

**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW**  
**Zakład Diagnostyki Nawierzchni**

**SPRAWOZDANIE**  
**z realizacji pracy pt.:**  
**„Badanie wpływu makrotekstury warstwy ścieralnej na właściwości**  
**przeciwpślizgowe nawierzchni drogowych”.**

Zleceniodawca: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad  
Umowa Nr 448/03 z dnia 10.06.2003

Opracowali:

mgr inż. Jacek SUDYKA  
mgr inż. Wojciech HANULA  
inż. Adam KOWALSKI  
Radosław BORUCKI  
Artur GRĄCZEWSKI  
Ryszard PLEWCZYŃSKI

Kierownik Zakładu  
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, listopad 2004

## **SPIS TREŚCI**

<b>1. WSTĘP</b>	<b>4</b>
<b>2. ODCINKI BADAWCZE</b>	<b>4</b>
<b>3. METODYKA BADAŃ</b>	<b>5</b>
<b>4. ZESTAWIENIE WYNIKÓW POMIARÓW</b>	<b>8</b>
<b>5. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW</b>	<b>12</b>
<b>5.1 Ocena badanych odcinków</b>	<b>12</b>
<b>5.2 Analiza zależności współczynnika tarcia od głębokości tekstury</b>	<b>14</b>
<b>6. WNIOSKI</b>	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>26</b>

## SPIS RYSUNKÓW I TABEL

Rysunek 1 Przyczepka dynamometryczna SRT-3 .....	6
Rysunek 2 Pomiar głębokości tekstury metodą piasku kalibrowanego.....	7
Rysunek 3 Profilograf laserowy firmy Greenwood Engineering .....	8
Rysunek 4 Odcinki wykonane w technologii betonu asfaltowego .....	10
Rysunek 5 Odcinki wykonane w technologii SMA .....	10
Rysunek 6 Odcinki z cienką warstwą na zimno.....	11
Rysunek 7 Odcinki z powierzchniowym utrwaleniem .....	11
Rysunek 8 Zestawienie wartości średnich i zakresów miarodajnego współczynnika tarcia dla różnych technologii wykonania warstwy ścieralnej.....	12
Rysunek 9 Zestawienie wartości średnich i odchylenia standardowego miarodajnego współczynnika tarcia dla różnych technologii wykonania warstwy ścieralnej .....	13
Rysunek 10 Zestawienie wartości średnich i zakresów głębokości tekstury dla poszczególnych technologii mierzonych metodą objętościową .....	13
Rysunek 11 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii letniej od tekstury mierzonej metodą objętościową .....	14
Rysunek 12 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od tekstury mierzonej metodą objętościową.....	15
Rysunek 13 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii zimowej od tekstury mierzonej metodą objętościową.....	15
Rysunek 14 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii wiosennej od tekstury mierzonej metodą objętościową.....	16
Rysunek 15 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii letniej od tekstury mierzonej metodą profilometryczną .....	16
Rysunek 16 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od tekstury mierzonej metodą profilometryczną .....	17
Rysunek 17 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii zimowej od tekstury mierzonej metodą profilometryczną .....	17
Rysunek 18 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii wiosennej od tekstury mierzonej metodą profilometryczną .....	18
Rysunek 19 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od tekstury dla odcinków w technologii BA .....	19
Rysunek 20 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od tekstury dla odcinków w technologii SMA .....	19
Rysunek 21 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od tekstury dla odcinków w technologii CWNZ .....	20
Rysunek 22 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od tekstury dla odcinków w technologii PU.....	20
Rysunek 23 Wykres zależności współczynnika tarcia zmierzonego oponą Barum Bravura do współczynnika tarcia zmierzonego oponą PIARC .....	22
Rysunek 24 Wykres zależności współczynnika tarcia zmierzonego wg procedury standardowej i na nawierzchni oblodzonej bez wody.....	23
Tabela 1 Wytypowane odcinki badawcze.....	4
Tabela 2 Klasyfikacja nawierzchni pod względem współczynnika tarcia wg SOSN.....	5
Tabela 3 Klasyfikacja makrotekstury nawierzchni .....	7
Tabela 4 Odcinki wykonane w technologii beton asfaltowego .....	9
Tabela 5 Odcinki wykonane w technologii SMA .....	9
Tabela 6 Odcinki z cienką warstwą ścieralną na zimno.....	9
Tabela 7 Odcinki z powierzchniowym utrwaleniem.....	9
Tabela 8 Wyniki badań oponą Barum Bravura i PIARC.....	21
Tabela 9 Wyniki badań na wybranych odcinkach wykonanych w serii zimowej wg procedury standardowej i na nawierzchni oblodzonej bez wody.....	23

## 1. Wstęp

Pracę wykonano w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów, na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, na podstawie umowy nr 448/2003 z dnia 10.06.2003.

Przedmiotem pracy jest ocena wpływu makrotekstury warstwy ścieralnej na zmienność właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni wykonanych w różnych technologiach, z uwzględnieniem zmian klimatycznych w ciągu całego roku. W tym celu wytypowano łącznie 18 odcinków badawczych, których warstwa ścieralna wykonana została w jednej z wybranych technologii: baton asfaltowy, SMA, cienka warstwa ścieralna na zimno (CWZ) i powierzchniowe utwalenie. W ramach pierwszego etapu pracy wykonano badania w dwóch seriach: serii letniej i jesiennej. W ramach etapu drugiego przeprowadzono badania w serii zimowej oraz w serii wiosennej. W ramach serii wiosennej przeprowadzono badania na trzech dodatkowych odcinkach wykonanych w technologii cienkiej warstwy na zimno.

## 2. Odcinki badawcze

Pomiary przeprowadzono na odcinkach badawczych wytypowanych spośród ok. 40 odcinków o znanym wcześniej współczynniku tarcia. Odcinki te zróżnicowane są pod względem rodzaju technologii wykonania warstwy ścieralnej a także czasu eksploatacji. Doboru odcinków dokonano tak aby otrzymane wyniki pomiarów klasyfikowały nawierzchnie w różnych kategoriach. Klasyfikacji nawierzchni odcinków dokonano w oparciu o wymagania zawarte w SOSN [1]. Wytypowane odcinki zestawiono w Tabeli 1.

**Tabela 1 Wytypowane odcinki badawcze**

Nr	Droga nr	odcinek	
		węzeł	lokalizacja
<b>Beton asfaltowy</b>			
1A	-	ul. Światowida	Myśluborska – Modlińska
2A	DW-633	ul. Płochocińska	Marywilska – Modlińska
3A	DW-633	ul. Płochocińska	Cieślewskich - Marywilska
4A	DW-633	ul. Płochocińska	dojazd w kier Cieślewskich pas p
5A	DW-0801	Józefów	23+000 ÷ 24+000
6A	DK-61	ul. Wybrzeże Szczecińskie (oba pasy)	Okrzei – Most Świętokrzyski
<b>SMA</b>			
1B	DK-50	Mszczonów - Grójec	41+800 ÷ 44+000
2B	DW-634	Most Gdański	kierunek Praga
3B	DW-629	Most Śląsko Dąbrowski (kier Praga)	kierunek Praga
4B	DK-8	Trasa Toruńska	Głębocka – Marki (pas lewy)
5B	DK-2	Ożarów Mazowiecki (przejście)	skrzyżowanie z 701 ÷ 464+200
6B	DK-2	Ołtarzew	460+600 ÷ 461+600
<b>Cienka warstwa na zimno CWZ</b>			
1C	DK-17	Garwolin - Gończyce	73+150 ÷ 75+750
2C	DK-58	Zielonka – Stare Kiejkuty	63+000 ÷ 64+000
3C	DK-57	Chorzele – Wyżegi	109+000 ÷ 110+000
4C	DK-57	Wyżegi – Wielbark	112+300 ÷ 113+300
5C	DK-58	Stare Kiejkuty - Marksewo	67+800 ÷ 68+800

**Tabela 1 Wytypowane odcinki badawcze cdn.**

Powierzchniowe utrwalanie			
<b>1D</b>	31409	Szkarada	0+750 ÷ 1+750
<b>2D</b>	38102	Żuków - Zatra	ok. 3 km – cały odcinek
<b>3D</b>	31369	Łów - Giżyce	1,1 km
<b>4D</b>	-	Dębe Wielkie - Pustelnik	1,0 km od DK-2

Jak wynika z powyższej tabeli najwięcej wytypowanych odcinków (łącznie 12) wykonanych jest w technologii betonu asfaltowego i SMA. Mieszanki te są obecnie najczęściej stosowane w wykonawstwie warstw ścieralnych.

W ramach etapu drugiego przeprowadzono pojedynczą serię badań na trzech dodatkowych odcinkach (Tabela 1, odcinki 3-5C), wykonanych w przeciągu ostatnich dwóch lat w technologii cienkiej warstwy na zimno. Na problemy z wyborem odcinków wykonanych w technologii CWZ napotkano przy wyborze odcinków badawczych w ramach etapu pierwszego, w którym badaniu poddano jedynie dwa odcinki 1C i 2C. Było to spowodowane tym, że nawierzchnie wykonywane w technologii cienkiej warstwy na zimno mają charakter utrzymaniowy (poprawa właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni) i w związku z tym charakteryzują się, w porównaniu z innymi, krótkim okresem eksploatacji.

Liczbę odcinków powierzchniowego utrwalania ograniczono do 4, głównie ze względu na duże zużycie opon testowych podczas badań właściwości przeciwpoślizgowych. Należy jednocześnie dodać, że zmienność współczynnika tarcia na nawierzchniach wykonanych w technologii powierzchniowego utrwalania jest niewielka, a uzyskiwane wartości współczynnika są bardzo wysokie, przeważnie w klasie A i B, wg klasyfikacji SOSN podanej w Tabeli 2.

**Tabela 2 Klasyfikacja nawierzchni pod względem współczynnika tarcia wg SOSN**

<i>klasa</i>	<i>miarodajny współczynnik tarcia</i>
<i>A</i>	≥0,52
<i>B</i>	0,37 – 0,51
<i>C</i>	0,30 – 0,36
<i>D</i>	≤0,29

### 3. Metodyka badań

Zgodnie z przyjętym programem pracy na wytypowanych odcinkach badawczych wykonano pomiary:

- współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3 w seriach: letniej, jesiennej, zimowej i na nawierzchni oblodzonej oraz w serii wiosennej,
- średniej głębokości tekstury metodą objętościową MTD (zgodnie z EN 13036-1 [2]),
- średniej głębokości tekstury metodą profilometryczną MPD (zgodnie z ISO 13473-1 [3]).

Zestaw SRT-3 (Rysunek 1) jest polskim urządzeniem pomiarowym wymienionym w projekcie normy pr EN 13036-2 jako spełniające wymagania stawiane urządzeniom do

badania współczynnika tarcia nawierzchni. W urządzeniu działają dwa niezależne kanały pomiarowe:

- kanał momentu hamującego rozwijanego przez układ hamulcowy,
- kanał siły przyczepności wolnej od oddziaływań momentu stycznych sił bezwładności koła pomiarowego w chwili pomiaru.

W warunkach pełnej blokady oba tory pomiarowe są całkowicie równoważone i służą do wzajemnej kontroli poprawności wskazań.

Do pomiarów użyto opony bieżnikowanej Barum Bravura (Continental) o wymiarach 185/70/R14. Jest to opona używana w badaniach rutynowych w ramach systemu SOSN.

Klasyfikację nawierzchni pod względem współczynnika tarcia wg SOSN dla wyżej wymienionej opony zestawiono w Tabeli 2.



