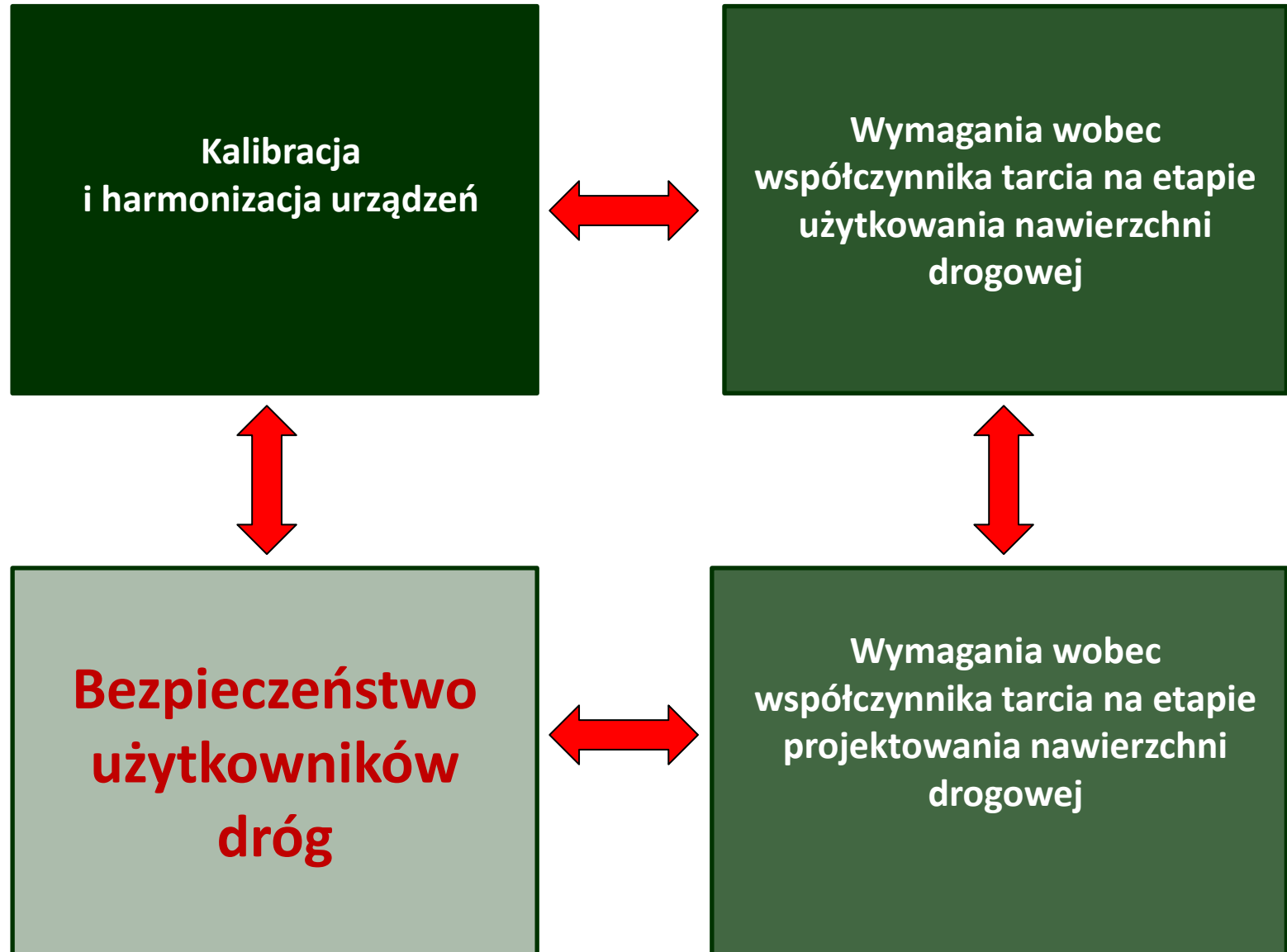


Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni drogowych w Polsce *- dlaczego mamy problemy z ich oceną?*

Marta Wasilewska

Warszawa, 20 czerwca 2017r.

Wprowadzenie



Mobilne urządzenia do pomiaru współczynnika tarcia

ciągły pomiar współczynnika tarcia

punktowy pomiar współczynnika tarcia

Side - force tester



Fixed slip tester



Variable slip tester



Locked - wheel tester



Stacjonarne urządzenia do pomiaru współczynnika tarcia

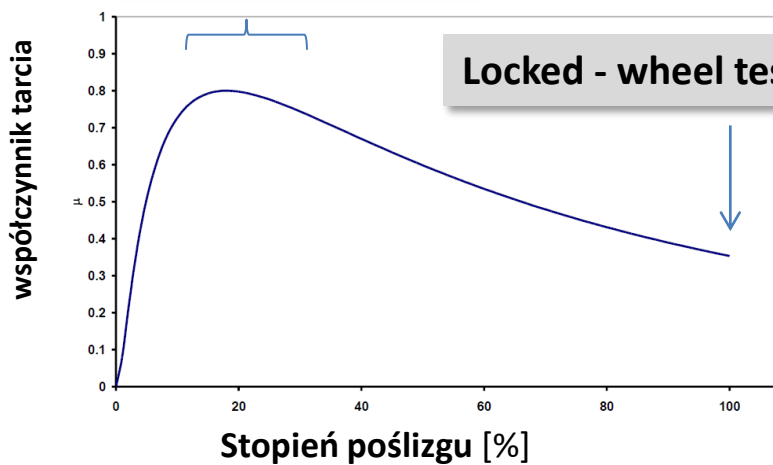


Zmiany współczynnika tarcia w funkcji stopnia poślizgu i prędkości

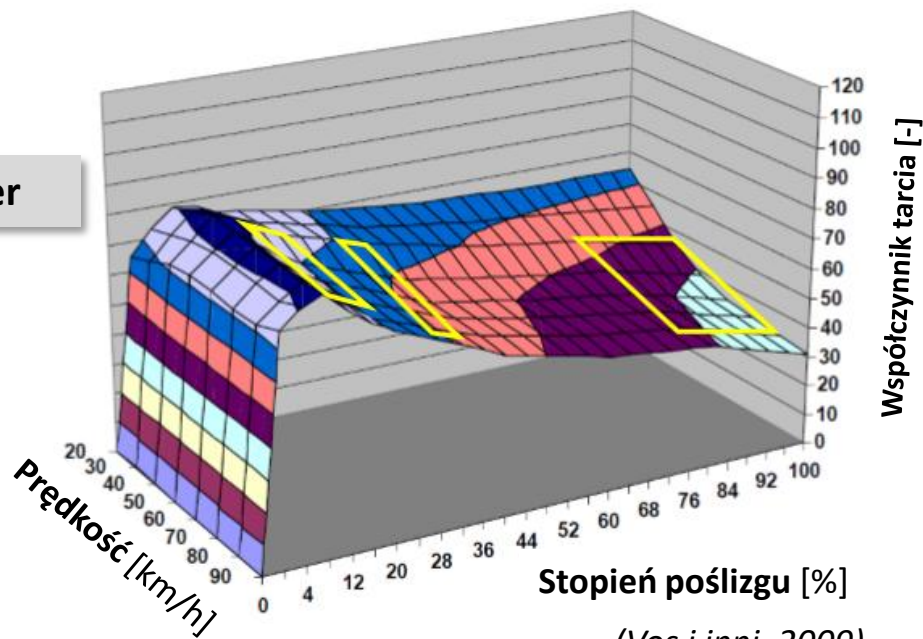
Side - force tester

Fixed slip tester

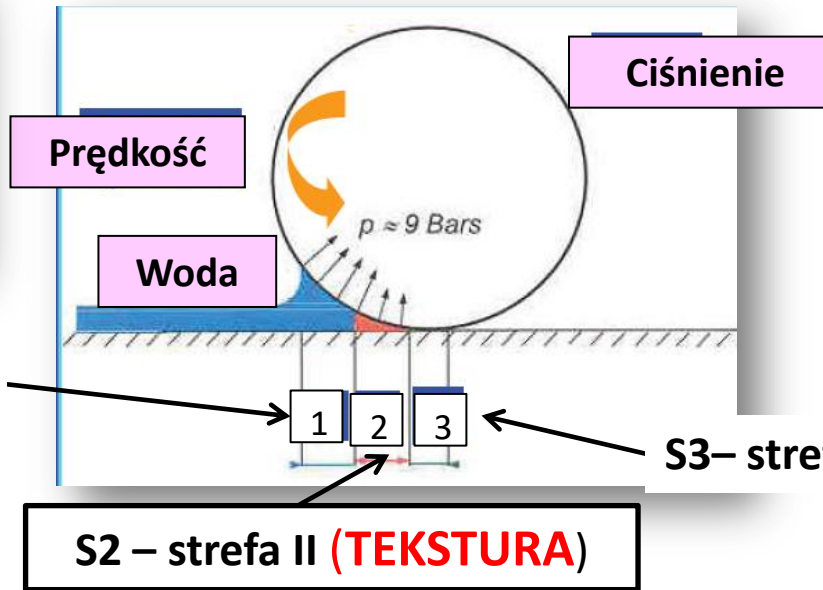
Locked - wheel tester



Relation CFL = f(%glissement, vitesse)
BBTM 0/6 HS=1.3 PS=2mm Heau=1mm



(Vos i inni, 2009)



