

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
Zakład Diagnostyki Nawierzchni

SPRAWOZDANIE
z realizacji pracy TD-89 pt.:
**„Opracowanie funkcji przeliczeniowych wartości
współczynnika tarcia uzyskiwanych urządzeniami SRT-3 i T2GO”.**

Zleceniodawca: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad

Umowa nr 2780/10 z dnia 26.08.2010 roku

Opracowali:

mgr inż. Przemysław HARASIM

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

inż. Adam KOWALSKI

Iwona WOJCIECHOWSKA

Zbigniew MŁYNARCZYK

Eugeniusz MAJEWSKI

Radosław BORUCKI

Artur GRĄCZEWSKI

Jacek KUSIAK

Kierownik Zakładu
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, wrzesień 2010

Spis treści

1	Podstawa i zakres pracy	3
2	Opis urządzenia T2GO i zasad pomiaru współczynnika tarcia	3
3	Wytypowanie drogowych odcinków badawczych o różnych właściwościach przeciwpoślizgowych.....	4
4	Pomiary współczynnika tarcia urządzeniami SRT-3 i T2GO	6
5	Badania tekstury nawierzchni metodą objętościową	14
6	Analiza wyników badań oraz opracowanie funkcji przeliczeniowych.....	19
7	Wnioski	24

Spis ilustracji

Rysunek 1 Schemat urządzenia T2GO (źródło: prospekt ASTF T2GO)	3
Rysunek 2 Widok urządzenia T2GO	4
Rysunek 3 Pomiar T2GO na mokro	6
Rysunek 4 Rozkład liczebności współczynnika tarcia SRT-3.....	12
Rysunek 5 Rozkład liczebności współczynnika tarcia T2GO na sucho i mokro	13
Rysunek 6 Wykres wartości współczynników tarcia dla sekcji 0,5m na odcinku 16 (S) – pomiar wykonany na sucho, (M) – pomiar wykonany na mokro	13
Rysunek 7 Badanie tekstury nawierzchni.....	14
Rysunek 8 Rozkład zarejestrowanych wartości MTD	17
Rysunek 9 Wykres rozrzutu danych T2GO i MTD dla punktów pomiarowych	18
Rysunek 10 Wykres rozrzutu danych T2GO i MTD dla odcinków pomiarowych	18
Rysunek 11 Wykres rozrzutu danych T2GO na sucho i mokro	22
Rysunek 12 Wykres rozrzutu danych T2GO na sucho i SRT-3.....	22
Rysunek 13 Wykres rozrzutu danych T2GO na mokro i SRT-3.....	23
Rysunek 14 Wykres rozrzutu danych T2GO na mokro i SRT-3.....	23

Spis tabel

Tabela 1 Wytypowane odcinki badawcze	5
Tabela 2 Zestawienie wyników pomiarów współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3 ..	7
Tabela 3 Zestawienie wyników pomiarów współczynnika tarcia urządzeniem T2GO	10
Tabela 4 Wyniki pomiarów tekstury nawierzchni	15
Tabela 5 Zestawienie wyników badań T2GO, SRT-3 i tekstury	19

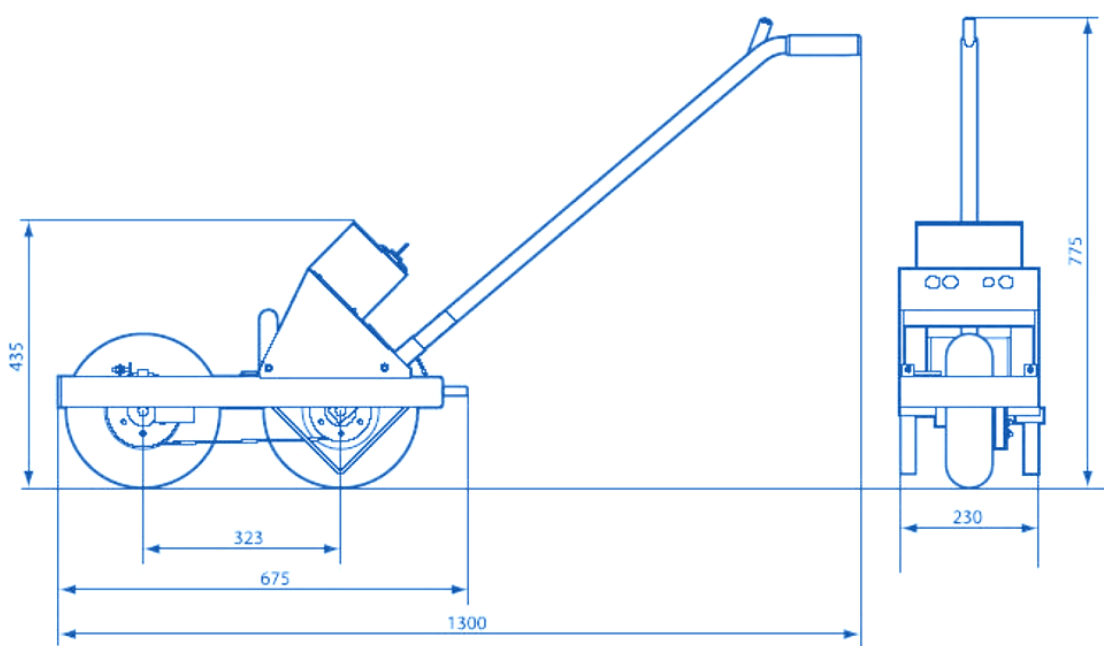
1 Podstawa i zakres pracy

Praca wykonana została na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w ramach umowy nr 2780/10 z dnia 26.08.2010 roku. Celem pracy jest wdrożenie do praktycznego użytku zakupionego przez GDDKiA aparatu T2GO służącego do pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni drogowych i ścieżek rowerowych, przejść dla pieszych, poziomych znaków drogowych, powierzchni komunikacyjnych w miejscach publicznych oraz nawierzchni w miejscach zdarzeń drogowych.

W ramach pracy wykonano serię badań na odcinkach testowych przy użyciu urządzeń SRT-3 i T2GO oraz oceniona została tekstura nawierzchni metodą objętościową. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów opracowano zależności funkcyjne między badanymi właściwościami.

2 Opis urządzenia T2GO i zasad pomiaru współczynnika tarcia

T2GO produkcji firmy ASFT jest przenośnym testerem tarcia, służącym do pomiaru współczynnika tarcia oraz dokumentowania zmierzonych wartości. Zestaw pomiarowy składa się z urządzenia pomiarowego T2GO oraz rejestratora danych w postaci urządzenia PDA (Personal Digital Assistant, komputer kieszonkowy). Urządzenie T2GO pracuje w sposób ciągły rejestrując dane dla zadanego kroku pomiarowego np. 0,5 m, a po skończonym pomiarze przesyła dane do PDA, które tworzy plik pomiarowy. W pliku pomiarowym zawarte są informacje o lokalizacji odcinka, współrzędne GPS, czas pomiaru, temperatura powietrza itp. Wyniki mogą być eksportowane do arkusza Excel lub też analizowane za pomocą dedykowanego oprogramowania (Zleceniodawca nie dostarczył oprogramowania).



