

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
Zakład Diagnostyki Nawierzchni

SPRAWOZDANIE
z realizacji pracy TD-36 pt.:
**„Zalecenia doboru technologii wykonania
warstwy ścieralnej nawierzchni asfaltowych
ze względu na jej właściwości przeciwpoślizgowe”**

Zleceniodawca GDDP, umowa nr 82/TD/97

Opracowali:

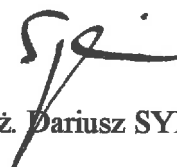
dr hab. inż. Dariusz SYBILSKI
mgr inż. Tomasz MECHOWSKI
mgr inż. Wojciech HANULA

Kierownik Zakładu
Diagnostyki Nawierzchni



mgr inż Tomasz MECHOWSKI

Kierownik Zakładu
Technologii Nawierzchni



dr hab. inż. Dariusz SYBILSKI

Warszawa, listopad 1997

SPIS TREŚCI

Określenia i definicje	3
1. Wprowadzenie. Podstawa i cel pracy	4
2. Metodyka badawcza. Opis stosowanych metod pomiaru współczynnika przyczepności	5
3. Opis urządzenia SRT-3	11
4. Metody pomiaru tekstury nawierzchni	16
5. Odcinki wytypowane do badań	17
6. Zestawienie wyników badań	20
7. Analiza wyników pomiarów	30
7.1 Wpływ technologii wykonania warstwy ścieralnej	30
7.2 Wpływ kruszywa i uziarnienia mieszanki	40
7.3 Wpływ lepiszcza	40
7.4 Zmiany w czasie	42
7.5 Analiza maksymalnej wartości współczynnika przyczepności oraz tekstury nawierzchni	44
8. Porównanie z kryteriami oceny wg SOSN i z wymaganiami dot. autostrad płatnych i dróg publicznych - ocena możliwości spełnienia wymagań	51
9. Zakończenie i wnioski	52
Piśmiennictwo	54
Załącznik nr 1 - Wyniki pomiarów współczynnika przyczepności nawierzchni wytypowanych odcinków	
Załącznik nr 2 - Wyniki pomiarów tekstury nawierzchni wytypowanych odcinków	

OKREŚLENIA I DEFINICJE

W celu ujednoczenia terminologii, przyjęto następujące określenia i definicje ważniejszych pojęć stosowanych w opracowaniu:

Przyczepność nawierzchni - Charakterystyka stanu warstwy ścieralnej w zakresie własności antypoślizgowych. Mikronierówności występujące na powierzchni jezdni charakteryzowane są przy wykorzystaniu zjawiska przenoszenia sił oporu generowanych na styku powierzchni drogi i koła poruszającego się po niej pojazdu.

Tekstura nawierzchni - geometryczny opis mikronierówności powierzchni jezdni. Charakterystyka statyczna określająca własności antypoślizgowe nawierzchni.

Współczynnik przyczepności - stosunek wypadkowej sił stycznych, rozwijanych między kołami poruszającego się pojazdu, a nawierzchnią drogi do wypadkowej reakcji normalnych. Stosowany jako liczbowa miara przyczepności.

Miarodajny współczynnik przyczepności - wartość współczynnika przyczepności odpowiadająca kwantylowi rzędu 0,273.

Maksymalny współczynnik przyczepności - wartość współczynnika przyczepności nawierzchni uzyskiwana przy niepełnej blokadzie koła pomiarowego, przy częściowym poślizgu (najczęściej $s = 10-15\%$)

1 Wprowadzenie. Podstawa i cel pracy

W światowych statystykach wypadków drogowych największą winę przypisuje się użytkownikom drogi, czyli kierowcom pojazdów oraz pieszym. Nie może jednak budzić wątpliwości fakt, że stan nawierzchni drogi może być niejednokrotnie głównym powodem zaistnienia wypadku. Cechami nawierzchni mającymi bezpośredni związek z bezpieczeństwem ruchu są właściwości przeciwpoślizgowe, równość oraz zdolność odbijania i pochłaniania światła. Największe znaczenie ze względu na wagę skutków mają właściwości przeciwpoślizgowe, których miarą jest najczęściej współczynnik przyczepności mierzony z zastosowaniem znormalizowanych metod pomiarowych.

Administracje drogowe na całym świecie prowadzą systematyczną kontrolę współczynnika przyczepności na podległych sobie odcinkach sieci drogowej. Służy ona wykrywaniu odcinków nawierzchni o niedostatecznych własnościach przeciwpoślizgowych i podejmowaniu odpowiednich działań zmierzających do poprawy bezpieczeństwa ruchu

Aktualnie obserwuje się w Polsce coraz silniejszą tendencję do obarczania instytucji administrujących drogami odpowiedzialnością finansową za wypadki spowodowane złym stanem technicznym nawierzchni, w tym również niedostateczną przyczepnością. Konsekwencją tego musi być zaostrzenie wymagań jakościowych w zastosowaniu do materiałów i technologii wykonania nowych warstw ścieralnych oraz odpowiednich zabiegów utrzymaniowych dla nawierzchni eksploatowanych.

Niniejsza praca została wykonana na zlecenie GDDP (umowa nr 82/TD/97), a jej przedmiotem jest ocena własności przeciwpoślizgowych warstw ścieralnych nawierzchni, wykonanych w okresie ostatnich kilku lat, na wybranych odcinkach dróg krajowych. Do oceny wytypowano nawierzchnie wykonane w technologii betonu asfaltowego, SMA, cienkiej warstwy na zimno oraz cienkiej warstwy na gorąco z mieszanki o nieciąglym uziarnieniu.

Praca miała na celu uzyskanie danych mogących posłużyć odpowiedzi na następujące pytania:

- jaki współczynnik przyczepności może być uzyskany w technologiach robót nawierzchniowych stosowanych obecnie w Polsce?
- czy można praktycznie uzyskać wymagania, jakie określone są wobec nawierzchni drogowych?
- jakie zalecenia należy sformułować wobec podstawowych technologii robót nawierzchniowych?

W badaniach uwzględniono technologie robót nawierzchniowych powszechnie stosowanych w Polsce do wykonywania warstwy ścieralnej: betonu asfaltowego i mieszankę SMA, ale również znaną od lat we Francji i wdrażaną w innych krajach europejskich i w Polsce cienką warstwę na gorąco z mieszanki o nieciąglym uziarnieniu. Te technologie mogą być stosowane do wykonywania warstw ścieralnych w nowych lub remontowanych konstrukcjach nawierzchni. Uwzględniono również typową technologię utrzymania nawierzchni – cienką warstwę na zimno. Nie wzięto pod uwagę powierzchniowego utrwalenia, uznając, że jest wystarczająco wiele danych z pomiarów wykonanych w ubiegłych latach oraz, że wiadoma jest możliwość uzyskania wysokiego współczynnika przyczepności. Włączono do badań odcinek wykonany w technologii specjalnej z boksytami spiekanymi na żywicy poliuretanowej. Technologia ta znana jest od kilkudziesięciu lat (Shellgrip), lecz w Polsce pojawiła się praktycznie dopiero w 1997r. Nawierzchnię taką, ze względu na znane zalety przeciwpoślizgowe, można uznać za jedną z najbardziej szorstkich, spotykanych w świecie.

2 Metodyka badawcza. Opis stosowanych metod pomiaru współczynnika przyczepności

Administracje drogowe w różnych krajach stosują zróżnicowane klasyfikacje do oceny przyczepności nawierzchni, dostosowane do użytkowanej aparatury pomiarowej. Wartość współczynnika przyczepności zależy od wielu, często złożonych czynników. Z dotychczasowych badań wynika, że największy wpływ na właściwości przeciwpoślizgowe mają:

- rodzaj i stan techniczny nawierzchni,
- prędkość ruchu pojazdu,
- głębokość i stan rzeźby bieżnika opony,
- głębokość filmu wodnego na powierzchni jezdni.

Współczynnik przyczepności maleje wraz ze wzrostem prędkości ruchu pojazdu. Maleje również przy zwiększaniu ilości wody na nawierzchni. Na pogorszenie właściwości przeciwpoślizgowych mają również wpływ nierówności podłużne, wskutek chwilowej utraty kontaktu opony z nawierzchnią oraz nierówności poprzeczne (koleiny), które akumulują grube warstwy wody.

Pomiar współczynnika przyczepności nawierzchni w skali sieci drogowych wykonywany jest obecnie na świecie z zastosowaniem trzech grup aparatów. Z założenia służą one do oceny tego samego zjawiska, jednak zróżnicowanie konstrukcyjne układów pomiarowych sprawia, że pomiarowi podlegają różne charakterystyki fizyczne. Z zastosowaniem aparatów poszczególnych grup wykonywany jest pomiar:

- sił oporu działających prostopadle do płaszczyzny koła pomiarowego, odchylonego o kąt 20° względem kierunku ruchu. Pomiar wykonywany jest aparatami typu SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine). W wyniku określany jest współczynnik przyczepności tarcia bocznego SFC,
- sił hamujących, działających na koło pomiarowe zablokowane w 80 - 90%, którego płaszczyzna obrotu jest zgodna z kierunkiem ruchu aparatu. Aparatura pomiarowa zapewnia możliwość symulowania systemu ABS (Anti-Block-System). W wyniku określana jest maksymalna wartość siły tarcia oraz odpowiadający jej maksymalny współczynnik przyczepności podłużnej, lub tzw. BSN (Brake Slip Number),
- sił hamujących, działających na koło pomiarowe zablokowane w 100%, ustawione zgodnie z kierunkiem ruchu aparatu. W wyniku określana jest średnia wartość współczynnika przyczepności tarcia podłużnego, lub tzw. SN (Skid Number).

Klasyfikacje przyczepności nawierzchni stosowane w niektórych krajach europejskich:

A. Francja

Rutynowa ocena przyczepności nawierzchni wykonywana jest dla potrzeb zarządzania siecią drogową z wykorzystaniem aparatów SCRIM, rys. 1. Pomiar wykonywany jest z prędkością 60 km/h na mokrej nawierzchni. Wynikiem pomiaru jest współczynnik tarcia bocznego SFC.

Klasyfikacja:

- SFC $> 0,25$ - priorytet nr 1 prac utrzymaniowych,
- SFC 0,25 do 0,45 - priorytet nr 2 prac utrzymaniowych. W przypadku złej geometrii - priorytet nr 1,
- SFC 0,45 do 0,55 - priorytet nr 2 lub 3 prac utrzymaniowych.

Wybór priorytetu prac utrzymaniowych warunkowany jest stanem technicznym warstwy powierzchniowej oraz równością podłużną nawierzchni.

Wybór priorytetu prac utrzymaniowych warunkowany jest stanem technicznym warstwy powierzchniowej oraz równością podłużną nawierzchni.

We Francji stosowana jest również przyczepka LCPC. Pomiar wykonywany jest na mokrej nawierzchni, z zastosowaniem pełnej blokady koła pomiarowego i przy różnych prędkościach. W wyniku uzyskiwana jest charakterystyka przyczepności nawierzchni w postaci zależności $\mu = \mu(v)$, gdzie μ - współczynnik przyczepności podłużnej, v - prędkość pomiarowa.