S1 – strefa I (bieżnik)

S3 – strefa III (suchy kontakt)

S2 – strefa II (TEKSTURA)

Makrotekstura

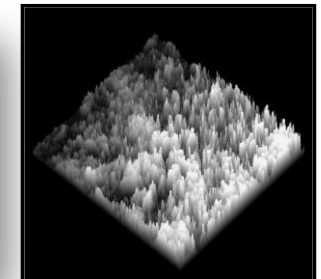
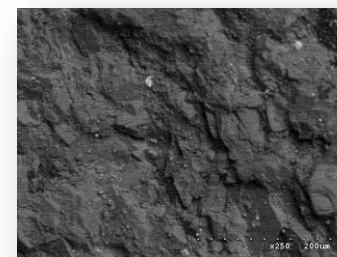
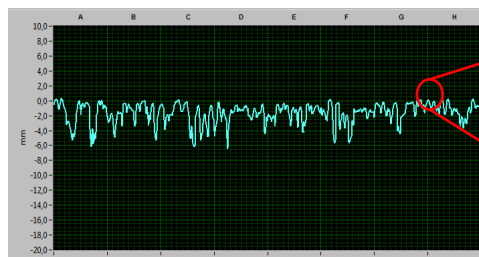
$$l = 0,5 \div 50\text{mm}$$

$$f = 0,1 \div 20\text{mm}$$

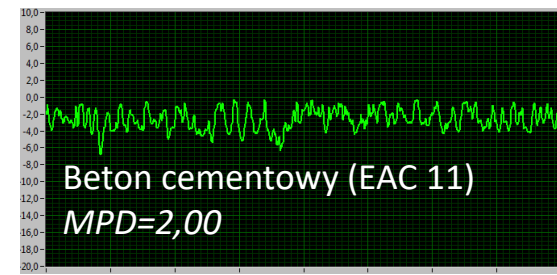
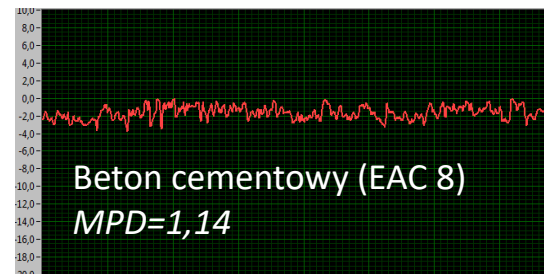
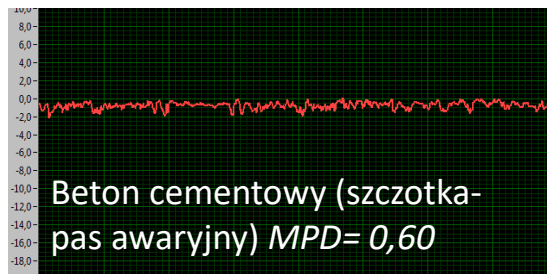
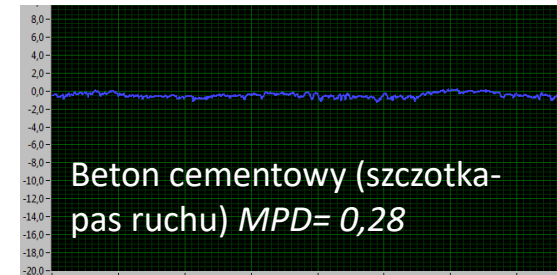
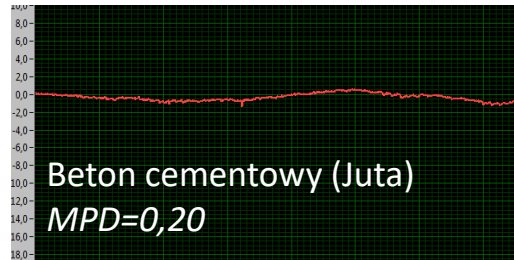
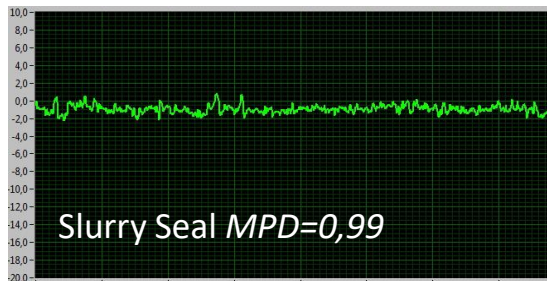
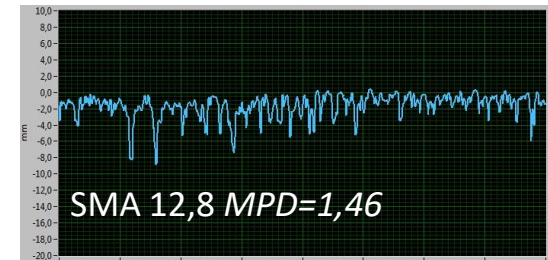
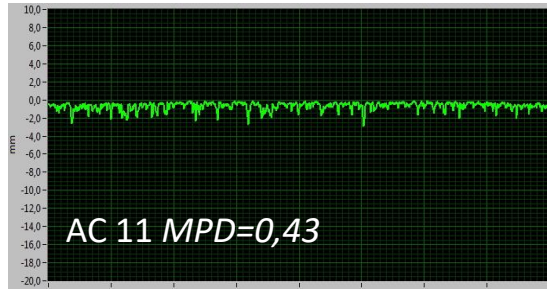
Mikrotekstura

$$l = 0,5 \text{ mm}$$

$$f = 500 \div 0,1\mu\text{m}$$



Wyniki pomiarów makrotekstury



Mobilne urządzenia do pomiaru współczynnika tarcia w wybranych krajach europejskich

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

Urządzenie SRT-3 pełna blokada koła pomiarowego



Opona pomiarowa a wymagania

opona „Stomil” Olsztyn z bieżnikiem tzw. generalskim
(do której odnoszą się wymagania autostrad płatnych)



współczynnik przeliczeniowy 1,377

opona rowkowa „Dębica”
(do której odnoszą się wymagania dróg publicznych)



współczynnik przeliczeniowy 1,079

opona bieżnikowa Barum Bravura 185/70 R14
(do której odnoszą się klasyfikacja DSN)



współczynnik przeliczeniowy 1,007

opona bieżnikowa Barum Bravuris 185/65 R14
(do której odnoszą się nowe wymagania OST)



współczynnik przeliczeniowy 0,974

opona rowkowa PIARC 165R15

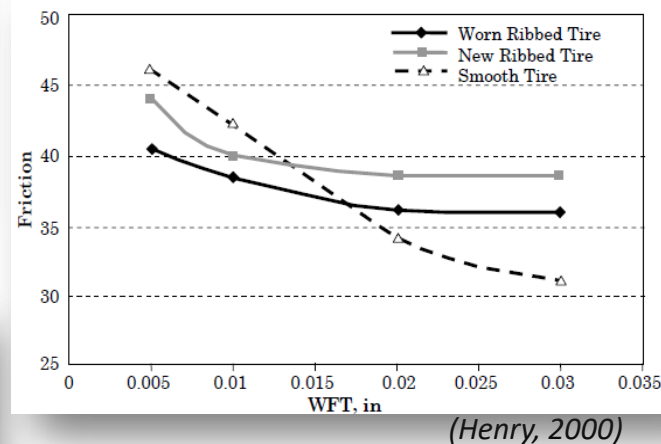
Urządzenie SRT-3



Urządzenie PFT



Wpływ grubości filmu wodnego na współczynnik tarcia



Opony z bieżnikiem oraz ich zmiany są główną przyczyną problemów związanych z interpretacją wyników współczynników tarcia otrzymanych urządzeniami SRT-3