**Rysunek 1**Przyczepka dynamometryczna SRT-3

W ramach badań wykonano dodatkowe pomiary współczynnika tarcia na sześciu odcinkach z wykorzystaniem opony PIARC o wymiarach 165 R 15 (gładka z obwodowymi rowkami).

W wytycznych SOSN oponę testową PIARC przedstawiono jako względnie stały wzorzec właściwości przeciwpoślizgowych i podano dla niej współczynnik przeliczeniowy względem opony Bravura, który wyniósł:

$$\text{PIARC/Bravura} = 0,897 \quad [1]$$

Wykonanie tych pomiarów ma na celu porównanie wyników uzyskanych z użyciem różnych opon. W efekcie może to ułatwić końcowe wnioskowanie co do „rzeczywistych” i „pomiarowych” właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych. Wyniki pomiarów zestawiono w Załączniku 1 razem z wynikami badań oponą Bravura.

Badanie głębokości tekstury metodą objętościową wykonano zgodnie z EN-13036-1. Polega ono na rozproszaniu materiału ziarnistego (kulek szklanych) objętości 25 cm<sup>3</sup> na czystej i suchej nawierzchni, zmierzeniu wielkości powierzchni pokrytej przez ten materiał, a następnie obliczeniu średniej głębokości makrotekstury, którą jest średnia grubość warstwy materiału rozproszanego na nawierzchni.

Klasyfikacji odcinków pod względem głębokości tekstury pomierzonej metodą objętościową (Rysunek 2) dokonano w oparciu o ogólną, stosowaną w wielu krajach, klasyfikację przedstawioną w Tabeli 3.



Rysunek 2 Pomiar głębokości tekstury metodą piasku kalibrowanego<sup>1</sup>

Tabela 3 Klasyfikacja makrotekstury nawierzchni

<i>Głębokość tekstury, [mm]</i>	<i>Ocena nawierzchni</i>
<b>MTD ≤ 0,2</b>	Nawierzchnie o teksturze bardzo drobnej – nie powinny być dopuszczone do ruchu
<b>0,2 &lt; MTD ≤ 0,4</b>	Nawierzchnie o teksturze drobnej – nawierzchnie, na których prędkość jazdy nie przekracza 80 km/h
<b>0,4 &lt; MTD ≤ 0,8</b>	Nawierzchnie o teksturze średniej – są to nawierzchnie typowe, na których prędkość jazdy mieści się w granicach 80-120 km/h
<b>0,8 &lt; MTD ≤ 1,2</b>	Nawierzchnie o teksturze grubej – nawierzchnie, na których prędkość jazdy utrzymuje się powyżej 120 km/h
<b>MTD &gt; 1,2</b>	Nawierzchnie o teksturze bardzo grubej – nawierzchnie tego typu stosowane są w przypadkach specjalnych np. w strefach występowania częstego oblodzenia

Pomiar głębokości tekstury metodą profilometryczną wykonano urządzeniem Profilograf (Rysunek 3) zgodnie z ISO 13473-1. Urządzenie to wyposażone jest w specjalny czujnik laserowy pozwalający na bezpośredni pomiar krzywej profilu powierzchni nawierzchni i obliczenie na tej podstawie głębokości tekstury.

<sup>1</sup> <http://www.celtest.com/isbt.htm>

W trakcie procesu analizy wyników pomiarów tekstury metodą profilometryczną wyznaczane są wartości średniej głębokości tekstury dla dwóch zakresów fal tj. dla długości fali od 0,5 mm do 5 mm i od 5 mm do 50 mm. Dodatkowo obliczany jest udział pomiarów, które zostały zakwalifikowane przez system jako błędne.

Aby można było porównywać wyniki badań uzyskane z obu metod pomiaru głębokości tekstury należy, zgodnie z normą ISO 13473-1 wyznaczyć wartość ETD wg następującej zależności:

$$\text{ETD}=0,2 \text{ mm} +0,8 \text{ MPD} \quad [2]$$

gdzie ETD i MPD wyrażone są w [mm].



**Rysunek 3 Profilograf laserowy firmy Greenwood Engineering<sup>2</sup>**

#### **4. Zestawienie wyników pomiarów**

Na wytypowanych odcinkach badawczych wykonano pomiary:

- ◆ Współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3 - pomiary wykonano na nawierzchni zwilżonej wodą (grubość filmu wodnego 0,5 mm) przy stałej prędkości 60 km/h, z częstotliwością co 50 m. Na odcinkach wykonano po 20 pomiarów współczynnika tarcia w każdej serii pomiarowej. Wyniki badań zestawiono w Załączniku 1.
- ◆ Głębokości tekstury metodą objętościową - badania wykonano w ramach jednej serii pomiarowej, na każdym odcinku, w dwóch różnych punktach. Wyniki pomiarów zestawiono w Załączniku 2.
- ◆ Średniej głębokości tekstury MPD metodą profilometryczną - pomiary powtórzono w roku 2004 ponieważ pierwszą serię pomiarów wykonanych jesieni 2003r odrzucono z powodu zbyt dużej ilości błędnych danych. Badania wykonano na wszystkich odcinkach badawczych co 10 m. Wyniki badań zestawiono w Załączniku 3.

<sup>2</sup> <http://www.greenwood.dk/Profilograph/profilographmacrotexture.asp>



W tabelach 4-7 zestawiono dane z pomiarów współczynnika tarcia uzyskanych w seriach pomiarowych: letniej, jesiennej, zimowej i wiosennej. Razem z wartościami współczynnika tarcia przedstawiono wyniki pomiaru głębokość tekstury metodą objętościową (MTD) i metodą profilometryczną (ETD). W celach porównawczych wyniki pomiaru tekstury metodą profilometryczną przeliczono na wartości porównywalne z wynikami uzyskanymi z pomiaru metodą objętościową wg zależności [2].

**Tabela 4 Odcinki wykonane w technologii beton asfaltowego**

Nr	Miarodajny współczynnik tarcia				Średnia głębokość tekstury	
	Seria letnia	Seria jesienna	Seria zimowa	Seria wiosenna	MTD	ETD
1A	0,33	0,30	0,31	0,32	0,63	0,7
2A	0,40	0,37	0,42	0,39	0,23	0,57
3A	0,43	0,34	0,42	0,46	0,36	0,66
4A	0,46	0,42	0,48	0,44	0,66	0,85
5A	0,54	0,46	0,41	0,48	1,07	0,71
6A	0,55	0,51	0,51	0,53	0,98	0,79
średnia	<b>0,45</b>	<b>0,40</b>	<b>0,43</b>	<b>0,44</b>	<b>0,66</b>	<b>0,71</b>

**Tabela 5 Odcinki wykonane w technologii SMA**

Nr	Miarodajny współczynnik tarcia				Średnia głębokość tekstury	
	Seria letnia	Seria jesienna	Seria zimowa	Seria wiosenna	MTD	ETD
1B	0,33	0,32	0,34	0,32	0,68	0,92
2B	0,36	0,39	0,39	0,36	0,70	0,86
3B	0,40	0,39	0,38	0,41	0,60	0,98
4B	0,40	0,41	0,38	0,37	0,69	0,84
5B	0,45	0,38	0,47	0,43	0,61	0,83
6B	0,51	0,43	0,50	0,49	0,75	0,94
średnia	<b>0,33</b>	<b>0,32</b>	<b>0,34</b>	<b>0,32</b>	<b>0,68</b>	<b>0,92</b>

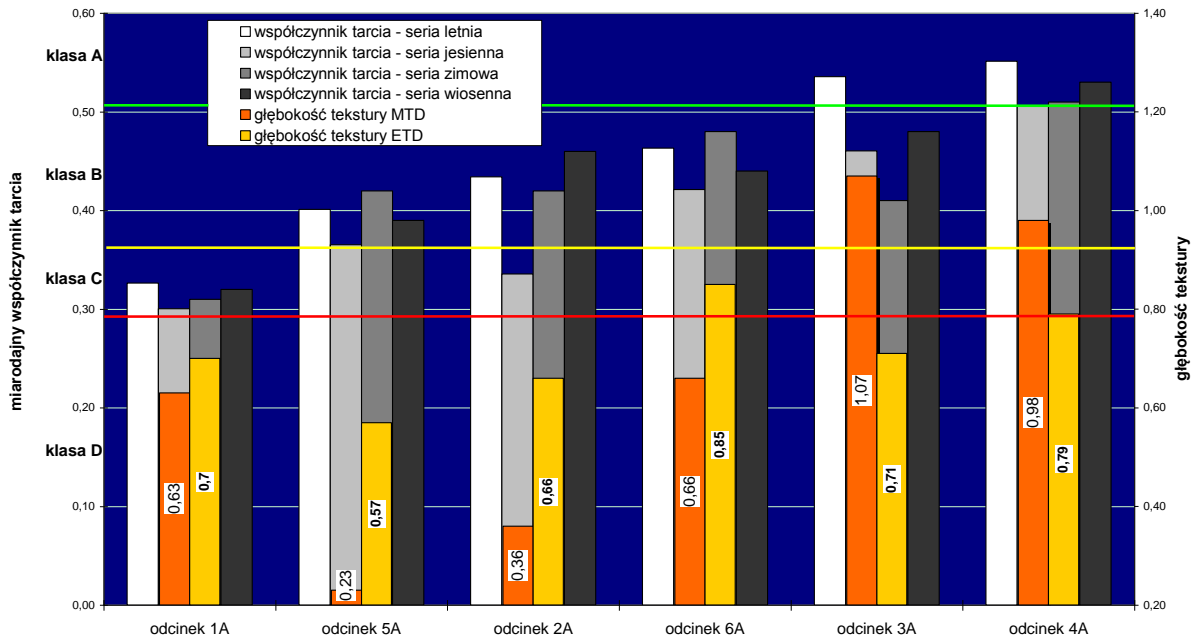
**Tabela 6 Odcinki z cienką warstwą ścierną na zimno**

Nr	Miarodajny współczynnik tarcia				Średnia głębokość tekstury	
	Seria letnia	Seria jesienna	Seria zimowa	Seria wiosenna	MTD	ETD
1C	0,51	0,48	0,60	0,58	0,84	1,16
2C	0,57	0,51	0,57	0,54	0,81	0,84
3C	-	-	-	0,56	0,75	1,48
4C	-	-	-	0,56	0,60	0,82
5C	-	-	-	0,57	0,80	1,3
średnia	<b>0,54</b>	<b>0,49</b>	<b>0,59</b>	<b>0,56</b>	<b>0,76</b>	<b>1,12</b>