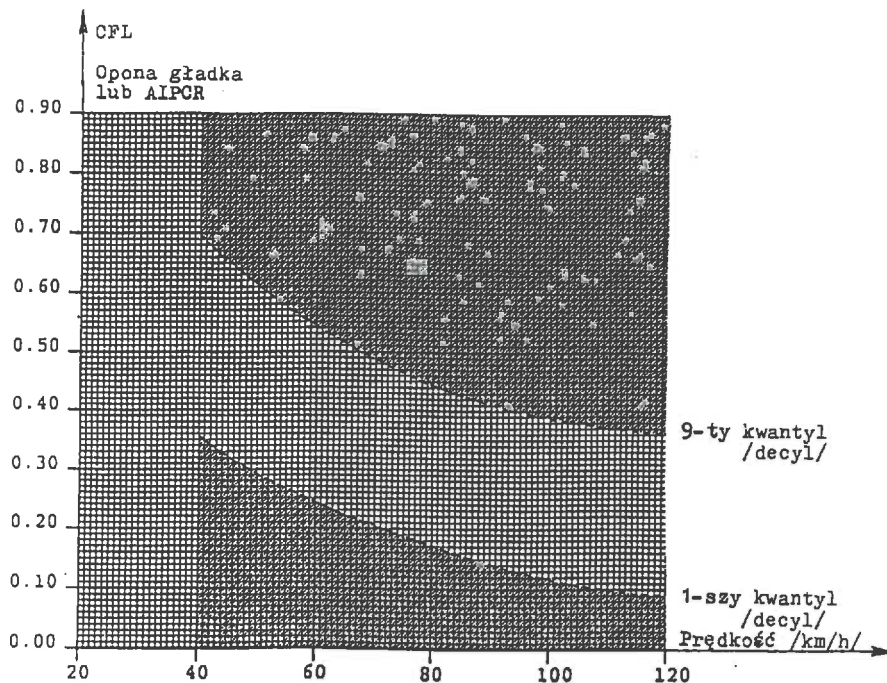
Na rys. 3. przedstawiony jest nomogram służący do oceny uzyskanej charakterystyki przyczepności nawierzchni. Jeżeli mieści się ona w zaznaczonym na wykresie jaśniejszym obszarze, to nawierzchnię można uznać za wykonaną prawidłowo.



Rys. 1. Aparat SCRIM



Rys. 2. Przyczepka LCPC



Rys. 3. Nomogram do oceny charakterystyk przyczepności nowych warstw ścieralnych

B. Belgia

Pomiar współczynnika przyczepności wykonywany jest aparatem o nazwie Odoliograph, rysunek 4. Zasada pomiaru - jak w aparatach typu SCRIM - koło pomiarowe odchylone o kąt 20° względem kierunku ruchu pojazdu. Pomiar wykonywany jest na mokrej nawierzchni.

Prędkość pomiarowa:

- 80 km/h - autostrady i drogi o min. czterech pasach ruchu,
- 50 km/h - pozostałe drogi.

Na całej sieci drogowej, zarządzanej przez flamandzką i walońską administrację drogową, wymagany jest współczynnik przyczepności:

$$SFC > 0,45$$



Rys. 4. Odoliograph

C. Holandia

Pomiar współczynnika przyczepności nawierzchni wykonywany jest przyczepką DWW, rys. 5. Pomiar jest realizowany na mokrej nawierzchni, z prędkością 50 km/h i przy zastosowaniu niepełnej blokady koła pomiarowego (84% poślizgu).

Klasyfikacja nawierzchni ze względu na przyczepność warstwy ścieralnej:

- $f < 0,2$ - niebezpieczna,
- $0,24 < f < 0,30$ - bardzo śliska,
- $0,31 < f < 0,37$ - śliska,
- $0,38 < f < 0,44$ - wątpliwa,
- $0,45 < f < 0,51$ - średnia,
- $0,52 < f < 0,72$ - szorstka,
- $f > 0,72$ - bardzo szorstka.

W systemowej ocenie szorstkości nawierzchni związanej z bieżącym utrzymaniem sieci drogowej przyjmuje się, że nawierzchnia znajduje się w stanie ostrzegawczym jeżeli:

$$f < 0,45$$

Nawierzchnia znajduje się w stanie krytycznym, jeżeli:

$$f < 0,37$$



Rys. 5. Aparat DWW

D. Dania

Pomiar wykonywany jest aparatem o nazwie Stradograph, rys. 6., wyposażonym w dwa koła pomiarowe o ukośnym ustawieniu względem kierunku jazdy. Nawierzchnia zraszana jest wodą w czasie pomiaru. Prędkość pomiarowa 60 km/h.

Wynik pomiaru - dla obydwu torów pomiarowych wyznaczany jest współczynnik tarcia bocznego (SFC), uśredniany dla kolejnych odcinków o długości 100 m. Zgodnie z zaleceniami duńskiego prawa drogowego, na wszystkich drogach wymagany jest współczynnik tarcia:

$$SFC > 0,40$$



Rys. 6. Stradograph

E. Hiszpania

W rutynowych działaniach pomiary współczynnika przyczepności wykonywane są aparatem typu SCRIM, z zastosowaniem prędkości 50 km/h oraz zraszaniem nawierzchni wodą. Na krótkich odcinkach dróg do pomiaru współczynnika przyczepności wykorzystywane jest wahadło angielskie.

Wartości progowe klasyfikacji stanu przyczepności nawierzchni ustalone są z zastosowaniem współczynników przyczepności tarcia bocznego:

- SFC > 0,50 - stan dobry,
- 0,50 > SFC > 0,40 - stan niezadowolający,
- 0,40 > SFC - stan zły, odnowa warstwy ścieralnej.

Nowe warstwy ścieralne powinny charakteryzować się wartością współczynnika przyczepności tarcia bocznego:

$$SFC > 0,65$$

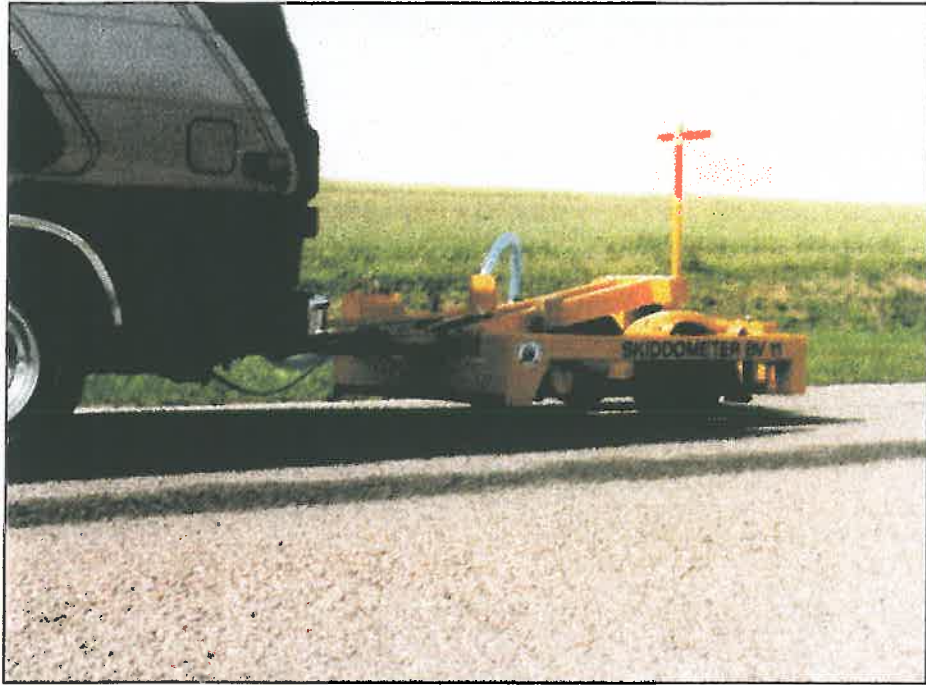
F. Szwecja

Pomiar współczynnika przyczepności wykonywany jest aparatem Skiddometer BV11, rys. 7. Pomiar wykonywany jest na mokrej nawierzchni, z prędkością 70 km/h i przy zastosowaniu niepełnej blokady koła pomiarowego (83% poślizgu).

Wynik pomiaru - współczynnik tarcia podłużnego f odpowiadający maksymalnym, uśrednionym wartościom siły tarcia, lub liczba BSN.

W zastosowaniu do nowych warstw ścieralnych, odpowiednie przepisy prawa drogowego w Szwecji mówią:

„Współczynnik tarcia, oznaczany jako wartość średnia dla odcinków o długości 20 m, powinien mieć wartość nie niższą niż 0,40 przez okres do końca roku, w którym wykonano nową warstwę oraz przez kolejne dwa lata”.



Rys. 7. Skiddometer BV11

3. Opis urządzenia SRT-3

Badanie przyczepności nawierzchni drogowych ma w Polsce już ponad 30-letnią historię. Pierwsze urządzenie, przeznaczone specjalnie do tego celu, powstało w roku 1964 z inicjatywy ówczesnego Dyrektora COBiRTD (obecnie IBDiM) - mgr inż. J. Królikowskiego - przy współpracy Katedry Ciągników Politechniki Warszawskiej. W tym okresie, w przewidywaniu masowych badań przyczepności na sieci dróg krajowych, przesądzony został wybór metody i warunków pomiaru. Spośród różnych możliwości wybrano metodę pomiaru współczynnika tarcia obwodowego (wzdłużnego) opony testowej względem nawierzchni - przy zerowym kącie odchylenia koła pomiarowego od kierunku ruchu, co w praktyce okazało się wyborem słusznym. Uznano przy tym, że najtrudniejsze warunki hamowania występują przy pełnej blokadzie kół pojazdu na nawierzchni mokrej i odtworzeniu takich warunków w czasie badań zostało podporządkowane rozwiązanie konstrukcyjne przyczepy dynamometrycznej.

Pełna blokada koła pomiarowego na nawierzchni mokrej stanowiła również główną zasadę pomiaru w bardziej nowoczesnych zestawach pomiarowych o nazwie SRT-2, wprowadzonych do eksploatacji w liczbie 6-ciu egzemplarzy w roku 1981 i w ich zmodernizowanej postaci SRT-3, rys. 8., wprowadzonych do eksploatacji w liczbie 9-ciu egz. w roku 1995 i 1996.

Aktualnie posiadaczami zestawów pomiarowych są Okręgowe Laboratoria Drogowe w Białymstoku, Gdańsku, Kielcach, Koszalinie, Łodzi, Lublinie, Olsztynie, Poznaniu i Wrocławiu. Ponadto jeden zestaw SRT-3 znajduje się w posiadaniu IBDiM i wykorzystywany jest głównie do celów naukowo-badawczych. Aparat ten uczestniczył w 1992 roku w badaniach porównawczych w ramach Międzynarodowego Eksperymentu zorganizowanego przez PIARC na drogach Belgii i Hiszpanii z udziałem 27 różnych urządzeń pomiarowych z 16 krajów.



Rys. 8. Zestaw pomiarowy SRT-3

W skład zestawu pomiarowego SRT-3 wchodzi:

- jednośladowa przyczepka dynamometryczna,
- samochód holujący,
- elektroniczna aparatura kontrolno-pomiarowa.