1992 – 1993 Międzynarodowy eksperyment, którego celem była kalibracja i harmonizacja metod do oceny tekstury i współczynnika tarcia

IFI (ang. International Friction Index) → $S_p = a + bTx$ i $F60 = A + B \cdot FR_{60} + C$

Rezultaty projektu nie zostały wdrożone w krajach europejskich

W Stanach Zjednoczonych urządzenia są kalibrowane i harmonizowane na podstawie IFI ($S_p = a + bTx$ i $F60 = A + B \cdot FR_{60}$)

Podstawowe założenia

1. Minimum **10** nawierzchni o różnej mikroteksturze i makrotekstu zestawów urządzeń DFT i CTM (urządzenia referencyjne)

2. Mikrotekstura (DF20) , makrotekstura (MPD)

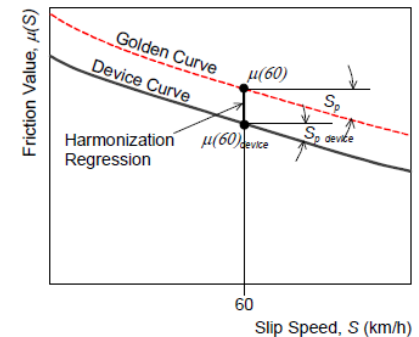
$$0.30 < DFT20 < 0.90 \quad 0.25 < MPD < 1.5 \text{ mm}$$

$$S_p = 14.2 \times 89.7 \text{ MPD}$$

$$F60 = 0.081 + 0.732 DFT20 \exp(40/S_p)$$

3. Obliczyć wartość FR_{60} urządzenia, które się harmonizuje: $FR_{60} = FR_S \exp[(S - 60)/S_p]$

4. Określenie krzywych kalibracyjnych (**A,B**) z zależności liniowej: $F60 = A + B FR_{60}$

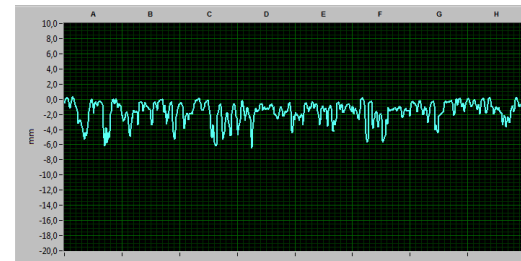
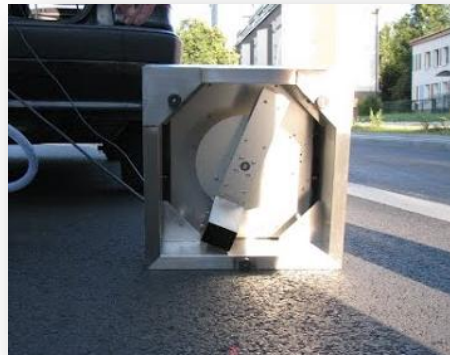


ca

Urządzenia referencyjne

Urządzenie CTM – *Circular Track Meter*

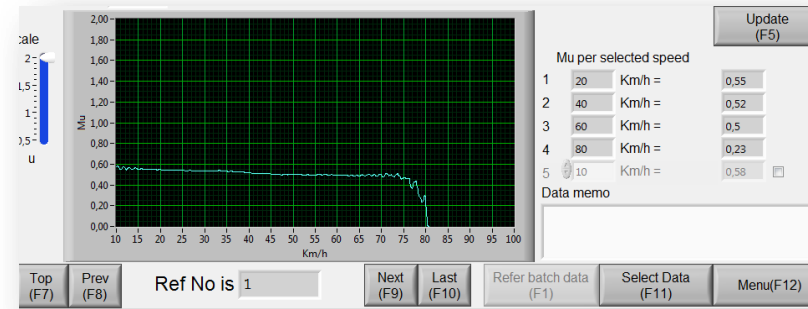
Miarą makrotekstury jest parametr *MPD* (Mean Profil Depth)



Przykładowy profil nawierzchni SMA

Urządzenie DFT – *Dynamic Friction Tester*

Miarą mikrotekstury jest współczynnik tarcia *DFT20*



Przykładowe wyniki z pomiaru

PENN STATE

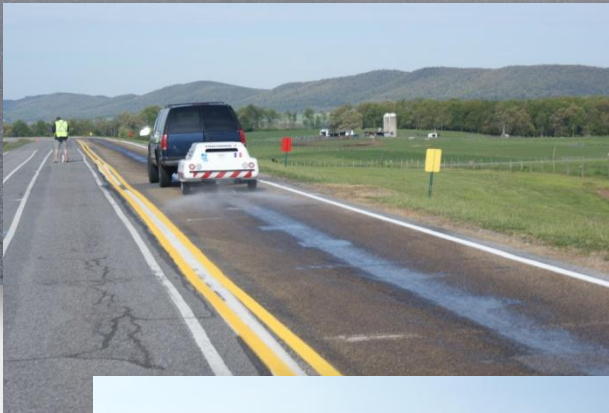


THE
LARSON
INSTITUTE

1. Kalibracja urządzeń do badania tarcia
(pomiar fizycznych charakterystyk urządzeń;
pomiar tarcia przy **3 prędkościach** na **13**
różnych nawierzchniach)



2. Porównanie opony testowej wytwarzanej przez dwóch różnych producentów



3. Ocena wpływu dużych prędkości na dystrybucję wody

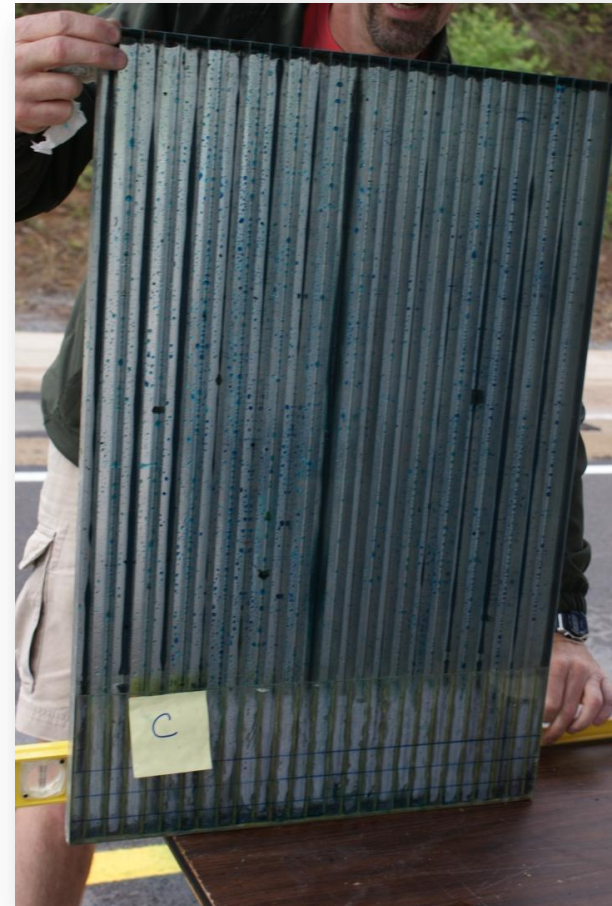
4. Porównanie urządzeń stacjonarnych do pomiaru tarcia i tekstury nawierzchni drogowych





**Full-Scale Research Facilities
at the Thomas D. Larson
Pennsylvania Transportation Institute**

Ocena wpływu dystrybucji wody na pomiar współczynnika tarcia przy dużych prędkościach



I. Kalibracja i harmonizacja

2002 - 2005 **HERMES**, który miał na celu opracowanie harmonizacji metod do oceny właściwości przeciwpoślizgowych stosowanych w krajach europejskich

$$EFI = A + B \cdot F_{30} ; \quad F_{30} = F \cdot \exp \cdot [(S-30)S_0]; \quad S_0 = a + b \cdot MPD$$

Jednak wyniki eksperymentu nie były jednoznaczne, a dyskusja nad treścią raportu końcowego nie została przedłużona. Na tym etapie było już oczywiste, że opracowana procedura nie zostanie wdrożona w wielu krajach, zwłaszcza w tych które dysponowały własnymi i opracowanymi procedurami kalibracji i harmonizacji.

2009-2012 **TYROSAFE** podjęto próbę poprawy harmonizacji urządzeń.