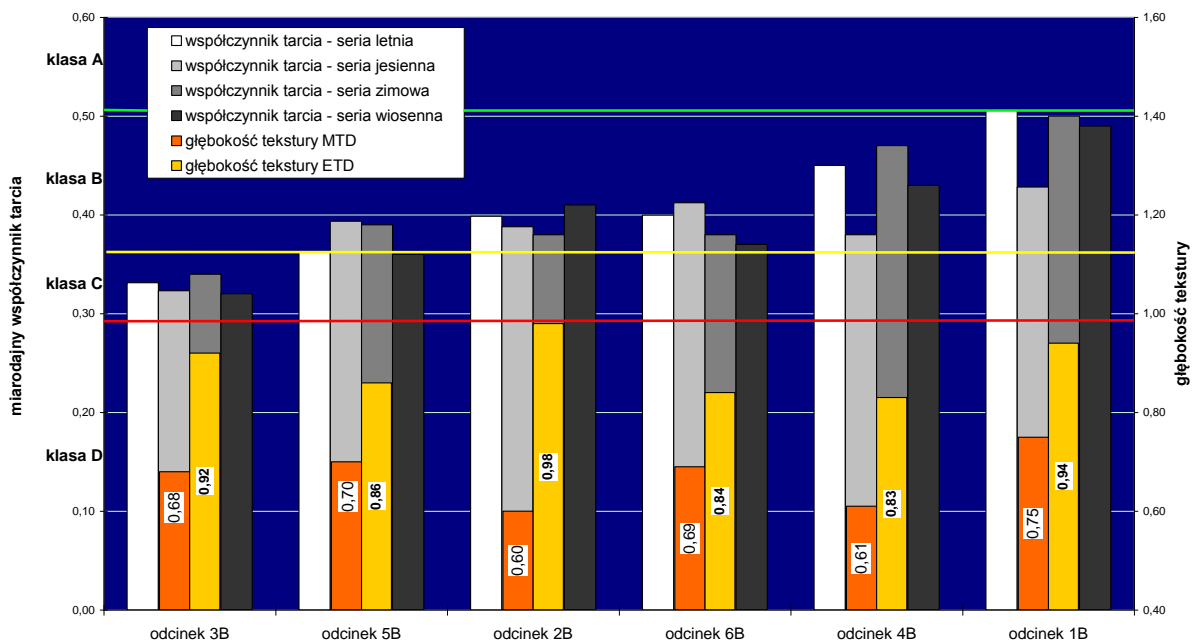
**Tabela 7 Odcinki z powierzchniowym utrwaleniem**

Nr	Miarodajny współczynnik tarcia				Średnia głębokość tekstury	
	Seria letnia	Seria jesienna	Seria zimowa	Seria wiosenna	MTD	ETD
1B	0,48	0,48	0,53	0,48	1,30	1,12
2B	0,61	0,57	0,58	0,50	2,66	1,25
3B	0,62	0,57	0,55	0,48	1,43	0,77
4B	0,65	0,62	0,68	0,64	1,71	1,23
średnia	<b>0,59</b>	<b>0,56</b>	<b>0,59</b>	<b>0,53</b>	<b>1,78</b>	<b>1,09</b>

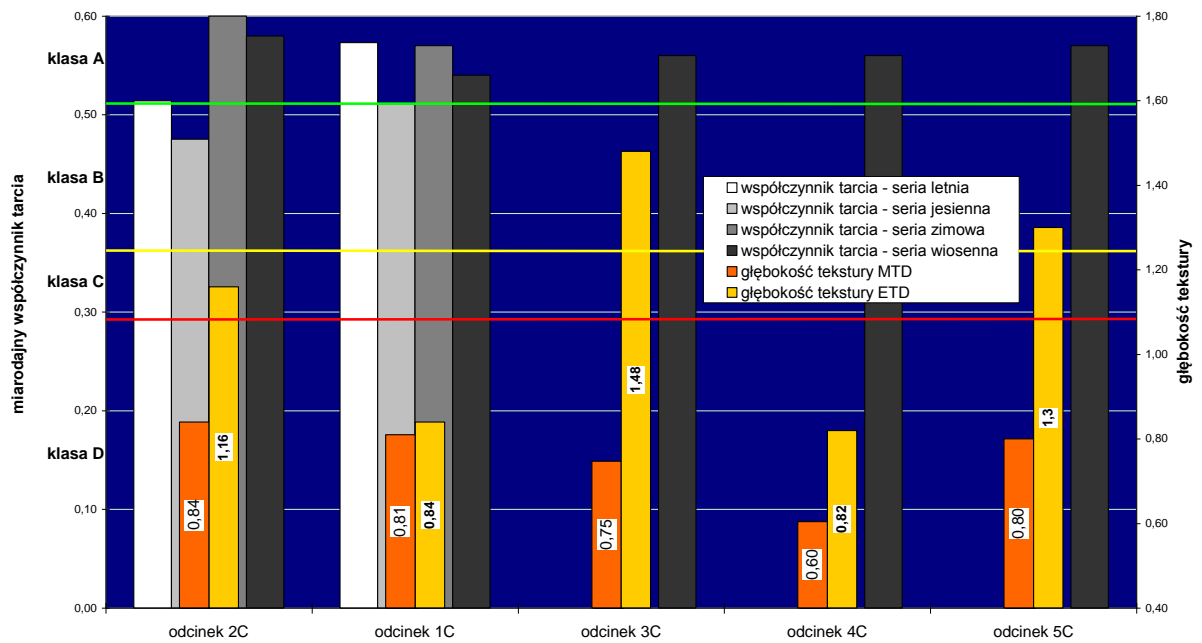
Na Rysunkach 4-7 przedstawiono wartości miarodajnego współczynnika tarcia uzyskane w seriach pomiarowych wraz z wynikami pomiarów głębokości tekstury.



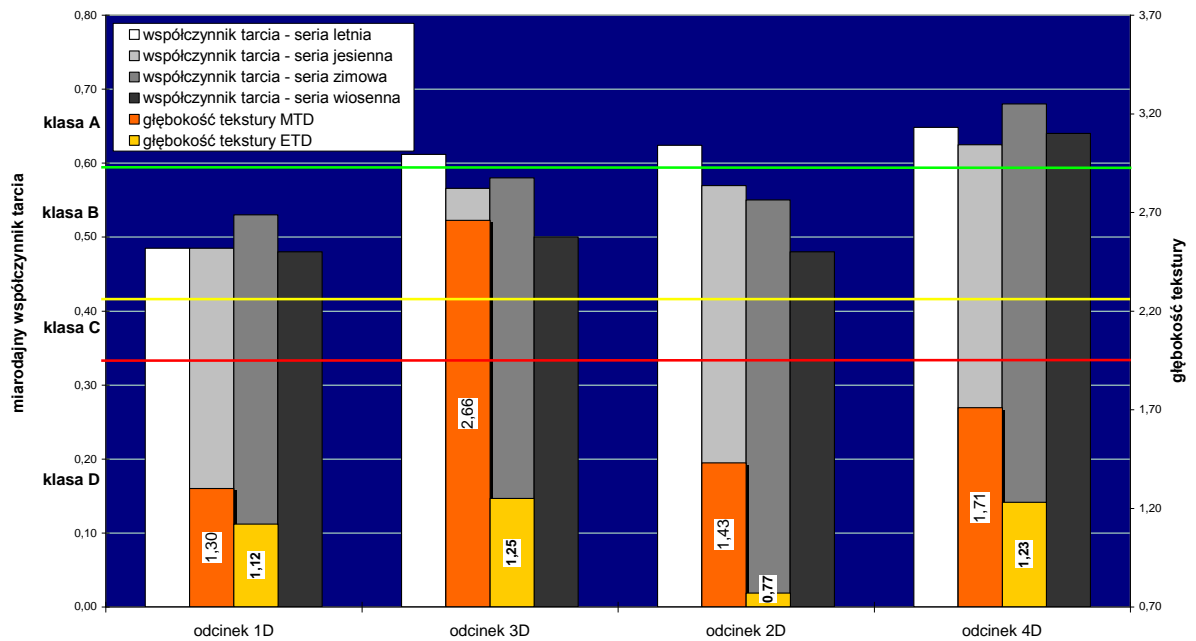
Rysunek 4 Odcinki wykonane w technologii betonu asfaltowego



Rysunek 5 Odcinki wykonane w technologii SMA



**Rysunek 6 Odcinki z cienką warstwą na zimno**

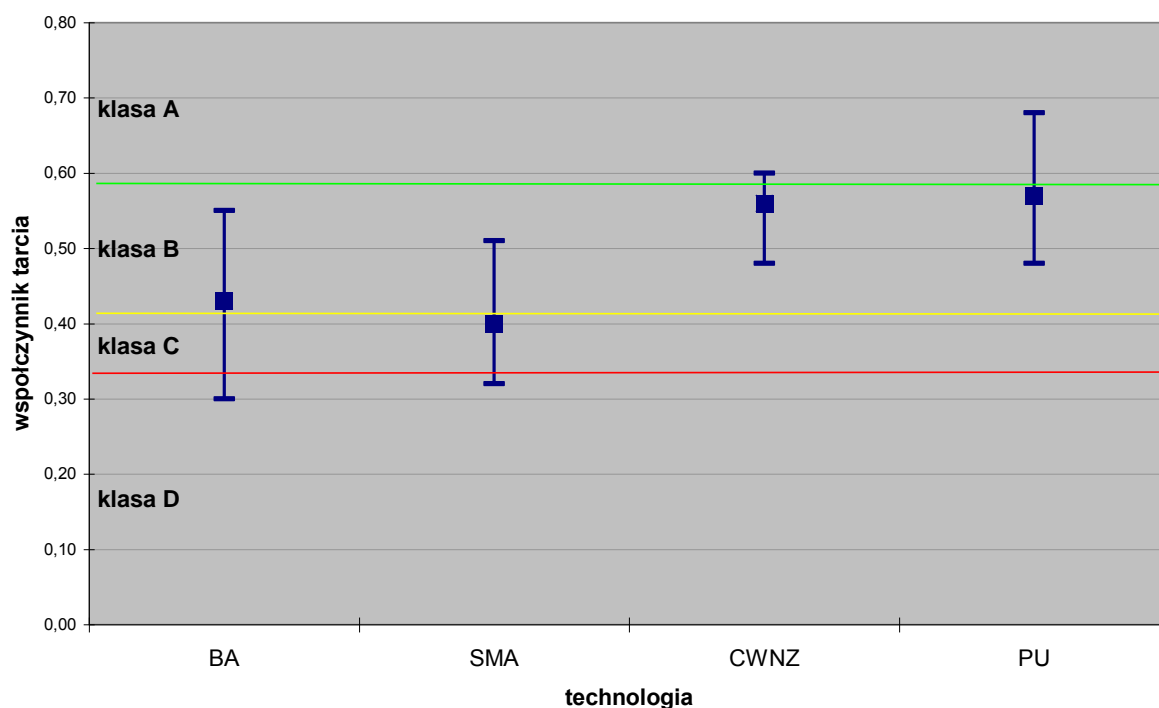


**Rysunek 7 Odcinki z powierzchniowym utwaleniem**

## 5. Analiza wyników pomiarów

### 5.1 Ocena badanych odcinków

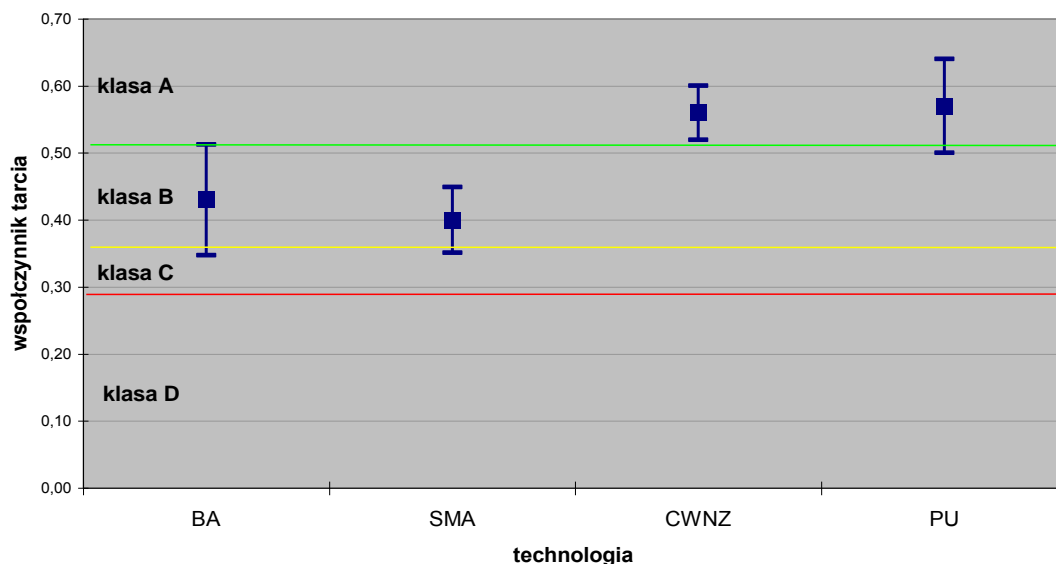
Wytypowane odcinki reprezentują najczęściej stosowane technologie wykonania warstwy ścieralnej (beton asfaltowy i SMA) oraz zabiegi utrzymaniowe (CWZ i powierzchniowe utwardzenie). Wytypowane w ramach jednej technologii odcinki różniły się między sobą zarówno czasem eksploatacji (do pięciu lat), jak również, co wydaje się ważniejsze, rodzajem materiału (kruszywa) zastosowanego do warstwy ścieralnej. Różnorodność ta jest szczególnie widoczna w przypadku warstw wykonanych w technologii betonu asfaltowego i SMA (Rysunek 8), gdzie zmienność miarodajnego współczynnika tarcia dla relatywnie małej próbki (po sześć odcinków pomiarowych) jest duża, w praktyce obejmująca trzy klasy współczynnika tarcia wg SOSN.