Rysunek 1 Schemat urządzenia T2GO (źródło: prospekt ASTF T2GO)

Urządzenie wymaga procedury kalibracyjnej. Kalibracja trwa około 5 minut i można ją przeprowadzić w biurze przed wyjazdem w teren lub bezpośrednio na odcinku pomiarowym tuż przed rozpoczęciem badań. Podczas pomiarów urządzenie rejestruje prędkość poruszania się i ma możliwość alarmowania o odstępstwach takich jak nieprawidłowa prędkość czy zły kąt nachylenia uchwytu.



Rysunek 2 Widok urządzenia T2GO

Specyfikacja techniczna T2GO (według prospektu producenta):

- o możliwość dokonywania testów z wodą lub bez na każdym rodzaju nawierzchni,
- o obsługa jednym klawiszem,
- o wyświetlanie przebytego dystansu oraz całego zmierzonego odcinka,
- o stały poślizg równy 20%,
- o wyświetlanie średniej wartości μ na każdym żądanym odcinku,
- o jedno pomiarowe i jedno referencyjne koło o wymiarze 3.00 cali,
- o pomiar zgodny z normą EN 1436,
- o zapewnienie jakości przez SINTEF.

3 Wytypowanie drogowych odcinków badawczych o różnych właściwościach przeciwpoślizgowych

Podstawowym kryterium wyboru odcinków testowych były wartości współczynnika tarcia mierzone urządzeniem SRT-3. Selekcji poddano dostępne wyniki badań różnych kategorii dróg według kryterium uzyskania możliwie jak najszerzej bazy pomiarowej. Dane te weryfikowane były poprzez pomiary bezpośrednie. Dodatkowo w celu uzyskania skrajnych, nie występujących na drogach publicznych wartości współczynnika tarcia pomiary wykonano również na płytach poślizgowych toru samochodowego na terenie nieczynnego lotniska Ułęż. Zestawienie wytypowanych odcinków badawczych przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1 Wytypowane odcinki badawcze

Nr odcinka	Lokalizacja	Opis	Długość [m]	Uwagi
1	DK61	34+200 - 34+350	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
2	Jabłonna	ul. Modlińska 29	150	kierunek Warszawa (w śladzie prawego koła)
3	DW630	15+250 - 15+400	150	strona lewa (pobocze)
4	DW630	10+150 - 10+300	150	strona lewa (pobocze)
5	DW631	ul. Nowodworska	150	kierunek Nieporęt (w śladzie prawego koła)
6	Nowe Grochale	droga powiatowa	150	kierunek Leoncin (w śladzie prawego koła)
7	Lotnisko Ułęż	płyta poślizgowa 1	120	
8	Lotnisko Ułęż	pas startowy	150	
9	Lotnisko Ułęż	płyta poślizgowa 2	100	płyta w trakcie budowy
10	Czarna	droga powiatowa	150	kierunek Adamów (w śladzie prawego koła)
11	Adamów	droga powiatowa	150	(w śladzie prawego koła)
12	DK76	44+650 - 44+800	150	strona lewa (w śladzie prawego koła)
13	DK17	48+000 - 48+150	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
14	Warszawa	ul. Wóycickiego	150	okolice cmentarza (w śladzie prawego koła)
15	Marki	ul. Fabryczna 100	150	kierunek Zielonka (w śladzie prawego koła)
16	DW631	32+400-32+550	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
17	Radzymin	ul. Jana Pawła II	150	kierunek Warszawa (w śladzie prawego koła)
18	S8	489+700 - 489+850	150	strona prawa (pobocze)
19	DK7	316+050 - 316+200	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
20	DK7	308+400 - 308+550	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
21	DK7	308+600 - 308+750	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
22	DK8	411+500 - 411+650	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
23	DK8	411+700 - 411+850	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
24	DK8	425+400 - 425+550	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)
25	DK8	425+600 - 425+750	150	strona prawa (w śladzie prawego koła)

4 Pomiary współczynnika tarcia urządzeniami SRT-3 i T2GO

W obrębie każdego odcinka badawczego wytypowano cztery punkty pomiarowe oddalone od siebie o 50 m. Wyjątek stanowią płyty poślizgowe na lotnisku w Ułężu, gdzie odległość ta wynosiła około 30 m. Jako punkt pomiarowy przyjęto powierzchnię nawierzchni o długości około 10 m i szerokości zbliżonej do prawdopodobnego wystąpienia śladu koła. Tak określony punkt jest typowym obszarem efektywnego wykonania pomiaru urządzeniem SRT-3 i stanowi dobrą bazę do przeprowadzenia pozostałych tj. T2GO oraz tekstury.

Przyjęto następującą procedurę pomiarową:

- wyznaczenie punktów pomiarowych,
- pomiar tekstury nawierzchni,
- pomiar współczynnika tarcia urządzeniem T2GO na sucho,
- trzykrotny pomiar współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3,
- polanie nawierzchni punktów pomiarowych wodą,
- pomiar współczynnika tarcia urządzeniem T2GO na mokro, Rysunek 3.

Zestawienie wyników pomiarów współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3 zawiera Tabela 2 a urządzeniem T2GO Tabela 3.



Rysunek 3 Pomiar T2GO na mokro

Tabela 2 Zestawienie wyników pomiarów współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3

Nr odcinka	Nr punktu	Pomiar			Średnia punktu	Średnia odcinka	Odchylenie standardowe
		I	II	III			
1	1	0,42	0,44	0,45	0,44	0,43	0,01
	2	0,40	0,42	0,43	0,42		
	3	0,41	0,42	0,44	0,43		
	4	0,41	0,44	0,44	0,43		
2	5	0,50	0,46	0,43	0,46	0,47	0,03
	6	0,49	0,51	0,46	0,49		
	7	0,46	0,46	0,42	0,44		
	8	0,48	0,45	0,50	0,48		
3	9	0,47	0,47	0,48	0,47	0,48	0,01
	10	0,46	0,49	0,49	0,48		
	11	0,47	0,48	0,49	0,48		
	12	0,48	0,47	0,49	0,48		
4	13	0,51	0,51	0,51	0,51	0,52	0,01
	14	0,51	0,52	0,50	0,51		
	15	0,52	0,51	0,52	0,51		
	16	0,53	0,53	0,53	0,53		
5	17	0,38	0,39	0,39	0,38	0,40	0,01
	18	0,41	0,40	0,40	0,40		
	19	0,40	0,40	0,41	0,40		
	20	0,40	0,40	0,40	0,40		
6	21	0,15	0,15	0,16	0,15	0,21	0,06
	22	0,15	0,15	0,18	0,16		
	23	0,26	0,29	0,25	0,27		
	24	0,18	0,26	0,31	0,25		
7	25	0,19	0,21	0,17	0,19	0,20	0,02
	26	0,24	0,21	0,21	0,22		
	27	0,23	0,21	0,20	0,22		
	28	0,22	0,20	0,20	0,20		
8	29	0,63	0,64	0,65	0,64	0,63	0,04
	30	0,63	0,66	0,66	0,65		
	31	0,59	0,58	0,57	0,58		
	32	0,66	0,67	0,68	0,67		
9	33	0,38	0,34	0,34	0,35	0,36	0,03
	34	0,35	0,35	0,38	0,36		
	35	0,39	0,35	0,34	0,36		
	36	0,39	0,30	0,37	0,35		
10	37	0,37	0,41	0,39	0,39	0,41	0,02
	38	0,40	0,41	0,41	0,41		
	39	0,40	0,42	0,45	0,42		
	40	0,42	0,41	0,42	0,42		