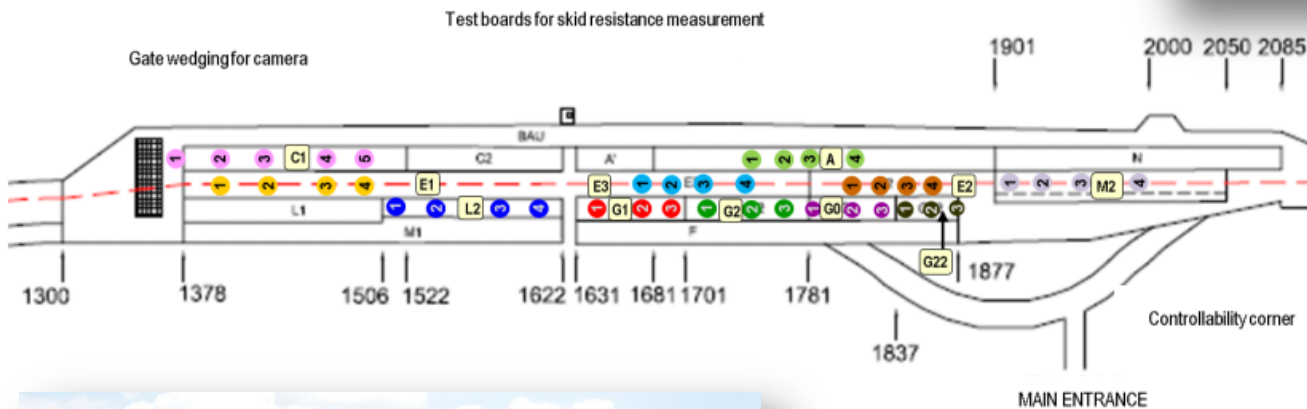
Opracowano program realizacji przyszłych badań w zakresie harmonizacji metod do oceny właściwości przeciwpoślizgowych. Zaprezentowano różne metody, których celem była wspólna skala odniesienia.

2013 – 2016 ROSANNE Rolling resistance, Skid resistance, ANd
Noise Emission measurement standards for road surfaces

I. Kalibracja i harmonizacja



Nantes, 29 maja – 2 czerwca 2017r.



I. Kalibracja i harmonizacja

- ✓ Na ilu odcinkach testowych jest przeprowadzana kalibracja urządzeń SRT-3 ?
- ✓ Które urządzenie jest urządzeniem referencyjnym?
Na jakiej podstawie zostało wytypowane?
- ✓ Czy kalibracja jest wykonywana przy trzech prędkościach pomiarowych 30, 60, 90 km/h?
- ✓ Jaka jest liczba powtórzeń pomiarów współczynnika tarcia w każdym z punktów pomiarowych przy danej prędkości pomiarowej?
- ✓ W jaki sposób jest wyznaczana niepewność pomiaru współczynnika tarcia otrzymanego urządzeniem SRT-3?
- ✓ W jaki sposób jest określana grubość filmu wodnego?

Kalibracja - czynności ustalające relację pomiędzy wartościami wielkości mierzonej przez urządzenie pomiarowe a wartościami wielkości, ustalonymi przez urządzenie wzorcowe wraz z podaniem niepewności pomiaru

Mobilne urządzenia

Od 2013



TWO (Traction Watcher One)

Slip ratio – 17.8%

Ilość urządzeń - 3

od 2014



SRT cofi

Slip ratio – 17.8%

Ilość urządzeń - 1

od 2016



ViaFriction

Slip ratio – 18% (możliwość 0-75%)

Ilość urządzeń - 1

Stacjonarne urządzenia



BPT (British Pendulum Tester)



DFT (Dynamic Friction Tester)

CTM (Circular Track Meter)

Ilość zestawów - 2



T2GO

II. Wymagania – etap użytkowania nawierzchni drogowej

Wiarygodność metod oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych wymaga poznania i zrozumienia systemów działania urządzeń pomiarowych oraz poprawnego zdefiniowania czynników, mających wpływ na wyniki pomiarów

*„ Analiza porównawcza parametrów opisujących właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni, ustalonych w oparciu o wyniki pomiarów współczynnika tarcia i makrotekstury przy wykorzystaniu zestawów pomiarowych: SRT-3, TWO, DFT oraz CTM ”,
Politechnika Białostocka na zlecenie GDDKiA, 2014*



II. Wymagania – etap użytkowania nawierzchni drogowej

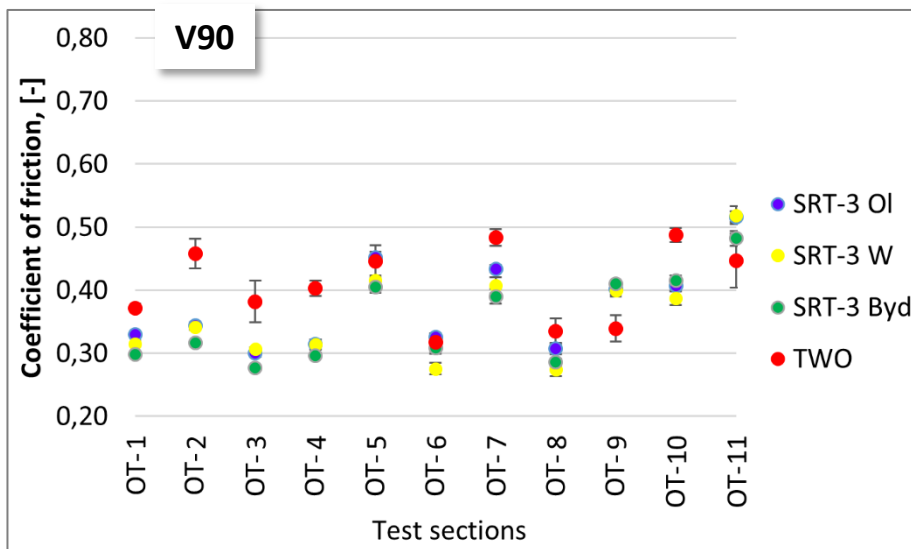
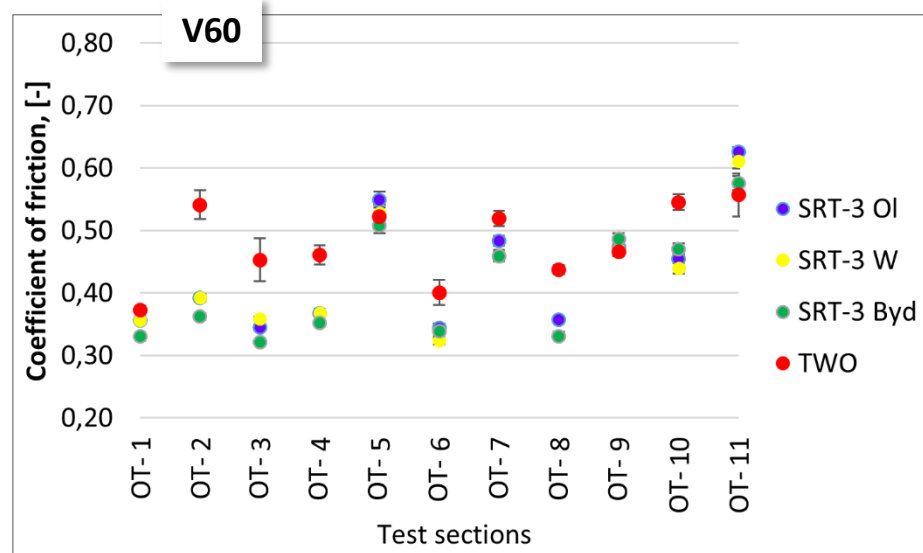
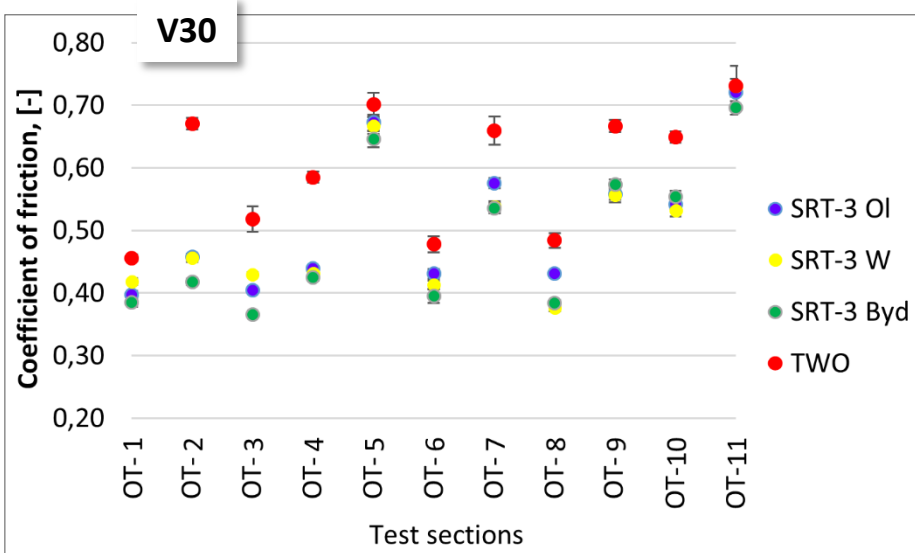
Odcinki testowe