Główne dane techniczne zestawu pomiarowego:

1. Obciążenie nominalne koła pomiarowego w przyczepce dynamometrycznej $Q = 3000 \text{ N}$,
 2. Opona pomiarowa gładka 165 R13 z obwodowymi rowkami (Dębica TC), która zastąpiła dotychczas stosowaną oponę bieżnikowaną 5,60 S13 (Stomil - Olsztyn),
 3. Standardowa prędkość pomiarowa 60 km/h,
 4. Zakres prędkości pomiarowych $v = 30$ do 120 km/h,
 5. Możliwości pomiarowe:
 - pomiar współczynnika przyczepności przy pełnej blokadzie koła dwoma metodami - poprzez pomiar momentu hamującego oraz poprzez bezpośredni pomiar siły hamującej (siły przyczepności) - wolnej od oddziaływania momentu stycznych sił bezwładności,
 - pomiar maksymalnej wartości współczynnika przyczepności (przy danej prędkości pomiarowej),
 - pomiar siły w zawieszeniu przyczepy dynamometrycznej w celu uściślenia reakcji normalnej pod kołem pomiarowym,
 - pomiar siły oporów toczenia (współczynnika oporów toczenia),
 - automatyczne lub ręczne hamowanie co 50 lub 100 m drogi (lub inne ustalone odcinki),
 - możliwość pomiaru współczynnika przyczepności na łukach,
 6. Hydropneumatyczny system hamowania,
 7. Pneumatyczny system wypływu wody,
 8. Regulowany czas hamowania (w badaniach standardowych ok. 1 s),
 9. Regulowany czas uśredniania mierzonych wielkości (w badaniach standardowych ok. 0,5 s).
- Automatyzacja procesu hamowania i rejestracja wyników pomiarów odbywa się przy użyciu komputera pokładowego i specjalnie skonstruowanego układu kontrolno-pomiarowego. Wszystkie wyniki pomiarów uwidaczniane są w czasie rzeczywistym na ekranie monitora. Podawane są następujące wartości z każdego hamowania:

- prędkość pomiarowa,
- współczynnik przyczepności określony w torze pomiaru momentu - μM ,
- współczynnik przyczepności określony w torze pomiaru siły przyczepności - μF ,
- współczynnik przyczepności skorygowany stosownie do zmian reakcji w zawieszeniu przyczepy dynamometrycznej w czasie pomiarów - μk ,
- stosunek uśrednionej reakcji dynamicznej do statycznej w zawieszeniu przyczepy dynamometrycznej w czasie pomiarów - F_z ,
- droga przebyta przez zestaw - dyst,
- informacje diagnostyczne - err.

Na żądanie operatora istnieje możliwość zapamiętania i wizualizacji wszystkich przebiegów danego procesu hamowania.

Dotychczasowa metodyka badań przyczepności nawierzchni drogowych, stosowana w polskim drogownictwie, bazuje na pomiarze siły tarcia F rozwijanej między kołem pomiarowym a nawierzchnią drogi w warunkach pełnej blokady koła pomiarowego, tj. przy poślizgu $s = 100\%$.

Odniesienie wartości tej siły do wartości reakcji normalnej Q pozwala na określenie wartości bezwymiarowej, nazywanej współczynnikiem przyczepności

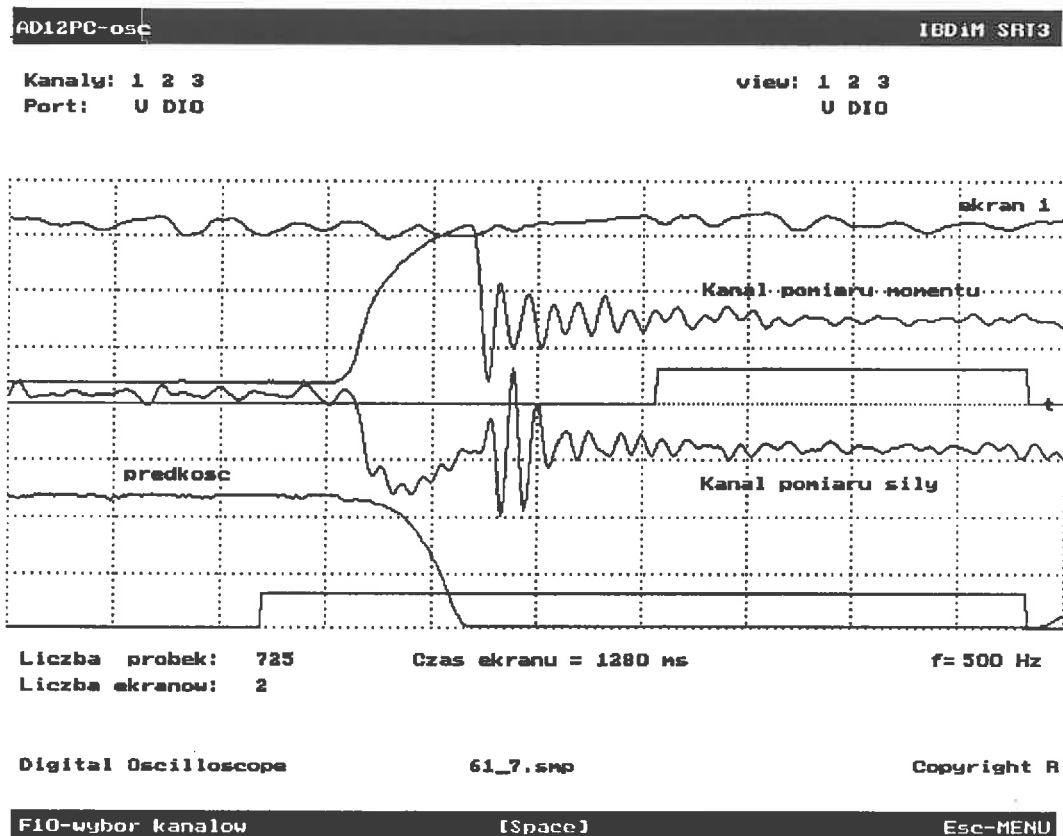
$$\mu = \frac{F}{Q} \quad (1)$$

Na pomiarach i analizie zbioru wartości (1) oparte są kryteria oceny i utrzymania nawierzchni drogowych w Polsce. W wielu innych krajach jako kryterium oceny przyjmuje się wartości współczynnika przyczepności przy niepełnej blokadzie koła pomiarowego, a więc przy częściowym poślizgu, najczęściej $s=10\div 15\%$, przy której to wartości występuje z reguły maksymalna wartość współczynnika przyczepności μ_{\max} . Do rzadkości należą urządzenia, które pozwalają na równoczesny pomiar zarówno wartości μ przy pełnym poślizgu, jak i wartości μ_{\max} przy częściowym poślizgu. Taką własność, do tej pory nie wykorzystywaną w badaniach masowych, posiada również urządzenie SRT-3.

Jednym z elementów pracy była ocena maksymalnej wartości współczynnika przyczepności na każdym odcinku testowym, w miarę możliwości przy trzech prędkościach pomiarowych - z wykorzystaniem metodyki i programu komputerowego opracowanych przez dr inż. B. Szwabika i mgr inż. J. Pokorskiego.

Na rys. 9. przedstawiony został rzeczywisty obraz wszystkich przebiegów, rejestrowanych w czasie każdego lub wybranego cyklu pomiarowego - jako funkcji czasu. W części górnej zarejestrowany jest przebieg momentu hamującego, obciążony w przejściowej fazie procesu hamowania (gdy koło pomiarowe zmienia swą prędkość kątową od $\omega_k = \omega_0$ do $\omega_k = 0$) momentem stycznych sił bezwładności. W części dolnej zarejestrowany jest przebieg siły tarcia pod kołem pomiarowym, wolnej od oddziaływań momentu stycznych sił bezwładności. W fazie pełnego poślizgu ($s=100\%$) oba przebiegi są równoważne i pozwalają na określenie wartości współczynnika przyczepności μ zgodnie z zależnością (1), przy pełnej blokadzie koła pomiarowego.

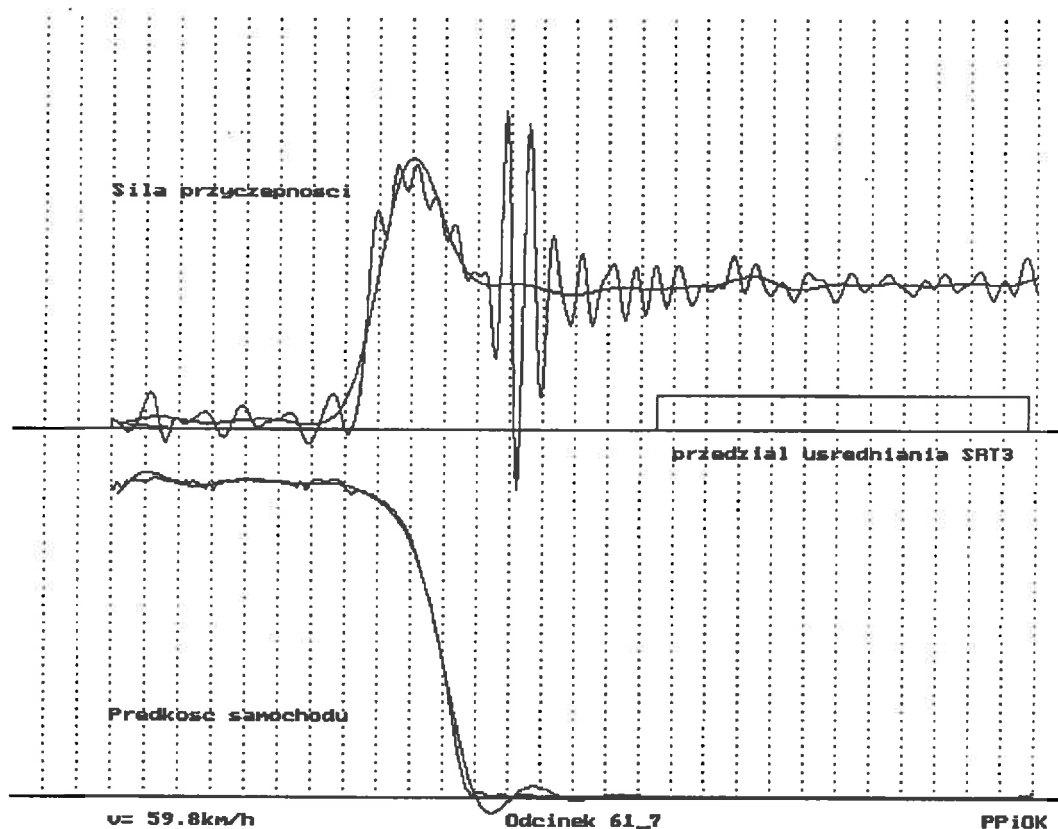
W celu określenia maksymalnej wartości współczynnika przyczepności wykorzystywany jest przebieg siły tarcia, jako funkcji czasu (przebieg dolny).



Rys.9. Sygnały pomiarowe rejestrowane w czasie badań.

Na rys. 10. przedstawiono przebieg siły tarcia, jako funkcji czasu, wyodrębniony (i odwrócony) z rys. 9. oraz przebieg prędkości kątowej koła pomiarowego, również jako funkcji czasu.