11	41	0,44	0,46	0,46	0,46	0,45	0,01
	42	0,44	0,44	0,44	0,44		
	43	0,45	0,45	0,46	0,45		
	44	0,46	0,48	0,45	0,46		
12	45	0,44	0,47	0,49	0,47	0,45	0,02
	46	0,45	0,43	0,45	0,44		
	47	0,45	0,43	0,45	0,44		
	48	0,43	0,44	0,45	0,44		
13	49	0,31	0,36	0,39	0,35	0,35	0,03
	50	0,31	0,36	0,37	0,35		
	51	0,31	0,36	0,36	0,34		
	52	0,30	0,33	0,32	0,32		
14	53	0,37	0,33	0,31	0,34	0,31	0,02
	54	0,34	0,31	0,29	0,32		
	55	0,33	0,30	0,28	0,30		
	56	0,34	0,31	0,32	0,33		
15	57	0,30	0,33	0,36	0,33	0,33	0,02
	58	0,32	0,35	0,34	0,34		
	59	0,30	0,33	0,35	0,33		
	60	0,33	0,34	0,37	0,34		
16	61	0,38	0,37	0,39	0,38	0,39	0,02
	62	0,36	0,37	0,38	0,37		
	63	0,42	0,41	0,40	0,41		
	64	0,37	0,40	0,39	0,39		
17	65	0,25	0,28	0,31	0,28	0,28	0,02
	66	0,24	0,29	0,30	0,28		
	67	0,25	0,29	0,30	0,28		
	68	0,25	0,30	0,29	0,28		
18	69	0,62	0,63		0,62	0,62	0,01
	70	0,61	0,63		0,62		
	71	0,63	0,62		0,63		
	72	0,62	0,61		0,61		
19	73	0,36	0,40	0,37	0,38	0,37	0,01
	74	0,36	0,39	0,38	0,38		
	75	0,38	0,36	0,36	0,37		
	76	0,38	0,37	0,37	0,37		
20	77	0,37	0,38	0,37	0,37	0,36	0,01
	78	0,35	0,37	0,37	0,36		
	79	0,36	0,37	0,38	0,37		
	80	0,37	0,36	0,36	0,36		
21	81	0,35	0,39	0,37	0,37	0,37	0,02
	82	0,36	0,37	0,38	0,37		
	83	0,37	0,40	0,37	0,38		
	84	0,35	0,36	0,35	0,35		

22	85	0,32	0,35	0,33	0,33	0,35	0,01
	86	0,34	0,34	0,35	0,34		
	87	0,34	0,34	0,35	0,35		
	88	0,36	0,36	0,36	0,36		
23	89	0,36	0,36	0,35	0,36	0,36	0,01
	90	0,38	0,37	0,35	0,37		
	91	0,36	0,36	0,37	0,36		
	92	0,36	0,37	0,36	0,36		
24	93	0,41	0,42	0,43	0,42	0,42	0,02
	94	0,40	0,43	0,43	0,42		
	95	0,38	0,40	0,39	0,39		
	96	0,45	0,43	0,44	0,44		
25	97	0,42	0,43	0,45	0,43	0,41	0,03
	98	0,40	0,40	0,39	0,40		
	99	0,43	0,45	0,44	0,44		
	100	0,36	0,41	0,40	0,39		

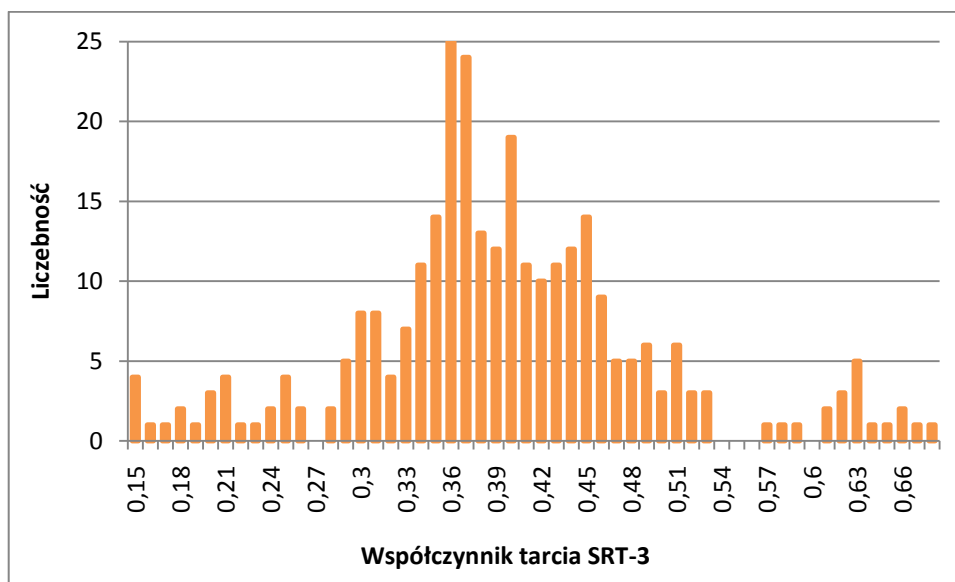
Tabela 3 Zestawienie wyników pomiarów współczynnika tarcia urządzeniem T2GO

Nr odcinka	Nr punktu	Nawierzchni sucha		Nawierzchnia mokra	
		średnia	odch. st.	średnia	odch. st.
1	1	0,80	0,03		
	2	0,94	0,03		
	3	0,79	0,03		
	4	0,93	0,02		
2	5	0,84	0,03	0,68	0,01
	6	0,89	0,05	0,74	0,02
	7	0,89	0,04	0,75	0,03
	8	0,83	0,07	0,67	0,02
3	9	0,77	0,03	0,59	0,02
	10	0,86	0,03	0,60	0,02
	11	0,88	0,02	0,58	0,02
	12	0,90	0,02	0,60	0,01
4	13	0,97	0,03	0,68	0,02
	14	0,95	0,04	0,66	0,01
	15	0,99	0,02	0,67	0,02
	16	0,96	0,03	0,64	0,02
5	17	0,90	0,04	0,54	0,02
	18	0,93	0,03	0,53	0,01
	19	0,95	0,02	0,53	0,02
	20	0,96	0,02	0,53	0,02
6	21	0,68	0,05	0,66	0,05
	22	0,64	0,01	0,59	0,03
	23	0,74	0,04	0,68	0,03
	24	0,71	0,04	0,57	0,04
7	25	0,50	0,03	0,69	0,04
	26	0,62	0,03	0,66	0,06
	27	0,50	0,04	0,67	0,02
	28	0,61	0,03	0,66	0,04
8	29	0,93	0,03	0,78	0,02
	30	0,93	0,05	0,78	0,02
	31	0,89	0,02	0,67	0,02
	32	0,93	0,02	0,80	0,03
9	33	0,59	0,08	0,59	0,04
	34	0,47	0,03	0,56	0,04
	35	0,50	0,04	0,58	0,04
	36	0,50	0,04	0,56	0,04
10	37	0,70	0,03	0,59	0,01
	38	0,69	0,02	0,57	0,01
	39	0,73	0,03	0,58	0,01
	40	0,74	0,03	0,64	0,02