Np.	Symbol	Warstwa ścieralna	Rodzaj kruszywa grubego	PSV	Kategoria ruchu	Rok oddania do ruchu
1.	OT-1	SMA 12	granodioryt	48	KR4	2002
2.	OT-2	SMA 11	melafir	52	KR6	2010
3.	OT-3	SMA 11	melafir i gabro	52/54	KR6	2010
4.	OT-4	SMA 11	granodioryt	53	KR6	2012
5.	OT-5	Beton asfaltowy AC 11	polodowcowe	52	KR3	2012
6.	OT-6	Beton asfaltowy	bazalt i dolomit ^{*)}	brak	KR4	2004
7.	OT-7	Slurry seal	bazalt ^{*)}	brak	KR4	2010
8.	OT-8	Beton asfaltowy	bazalt ^{*)}	brak	KR4	2003
9.	OT-9	Beton asfaltowy	granit lub sjenit ^{*)}	brak	KR3	2010
10.	OT-10	Beton cementowy GWB 8	bazalt	48	KR6	2014
11.	OT-11	Beton asfaltowy AC 11	kwarcyt	56	KR1	2012

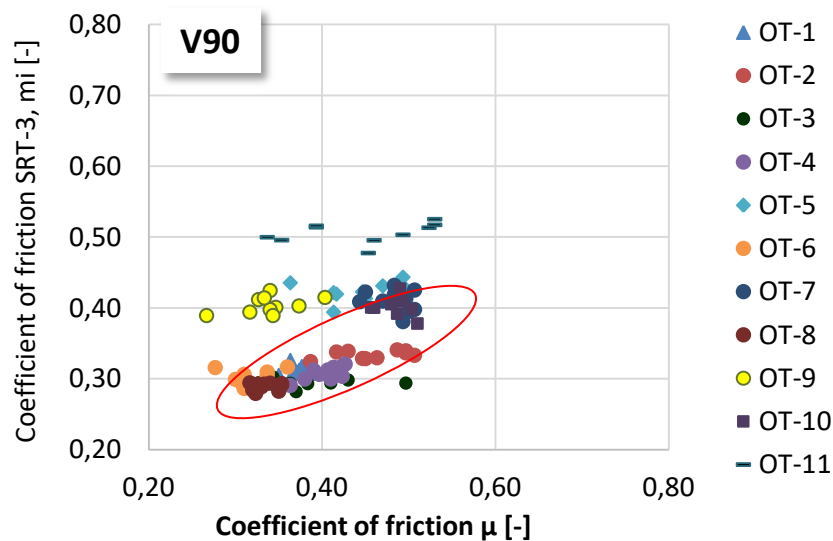
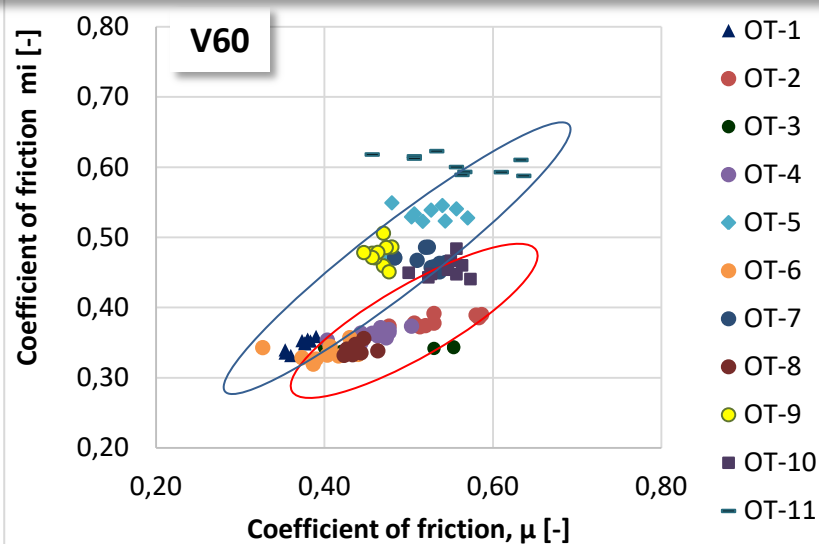
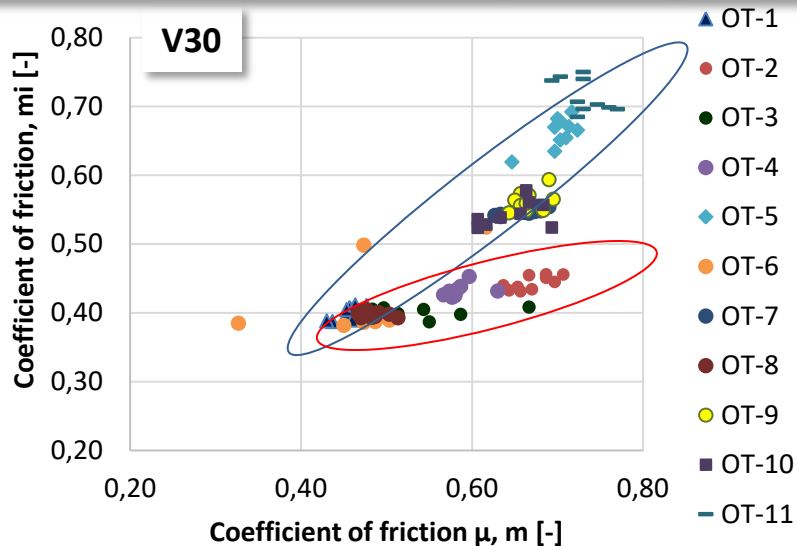
Urządzenia pomiarowe - SRT-3 OI, SRT-3 W, SRT-3 Byd, TWO GD, TWO PI
oraz urządzenia stacjonarne DFT i CTM;

- *prędkości pomiarowe 30, 60, 90km/h;*
- *3 powtórzenia w każdym z punktów pomiarowych przy każdej z prędkości;*

Średnie wartości współczynników tarcia na poszczególnych odcinkach testowych



Zależność pomiędzy współczynnikami tarcia otrzymanymi z pomiarów SRT-3 i TWO na poszczególnych odcinkach testowych



II. Wymagania – etap użytkowania nawierzchni drogowej

Zależność pomiędzy współczynnikiem tarcia μ -TWO (y) przy 30, 60, 90 km/h a współczynnikiem tarcia $DFT20$ (x_1) i parametrem MPD (x_2)