**Rysunek 8 Zestawienie wartości średnich i zakresów miarodajnego współczynnika tarcia dla różnych technologii wykonania warstwy ścieralnej**

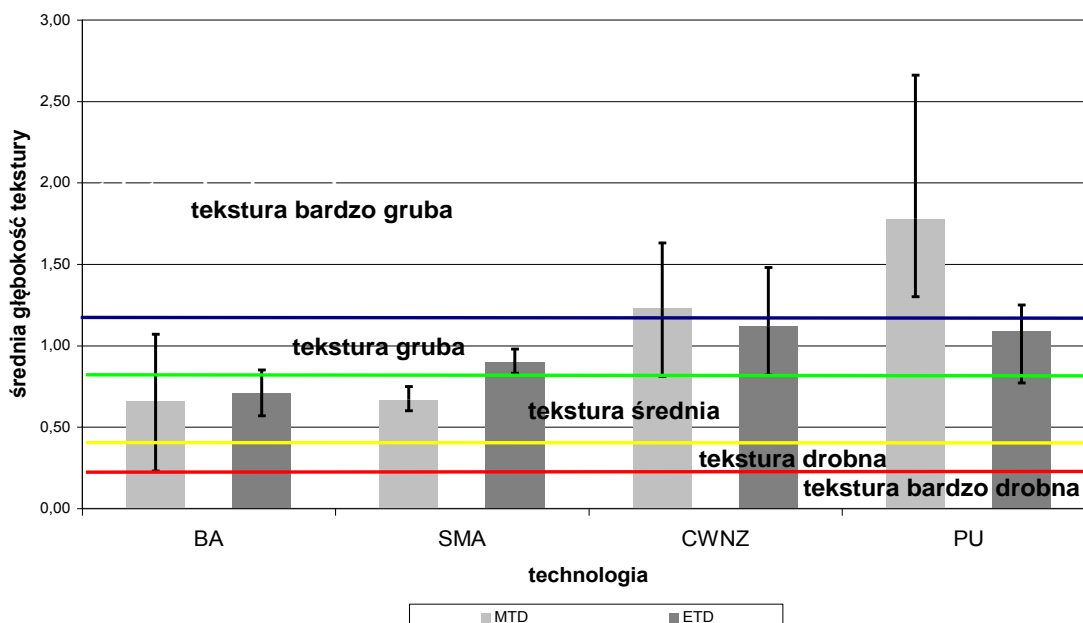
Poniżej (Rysunek 9) przedstawiono uzyskane dla każdej technologii wartości średnie i odchylenia standardowe miarodajnego współczynnika tarcia. Na podstawie tego zestawienia można stwierdzić, że najbardziej jednorodne pod względem uzyskiwanych wartości są odcinki wykonane w technologii SMA i CWZ. Stwierdzono również, że średnie wartości współczynnika tarcia dla odcinków wykonanych w technologii SMA są dosyć niskie (ok. 0,40). Takie wyniki mogą być zastanawiające, szczególnie jeżeli uwzględni się fakt, że okres eksploatacji odcinków 2-4B jest krótszy niż pięć lat, a odcinki 1, 5 i 6 użytkowane są krócej niż dwa lata. Niestety uzyskane wyniki jedynie potwierdzają wnioski zawarte w pracy [4], gdzie stwierdza się, że zastosowanie technologii SMA bez uszorstnienia nie zapewnia

odpowiednio wysokiego współczynnika tarcia, szczególnie w początkowym okresie eksploatacji.



**Rysunek 9 Zestawienie wartości średnich i odchylenia standardowego miarodajnego współczynnika tarcia dla różnych technologii wykonania warstwy ścieralnej**

Przeprowadzona ocena tekstury metodą objętościową i metodą profilometryczną wykazała, że spośród ocenianych warstw ścieralnych najmniej rozwiniętą teksturą charakteryzują się te wykonane w technologii betonu asfaltowego i SMA. Tym niemniej są to odcinki, których nawierzchnie pod względem tekstury (klasyfikacja wg Tabeli 3) uznawane są za typowe i gdzie prędkość jazdy mieści się w granicach 80-120 km/h.

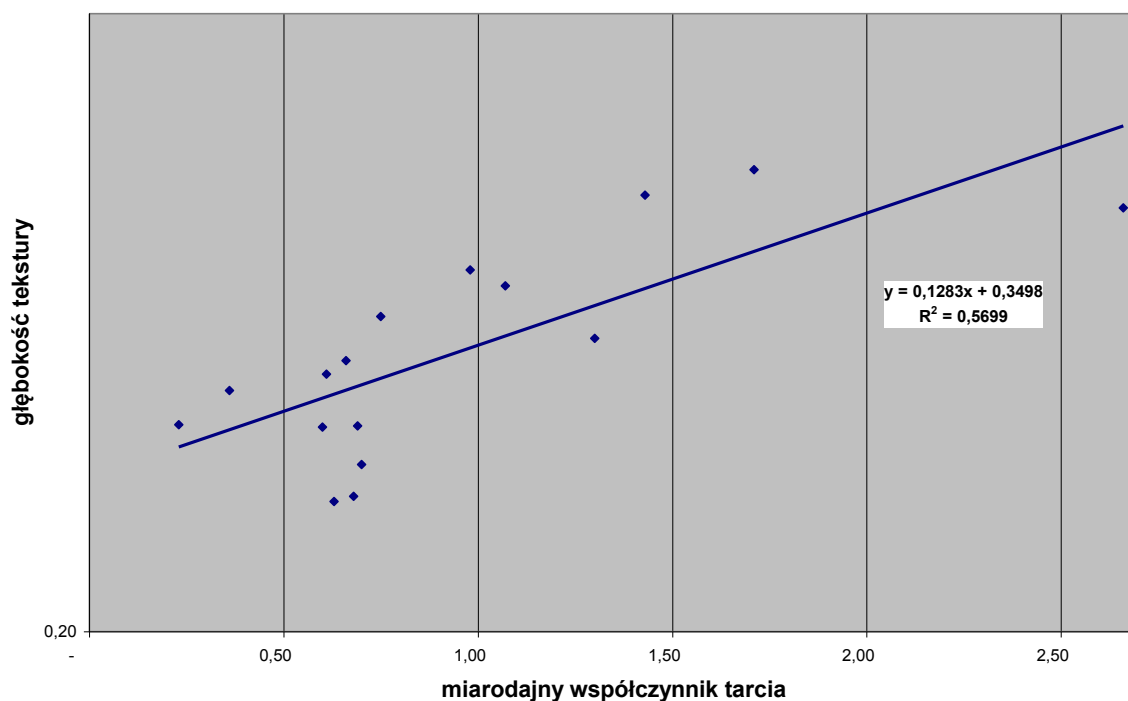


**Rysunek 10 Zestawienie wartości średnich i zakresów głębokości tekstury dla poszczególnych technologii mierzonych metodą objętościową**

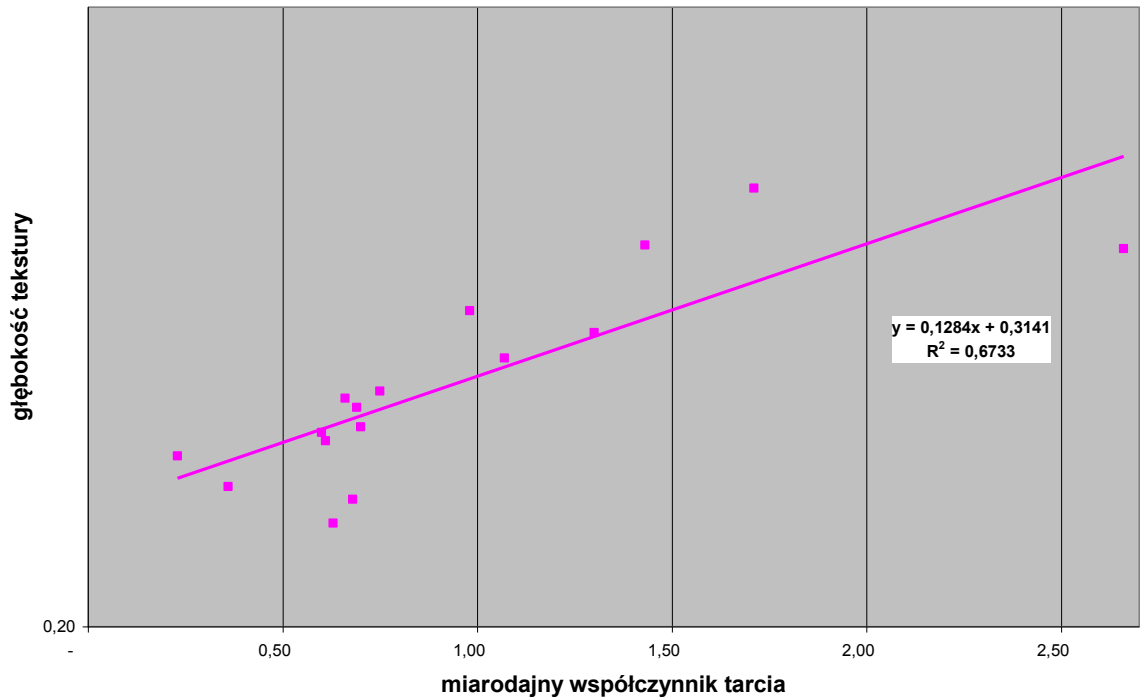
Porównując dane przedstawione na Rysunkach 9 i 10 można zauważyć, że posiadają one podobny charakter tj. w przypadku technologii BA i SMA uzyskane wartości współczynnika tarcia i głębokości tekstury są porównywalne, przy czym wyższe wartości uzyskano dla technologii SMA. Jednocześnie wartości te są o klasę niższe od tych uzyskiwanych dla technologii CWNZ i PU.