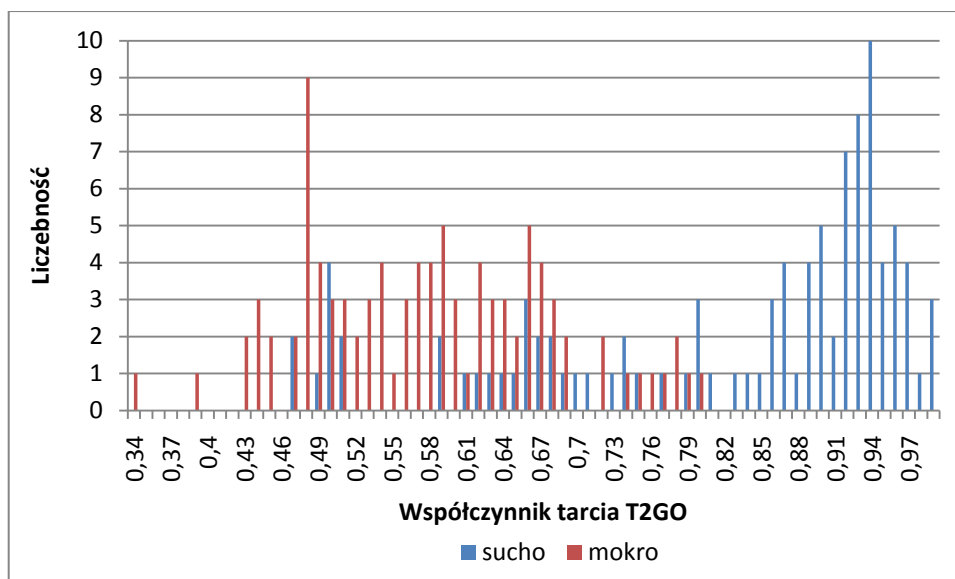
11	41	0,80	0,04	0,66	0,02
	42	0,90	0,02	0,62	0,01
	43	0,91	0,02	0,62	0,01
	44	0,92	0,02	0,62	0,01
12	45	0,86	0,05	0,69	0,02
	46	0,94	0,02	0,64	0,01
	47	0,91	0,04	0,65	0,02
	48	0,96	0,04	0,63	0,02
13	49	0,75	0,04	0,57	0,03
	50	0,66	0,02	0,55	0,03
	51	0,67	0,02	0,54	0,02
	52	0,67	0,01	0,57	0,02
14	53	0,65	0,04	0,54	0,01
	54	0,85	0,09	0,51	0,02
	55	0,63	0,16	0,58	0,02
	56	0,93	0,03	0,56	0,02
15	57	0,59	0,02	0,43	0,01
	58	0,66	0,02	0,45	0,01
	59	0,68	0,02	0,34	0,02
	60	0,66	0,02	0,43	0,02
16	61	0,81	0,05	0,54	0,01
	62	0,87	0,04	0,52	0,02
	63	0,87	0,03	0,51	0,02
	64	0,92	0,04	0,52	0,02
17	65	0,49	0,02	0,44	0,01
	66	0,47	0,01	0,39	0,01
	67	0,51	0,01	0,44	0,02
	68	0,51	0,02	0,44	0,02
18	69	0,87	0,02	0,76	0,02
	70	0,86	0,02	0,72	0,01
	71	0,90	0,02	0,77	0,06
	72	0,87	0,05	0,79	0,02
19	73	0,80	0,06	0,49	0,02
	74	0,94	0,03	0,50	0,03
	75	0,92	0,03	0,49	0,02
	76	0,92	0,02	0,48	0,02
20	77	0,92	0,03	0,51	0,02
	78	0,94	0,03	0,49	0,01
	79	0,96	0,05	0,49	0,01
	80	0,92	0,05	0,48	0,02
21	81	0,94	0,05	0,48	0,01
	82	0,92	0,04	0,47	0,01
	83	0,93	0,06	0,48	0,01
	84	0,94	0,05	0,45	0,01

22	85	0,89	0,06	0,48	0,01
	86	0,94	0,04	0,47	0,01
	87	0,93	0,04	0,48	0,01
	88	0,90	0,07	0,48	0,02
23	89	0,94	0,03	0,48	0,01
	90	0,94	0,04	0,48	0,02
	91	0,97	0,03	0,50	0,01
	92	0,95	0,04	0,50	0,02
24	93	0,94	0,05	0,59	0,04
	94	0,99	0,01	0,62	0,02
	95	0,95	0,05	0,63	0,06
	96	0,97	0,04	0,63	0,03
25	97	0,96	0,04	0,60	0,02
	98	0,97	0,05	0,61	0,02
	99	0,99	0,01	0,72	0,03
	100	0,98	0,04	0,65	0,04

Przeprowadzone urządzeniem SRT-3 badania współczynnika tarcia potwierdziły jednorodność odcinków pomiarowych. Jednocześnie wykazały szerokie spektrum uzyskanych wartości, Rysunek 4. Dane uzyskane podczas pomiarów T2GO przedstawiają również szeroki zakres wartości, Rysunek 5.

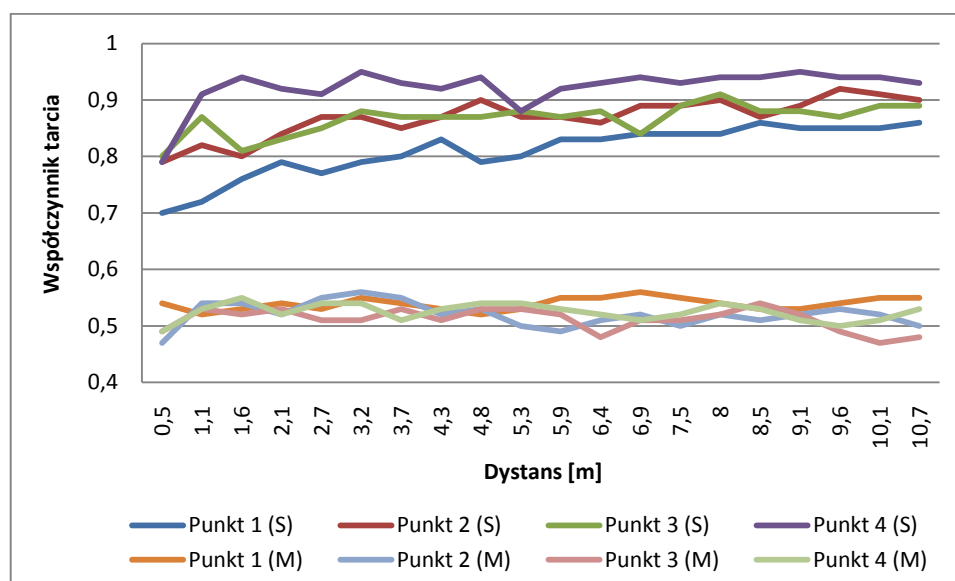


Rysunek 4 Rozkład liczebności współczynnika tarcia SRT-3



Rysunek 5 Rozkład liczebności współczynnika tarcia T2GO na sucho i mokro

Graficzną interpretację elementarnych wartości uzyskiwanych podczas pomiaru urządzeniem T2GO przedstawiono na Rysunku 6. Podstawową sekcją pomiarową dla wszystkich badań był odcinek 0,5 m. Pozwoliło to uzyskać 20 wyników współczynnika tarcia w obrębie jednego punktu pomiarowego.