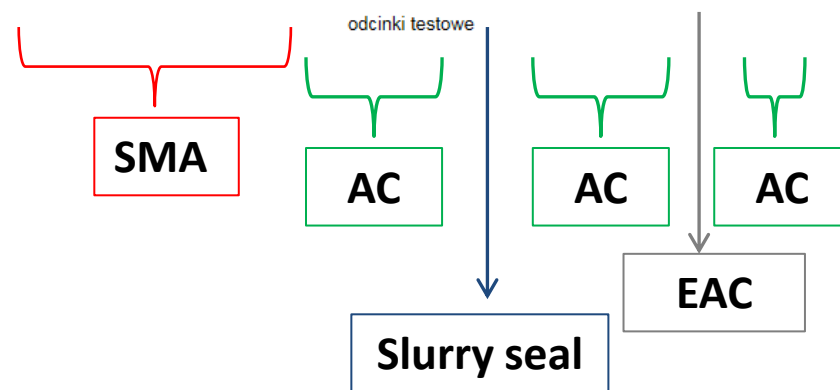
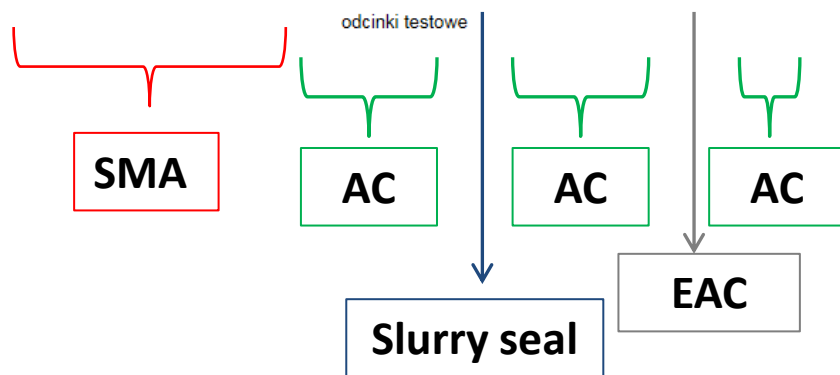
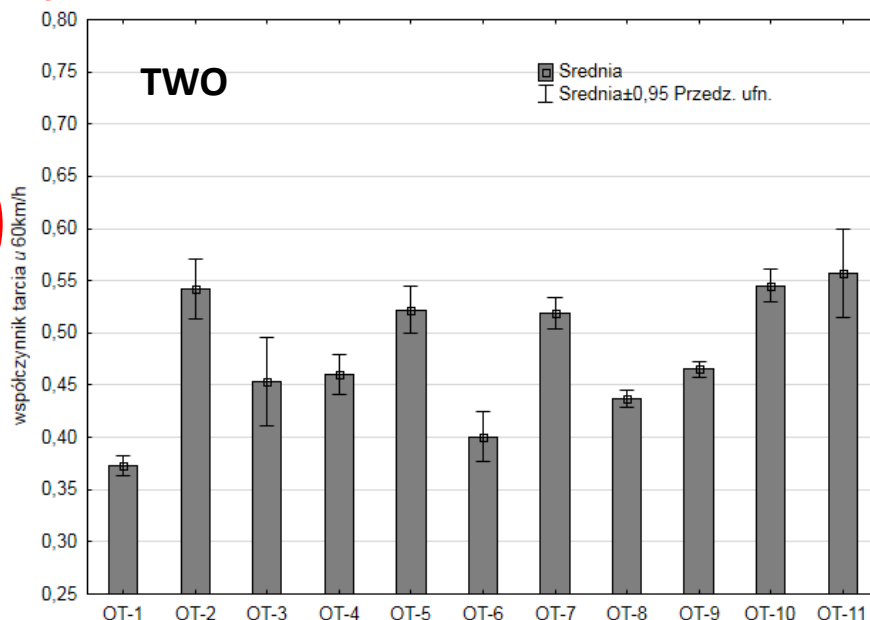
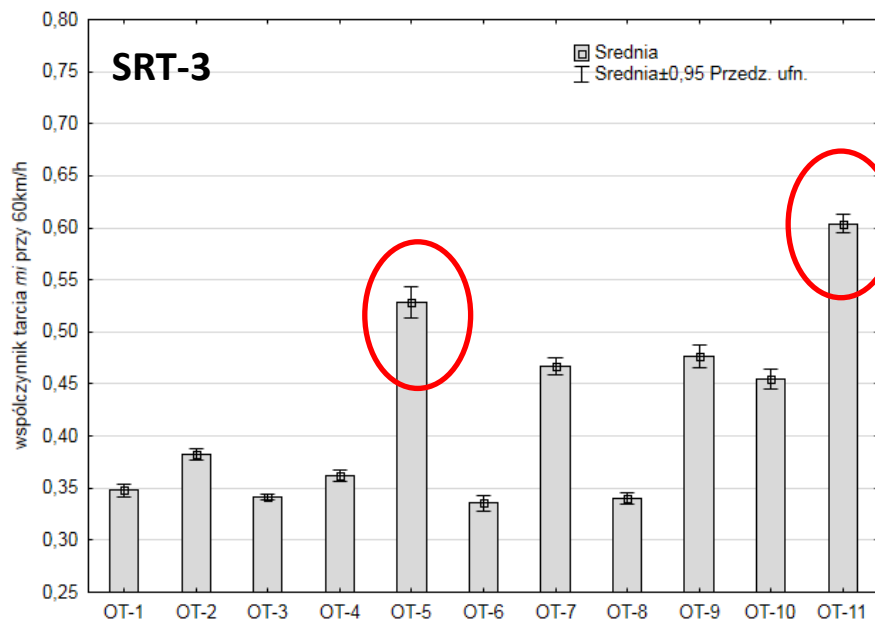
$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2$$

Prędkość km/h	Równanie regresji	Średni błąd estymacji
30	$y = 1.82x_1 - 1.094x_1^2$	0,056
60	$y = 0.33 - 0.15x_2^2 + 0.715 x_1x_2$	0,049
90	$y = -0.27x_2^2 + 1.58 x_1x_2$	0,070

Zależność pomiędzy współczynnikiem tarcia m_i SRT-3 (y) przy 30, 60, 90 km/h a współczynnikiem tarcia $DFT20$ (x_1)

Prędkość km/h	Równanie regresji	Średni błąd estymacji	Współczynnik determinacji
30	$y = 0.06 + 0.94x_1$	0.045	$R^2 = 0.83$
60	$y = 0.08 + 0.73x_1$	0.037	$R^2 = 0.82$
90	$y = 0.12 + 0.54x_1$	0.035	$R^2 = 0.73$

Średnie wartości współczynników tarcia z 95% przedziałem ufności przy prędkości pomiarowej 60km/h na poszczególnych odcinkach testowych



Klasyfikacja nawierzchni drogowych (SOSN i DSN)

Współczynnik przeliczeniowy:

1,377

1,079

1,007

0,974

Klasa	„Stomil” Olsztyn	„Dębica”	Barum Bravura	Barum Bravuris	PIARC
A	>0,35	>0,48	>0,52	≥0,52	≥0,51
B	0,26-0,35	0,35-0,48	0,38-0,52	0,37-0,51	0,36-0,50
C	0,21-0,25	0,29-0,34	0,31-0,37	0,30-0,36	0,29-0,49
D	≤0,20	≤0,28	≤0,30	≤0,29	≤0,28

1989r.

2015r.

Dopuszczalne wartości miarodajnego współczynnika tarcia zgodnie z OST – koniec okresu gwarancyjnego (opona PIARC)

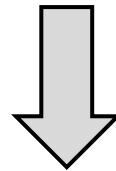
Klasa drogi	Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia		
		30 km/h	60 km/h	90 km/h
A, S	Pasy ruchu zasadnicze, dodatkowe, awaryjne	-	0,42 ^{*)}	0,36
	Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic	0,48 ^{*)}	0,43	-
GP	Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza	0,46 ^{*)}	0,42	-
G, Z	Pasy ruchu zasadniczego, dodatkowe, utwardzone pobocza	0,44 ^{*)}	0,36	-

^{*)} Wartości wymagań w przypadku odbioru odcinków nawierzchni, na których nie można wykonać pomiarów z prędkością 60 km/h lub w 90 km/h (pasy ruchu zasadnicze, dodatkowe, awaryjne)

Standardy miarodajnego współczynnika tarcia nawierzchni autostrady przy odbiorze ostatecznym i pogwarancyjnym (opona PIARC)

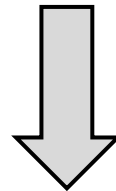
Element nawierzchni	Miarodajny współczynnik tarcia		
	30 km/h	60 km/h	90 km/h
Pasy ruchu zasadnicze i dodatkowe, pasy awaryjne	0,66	0,55	0,47
Pasy włączania i wyłączania, jezdnie łącznic i PPO	0,67	0,58	0,51
Jezdnie SPO	0,63	0,51	-

Zalecenia odnośnie właściwości przeciwpoślizgowych na etapie projektowania warstwy ścieralnej



Typ mieszanki mineralno-asfaltowej
lub sposób tekstutowania w przypadku
nawierzchni z betonu cementowego