## 5.2 Analiza zależności współczynnika tarcia od głębokości tekstury

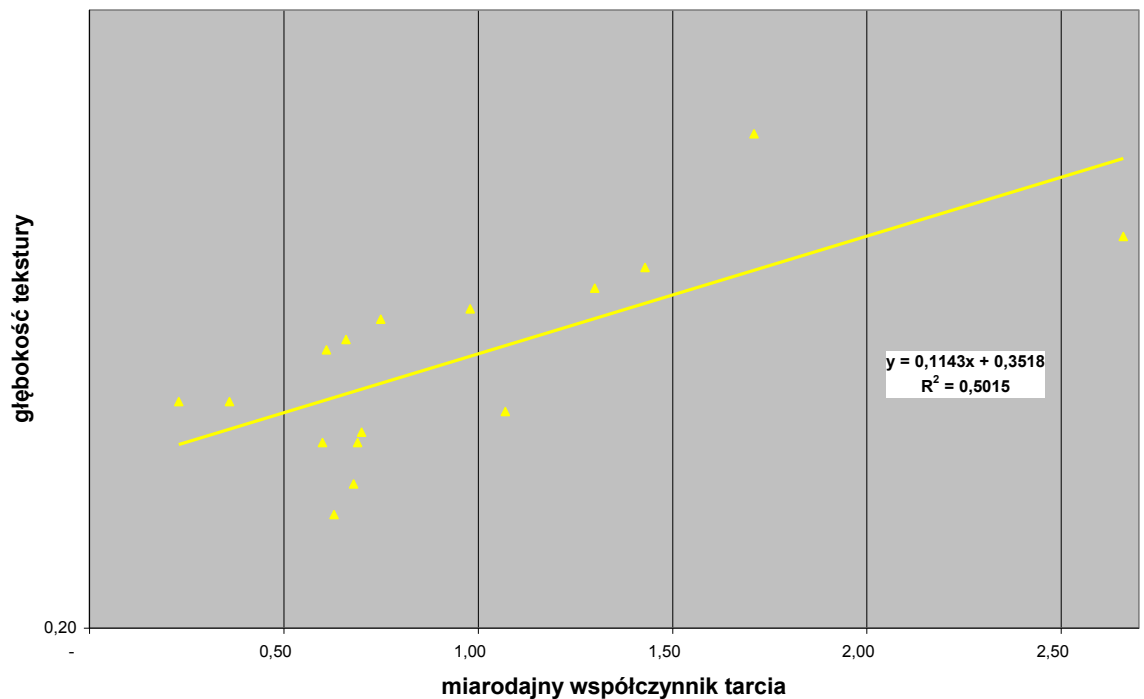
W celu ustalenia zależności między miarodajnym współczynnikiem tarcia a głębokością tekstury powierzchni zmierzonej metodą objętościową (MTD) i metodą profilometryczną (ETD) uzyskane wyniki badań poddano analizie. Porównanie kolejnych serii pomiarowych z wartościami uzyskanymi w pomiarach głębokości tekstury przedstawiono na Rysunkach 11-18.



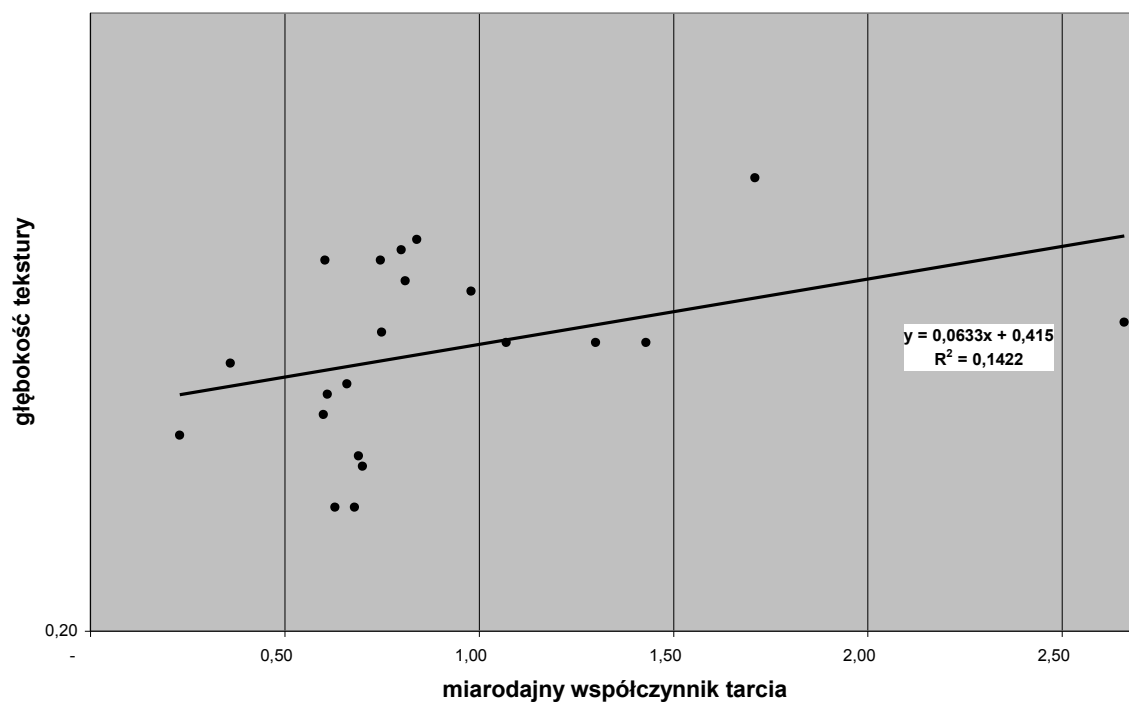
**Rysunek 11 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii letniej od tekstury mierzonej metodą objętościową**



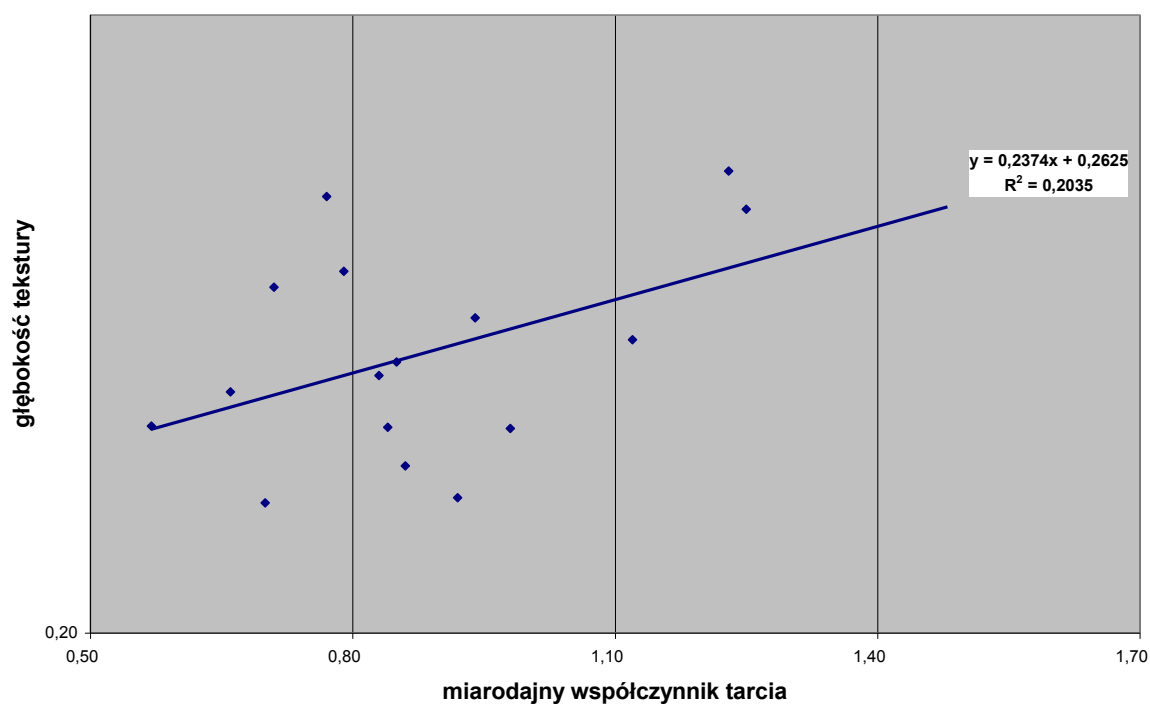
**Rysunek 12 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od tekstury mierzonej metodą objętościową**



**Rysunek 13 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii zimowej od tekstury mierzonej metodą objętościową**

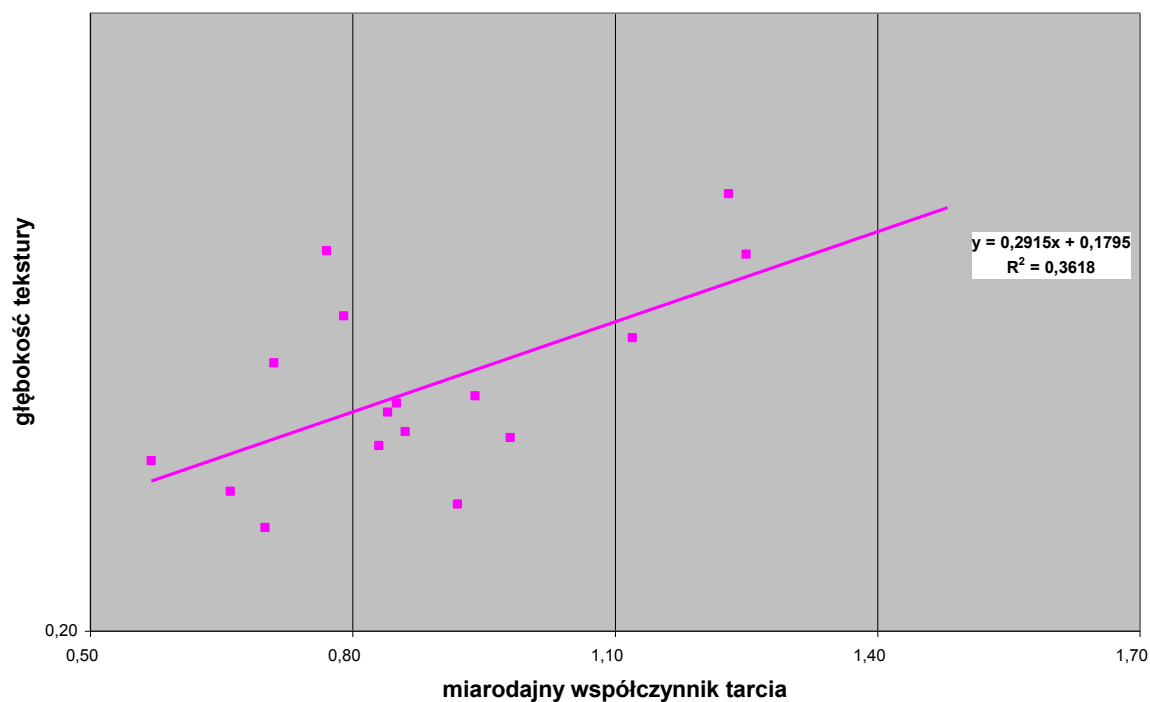


**Rysunek 14** Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii wiosennej od tekstury mierzonej metodą objętościową