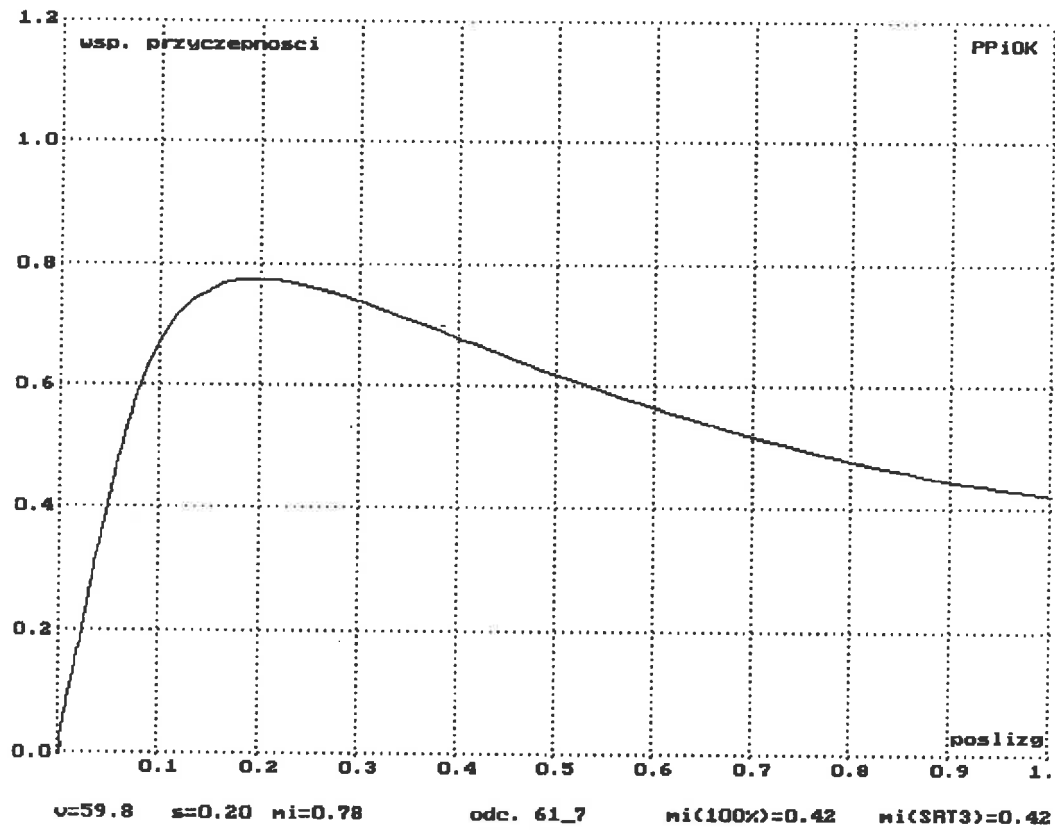
Na wykresy nałożone są przebiegi odfiltrowane od składowych wyższego rzędu, dzięki czemu nabierają one cech przebiegów rzeczywistych, dogodnych do dalszego przetwarzania: $\mu = f(t)$ i $s = f(t)$. Przez wyrugowanie czasu z przebiegów jw. otrzymać można bezpośrednią zależność współczynnika przyczepności od poślizgu $\mu = f(s)$ przy danej prędkości pomiarowej, stałej w danym procesie hamowania urządzenia pomiarowego (np. $v = 30, 60, 90 \text{ km/h}$).



Rys.10. Filtracja siły tarcia (przyczepności) i prędkości obrotowej koła.

Na rys. 11. przedstawiono przebieg zależności $\mu = f(s)$, z którego można odczytać zarówno wartość współczynnika przyczepności μ (przy pełnym poślizgu), wartość współczynnika przyczepności μ_{\max} (przy częściowym poślizgu), jak i wartość poślizgu s , przy którym zachodzi μ_{\max} .

Znajomość wartości tych trzech wielkości dostarcza więcej informacji o cechach badanych nawierzchni drogowych, niż znajomość jednej tylko wartości μ (przy pełnym poślizgu), wykorzystywanej dotychczas dla oceny nawierzchni drogowych.



Rys.11. Zmienność współczynnika przyczepności w funkcji poślizgu koła.

4. Metody pomiaru tekstury nawierzchni

Geometrię nierówności warstwy jezdnej nawierzchni opisuje tekstura nawierzchni. Makroteksturę tworzą nierówności na powierzchni warstwy ścieralnej spowodowane wystającymi ziarnami kruszywa. Zależy ona od składu materiału, z którego jest wykonana warstwa ścieralna oraz od technologii jej wbudowania. Mikroteksturę natomiast tworzą drobne nierówności o głębokości dziesiątych części milimetra, spowodowane wystającymi ziarnami drobnego kruszywa lub chropowatością powierzchni wystających grubych ziaren. W przypadku niewielkich prędkości, duży współczynnik przyczepności na mokrej drodze wykazuje nawierzchnia o szorstkiej teksturze w skali mikro. W miarę zwiększania prędkości wielkość przyczepności w coraz większym stopniu zależy od wartości tekstury w skali makro. Innymi słowy, spadek współczynnika przyczepności wraz ze wzrostem prędkości jest tym mniejszy im głębiej tekstura powierzchni jezdni jest większa.

Pomiar tekstury nawierzchni wykonywany jest obecnie na świecie najróżniejszymi metodami, bazującymi zarówno na starych, wypróbowanych sposobach jak i wykorzystujących najnowsze zdobycze techniki. Generalnie urządzenia i metody pomiaru tekstury można, tak jak w przypadku pomiaru współczynnika przyczepności, podzielić na trzy grupy:

- pomiar wykonywany z dużą prędkością - bazujące głównie na rejestracji nierówności urządzeniami wykorzystującymi laser oraz wykorzystującymi kamery CCD,
- pomiar stacjonarny lub z małą prędkością na suchej nawierzchni - są to m.in.: metoda piasku kalibrowanego (ASTM E-965), fotografia stereograficzna, metoda kalibrowanych kulek szklanych,
- pomiar stacjonarny lub z małą prędkością na mokrej nawierzchni - metoda bazująca na pomiarze czasu wypływu znormalizowanej ilości cieczy oraz metoda wahadła angielskiego.

W niniejszej pracy przyjęto do pomiaru tekstury tzw. metodę piasku kalibrowanego. Pomiar polega na określeniu powierzchni koła utworzonego z rozsypanego na nawierzchni piasku o granulacji 0,15 do 0,30 mm o objętości 25 cm³. Piasek rozgarnia się w taki sposób aby dokładnie wypełnić wszystkie drobne wgłębienia na jak największej powierzchni. Objętość piasku podzielona przez powierzchnię utworzonego przez piasek koła daje średnią głębokość nierówności, którą przyjęto za miarę tekstury nawierzchni.

5 Odcinki wytypowane do badań

Do pomiarów współczynnika przyczepności i tekstury wytypowano 42 odcinki nawierzchni, na których warstwa ścieralna wykonana została w jednej z czterech technologii: betonu asfaltowego, SMA, cienkiej warstwy na zimno oraz z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu. Wykonano również pomiary na odcinku z warstwą ścieralną ułożoną w specjalnej technologii uszorstnienia oraz na odcinku wykonanym w technologii betonu cementowego.

Dane dotyczące lokalizacji odcinków badawczych, wykonawcy, roku wykonania, zastosowanego kruszywa i lepiszcza zestawiono poniżej:

Odcinek nr 1 - Trasa Toruńska w Warszawie, km 7+600 do 6+600, wykonany przez WPRD Warszawa w roku 1994, w technologii SMA, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 2 - Droga nr 8, km 10+000 do 11+000, wykonany przez WPRD Warszawa w roku 1990, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70,

Odcinek nr 3 - Droga nr 17, km 17+000 do 18+000, wykonany przez PRD w Kołbieli w roku 1989, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70,

Odcinek nr 4 - Droga nr 18, km 23+600 do 22+600, wykonany przez WPRD Warszawa w roku 1990, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70,

Odcinek nr 5 - Most Śląsko-Dąbrowski w Warszawie, odcinek wykonany przez MPRD Warszawa w roku 1993, w technologii SMA, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 6 - Ul. Górnośląska w Katowicach, km 343+000 do 344+900, wykonany przez PRInż Katowice w roku 1995, w technologii SMA, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm +elastomeroasfalt,

Odcinek nr 7 - Droga nr 4, km 440+950 do 441+950, wykonany przez „Dromost” z Bochni, w roku 1995, w technologii SMA, kruszywo dolomitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 8 - Odcinek pasa startowego na lotnisku w Grądach, wykonany przez PRD w Ostrowi Mazowieckiej, w roku 1997, w technologii SMA, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+Vestoplast,

Odcinek nr 11 - Dojazd do MDL-Okęcie, wykonany przez WPRD Warszawa, w roku 1992, w technologii SMA, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/11 mm, asfalt D70+Vestoplast,

Odcinek nr 12 - Most w Zakrocymiu, kierunek do Gdańska, wykonany przez WPRD Warszawa, w roku 1992, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70,

Odcinek nr 13 - Most w Zakrocymiu, kierunek do Warszawy, wykonany przez PRD w Płońsku, w roku 1992, w technologii SMA, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/11 mm oraz granitowe 2/8, asfalt D70+Vestoplast,

Odcinek nr 14 - Droga nr 24, km 2+200 do 3+200, wykonany przez PRID w Nowym Tomysłu, w roku 1993, w technologii SMA, kruszywo amfibolitowe i bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+Vestoplast,

Odcinek nr 15 - Droga nr 24, km 2+200 do 3+200, wykonany przez PRID w Nowym Tomysłu, w roku 1993, w technologii SMA, kruszywo amfibolitowe i bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+Vestoplast+Arbocel,

Odcinek nr 16 - Droga nr 24, km 2+200 do 3+200, wykonany przez PRID w Nowym Tomyślu, w roku 1993, w technologii SMA, kruszywo amfibolitowe i bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+Arbocel,

Odcinek nr 17 - Droga nr 10, odcinek od skrzyżowania z drogą nr 7, wykonany przez PRD w Płońsku, w roku 1993, w technologii SMA, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/6,3 mm, asfalt D70+Vestoplast,

Odcinek nr 18 - Ul. Warszawska w Częstochowie, wykonany przez „Ermet” Częstochowa, w roku 1997, w specjalnej technologii uszorstnienia, kruszywo boksytowe o uziarnieniu 4 mm, z lepiszczem poliuretanowym,

Odcinek nr 19 - Droga nr 784 w miejscowości Klekowiec, wykonany w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/8 mm, wytypowany jako odcinek porównawczy o bardzo złych właściwościach przeciwpoślizgowych,

Odcinek nr 20 - Wiadukt Saska w Warszawie, wykonany przez MPRD Warszawa, w roku 1996, w technologii cienkiej warstwy na gorąco z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu, kruszywo melafirowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 21 - Droga A4, km 49+000 do 50+000, wykonany przez „Dromex”, w roku 1997, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo diabazowe o uziarnieniu 0/20 mm, asfalt D50,

Odcinek nr 22 - Droga A4, km 59+000 do 60+000, wykonany przez „Tepol”, w roku 1997, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/20 mm, asfalt D50,

