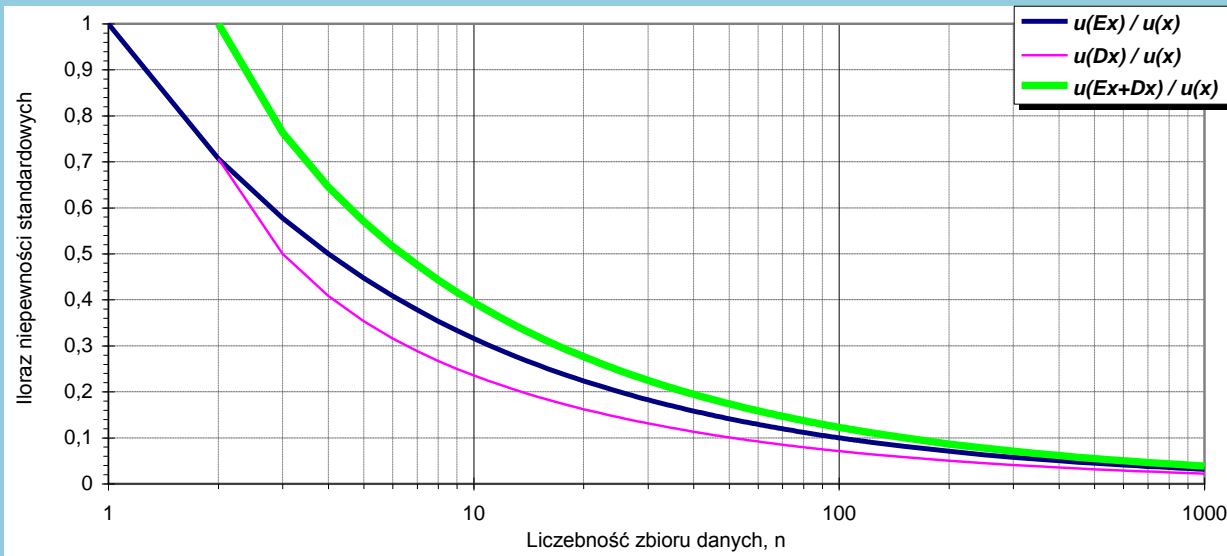
Akceptowalny rozstęp między aparatami = 0,04

Tabela 2. Ocena odtwarzalności wyników pomiarów

Zestaw pomiarowy	Wartość średnia miM_i	Wartość z	Ocena
Białystok	0,519	1,00	dobra
Bydgoszcz	0,511	0,60	dobra
Gdańsk	0,524	2,00	wątpliwa
Kielce	0,512	0,40	bardzo dobra
Lublin	0,509	1,00	dobra
Łódź	0,512	0,40	bardzo dobra
Olsztyn	0,516	0,40	bardzo dobra
Poznań	0,512	0,40	bardzo dobra
Rzeszów	0,508	1,20	dobra
Szczecin	0,511	0,60	dobra
Warszawa	0,515	0,20	bardzo dobra
Wrocław	0,509	1,00	dobra
PW	0,523	1,80	zadowolająca
IBDiM	0,513	0,20	dobra



O propagacji niepewności pomiaru na ocenę stanu nawierzchni



Niepewność standardowa
 $u(x) = Se$

Rysunek 1. Zależność niepewności parametrów: $E(x)$, $D(x)$ i $E(x) \pm D(x)$, od liczebności zbioru wartości x .

Parametr statystyczny, X	Wzór	Złożona niepewność standardowa, $u_c(X)$
Wartość średnia arytmetyczna, $E(x)$	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	$\frac{u(x)}{\sqrt{n}}$
Skorygowane odchylenie standardowe, $D(x)$ dla $n > 1$	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - E(x))^2}{n-1}}$	$\frac{u(x)}{\sqrt{2n-2}}$
Wartość miarodajna dla $n > 1$	$E(x) \pm D(x)$	$u(x) \sqrt{\frac{3n-2}{2n(n-1)}}$



Tolerancja (niepewność) wyniku pomiaru (badań)

W – wynik, $\Delta = f(s_R, n, a)$ - niepewność, W_0 - wymaganie

Zbiór wyników badań

Ważne!

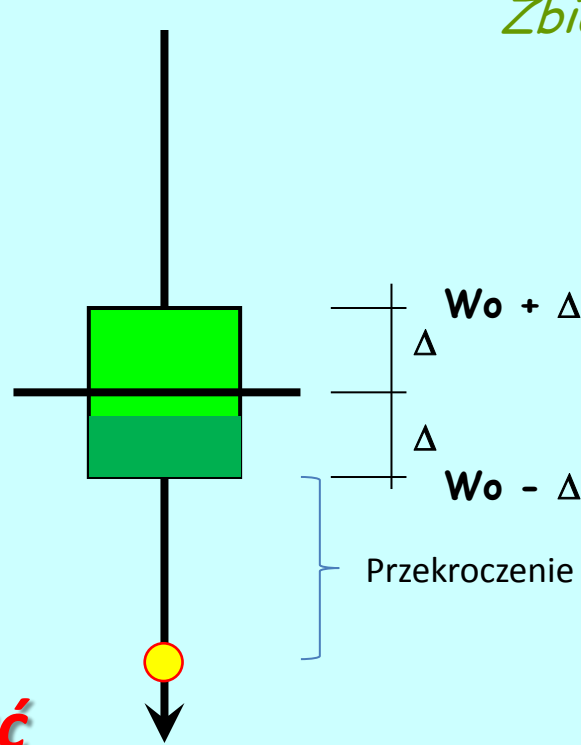
$W > W_0$

$W = W_0$

$W < W_0$

$W \geq W_0$

$W \leq W_0$



Jak odczytywać zapisy WT?

- Przedział akceptacji na poziomie istotności 0,05
- =
- Przedział zaokrągleń liczb
- +
- Przedział nieznacznych przekroczeń

W realnych warunkach wynik pomiaru jest tylko pewnym przybliżeniem lub estymatą (oszacowaniem) wartości wielkości mierzonej. Dlatego też jest on pełny jeśli podamy także niepewność tej estymaty.

(źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Wynik_pomiaru).



Polska Inżynieria Sp. z o. o.

ul. Nowogrodzka 62B lok. 19

02-002 Warszawa

e-mail: d.godlewski@il.pw.edu.pl

e-mail: s.szpinek@polskainzynieria.pl