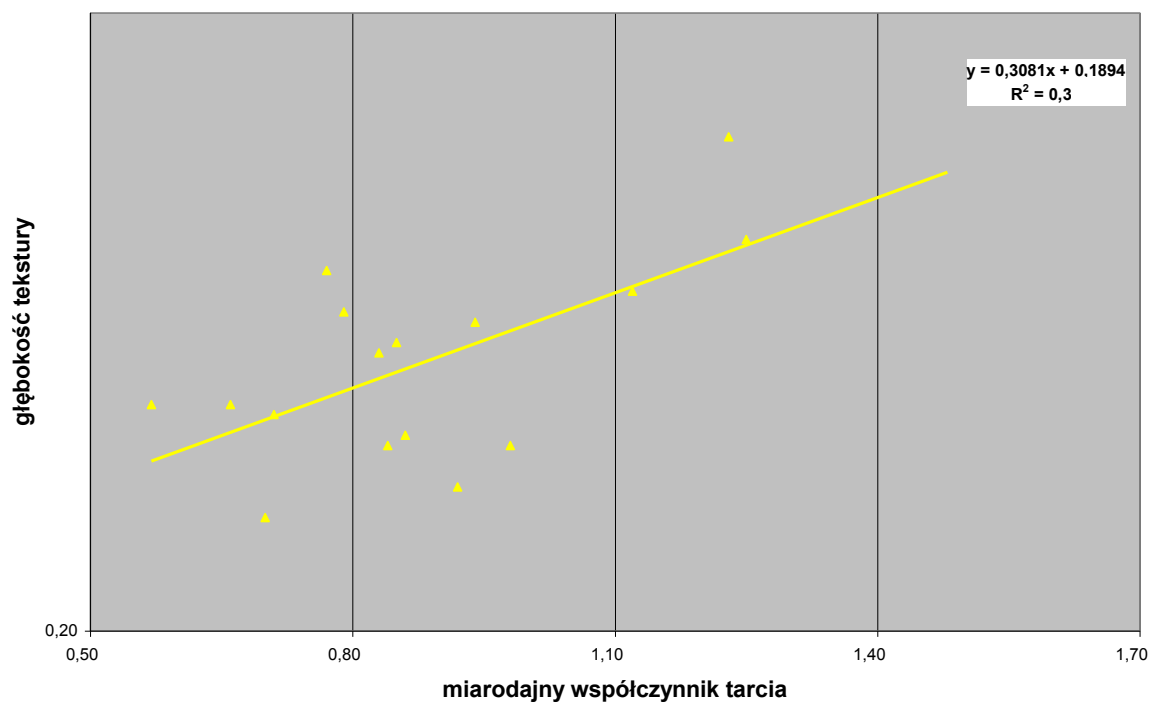


**Rysunek 15** Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii letniej od tekstury mierzonej metodą profilometryczną

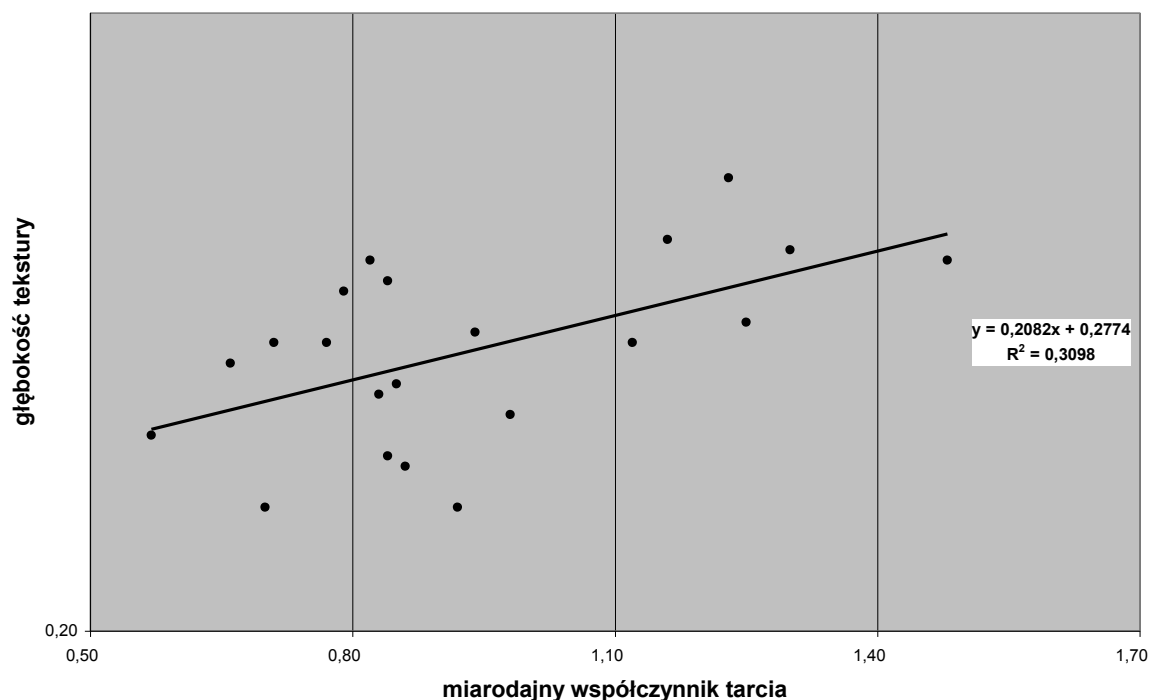




**Rysunek 16 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od tekstury mierzonej metodą profilometryczną**



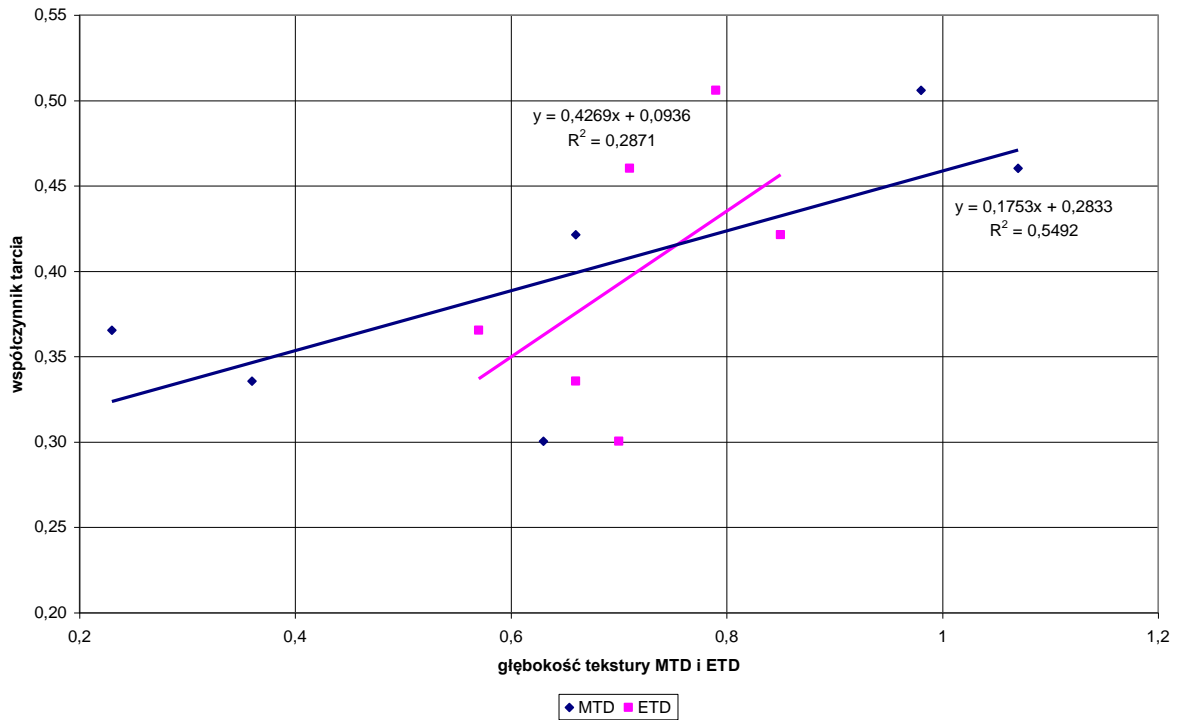
**Rysunek 17 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii zimowej od tekstury mierzonej metodą profilometryczną**



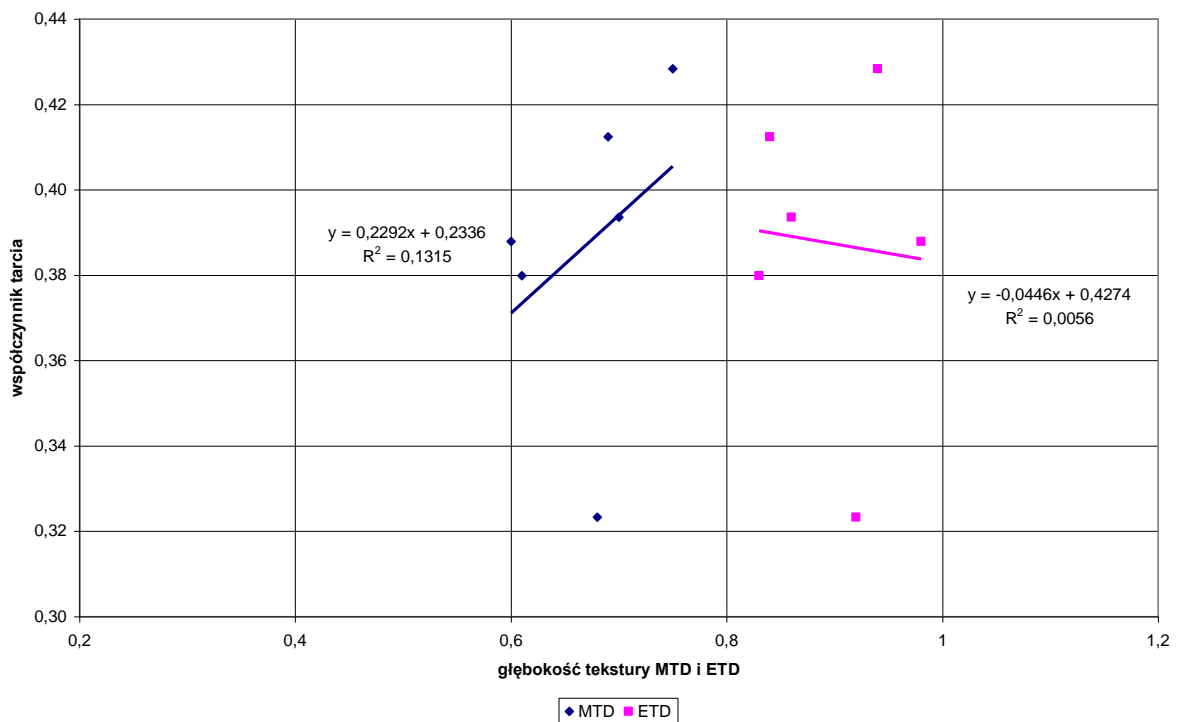
**Rysunek 18 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii wiosennej od tekstury mierzonej metodą profilometryczną**

Przeprowadzona analiza porównawcza wykazała, że istnieje bardzo słaba korelacja miarodajnego współczynnika tarcia z wartościami uzyskanymi w pomiarach głębokości tekstury metodą objętościową i metodą profilometryczną. Uzyskane współczynniki korelacji dla metody objętościowej wynoszą od 0,37 do 0,81, natomiast dla metody profilometrycznej od 0,44 do 0,60. Najwyższe współczynniki korelacji uzyskano w jesiennej serii pomiarowej. Współczynnik korelacji w tym okresie dla metody objętościowej wyniósł 0,81, natomiast dla metody profilometrycznej wyniósł 0,60. Lepsza korelacja współczynnika tarcia i głębokości tekstury mierzonej metodą objętościową spowodowana jest prawdopodobnie tym, że pomiar obu tych parametrów wykonany został w ramach tej samej serii pomiarowej.