Odcinek nr 23 - Droga nr 945, km 21+192 do 23+775, wykonany przez Podhalańskie PRD w roku 1997, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 23 - Droga nr 945, km 21+192 do 23+775, wykonany przez Podhalańskie PRD w roku 1997, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 24 - Droga nr 942, km 9+539 do 10+722, wykonany przez Podhalańskie PRD w roku 1996, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 25 - Droga nr 952, km 11+305 do 13+350, wykonany przez Podhalańskie PRD w roku 1996, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 26 - Droga nr 776, km 14+034 do 18+100, wykonany przez Podhalańskie PRD w roku 1996, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 27 - Droga nr 957, km 50+500 do 52+500, wykonany przez Podhalańskie PRD w roku 1995, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 28 - Droga nr 957, km 52+500 do 54+500, wykonany przez Podhalańskie PRD w roku 1994, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 29 - Droga nr 98, km 108+200 do 107+200, wykonany przez PRDM Nowy Sącz w roku 1995, w technologii cienkiej warstwy na gorąco z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu, kruszywo dolomitowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 30 - Droga nr 99, km 62+000 do 61+000, wykonany przez PRDM Nowy Sącz w roku 1995, w technologii cienkiej warstwy na gorąco z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu, kruszywo dolomitowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 31 - Droga nr 99, km 38+600 do 39+400, wykonany przez PRDM Nowy Sącz w roku 1995, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo dolomitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 32 - Droga nr 78, km 69+400 do 74+600, wykonany przez „Makadam” Busko-Zdrój w roku 1996, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/5 mm,

Odcinek nr 33 - Droga nr 7, km 539+170 do 541+380, wykonany przez „Makadam” Busko-Zdrój w roku 1993, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/5 mm,

Odcinek nr 34 - Droga nr 7, km 571+180 do 574+810, wykonany przez „Makadam” Busko-Zdrój w roku 1993, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/5 mm,

Odcinek nr 35 - Droga nr 2, km 393+500 do 395+000, wykonany przez „Strada” Środa Wielkopolska w roku 1994, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 36 - Droga nr 2, km 395+900 do 397+400, wykonany przez „Strada” Środa Wielkopolska w roku 1994, w technologii cienkiej warstwy na zimno, kruszywo granitowe o uziarnieniu 0/6,3 mm,

Odcinek nr 37 - Droga nr 2, km 205+200 do 206+200, wykonany przez PPRD Poznań w roku 1995, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D50,

Odcinek nr 38 - Droga A4, km 99+500 do 100+500, wykonany przez „Dromex” w roku 1994, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/16 mm, asfalt D50,

Odcinek nr 39 - Droga nr 1, km 488+100 do 488+600, wykonany przez PBDiM Wrzosowa w roku 1993, w technologii SMA, kruszywo dolomitowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 40 - Droga nr 18, km 179+000 do 178+100, wykonany przez PDM Białystok w roku 1997, w technologii SMA, kruszywo miejscowe (żwir kruszony, granit) i amfibolitowe o uziarnieniu 0/11 mm, asfalt D50+Viatop,

Odcinek nr 41 - Droga startowa nr DS-3, lotnisko Okęcie w Warszawie, wykonany przez WPRD Warszawa w roku 1994, w technologii SMA z uszorstnieniem, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 42 - Droga startowa nr DS-3, lotnisko Okęcie w Warszawie, wykonany przez WPRD Warszawa w roku 1994, w technologii betonu asfaltowego z uszorstnieniem, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 43 - Droga startowa nr DS-3, lotnisko Okęcie w Warszawie, wykonany przez WPRD Warszawa w roku 1994, w technologii betonu asfaltowego, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 44 - Droga startowa nr DS-3, lotnisko Okęcie w Warszawie, wykonany przez WPRD Warszawa w roku 1994, w technologii betonu asfaltowego, odcinek zanieczyszczony gumą startą z opon samolotów, kruszywo bazaltowe o uziarnieniu 0/12,8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 45 - Droga startowa na lotnisku w Masłowie k/Kielc, wykonany przez ŚPRD Kielce w roku 1994, w technologii SMA, kruszywo kwarcytowe o uziarnieniu 0/8 mm, asfalt D70+SBS,

Odcinek nr 46 - Droga startowa nr DS-3, lotnisko Okęcie w Warszawie, wykonany przez WPRD Warszawa w roku 1994, w technologii betonu cementowego.

6 Zestawienie wyników badań

Pomiar współczynnika przyczepności wykonywano przy trzech prędkościach pomiarowych: 30, 60 i 90 km/h. Niejednokrotnie jednak warunki pomiaru nie pozwalały na wykonanie badania przy prędkości 90 km/h. Na odcinku nr 18 badania ograniczono tylko do kilku, punktowych pomiarów ponieważ miał długość zaledwie 20 m i znajdował się na ruchliwym fragmencie ulicy.

Początkowo pomiary prowadzono w trzech przejazdach dla każdej prędkości pomiarowej, jednak zaobserwowano, że wyniki cechują się dużą powtarzalnością, więc liczbę przejazdów ograniczono do dwóch (dla każdej prędkości).

Wyniki pomiarów przyczepności nawierzchni na wytypowanych odcinkach zestawiono w załączniku nr 1.

W klasyfikacji nawierzchni pod względem współczynnika przyczepności stosuje się w Polsce tzw. miarodajny współczynnik przyczepności. Odpowiada on trzeciemu najniższemu wynikowi z dziesięciu pomiarów współczynnika przyczepności wykonanych aparatem SRT-3 przy prędkości $v = 60$ km/h w punktach co 100 m na odcinku jednego kilometra. W przypadku innej liczby pomiarów można z dużym przybliżeniem przyjąć, że miarodajny współczynnik przyczepności wynosi:

$$\mu = \mu_{sr} - 0,6s \quad (2)$$

gdzie:

- μ - miarodajny współczynnik przyczepności,
- μ_{sr} - wartość średnia współczynnika przyczepności (z pomiarów),
- s - odchylenie standardowe wyników pomiaru współczynnika przyczepności.

Zgodnie z wytycznymi SOSN [8], klasyfikację nawierzchni pod względem współczynnika przyczepności prowadzi się w oparciu o wielkość miarodajnego współczynnika przyczepności, tablica 1.

Tablica 1

Klasyfikacja nawierzchni wg SOSN, pod względem przyczepności nawierzchni

Klasa przyczepności wg SOSN	Wartości graniczne miarodajnego współczynnika przyczepności	Ocena stanu nawierzchni
A	powyżej 0,35	dobry
B	0,26 ÷ 0,35	zadowalający
C	0,21 ÷ 0,25	niezadowalający
D	0,20 lub mniej	zły

Klasyfikacja nawierzchni pod względem współczynnika przyczepności podana w tablicy 1 dotyczy pomiaru przy użyciu opony bieżnikowanej, stosowanej w badaniach do lipca 1996 roku. Obecnie stosuje się oponę bezbieżnikową, typu „slick” z naciętymi wzdłużnie rowkami. W celu wyznaczenia funkcji przeliczającej wyniki otrzymywane na nowej oponie na wartości dla opony starej wykonano w 1996 serię pomiarów porównawczych i otrzymano następującą zależność:

$$\mu_S = 0,722 \mu_N \quad (3)$$

w którym:

- μ_S - współczynnik przyczepności pomierzony przy zastosowaniu opony z bieżnikiem,

μ_N - współczynnik przyczepności pomierzony przy zastosowaniu opony typu „slick”.

Procedura wyznaczenia funkcji przeliczającej została w 1997 roku zakwestionowana przez Biuro Planowania Rozwoju Sieci Drogowej. Przeprowadzono więc nową serię pomiarów, w wyniku której wyznaczono nową funkcję przeliczeniową:

$$\mu_S = 0,508 \mu_N + 0,072 \quad (4)$$

Wartości średnie, miarodajne oraz średnie wartości współczynnika przyczepności uzyskane z pomiarów wykonywanych w latach wcześniejszych zestawiono w tablicach 3 - 8.

W tablicy 9 zestawiono maksymalne wartości współczynnika przyczepności, uzyskiwane przy niepełnej blokadzie koła pomiarowego, symulujące warunki hamowania z systemem ABS.

Na większości wytypowanych odcinków wykonano pomiar głębokości tekstury metodą piasku kalibrowanego. Wyniki badań zestawiono w załączniku nr 2.

Ogólną, stosowaną w wielu krajach, klasyfikację nawierzchni pod względem głębokości tekstury, pomierzonej metodą piasku kalibrowanego przedstawiono w tablicy 2

Tablica 2

Podział nawierzchni pod względem tekstury

Głębokość tekstury, mm	Ocena nawierzchni
$HS \leq 0,2$	Nawierzchnie o teksturze bardzo drobnej - nie powinny być dopuszczone do ruchu
$0,2 < HS \leq 0,4$	Nawierzchnie o teksturze drobnej - nawierzchnie, na których prędkość jazdy nie przekracza 80 km/h
$0,4 < HS \leq 0,8$	Nawierzchnie o teksturze średniej - są to nawierzchnie normalne, na których prędkość jazdy mieści się w granicach 80-120 km/h
$0,8 < HS \leq 1,2$	Nawierzchnie o teksturze grubej - nawierzchnie, na których prędkość utrzymuje się powyżej 120 km/h
$HS > 1,2$	Nawierzchnie o teksturze bardzo grubej - nawierzchnie tego typu stosowane są w przypadkach specjalnych, np. strefy niebezpieczne występujące po odcinkach prostych, na których prędkość są bardzo duże, strefy częstego występowania oblodzenia

Tablica 4

ODCINKI WYKONANE W TECHNOLOGII BETONU ASFALTOWEGO

Lp	Nr odcin.	Droga	Wykonawca Rok wykonania	Uziarnienie mm Kruszywo Lepiszczce	wartość średnia (N)	odchylenie standard. (N)	Współczynnik przyczepności				średni archiwalne (S)
							średni (S)	miarodaj. (S)	średni (S)	miarodaj. (S)	
1	2	Droga nr 8 km 10+000 do 11+000	1990 WPRD Warszawa	0/12 Bazalt D70	0,380	0,016	0,274	0,267	0,263	0,258	0,235 ('94)
2	3	Droga nr 17, km 17+000 do 18+000	1989 PRD Kobiel	0/12 Bazalt D70	0,350	0,018	0,253	0,245	0,248	0,245	0,265 ('94)
3	4	Droga nr 18, km 23+600 do 22+600	1989 WPRD Warszawa	0/12 Bazalt D70	0,420	0,029	0,303	0,291	0,283	0,275	0,190 ('94)
4	12	Most w Zakroczymiu, droga nr 7	1992 WPRD Warszawa	0/12 Bazalt D70	0,467	0,010	0,337	0,333	0,307	0,307	
5	19*)	Droga nr 784 Gidle-Klekwiec		0/8	0,160	0,032	0,116	0,102	0,151	0,144	0,160 ('97)*
6	21	Droga A4, Katowice-Kraków, km 49+000 do 50+000	1997 Dromex	0/20 Diabaz D50	0,494	0,019	0,357	0,348	0,321	0,318	
7	22	Droga A4, Katowice-Kraków, km 59+000 do 60+000	1997 Tepol	0/20 Bazalt D50	0,461	0,039	0,333	0,316	0,304	0,295	
8	37	Droga nr 2, km 205+200 do 206+200	1995 PPRD Poznań	0/12 Bazalt D50	0,343	0,018	0,248	0,240	0,244	0,241	0,381 ('96) 0,302 ('95)
9	38	Droga A4, pod Legnicą km 99+500 do 100+500	1994 Dromex	0/16 Bazalt D50	0,434	0,014	0,313	0,307	0,290	0,289	0,302 ('96) 0,335 ('95)
10	42	Lotnisko Okęcie, DS-3	1994 WPRD Warszawa	0/12 Bazalt +usworst. D70+SBS	0,678	0,018	0,490	0,482	0,414	0,412	