Rysunek 6 Wykres wartości współczynników tarcia dla sekcji 0,5m na odcinku 16 (S) – pomiar wykonany na sucho, (M) – pomiar wykonany na mokro

5 Badania tekstury nawierzchni metodą objętościową

Badania tekstury metodą objętościową przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 13036-1 „Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych – Metody badań – Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową”. Metoda ta polega na rozprowadzeniu w sposób kolisty znanej objętości materiału ziarnistego (szklanych kulek) po nawierzchni drogi, a następnie pomiarze średnicy powstałej łąty. Stosunek objętości użytego materiału do powierzchni pokrytej piaskiem oznacza średnią głębokość tekstury MTD.

$$MTD = 4V / \pi D^2$$

gdzie:

MTD – średnia głębokość tekstury [mm];

V – objętość próbki materiału ziarnistego [mm³];

D – średnica koła pokrytego materiałem ziarnistym [mm].

Badania przeprowadzono w czterech punktach pomiarowych każdego odcinka z wyjątkiem odcinka nr 9 (płyta poślizgowa nr 2 w Ułęży), gdzie powierzchnia przygotowana była pod warstwę wykończeniową nawierzchni i nie nadawała się do wykonania pomiaru. Wyniki pomiarów oraz obliczonych średnich głębokości tekstury zestawiono w Tabeli 4.



Rysunek 7 Badanie tekstury nawierzchni

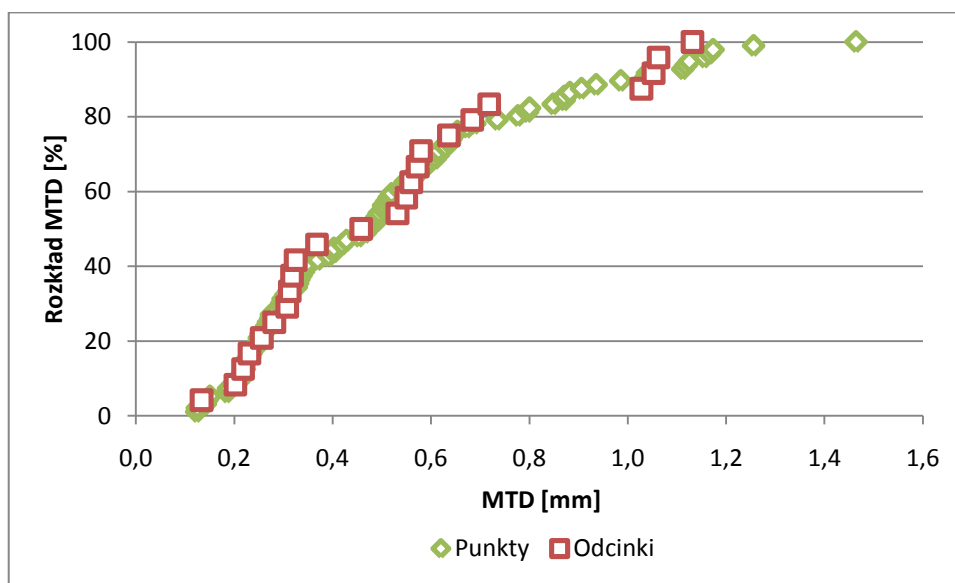
Tabela 4 Wyniki pomiarów tekstury nawierzchni

Nr odcinka	Nr punktu	Lp.	Pomiar średnicy [mm]					MTD [mm]	
			I	II	III	IV	Średnia	Punktu	Odcinka
1	1	1	175	163	160	166	166	1,16	1,06
	2	2	190	170	160	180	175	1,04	
	3	3	154	166	175	180	169	1,12	
	4	4	183	185	180	190	185	0,94	
2	1	5	341	265	326	300	308	0,34	0,37
	2	6	375	275	304	269	306	0,34	
	3	7	259	250	260	276	261	0,47	
	4	8	370	305	300	270	311	0,33	
3	1	9	260	255	255	270	260	0,47	0,53
	2	10	240	201	230	223	224	0,64	
	3	11	255	250	260	241	252	0,50	
	4	12	265	230	240	260	249	0,51	
4	1	13	276	270	265	280	273	0,43	0,46
	2	14	264	250	243	250	252	0,50	
	3	15	290	256	276	280	276	0,42	
	4	16	270	234	260	265	257	0,48	
5	1	17	235	270	260	250	254	0,49	0,57
	2	18	205	240	270	250	241	0,55	
	3	19	225	208	230	220	221	0,65	
	4	20	245	210	250	220	231	0,60	
6	1	21	550	450	500	520	505	0,12	0,13
	2	22	510	480	490	400	470	0,14	
	3	23	500	450	450	500	475	0,14	
	4	24	510	500	520	500	508	0,12	
7	1	25	430	410	400	420	415	0,18	0,22
	2	26	365	400	395	400	390	0,21	
	3	27	378	320	350	315	341	0,27	
	4	28	420	405	400	360	396	0,20	
8	1	29	161	163	170	165	165	1,17	1,13
	2	30	176	180	173	190	180	0,99	
	3	31	140	180	150	167	159	1,26	
	4	32	176	161	180	160	169	1,11	
10	1	37	365	355	335	380	359	0,25	0,23
	2	38	420	400	395	430	411	0,19	
	3	39	350	360	370	345	356	0,25	
	4	40	355	374	350	389	367	0,24	
11	1	41	370	345	370	345	358	0,25	0,28
	2	42	390	355	365	375	371	0,23	
	3	43	280	355	345	325	326	0,30	
	4	44	320	275	310	310	304	0,35	

12	1	45	185	208	215	225	208	0,73	0,72
	2	46	190	210	200	198	200	0,80	
	3	47	195	185	195	200	194	0,85	
	4	48	205	285	290	240	255	0,49	
13	1	49	318	335	330	310	323	0,30	0,32
	2	50	310	250	270	295	281	0,40	
	3	51	260	320	305	289	294	0,37	
	4	52	395	350	385	385	379	0,22	
14	1	53	400	340	390	400	383	0,22	0,20
	2	54	370	390	380	380	380	0,22	
	3	55	470	430	450	490	460	0,15	
	4	56	400	360	350	410	380	0,22	
15	1	57	370	330	336	350	347	0,27	0,26
	2	58	375	350	380	370	369	0,23	
	3	59	345	345	345	340	344	0,27	
	4	60	345	345	350	375	354	0,25	
16	1	61	190	190	200	170	188	0,91	1,03
	2	62	200	200	190	175	191	0,87	
	3	63	210	200	185	175	148	1,46	
	4	64	205	200	185	175	191	0,87	
17	1	65	345	335	345	335	340	0,28	0,31
	2	66	350	340	355	340	346	0,27	
	3	67	325	330	345	335	334	0,29	
	4	68	280	285	285	275	281	0,40	
18	1	69	172	181	192	215	190	0,88	1,05
	2	70	167	169	192	173	175	1,04	
	3	71	145	158	162	196	165	1,17	
	4	72	162	166	171	174	168	1,13	
19	1	73	210	240	230	220	225	0,63	0,68
	2	74	205	200	210	195	203	0,78	
	3	75	215	220	215	210	215	0,69	
	4	76	215	230	225	222	223	0,64	
20	1	77	240	235	232	235	236	0,57	0,56
	2	78	220	230	230	235	229	0,61	
	3	79	245	245	245	240	244	0,54	
	4	80	250	245	250	245	248	0,52	
21	1	81	235	230	235	230	233	0,59	0,58
	2	82	260	240	255	245	250	0,51	
	3	83	250	230	250	235	241	0,55	
	4	84	235	210	215	210	218	0,67	
22	1	85	220	250	270	210	238	0,56	0,55
	2	86	250	260	220	220	238	0,56	
	3	87	240	230	230	210	228	0,62	
	4	88	300	220	270	270	265	0,45	