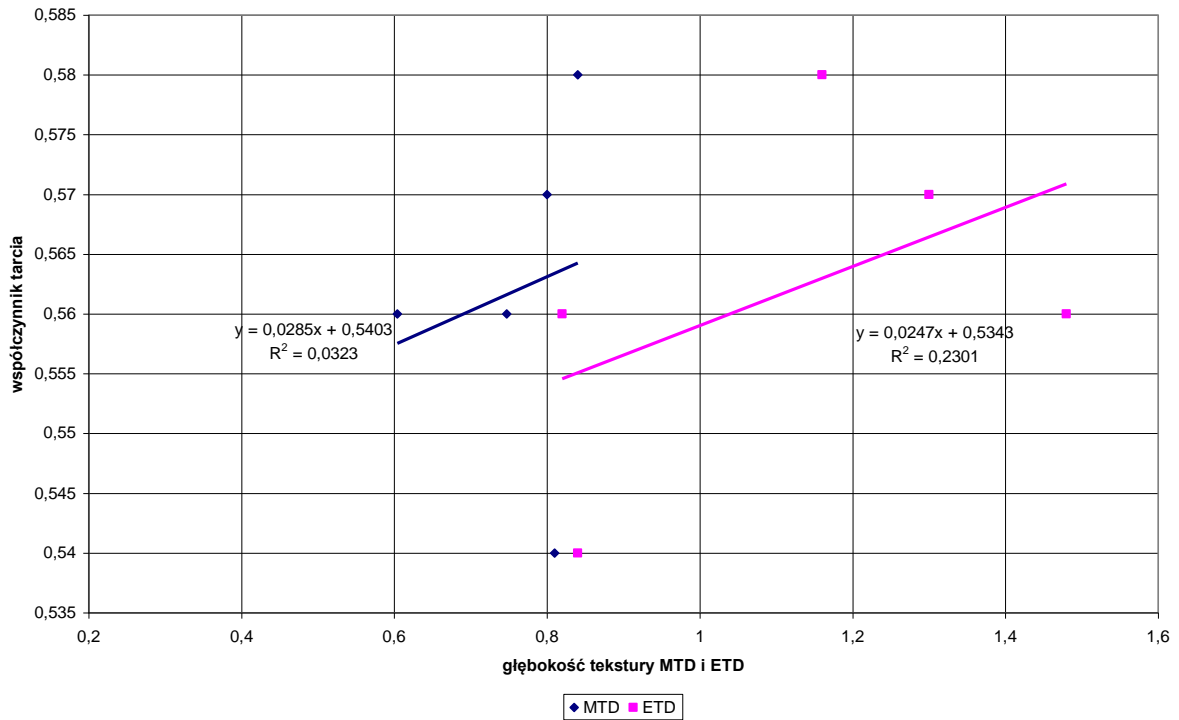
Z przedstawionych danych wynika, że decydujący wpływ na wartość uzyskiwanego współczynnika korelacji może mieć moment wykonywania pomiarów. Wydaje się, że istotne jest aby oba parametry były mierzone w tym samym czasie. Poniżej przedstawiono zależności współczynnika tarcia z serii jesiennej od głębokości tekstury MTD i ETD w podziale na poszczególne technologie wykonania warstw ściernalnych (Rysunki 19-22).



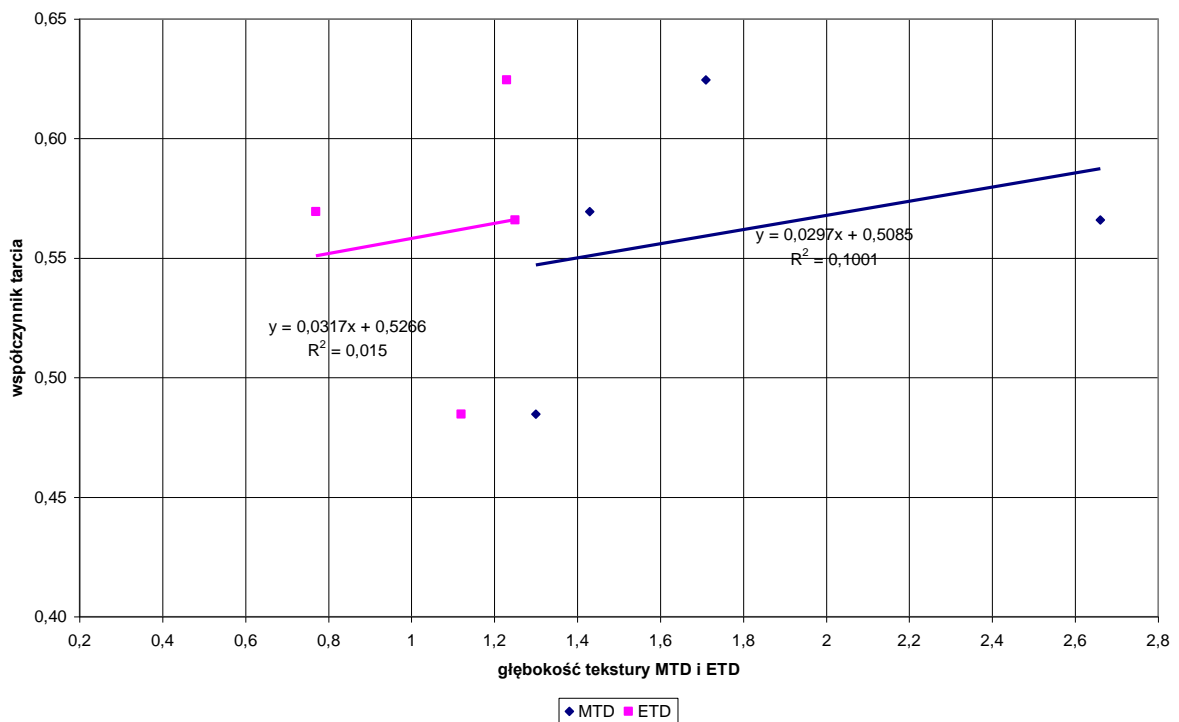
**Rysunek 19 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od głębokości tekstury dla odcinków w technologii BA**



**Rysunek 20 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od głębokości tekstury dla odcinków w technologii SMA**



**Rysunek 21 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od głębokości tekstury dla odcinków w technologii CWNZ**



**Rysunek 22 Wykres zależności miarodajnego współczynnika tarcia w serii jesiennej od głębokości tekstury dla odcinków w technologii PU**

Analizując przedstawione powyżej zależności można stwierdzić, że w przypadku odcinków wykonanych w technologii BA istnieje słaba korelacja między miarodajnym współczynnikiem tarcia i wartościami uzyskanymi w pomiarach głębokości tekstury metodą

objętościową i metodą profilometryczną. Uzyskany współczynnik korelacji dla metody objętościowej wynosi 0,74, natomiast dla metody profilometrycznej 0,54.

W odniesieniu do pozostałych technologii stwierdzono brak korelacji między badanymi parametrami.

### **Analiza wyników badań porównawczych oponą PIARC i Brum Bravura**

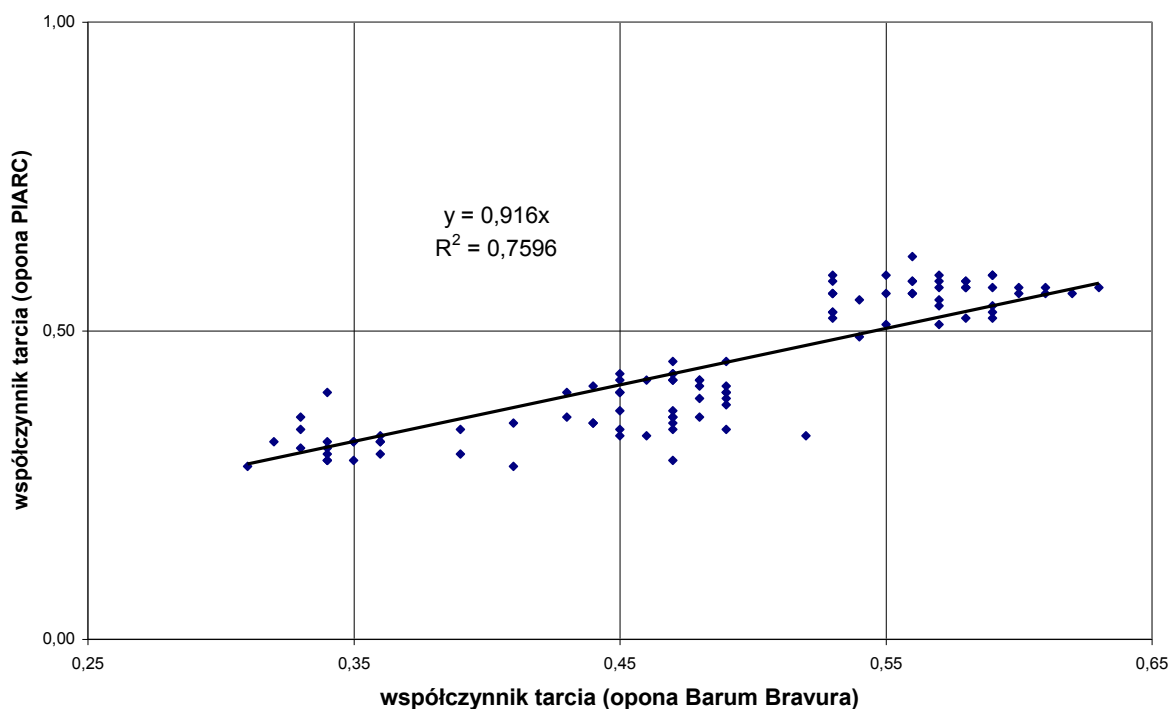
W ramach niniejszej pracy wykonano na wybranych odcinkach badania współczynnika tarcia oponą typu PIARC oraz w ramach serii zimowej oponą Barum Bravura w warunkach naturalnego, powierzchniowego oblodzenia nawierzchni.

Pomiary oponą PIARC wykonano w ramach serii letniej, dlatego do celów statystycznych uzyskane wyniki należy porównywać z serią badań wykonanych w lecie na oponie Barum Bravura. W Tabeli 8 zestawiono średnie oraz miarodajne wartości współczynnika tarcia.

Ze względu na małą liczbę odcinków objętych badaniami oponą PIARC, analizę uzyskanych danych ograniczono do ustalenia zależności między wynikami badań obiema oponami (Rysunek 23). Wynika z niej, że istnieje korelacja między wynikami z pomiarów oponą Barum Bravura i PIARC i wynosi ona  $R=0,87$ .