Wskaźnik polerowalności PSV
kruszyw grubych



**Czy spełnienie tych warunków gwarantuje spełnienie
wymagań dotyczących właściwości przeciwpoślizgowych?**

Ocena odporności na polerowanie kruszywa grubego PN-EN 1097-8



Urządzenie do przyspieszonego polerowania kruszyw



Wahadło angielskie

$$\underline{PSV = S + 52,5 - C}$$

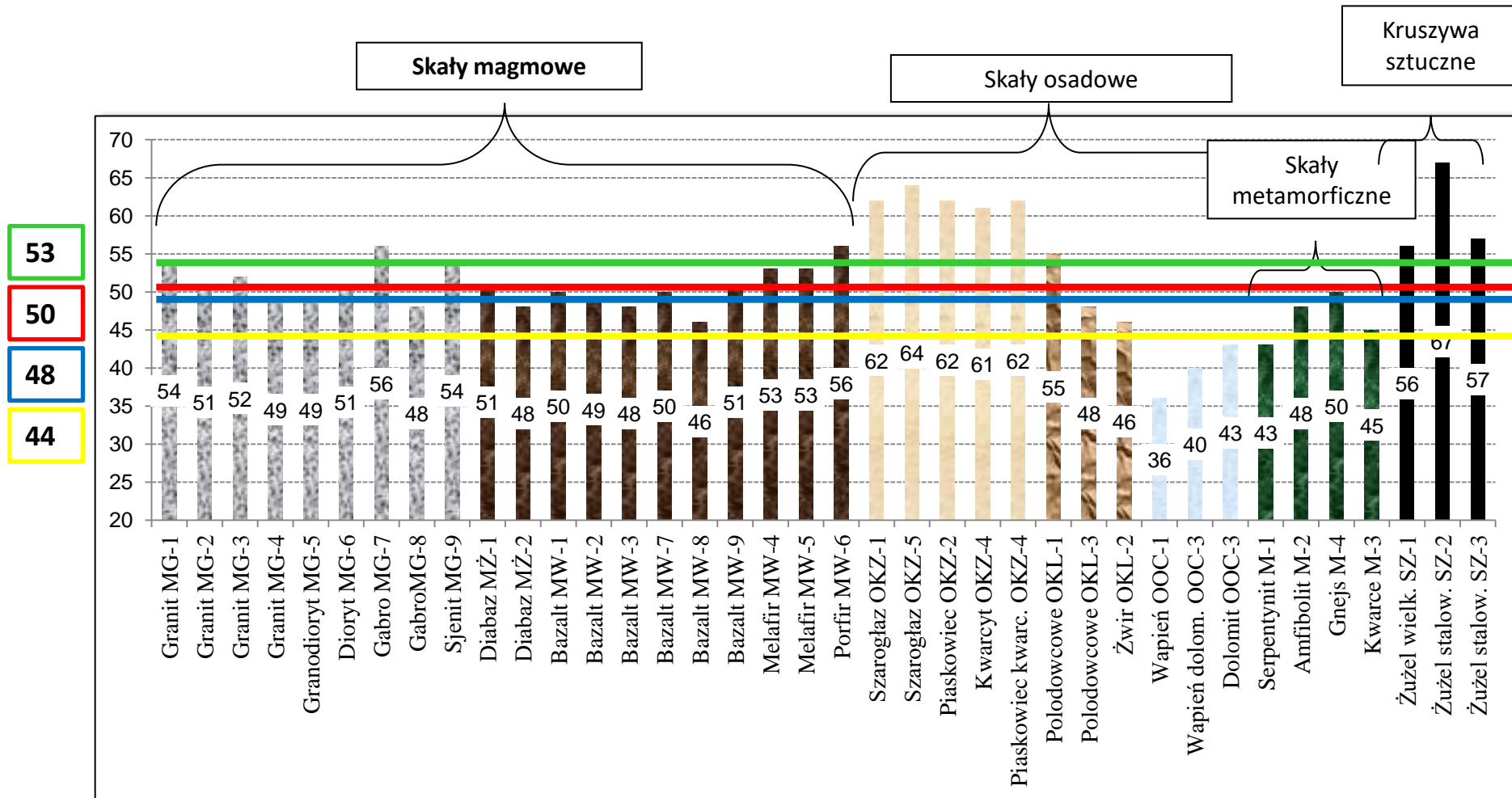
gdzie:

S – średnia z pomiarów tarcia wahadłem angielskim na czterech próbkach danego rodzaju kruszywa

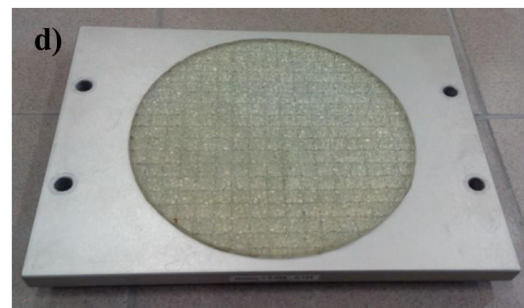
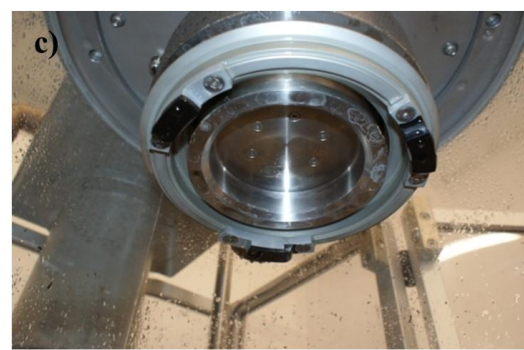
C – średnia z pomiarów tarcia wahadłem angielskim na czterech próbkach z kruszywa kontrolnego

III. Wymagania – etap projektowania nawierzchni drogowej

Ocena odporności na polerowanie kruszywa grubego

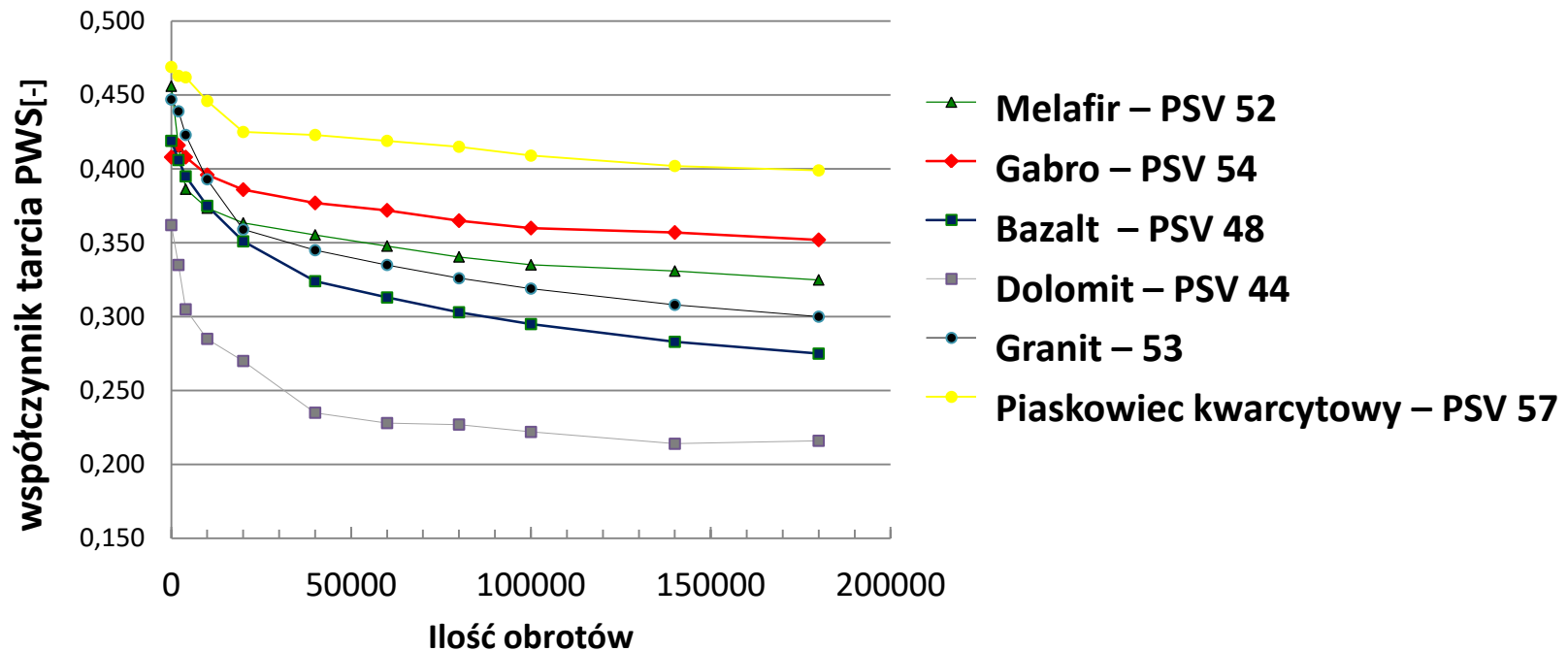


Urządzenie Wehner/Schulze *PN- EN 12697-4:2014 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 49: Determination of friction after polishing*