11	43	Lotnisko Okęcie, DS-3	1994 WPRD Warszawa	0/12 Bazalt D70+SBS	0,657	0,030	0,474	0,461	0,404	0,398	
12	44	Lotnisko Okęcie, DS-3	1994 WPRD Warszawa	0/12 Bazalt (+guma) D70+SBS	0,437	0,072	0,316	0,284	0,292	0,273	

- *) - Odcinek został wytypowany jako porównawczy, o bardzo złych właściwościach przeciwpoślizgowych
(N) - wyniki uzyskane z pomiarów przeprowadzonych w 1997 roku na nowej, bezbieżnikowej oponie,
(S) - wyniki przeliczone z pomiarów nową oponą na oponę starą, przy pomocy funkcji przeliczeniowej opracowanej w 1996 lub 1997 roku.
* - wyniki uzyskane z pomiarów przeprowadzonych w 1997 roku na starej bieżnikowanej oponie,

Tablica 3

ODCINKI WYKONANE W TECHNOLOGII SMA

Lp	Nr odcin.	Droga	Wykonawca Rok wykonania	Uziarnienie mm, Kruszywo Lepiszczce	wartość średnia (N)	odchylenie standard. (N)	Współczynnik przyczepności				średni archiwalne (S)
							średni (S)	miarodaj. (S)	średni (S)	miarodaj. (S)	
1	1	Trasa Toruńska, Warszawa, km 7+600 do 6+600	WPRD Warszawa 1994	0/12 Bazalt D70+SBS	0,340	0,030	0,245	0,232	0,243	0,235	0,350 ('96) 0,365 ('95)
2	5	Most Śląsko-Dąbrowski, Warszawa	MPRD Warszawa 1993	0/12 Bazalt D70+SBS	0,300	0,016	0,217	0,210	0,223	0,221	0,315 ('96)
3	6	Ul. Górnośląska, Katowice km 343+000 do 344+900	PRInż Katowice 1995	0/12 Bazalt Elastomer.	0,460	0,030	0,332	0,319	0,304	0,298	0,302 ('96) 0,256 ('95)
4	7	Droga nr 4, km 440+950 do 441+950, pas ruchu powolin.	„Dromost” Bochnia 1995	0/6 Dolomit D70+SBS	0,417	0,066	0,301	0,272	0,282	0,264	
5	8	Łądownisko Grądy	PRD Ostrow Maz. 1997	0/12 Bazalt D70+VE	0,417	0,098	0,301	0,259	0,282	0,255	
6	11	Dojazd do MDL-Okęcie od ul. 17-go Stycznia	WPRD Warszawa 1992	0/11 Bazalt Granit 2/8 D70+VE	0,288	0,010	0,208	0,204	0,216	0,216	
7	13	Most w Zakroczymiu, droga nr 7	PRD Płońsk 1992	0/12 Bazalt D70+VE	0,384	0,012	0,277	0,272	0,265	0,264	
8	14	Droga nr 24, km 2+200 do 3+200	PRID Nowy Tomysł 1993	0/12 Amfibolit Bazalt D70+VE	0,344	0,021	0,248	0,239	0,245	0,241	
9	15	Droga nr 24, km 3+600 do 4+600	PRID Nowy Tomysł 1993	0/12 Amfibolit Bazalt D70+Arboceel	0,360	0,018	0,260	0,252	0,253	0,250	

10	16	Droga nr 24, km 4+700 do 5+700	PRID Nowy Tomyśl 1993	0/12 Amfibolit Bazalt D70+VE+ Arboceel	0,356	0,020	0,257	0,248	0,251	0,247	
11	17	Droga nr 10, od skrzyżowania z drogą nr 7	PRD Płońsk 1993	0/6 Bazalt D70+VE	0,397	0,023	0,287	0,277	0,272	0,267	0,285 ('93)
12	31	Droga nr 99, Brzesko-Krynica km 38+600 do 39+400	PRDM Nowy Sącz 1995	0/6 Dolomit D70+SBS	0,351	0,037	0,253	0,237	0,248	0,239	
13	39	Droga nr 1, Wanaty, km 488+100 do 488+600	1993 PBDiM Wizosowa	0/12 Dolomit D70+SBS	0,354	0,040	0,256	0,238	0,250	0,240	0,315 ('96) 0,302 ('93)
14	40	Droga nr 18, km 179+000 do 178+100	PDM Białystok 1997	0/11 Kruszywo miejscowe+ Amfibolit D50+Viatop	0,387	0,022	0,278	0,270	0,267	0,263	
15	41	Lotnisko Okęcie, DS-3	WPRD Warszawa 1994	0/12 + uszorstn. Bazalt D70+SBS	0,652	0,016	0,471	0,464	0,401	0,399	
16	45	Lotnisko w Mławowie	ŚPRD Kielce 1994	0/9 Kwarcyt D70+SBS	0,730	0,018	0,527	0,519	0,441	0,435	0,580 ('94) 0,609 ('97)*

(N) - wyniki uzyskane z pomiarów przeprowadzonych w 1997 roku na nowej, bezbieżnikowej oponie,

(S) - wyniki przeliczone z pomiarów nową oponą na oponę starą, przy pomocy funkcji przeliczeniowej opracowanej w 1996 lub 1997 roku.

* - wyniki uzyskane z pomiarów przeprowadzonych w 1997 roku na starej bieżnikowanej oponie,

Tablica 6

ODCINKI WYKONANE W TECHNOLOGII CIENKIEJ WARSTWY NA GORĄCO

Lp	Nr odcin.	Droga	Wykonawca Rok wykonania	Uziarnienie Kruszywo Lepiszczce	wartość średnia (N)	odchylenie standard. (N)	Współczynnik przyczepności			średni archiwalne (S)	
							średni (S)	miarodaj. (S)	przeliczony 1997 miarodaj. (S)		
1	29	Droga nr 98 km 108+200 do 107+200	1995 PRDM Nowy Sącz	0/12 Dolomit D70 + SBS	0,417	0,033	0,301	0,287	0,282	0,275	0,515 ('96)
2	30	Droga nr 99, km 62+000 do 61+000	1995 PRDM Nowy Sącz	0/12 Dolomit D70 + SBS	0,490	0,032	0,354	0,340	0,319	0,312	
3	20	Wiadukt Saska, Warszawa	1996 MPRD Warszawa	0/12 Melafir D70 + SBS	0,395	0,021	0,285	0,276	0,271	0,267	

Tablica 7

ODCINEK WYKONANY W TECHNOLOGII SPECJALNEJ

Lp	Nr odcin.	Droga	Wykonawca Rok wykonania	Uziarnienie Kruszywo Lepiszczce	wartość średnia (N)	odchylenie standard. (N)	Współczynnik przyczepności			średni archiwalne (S)	
							średni (S)	miarodaj. (S)	przeliczony 1997 miarodaj. (S)		
1	18	Częstochowa, ul. Warszawska	„Ermet” Częstochowa 1997	4 Boksyt Żywica poliuteran.	0,815	0,009	0,588	0,584	0,484	0,481	0,600 ('97)*

Tablica 5

ODCINKI WYKONANE W TECHNOLOGII CIENKIEJ WARSTWY NA ZIMNO

Lp	Nr odcin.	Droga	Wykonawca, Rok wykonania	Uziarnienie mm, Kruszywo	wartość średnia (N)	odchylenie standard. (N)	Współczynnik przyczepności			średni archiwalne (S)
							średni (S)	miarodaj. (S)	przeliczony 1997 (S)	
1	23	Droga nr 945, km 21+192 do 23+775	Podhalańskie PRD 1997	0/6 Granit	0,556	0,016	0,400	0,394	0,352	0,351
2	24	Droga nr 942, km 9+539 do 10+722	Podhalańskie PRD 1996	0/6 Granit	0,457	0,012	0,330	0,325	0,302	0,301
3	25	Droga nr 952, km 11+305 do 13+350	Podhalańskie PRD 1996	0/6 Granit	0,452	0,016	0,326	0,319	0,300	0,297
4	26	Droga nr 776, km 14+034 do 18+100	Podhalańskie PRD 1996	0/6 Granit	0,373	0,034	0,269	0,254	0,259	0,252
5	27	Droga nr 957, km 50+500 do 52+500	Podhalańskie PRD 1995	0/6 Granit	0,542	0,036	0,391	0,376	0,345	0,337
6	28	Droga nr 957, km 52+500 do 54+500	Podhalańskie PRD 1994	0/6 Granit	0,541	0,030	0,391	0,378	0,345	0,336
7	32	Droga nr 78, km 69+400 do 74+600	„Makadam” Busko-Zdrój 1996	0/5 Granit	0,534	0,020	0,386	0,377	0,341	0,338
8	33	Droga nr 7, km 539+170 do 541+380	„Makadam” Busko-Zdrój 1993	0/5 Granit	0,462	0,028	0,333	0,321	0,305	0,299
9	34	Droga nr 7, km 571+5180 do 574+810	„Makadam” Busko-Zdrój 1993	0/5 Granit	0,502	0,026	0,362	0,351	0,325	0,320
10	35	Droga nr 2, km 393+500 do 395+000	„Strada” Środa Wilkp 1994	0/6 Granit	0,440	0,026	0,318	0,306	0,294	0,288

11	36	Droga nr 2, km 395+900 do 397+400	„Strada” Środa Wlkp 1994	0/6 Granit	0,456	0,016	0,329	0,322	0,302	0,300
----	----	--------------------------------------	--------------------------------	---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

(N) - wyniki uzyskane z pomiarów przeprowadzonych w 1997 roku na nowej, bezbieżnikowej oponie,

(S) - wyniki przeliczone z pomiarów nową oponą na oponę starą, przy pomocy funkcji przeliczeniowej opracowanej w 1996 lub 1997 roku.

* - wyniki uzyskane z pomiarów przeprowadzonych w 1997 roku na starej bieżnikowanej oponie,

ODCINEK WYKONANY W TECHNOLOGII BETONU CEMENTOWEGO

Lp	Nr odcin.	Droga	Wykonawca Rok wykonania	Uziarnienie Kruszywo Lepiszczce	wartość średnia (N)	odchylenie standard. (N)		Współczynnik przyczepności przeliczony 1996		przeliczony 1997		średni archiwalne (S)
						średni (S)	miarodaj. (S)	średni (S)	miarodaj. (S)			
1	46	Lotnisko Okęcie, DS-3	WPRD Warszawa 1994		0,524	0,025	0,378	0,367	0,336	0,328		

(N) - wyniki uzyskane z pomiarów przeprowadzonych w 1997 roku na nowej, beżbłaznikowej oponie,

(S) - wyniki przeliczone z pomiarów nową oponą na oponę starą, przy pomocy funkcji przeliczeniowej opracowanej w 1996 lub 1997 roku.