**Tabela 8 Wyniki badań oponą Barum Bravura i PIARC**

Odcinek	Barum Bravura				PIARC	
	seria letnia		seria jesienna			
4B	średnia	0,51	średnia	0,40	średnia	0,42
	odchylenie standardowe	0,01	odchylenie standardowe	0,02	odchylenie standardowe	0,02
	miarodajny wsp. tarcia	0,50	miarodajny wsp. tarcia	0,38	miarodajny wsp. tarcia	0,40
1A	średnia	0,35	średnia	0,32	średnia	0,32
	odchylenie standardowe	0,02	odchylenie standardowe	0,02	odchylenie standardowe	0,03
	miarodajny wsp. tarcia	0,33	miarodajny wsp. tarcia	0,30	miarodajny wsp. tarcia	0,29
2A	średnia	0,46	średnia	0,36	średnia	0,35
	odchylenie standardowe	0,03	odchylenie standardowe	0,02	odchylenie standardowe	0,03
	miarodajny wsp. tarcia	0,43	miarodajny wsp. tarcia	0,34	miarodajny wsp. tarcia	0,32
3A	średnia	0,56	średnia	0,48	średnia	0,56
	odchylenie standardowe	0,02	odchylenie standardowe	0,02	odchylenie standardowe	0,03
	miarodajny wsp. tarcia	0,54	miarodajny wsp. tarcia	0,46	miarodajny wsp. tarcia	0,53
4A	średnia	0,58	średnia	0,53	średnia	0,56
	odchylenie standardowe	0,03	odchylenie standardowe	0,03	odchylenie standardowe	0,02
	miarodajny wsp. tarcia	0,55	miarodajny wsp. tarcia	0,51	miarodajny wsp. tarcia	0,53



**Rysunek 23 Wykres zależności współczynnika tarcia zmierzonego oponą Barum Bravura do współczynnika tarcia zmierzonego oponą PIARC**

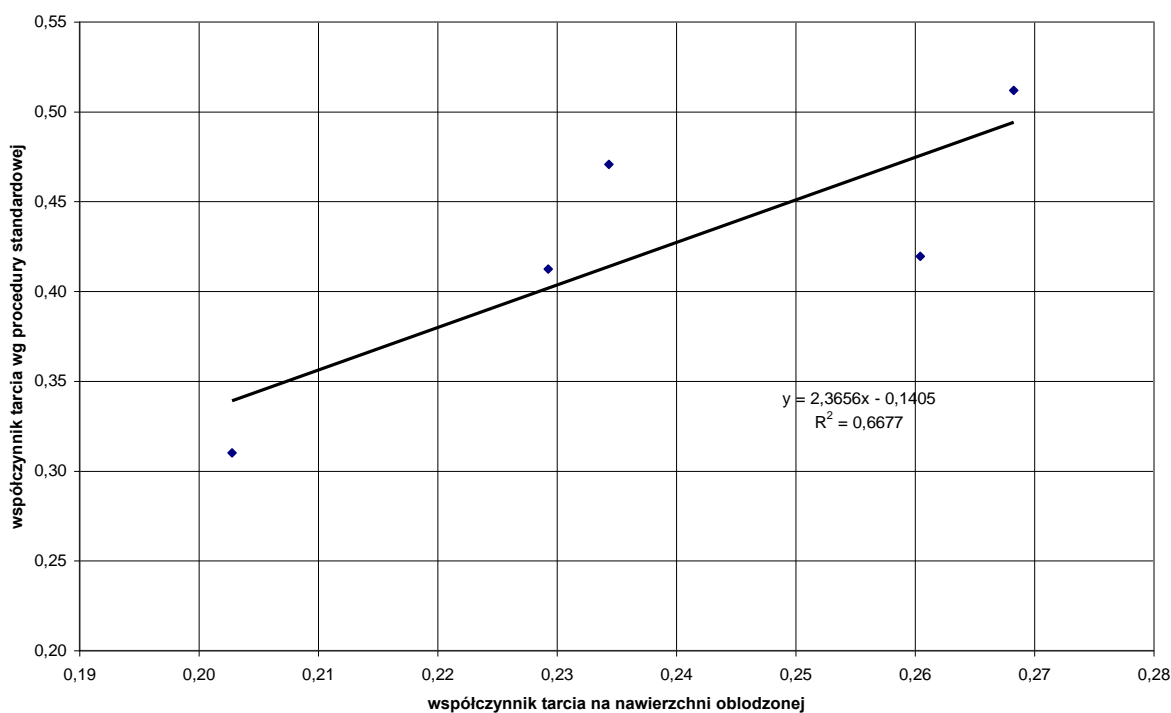
W celach porównawczych wykonano również badania współczynnika tarcia w warunkach naturalnego, powierzchniowego oblodzenia nawierzchni. Pomiary przeprowadzone na oblodzonej nawierzchni wykonano ze stałą prędkością 60 km/h, z częstotliwością co 50 m. Pomiary prowadzono bez zwilżania nawierzchni wodą. Wyniki pomiarów na wybranych odcinkach pomiarowych przedstawiono w Tabeli 9, gdzie podano również wyniki pomiarów współczynnika tarcia prowadzonych w ramach serii zimowej wg procedury standardowej.

Badaniami objęto małą liczbę odcinków z powodu problemów związanych z określeniem stanu nawierzchni. Trudno było określić, w którym momencie należy przeprowadzić badanie, tak by pomiar mógł być przeprowadzony na nawierzchni oblodzonej. Wszystkie odcinki wytypowane do badań w ramach niniejszej pracy są odśnieżane i posypywane w pierwszej kolejności. Dlatego do badań porównawczych (na oblodzonej nawierzchni) wytypowano odcinki, które znajdują się na terenie Warszawy, co pozwoliło na szybką reakcję ekipy pomiarowej na zmieniające się warunki atmosferyczne.

Ze względu na małą liczbę odcinków objętych badaniami, analizę uzyskanych danych ograniczono do ustalenia zależności między wynikami badań prowadzonych w różnych warunkach (Rysunek 24). Wynika z niej, że istnieje korelacja między wynikami z pomiarów na mokro i na sucho i wynosi ona  $R=0,81$ .

**Tabela 9 Wyniki badań na wybranych odcinkach wykonanych w serii zimowej wg procedury standardowej i na nawierzchni oblodzonej bez wody**

Odcinek	pomiar standardowe		pomiar na oblodzonej nawierzchni	
	4B	średnia	0,50	średnia
odchylenie standardowe		0,04	odchylenie standardowe	0,03
miarodajny wsp. tarcia		0,47	miarodajny wsp. tarcia	0,23
1A	średnia	0,33	średnia	0,23
	odchylenie standardowe	0,02	odchylenie standardowe	0,02
	miarodajny wsp. tarcia	0,31	miarodajny wsp. tarcia	0,20
2A	średnia	0,46	średnia	0,29
	odchylenie standardowe	0,04	odchylenie standardowe	0,03
	miarodajny wsp. tarcia	0,42	miarodajny wsp. tarcia	0,26
3A	średnia	0,44	średnia	0,27
	odchylenie standardowe	0,03	odchylenie standardowe	0,05
	miarodajny wsp. tarcia	0,41	miarodajny wsp. tarcia	0,23
4A	średnia	0,55	średnia	0,31
	odchylenie standardowe	0,03	odchylenie standardowe	0,04
	miarodajny wsp. tarcia	0,51	miarodajny wsp. tarcia	0,27



**Rysunek 24 Wykres zależności współczynnika tarcia zmierzonego wg procedury standardowej i na nawierzchni oblodzonej bez wody**

## 6. Wnioski

Przedmiotem pracy była ocena wpływu makrotekstury warstwy ścieralnej na zmienności właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni wykonanych w różnych technologiach z uwzględnieniem zmian klimatycznych w ciągu całego roku. W tym celu przeprowadzono badania współczynnika tarcia oraz głębokości tekstury metodą objętościową (MTD) i metodą profilometryczną (ETD) na 21 odcinkach badawczych. Na każdym odcinku wykonano 20 pomiarów współczynnika tarcia w czterech seriach pomiarowych oraz pomiar głębokości profilu metodą objętościową (w 2 punktach na każdym odcinku) i metodą profilometryczną (co 10 m na całej długości odcinka).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. Przeprowadzona analiza porównawcza wykazała, że istnieje bardzo słaba korelacja miarodajnego współczynnika tarcia z wartościami uzyskanymi w pomiarach głębokości tekstury metodą objętościową i metodą profilometryczną. Uzyskane współczynniki korelacji dla metody objętościowej wyniosły od 0,37 do 0,81, natomiast dla metody profilometrycznej od 0,44 do 0,60.
2. Najwyższy współczynnik korelacji (równy 0,81) między współczynnikiem tarcia, a głębokością tekstury mierzoną metodą objętościową uzyskano w jesiennej serii pomiarowej. Lepsza korelacja współczynnika tarcia i głębokości tekstury spowodowana była tym, że pomiary tych parametrów wykonane zostały w ramach tej samej serii pomiarowej.
3. Najwyższy współczynnik korelacji (równy 0,60) między współczynnikiem tarcia a głębokością tekstury mierzoną metodą profilometryczną uzyskano również w jesiennej serii pomiarowej. Jednak w tym wypadku pomiar głębokością tekstury przeprowadzono w jesieni rok po badaniach współczynnika tarcia. Wiązanie osiągniętej korelacji z porą roku wydaje się dość ryzykowne, zwłaszcza, że współczynnik korelacji w skali całego roku wynosi średnio 0,54 i zmienia się w relatywnie małym zakresie tj. od 0,44 do 0,60.
4. W przypadku odcinków wykonanych w technologii BA istnieje słaba korelacja między miarodajnym współczynnikiem tarcia i wartościami uzyskanymi w pomiarach głębokości tekstury metodą objętościową i metodą profilometryczną. Uzyskany współczynnik korelacji dla metody objętościowej wynosi 0,74, natomiast dla metody profilometrycznej 0,54. W odniesieniu do pozostałych technologii stwierdzono brak korelacji między badanymi parametrami.
5. Z przedstawionych danych wynika, że decydujący wpływ na wartość uzyskiwanego współczynnika korelacji może mieć moment wykonywania pomiarów. Wydaje się, że aby osiągnąć wysokie współczynniki korelacji oba parametry powinny być mierzone w tym samym czasie. W przypadku pomiarów głębokości tekstury metodą profilometryczną duże znaczenie będzie miał również wybór toru pomiaru.

Pomimo dużej ilości danych nie udało się wyznaczyć ścisłych zależności między współczynnikiem tarcia a głębokością tekstury. Przedstawione w niniejszej pracy dane pozwalają jednak sformułować następujące wnioski:



- W celu osiągnięcia lepszej korelacji między badanymi parametrami prace pomiarowe powinny być prowadzone w okresie od połowy maja do połowy września - w okresie tym uzyskano najlepsze wartości współczynnika korelacji, szczególnie w odniesieniu do pomiaru głębokości tekstury metodą objętościową. Niniejszy wniosek jest potwierdzeniem zaleceń zawartych w pracy [5].
- W trakcie pomiarów głębokości tekstury metodą profilometryczną szczególną uwagę należy zwrócić na wybranie tego samego co w pomiarach współczynnika tarcia toru pomiaru oraz na stan zawilgocenia nawierzchni. Stan zawilgocenia nawierzchni może mieć decydujący wpływ na uzyskiwane wyniki. W ramach niniejszej pracy wykonano pomiar głębokości tekstury metodą profilometryczną w dwóch seriach. Niestety jedną z nich, wykonaną wraz z pomiarami współczynnika tarcia w serii jesiennej odrzucono, z powodu błędnych wyników wywołanych zbyt dużym zawilgoceniem nawierzchni.
- Przy tak słabej korelacji wydaje się niewłaściwe wiązanie głębokości tekstury z właściwościami przeciwpoślizgowymi nawierzchni, tak jak to ma miejsce np. w Rozporządzeniu [6]. Na podstawie danych przedstawionych w niniejszej pracy jak również wniosków zawartych w pracy [5] można stwierdzić, że pomiar głębokości tekstury powinien być parametrem uzupełniającym ocenę właściwości przeciwpoślizgowych.

## **Bibliografia**

- [1] System Oceny Stanu Nawierzchni SOSN - Wytyczne Stosowania;  
[http://www.gddkia.gov.pl/html/sosn\\_wytyczne\\_zal\\_d.htm](http://www.gddkia.gov.pl/html/sosn_wytyczne_zal_d.htm)
- [2] EN-13036-1: Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych – Metody badań-Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury sposobem objętościowym
- [3] ISO-13473-1: Cechy powierzchniowe – Metody badań-Część 1: Oznaczenie średniej głębokości profilu
- [4] Sybilski D., Mechowski T., Hanula W.; Zalecenia doboru technologii wykonanie warstwy ścieralnej nawierzchni asfaltowych ze względu na jej właściwości przeciwpoślizgowe, IBDiM 1997
- [5] Mechowski T. wraz z zespołem; Badania poznawcze wpływu sezonowości i warunków zewnętrznych na zmienność współczynnika tarcia nawierzchni drogowych, IBDiM 2002
- [6] Rozporządzenie DZ.U.02.12.116 z dnia 16 stycznia 2002 roku w sprawie przepisów techniczno budowlanych dotyczących autostrad płatnych