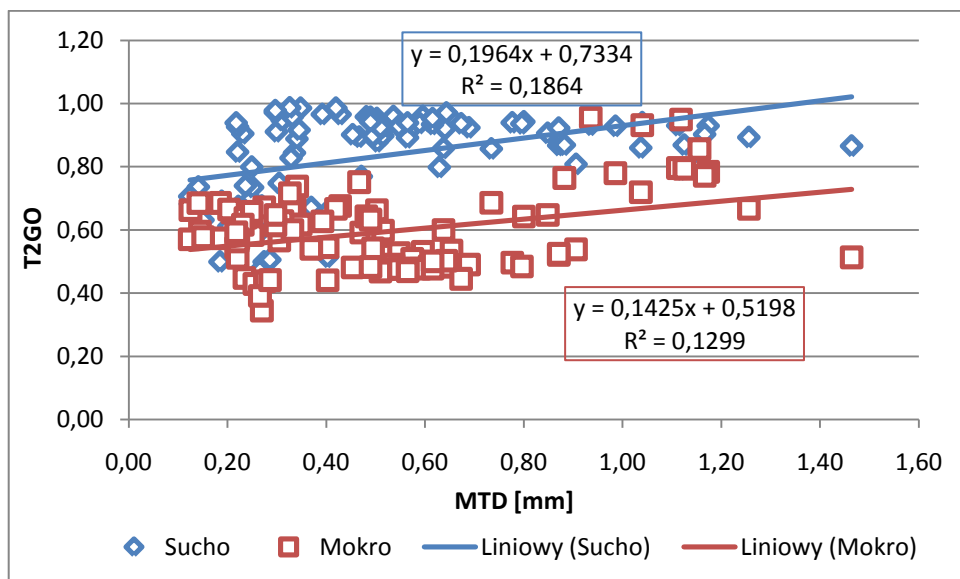
23	1	89	210	200	210	180	200	0,80	0,64
	2	90	300	210	270	240	255	0,49	
	3	91	270	200	190	230	223	0,64	
	4	92	250	240	210	210	228	0,62	
24	1	93	320	370	400	440	383	0,22	0,32
	2	94	280	310	320	300	303	0,35	
	3	95	270	330	320	360	320	0,31	
	4	96	260	360	310	210	285	0,39	
25	1	97	330	320	300	290	310	0,33	0,31
	2	98	330	300	320	360	328	0,30	
	3	99	320	340	290	300	313	0,33	
	4	100	320	380	360	250	328	0,30	

Wśród obliczonych wartości średniej głębokości tekstury około 45% odcinków posiadało teksturę mniejszą niż 0,40 mm, 35% odcinków teksturę od 0,40 do 0,80 mm, pozostałe 20 % charakteryzowała tekstura od 1,00 do 1,20 mm, Rysunek 8.

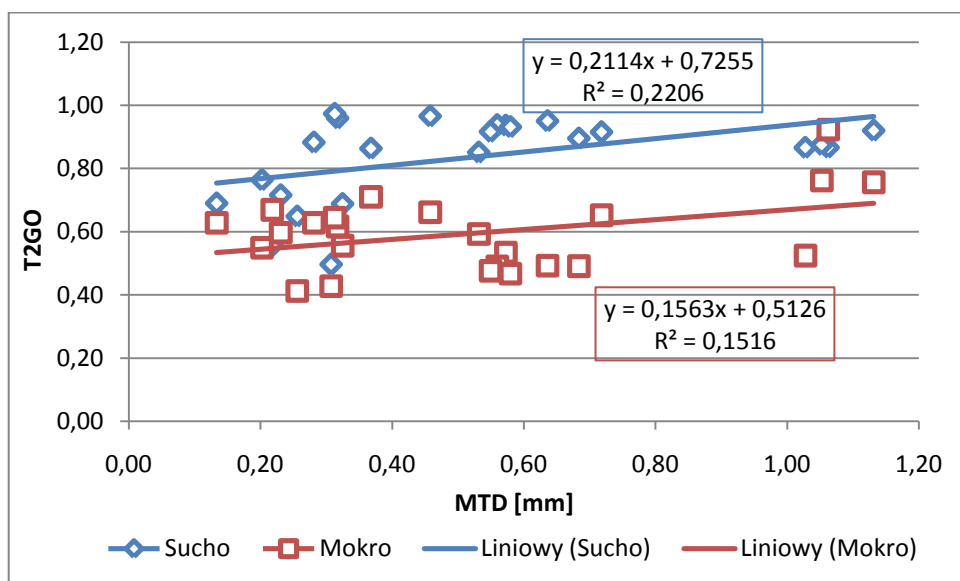


Rysunek 8 Rozkład zarejestrowanych wartości MTD

Analiza zależności wyników badań tekstury oraz pomiarów przeprowadzonych urządzeniem T2GO wykazała korelację w stopniu przeciętnym w odniesieniu do punktów pomiarowych i odcinków. Wykresy rozrzutu danych przedstawiono na Rysunkach 9 i 10.



Rysunek 9 Wykres rozrzutu danych T2GO i MTD dla punktów pomiarowych



Rysunek 10 Wykres rozrzutu danych T2GO i MTD dla odcinków pomiarowych

6 Analiza wyników badań oraz opracowanie funkcji przeliczeniowych

Zestawienie wyników wszystkich przeprowadzonych w ramach pracy badań przedstawiono w Tabeli 5.