* - wyniki uzyskane z pomiarów przeprowadzonych w 1997 roku na starej beżbłaznikowej oponie,

Tablica 9

**ZESTAWIENIE MAKSYMALNYCH WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PRZYCZEPNOŚCI
(NIEPEŁNA BLOKADA KOŁA POMIAROWEGO)**

Nr odcinka	Wartość maks. współ. przyczepności	Nr odcinka	Wartość maks. współ. przyczepności	Nr odcinka	Wartość maks. współ. przyczepności	Nr odcinka	Wartość maks. współ. przyczepności
D01	0,60	D13	0,72	D25	0,87	D35	0,83
D02	0,81	D14	0,76	D26	0,80	D36	0,82
D03	0,75	D15	0,76	D27	0,96	D37	0,74
D04	0,68	D16	0,75	D28	0,95	D38	0,82
D05	0,58	D17	0,80	D29	0,80	D39	0,65
D06	0,84	D20	0,83	D30	0,91	D40	0,80
D07	0,69	D21	0,93	D31	0,64	D41	1,02
D08	0,75	D22	0,91	D32	0,91	D42	1,03
D11	0,58	D23	0,99	D33	0,75	D43	1,04
D12	0,79	D24	0,91	D34	0,80	D44	0,86

7 Analiza wyników pomiarów

7.1 Wpływ technologii wykonania warstwy ścieralnej

Wybrane do badań odcinki nie reprezentują oczywiście wszystkich technologii wykonywania nawierzchni drogowych stosowanych w Polsce, ani też wariantów w ramach danej technologii. Zbyt wielkie jest tu zróżnicowanie ze względu na stosowane materiały i skład mieszanek, bądź proporcje komponentów. Uzyskanie takiego pełnego obrazu wymagałoby przeprowadzenia odrębnych badań w ramach każdej z technologii. Celem było uzyskanie poglądu o zakresie współczynnika przyczepności, jaki można uzyskać stosując daną technologię oraz jakie zalecenia można sformułować wobec stosowanej technologii.

Wśród uwzględnionych technologii trzy mogą być stosowane zarówno w budowie nowych nawierzchni, jak i w robotach utrzymaniowych istniejących (beton asfaltowy, SMA, cienka warstwa na gorąco), czwarta (cienka warstwa na zimno) jest typową technologią utrzymaniową, stosowaną w celu uszczelnienia oraz uszorstnienia nawierzchni.

Wszystkie odcinki (poza kilkoma „ilustracyjnymi” umieszczonymi w celu porównania) wykonane były w ostatnich latach według obowiązujących obecnie zasad i specyfikacji, np. beton asfaltowy na kilku odcinkach wykonany był zgodnie z Zeszytem 48 (o zwiększonej odporności na deformacje trwałe), SMA wg Zeszytu 49 (lub jego wcześniejszej wersji), cienka warstwa na gorąco z mieszanki MNU wg Zeszytu 50. Niektóre z tych nawierzchni wykonano w ramach najważniejszych kontraktów wykonywanych w tych latach w Polsce. Należy więc uznać, że pod tym względem jest to przegląd nawierzchni drogowych, jakie są wykonywane w naszym kraju (poza technologią powierzchniowego utrwalenia). Jednocześnie należy być świadomym, że jest to próbka losowa i od uzyskanych wyników mogą być pewne odstępstwa.

Dodatkowo wykonano pomiar na nawierzchni lotniskowej z betonu cementowego na DS3, Okęcie oraz na nawierzchni w technologii specjalnej z boksytami spiekаныmi na żywicy poliuretanowej.

Wyniki badań zestawiono w tablicach 3 – 8, w których podano dane o odcinku i technologii oraz wyniki pomiarów nową oponą z 1997 r i wyniki przeliczone na starą oponę według dwóch funkcji przeliczeniowych: opracowanej z pomiarów w 1996 r. i z pomiarów w 1997 r.. Jeśli posiadano, to zamieszczono dodatkowo dane z pomiarów w ubiegłych latach (starą oponą).

Na rys. 12 - 15 przedstawiono zakres wartości miarodajnego współczynnika przyczepności i jego średniej wartości w poszczególnych technologiach oraz. średni miarodajny współczynnik w danej technologii i jego odchylenie standardowe. Wyniki te przedstawiono odrębnie przeliczone według funkcji z 1996 i 1997 r.

Problem przeliczenia wyniku pomiaru z nowej opony na starą okazał się być bardzo istotny. Zależnie od przyjętej funkcji przeliczeniowej uzyskuje się różne wyniki, co w wypadku niektórych odcinków okazuje się być decydujące o ich kwalifikacji: czy spełniają wymaganie SOSN dla klasy A (0,35), bądź też wymaganie dla płatnych autostrad (0,38), czy nie spełniają? zilustrowano to na rys. 16, przedstawiającym wartości współczynnika miarodajnego przeliczone z pomiaru nową oponą według dwóch funkcji. Zależnie od zastosowanej funkcji odcinki o zmierzonym nową oponą średnim współczynnikiem przyczepności rzędu 0,49-0,55

kwalifikują się do klasy A SOSN lub nie, bądź spełniają wymaganie dla autostrad płatnych lub nie. Są to odcinki cienkiej warstwy na zimno.

Na rys. 16 umieszczono również nowe wyniki pomiarów bezpośrednich nową i starą oponą wykonanych w 1997 r. na wybranych odcinkach. Wyraźnie zauważa się, że te cztery punkty reprezentujące bezpośredni pomiar są znacznie bliższe funkcji wyznaczonej z pomiarów w 1996 r. Do dalszej analizy posłużono się wartościami miarodajnego współczynnika przyczepności obliczonymi według funkcji z 1996 r. Proponuje się również, aby dokonać weryfikacji wyników pomiarów w 1997 r. w ramach SOSN, stosując starszą funkcję z 1996 r.

Przebieg gradacja technologii ze względu na średnią wartość miarodajnego współczynnika przyczepności jest następująca (od największego):

- technologia specjalna – boksyty z żywicą
- cienka warstwa na zimno
- beton asfaltowy
- cienka warstwa na gorąco
- SMA

Kolejność ta świadczy, że powszechnie stosowane technologie do wykonywania nowych nawierzchni dają mniejszy współczynnik przyczepności. Porównanie z kryteriami pokazuje, że nieliczne odcinki betonu asfaltowego i SMA spełniły kryteria klasy A wg SOSN i wymaganie autostradowe. Uwzględniając to, należy szczególną uwagę zwrócić na nawierzchnie, które spełniły te wymagania:

- nr 42 i 43 beton asfaltowy na DS3 Okęcie, Warszawa
- nr 41 SMA na DS3 Okęcie, Warszawa
- nr 45 SMA na lotnisku w Maślowie, k/Kielc.

W technologii utrzymaniowej cienkiej warstwy na zimno kryterium klasy A SOSN spełniło pięć odcinków nr: 23,27,28,32,35. Tylko jeden odcinek nr 23 spełnił wymaganie autostradowe.

Nawierzchnię na DS3 wykonana była w 1994 r. przez WPRD, a technologia wykonania i dobór mieszanek mineralno-asfaltowych opracowywane były w konsultacji z D. Sybilskim, IBDM. Nawierzchni postawiono szczególnie wysokie wymaganie współczynnika przyczepności, a jednocześnie wymagano, aby nawierzchnia była szczelna i zawierała dużo asfaltu w celu zwiększenia trwałości. Boczne pasy drogi startowej potraktowano jako odcinki doświadczalne, aby praktycznie sprawdzić warianty technologiczne. Te odcinki nawierzchni DS3 wykonane były w różnych technologiach obejmujących beton asfaltowy i SMA, z uszorstnieniem drobnym kruszywem łamanym 1/4 lub bez. Szorstkość wszystkich odcinków była na bieżąco testowana. Metoda stosowana w lotnictwie jest inna niż wykorzystana w SRT3. Badanie wykonuje się z pełną blokadą koła z prędkością 90 km/h. Nie można zatem współczynników zmierzonych tymi dwiema metodami bezpośrednio porównywać. Wyniki badań uzyskane wykazały już bezpośrednio po wykonaniu, że wszystkie zaproponowane technologie pozwalają spełnić postawione wymaganie. Potwierdzają to wyniki badań IBDM wykonane w ramach przedstawianej pracy w 1997 r., a więc w 3 lata po wykonaniu (można zauważyć, że po 3 latach eksploatacji nawet nawierzchnia zanieczyszczona gumą startą z opon lądujących samolotów, wykazuje dość wysoki współczynnik przyczepności). Ostatecznie wybrano wariant betonu asfaltowego bez uszorstnienia, obawiając się, że drobne kruszywo użyte do uszorstnienia może być wyrywane i może powodować uszkodzenie turbin

samolotowych. Konieczne jest przy tym wyjaśnienie, że zaprojektowano beton asfaltowy wg PN-S-96022: 1974, lecz krzywą uziarnienia dobrano na dolnej granicy, aby uzyskać grysową mieszankę. Doświadczenie to pokazuje, że można uzyskać nawierzchnię z betonu asfaltowego o dobrej teksturze i współczynniku przyczepności w ramach dotychczasowej normy. Należy przy tym odnotować, że wysoki współczynnik przyczepności uzyskano z kruszywem bazaltowym, które pod tym względem nie jest najbardziej korzystne. Zastosowanie innego kruszywa pozwoliłoby uzyskać zapewne jeszcze większą wartość współczynnika przyczepności. Zaprojektowany beton asfaltowy odznacza się jednocześnie stosunkowo dużą zawartością asfaltu modyfikowanego elastomerem SBS (stosowano metodę modyfikacji bezpośredniej), wynoszącą 5,7% m/m. Ta dość duża zawartość asfaltu i modyfikacja elastomerem SBS zapewnia nawierzchni wymaganą trwałość.

Kolejnym przykładem nawierzchni o wysokim współczynniku przyczepności jest nawierzchnia na lotnisku w Masłowie. Jest to lotnisko sportowe koło Kielc, którego starą nawierzchnię trawiastą przebudowano w 1994 r. na nawierzchnię asfaltową. Warstwę ścieralną wykonano z mieszanki SMA. Zastosowano asfalt modyfikowany elastomerem SBS, w technologii modyfikacji bezpośredniej w otaczarce. Mieszanka SMA została zaprojektowana w IBDM, a roboty wykonywano w konsultacji z D. Sybilskim, IBDM. Mieszanka mineralna zawierała około 80% kruszywa łamanego kwarcytowego. Pod tym względem można uznać jej projekt za dość ryzykowny, biorąc pod uwagę słabą przyczepność asfaltu do kwarcytu. Zastosowanie modyfikacji elastomerem SBS oraz dodatek środka adhezyjnego miały zapewnić także poprawę przyczepności i trwałości nawierzchni. Wykonane badania laboratoryjne potwierdziły słuszność tych założeń. Przede wszystkim jednak stan nawierzchni po kilku latach eksploatacji wykazał, że nie należy obawiać się stosowania kruszywa kwarcytowego, także do warstwy ścieralnej. W tym wypadku zastosowanie kruszywa kwarcytowego w mieszance SMA zapewniło bardzo wysoki współczynnik przyczepności. Jego wartość jest niewiele mniejsza (0,519) od uzyskanej na odcinku specjalnym z boksytym spiekany na żywicy poliuretanowej (0,584).

Odcinki cienkiej warstwy na zimno, które spełniły wymagania, zostały wykonane przez Podhalańskie PRD lub PRID „Makadam” Busko. Na wszystkich z nich zastosowano drobnoziarnistą mieszankę 0/5 lub 0/6 z kruszywem granitowym. Rok wykonania tych odcinków jest od 1993 do 1997.