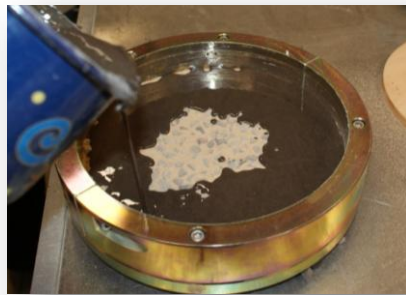


Urządzenie Wehner/Schulze

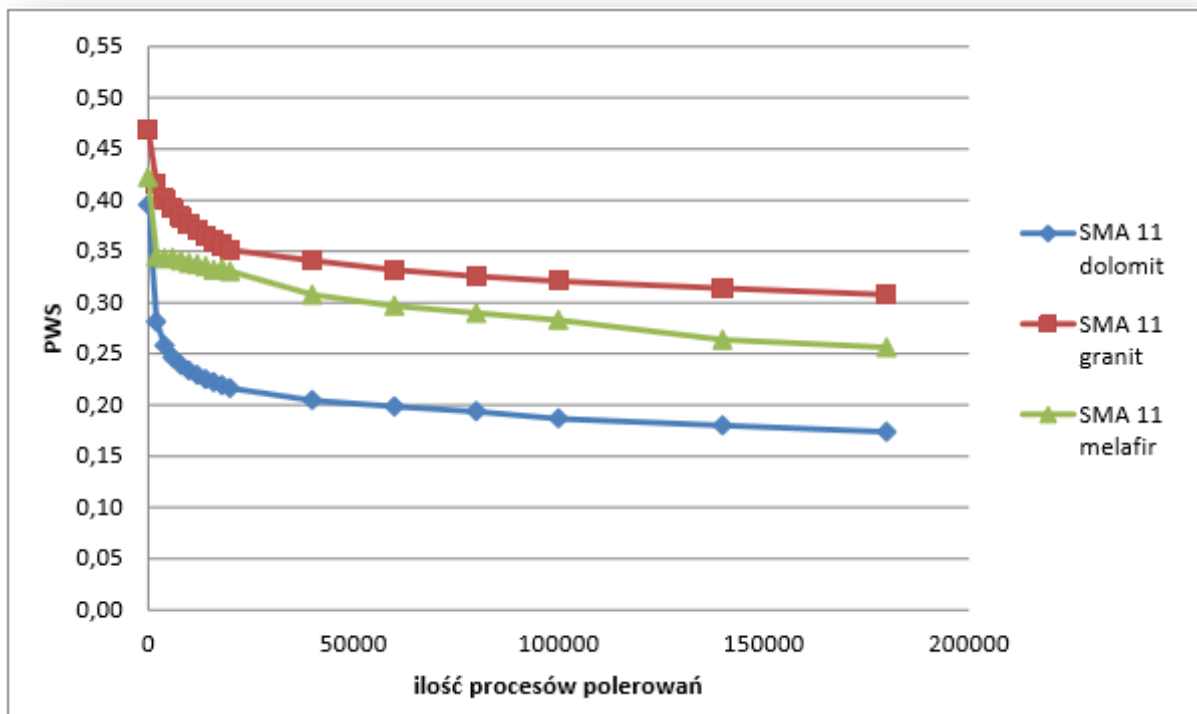
Odporności na polerowanie kruszyw grubych



Sposób przygotowania próbek



Zmiany współczynników tarcia PWS w procesie polerowania - SMA 11 S PMB 45/80-55



dolomit



granit



melafir

Czynniki, które mają wpływ na ocenę właściwości przeciwpoślizgowych

Typ mieszanki mineralno-asfaltowej

Technika teksturowania nawierzchni betonowej

Uziarnienie mieszanki mineralnej

Wskaźnik polerowalności PSV kruszywa grubego

kontrolowane
na etapie
badań laboratoryjnych

Natężenie ruchu i struktura rodzajowa

Sezonowe zmiany współczynnika tarcia

Zjawisko ścierania, wietrzenia

Lokalizacja - skrzyżowanie, łącznica, pas wyłączeń itp.

CEL



**BEZPIECZEŃSTWO
UŻYTKOWNIKÓW RUCHU**

MONITORING



Diagnostyka nawierzchni

- Urządzenia do bezpośredniego pomiaru sił tarcia w warunkach rzeczywistych
- Aparatura modelowa
- Ocena wypadkowości, długości drogi hamowania, itp.;

BAZA DANYCH

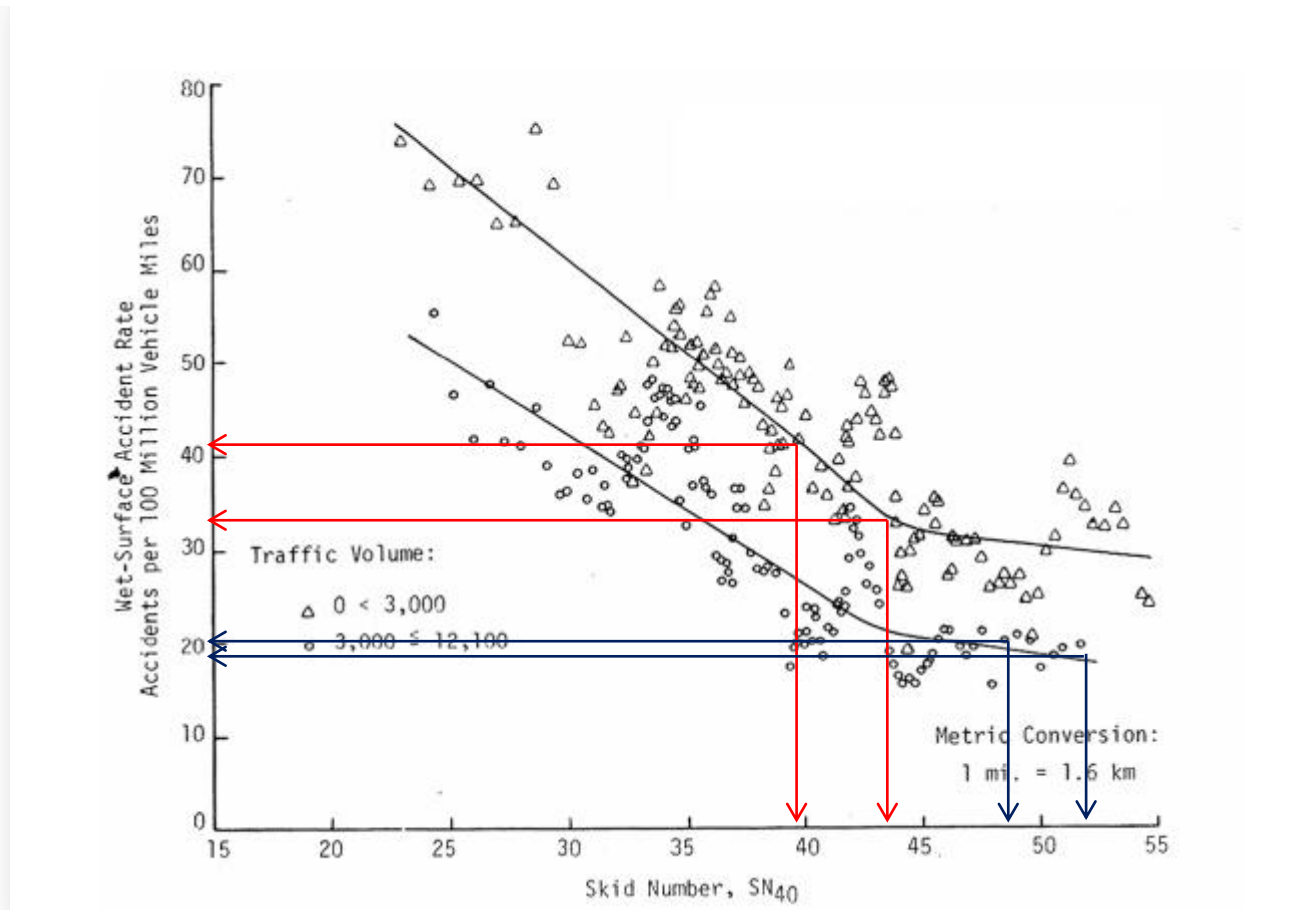
PREDYKCJA



Etap projektowania nawierzchni

- Modele teoretyczne, matematyczne
- Laboratoryjne metody do oceny właściwości przeciwpoślizgowych

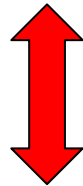
WŁAŚCIWOŚCI PRZECIPOŚLIZGOWE A BEZPIECZEŃSTWO



Zależność pomiędzy wypadkowością na mokrych nawierzchniach a współczynnikiem tarcia –
 Kentucky (*Rizenbergs 1973*)

**Kalibracja
i harmonizacja urządzeń**

**Wymagania wobec
współczynnika tarcia na etapie
użytkowania nawierzchni
drogowej**



**Bezpieczeństwo
użytkowników
dróg**

**Wymagania wobec
współczynnika tarcia na etapie
projektowania nawierzchni
drogowej**





Dziękuję za uwagę