Tabela 5 Zestawienie wyników badań T2GO, SRT-3 i tekstury

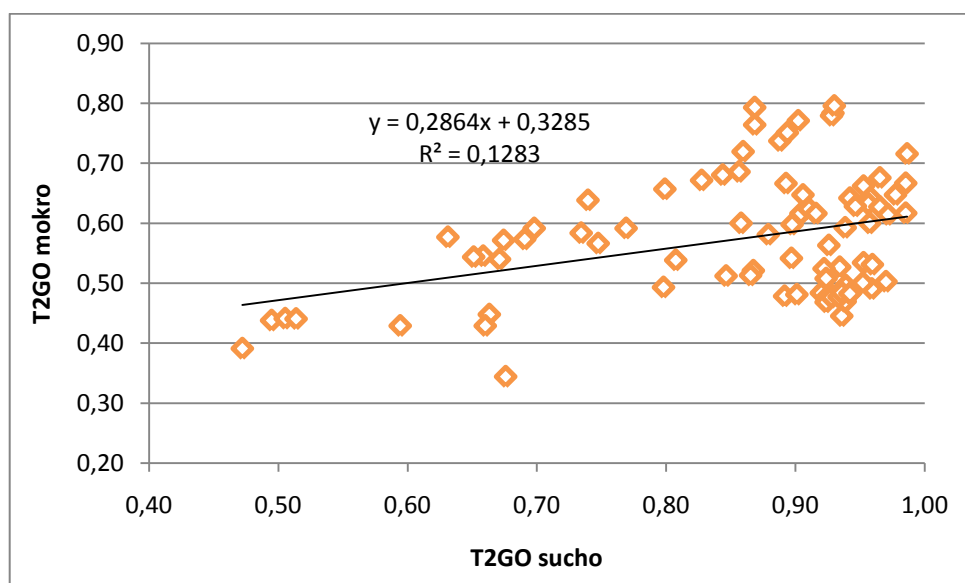
Nr odcinka	Nr punktu	T2GO		SRT-3	MTD [mm]
		sucho	mokro		
1	1	0,80	-	0,44	1,06
	2	0,94	-	0,42	
	3	0,79	-	0,43	
	4	0,93	-	0,43	
2	5	0,84	0,68	0,46	0,37
	6	0,89	0,74	0,49	
	7	0,89	0,75	0,44	
	8	0,83	0,67	0,48	
3	9	0,77	0,59	0,47	0,53
	10	0,86	0,60	0,48	
	11	0,88	0,58	0,48	
	12	0,90	0,60	0,48	
4	13	0,97	0,68	0,51	0,46
	14	0,95	0,66	0,51	
	15	0,99	0,67	0,51	
	16	0,96	0,64	0,53	
5	17	0,90	0,54	0,38	0,57
	18	0,93	0,53	0,40	
	19	0,95	0,53	0,40	
	20	0,96	0,53	0,40	
6	21	0,68	0,66	0,15	0,13
	22	0,64	0,59	0,16	
	23	0,74	0,68	0,27	
	24	0,71	0,57	0,25	
7	25	0,50	0,69	0,19	0,22
	26	0,62	0,66	0,22	
	27	0,50	0,67	0,22	
	28	0,61	0,66	0,20	
8	29	0,93	0,78	0,64	1,13
	30	0,93	0,78	0,65	
	31	0,89	0,67	0,58	
	32	0,93	0,80	0,67	
9	33	0,59	0,59	0,35	-
	34	0,47	0,56	0,36	
	35	0,50	0,58	0,36	
	36	0,50	0,56	0,35	

10	37	0,70	0,59	0,39	0,23
	38	0,69	0,57	0,41	
	39	0,73	0,58	0,42	
	40	0,74	0,64	0,42	
11	41	0,80	0,66	0,46	0,28
	42	0,90	0,62	0,44	
	43	0,91	0,62	0,45	
	44	0,92	0,62	0,46	
12	45	0,86	0,69	0,47	0,72
	46	0,94	0,64	0,44	
	47	0,91	0,65	0,44	
	48	0,96	0,63	0,44	
13	49	0,75	0,57	0,35	0,32
	50	0,66	0,55	0,35	
	51	0,67	0,54	0,34	
	52	0,67	0,57	0,32	
14	53	0,65	0,54	0,34	0,20
	54	0,85	0,51	0,32	
	55	0,63	0,58	0,30	
	56	0,93	0,56	0,33	
15	57	0,59	0,43	0,33	0,26
	58	0,66	0,45	0,34	
	59	0,68	0,34	0,33	
	60	0,66	0,43	0,34	
16	61	0,81	0,54	0,38	1,03
	62	0,87	0,52	0,37	
	63	0,87	0,51	0,41	
	64	0,92	0,52	0,39	
17	65	0,49	0,44	0,28	0,31
	66	0,47	0,39	0,28	
	67	0,51	0,44	0,28	
	68	0,51	0,44	0,28	
18	69	0,87	0,76	0,62	1,05
	70	0,86	0,72	0,62	
	71	0,90	0,77	0,63	
	72	0,87	0,79	0,61	
19	73	0,80	0,49	0,38	0,68
	74	0,94	0,50	0,38	
	75	0,92	0,49	0,37	
	76	0,92	0,48	0,37	
20	77	0,92	0,51	0,37	0,56
	78	0,94	0,49	0,36	
	79	0,96	0,49	0,37	
	80	0,92	0,48	0,36	

21	81	0,94	0,48	0,37	0,58
	82	0,92	0,47	0,37	
	83	0,93	0,48	0,38	
	84	0,94	0,45	0,35	
22	85	0,89	0,48	0,33	0,55
	86	0,94	0,47	0,34	
	87	0,93	0,48	0,35	
	88	0,90	0,48	0,36	
23	89	0,94	0,48	0,36	0,64
	90	0,94	0,48	0,37	
	91	0,97	0,50	0,36	
	92	0,95	0,50	0,36	
24	93	0,94	0,59	0,42	0,32
	94	0,99	0,62	0,42	
	95	0,95	0,63	0,39	
	96	0,97	0,63	0,44	
25	97	0,96	0,60	0,43	0,31
	98	0,97	0,61	0,40	
	99	0,99	0,72	0,44	
	100	0,98	0,65	0,39	

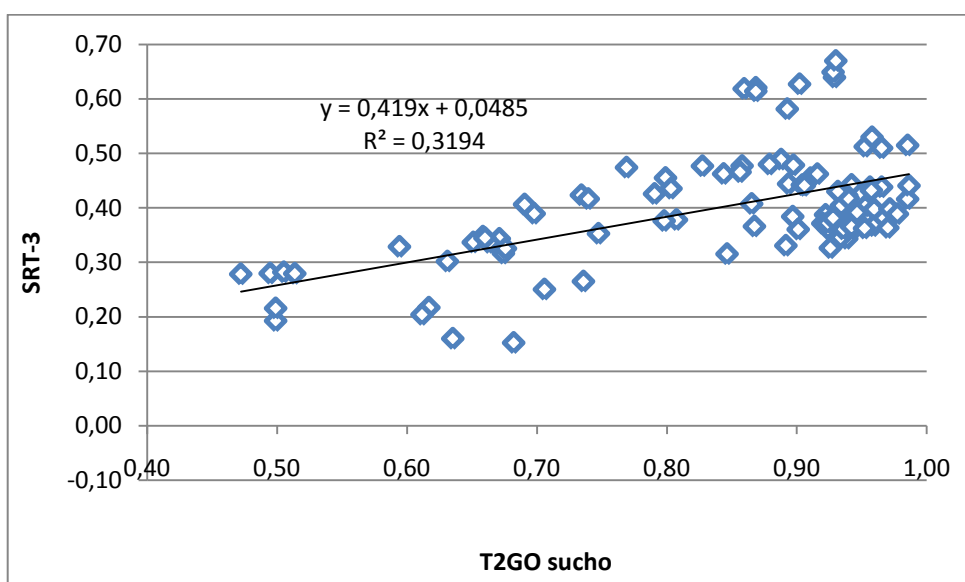
W trakcie analiz wykluczono dane uzyskane na płytach poślizgowych oraz na odcinku 6, ponieważ wyniki elementarne wskazują na dużą niejednorodność w obrębie badanych odcinków. Ponadto charakterystyka materiału zastosowanego do wytworzenia powierzchni poślizgu sprawiła, że wartości zarejestrowane urządzeniem T2GO na mokro miały wartość wyższą od wartości współczynnika tarcia pomierzonych na sucho. Jest to sytuacja odwrotna do powszechnie występującej na drogach i zakłóca możliwość poprawnej korelacji wyników.

Kolejnym rozważaniom poddano relacje wskazań urządzenia T2GO podczas pomiarów na sucho i przy udziale wody. Producent urządzenia informuje, że nie istnieje liniowa zależność pomiędzy wynikami uzyskanymi podczas badań urządzeniem T2GO na sucho i na mokro. Potwierdza to analiza przedstawiona na Rysunku 11.



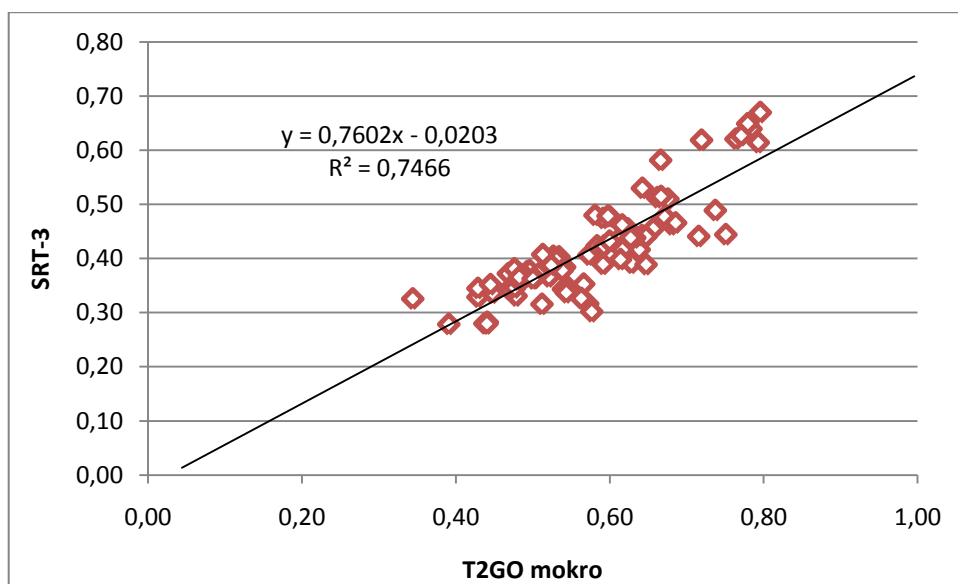
Rysunek 11 Wykres rozrzutu danych T2GO na sucho i mokro

Głównym założeniem pracy była identyfikacja zależności funkcyjnych pomiędzy wskazaniami urządzeń SRT-3 i T2GO. W pierwszej kolejności zbadano istnienie korelacji SRT-3 z badaniem T2GO przeprowadzonym na sucho. Zgodnie z wykresem rozrzutu przedstawionym na Rysunku 12 korelację oceniono jako wysoką ($R=0,56$), która pozwala wnioskować o zachodzącej współzależności zmiennych, ale z ograniczoną możliwością praktycznego stosowania.

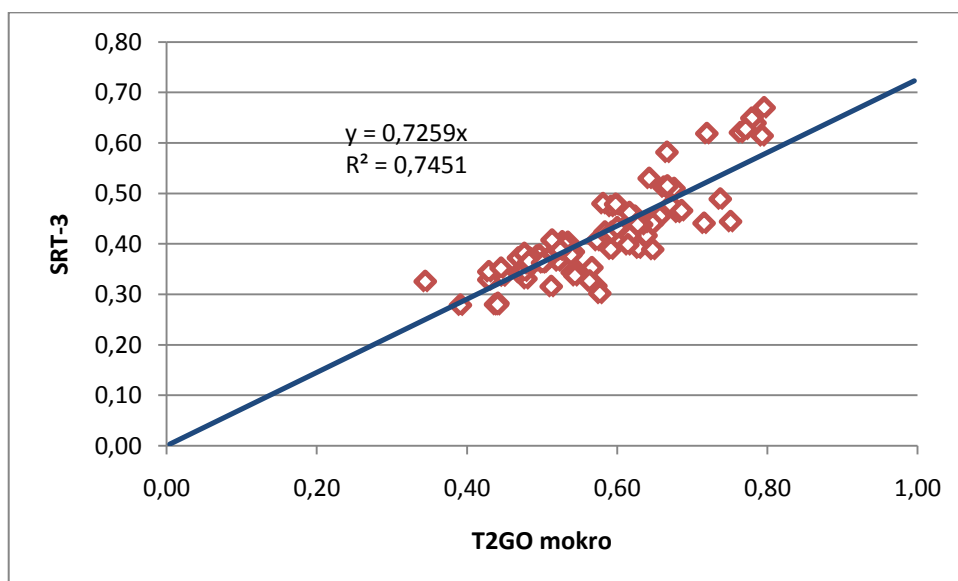


Rysunek 12 Wykres rozrzutu danych T2GO na sucho i SRT-3

Następnie szukano zależności między wynikami uzyskiwanymi z pomiarów urządzeniem SRT-3 a T2GO z polewaniem nawierzchni wodą. Bardzo wysoką korelację obydwu badań ilustruje Rysunek 13. Teoretyczne założenie istnienia nawierzchni o współczynniku tarcia równym zero bez względu na zastosowanie urządzenia pomiarowe ma potwierdzenie w uzyskanym wyniku. Prognozowana prosta niemal przecina wykres w punkcie (0,0). Dlatego zastosowano przybliżenie funkcją przedstawioną na Rysunku 14. Tak opisaną zależność oceniono jako korelację bardzo wysoką, współczynnik korelacji $R = 0,86$.



Rysunek 13 Wykres rozrzutu danych T2GO na mokro i SRT-3



Rysunek 14 Wykres rozrzutu danych T2GO na mokro i SRT-3

Do praktycznego stosowania proponuje się funkcję:

$$y = 0,726 x$$

gdzie:

x – współczynnik tarcia T2GO na mokro,

y – współczynnik tarcia SRT-3.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że dla najczęściej spotykanych wartości współczynnika tarcia tj. od 0,30 do 0,60 wyniki uzyskane przy zastosowaniu ww. funkcji nie różnią się znacząco w porównaniu do pierwszej funkcji korelacyjnej, Rysunek 13.

7 Wnioski

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

- wartości współczynnika tarcia uzyskiwane urządzeniem T2GO są współzależne z wynikami uzyskiwanymi urządzeniem SRT-3, przy czym w przypadku pomiarów na sucho korelacja ta jest wysoka ($R=0,56$) natomiast dla pomiarów na mokro bardzo wysoka ($R=0,86$),
- korelacja pomiędzy badaniami T2GO i tekstury oceniono jako przeciętną ($R<0,5$),
- urządzenie T2GO posiada duże możliwości prowadzenia wyrywkowych kontroli właściwości przeciwpoślizgowych w miejscach, gdzie warunki do prowadzenia pomiarów SRT-3 są utrudnione,
- w badaniach nawierzchni drogowych do przeliczania współczynników tarcia uzyskiwanych w pomiarach T2GO na mokro do wartości odpowiadającym badaniu urządzeniem SRT-3 zaleca się stosowanie współczynnika przeliczeniowego równego **0,726**.