Wszystkie uwzględnione technologie okazały się mieć porównywalną zmienność współczynnika przyczepności w funkcji prędkości pomiaru (rys. 17). Zwraca zwłaszcza uwagę, że szorstkość cienkiej warstwy na zimno z drobnoziarnistej mieszanki nie jest bardziej wrażliwa na zmianę prędkości pomiaru niż warstwy z gruboziarnistego betonu asfaltowego. Przeczy to utartemu pogładowi, będącemu jednym z kanonów badań cech powierzchniowych nawierzchni, że mieszanka drobnoziarnista zapewnia dobrą szorstkość przy małej prędkości, lecz zwiększenie prędkości znacznie jej szorstkość zmniejsza oraz, że gruboziarnista mieszanka zapewnia dużą szorstkość niezależnie od prędkości.

Wpływ technologii na współczynnik przyczepności nawierzchni można podsumować następująco:

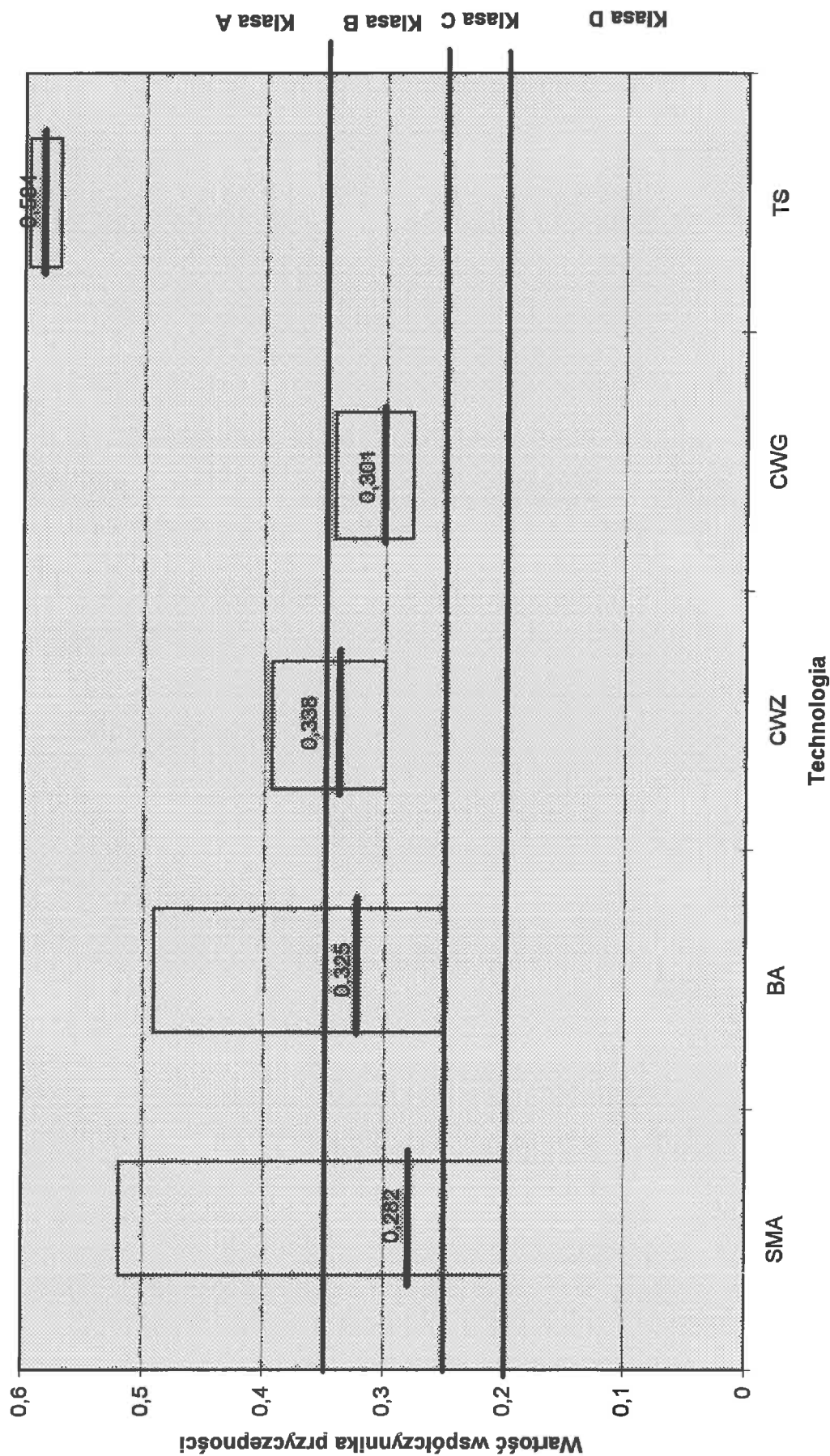
- najpowszechniej stosowana technologia betonu asfaltowego może zapewnić uzyskanie wysokiego współczynnika przyczepności tylko pod warunkiem specjalnego doboru uziarnienia, zwiększenia zawartości frakcji grysowej, kosztem frakcji piaskowej, spośród badanych odcinków odpowiednio wysoki współczynnik uzyskano jedynie na DS3 Okęcie,

WPRD, na nawierzchni z betonu asfaltowego średnioziarnistego z uszorstnieniem (0,482) i bez (0,461)

- beton asfaltowy gruboziarnisty projektowany w ostatnim czasie pod kątem spełnienia wymagania odporności na koleinowanie nie zapewnił uzyskania wysokiego współczynnika przyczepności, pomimo oszczędnego dozowania zawartości asfaltu, np. A4 Dromex (dwa odcinki: 0,348, 0,307), A4 Tepol (0,316)
- technologia SMA wykonywana w Polsce bez uszorstnienia nie zapewnia uzyskania odpowiednio wysokiego współczynnika przyczepności; jedynym wyjątkiem jest niekonwencjonalny przypadek SMA z kruszywa kwarcytowego na lotnisku w Masłowie, wszystkie inne odcinki SMA bez uszorstnienia nie wykazały wystarczająco wysokiej wartości współczynnika przyczepności (należy się tu też zastanowić nad zmianą współczynnika w czasie eksploatacji nawierzchni)
- spośród badanych odcinków SMA tylko jeden odcinek był uszorstniony podczas układania: DS3 Okęcie – odcinek ten wykazał bardzo wysoki współczynnik przyczepności zarówno bezpośrednio po wykonaniu, jak i po kilku latach eksploatacji, gdy ziarna drobnego kruszywa uszorstniającego w znacznej części zostały wyrwane z nawierzchni (regularne czyszczenie i odśnieżanie nawierzchni)
- odcinki cienkiej warstwy na gorąco z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu MNU wykazały wartości współczynnika przyczepności zbliżone do średnich wartości uzyskanych na SMA; do wyników tych trzeba jednak podejść z rezerwą, bowiem zbiór tych odcinków jest mało liczny, obejmujący tylko 3, z których 2 wykonano z kruszywem dolomitowym, po którym nie należy oczekiwać wysokiego współczynnika
- wysokie wartości współczynnika przyczepności uzyskano w technologii cienkiej warstwy na zimno; jest to efekt stosowania wyłącznie kruszywa granitowego w tej technologii; należy przy tym zwrócić uwagę, że takie wyniki przeczą staremu pogładowi, że drobnoziarniste mieszanki nie zapewniają dużej szorstkości nawierzchni – pogląd taki sformułowano w dawniejszych czasach na podstawie danych z konwencjonalnych mieszanek szczelnego betonu asfaltowego drobnoziarnistego
- wszystkie z ocenianych technologii wykazały porównywalną wrażliwość współczynnika przyczepności w zależności od prędkości.

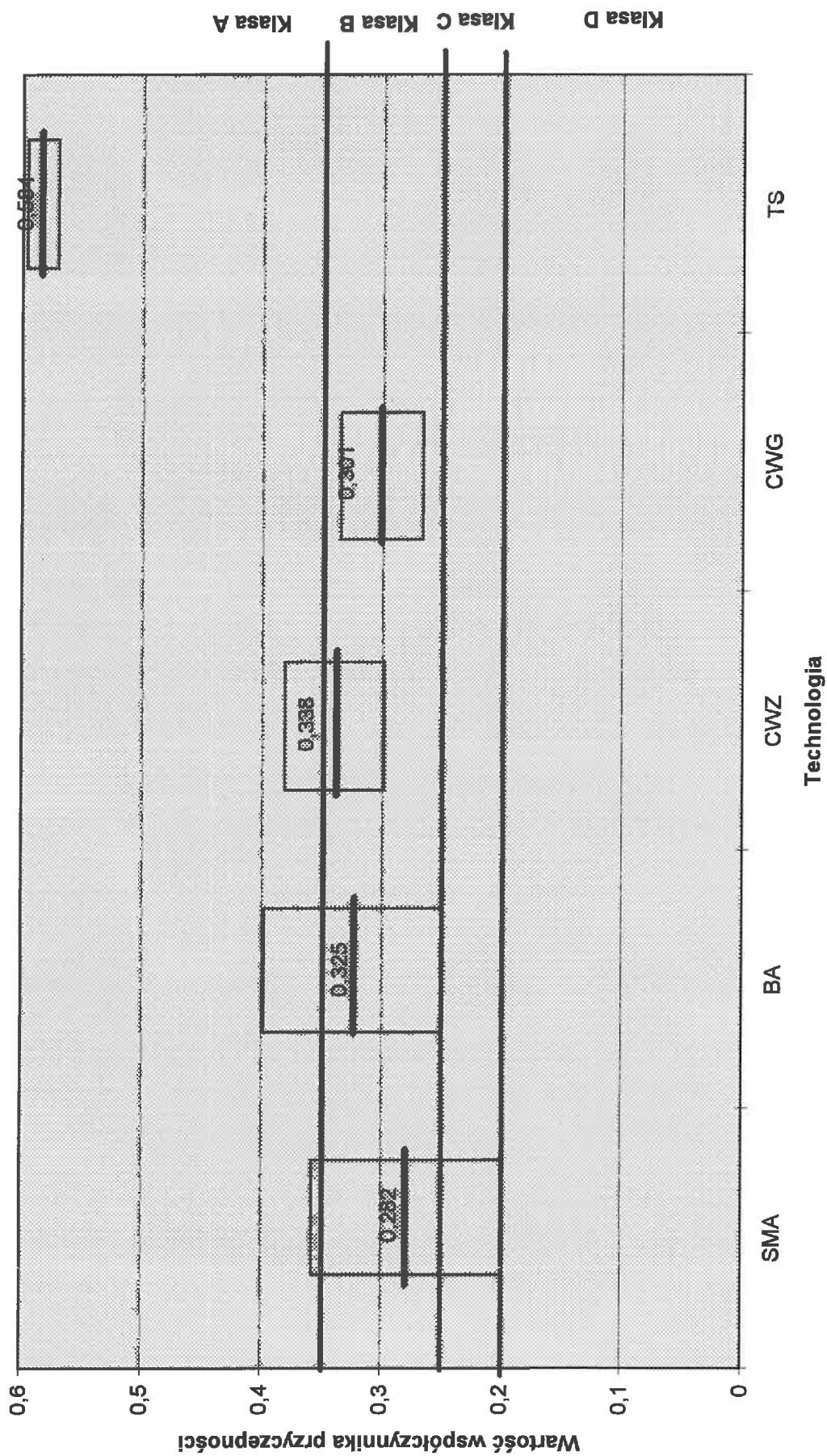
Rysunek 13

Zestawienie wartości średnich i zakresów miarodajnego współczynnika przyczepności (funkcja przeliczająca z 1996 r) otrzymanych dla różnych technologii wykonania warstwy ściernalnej



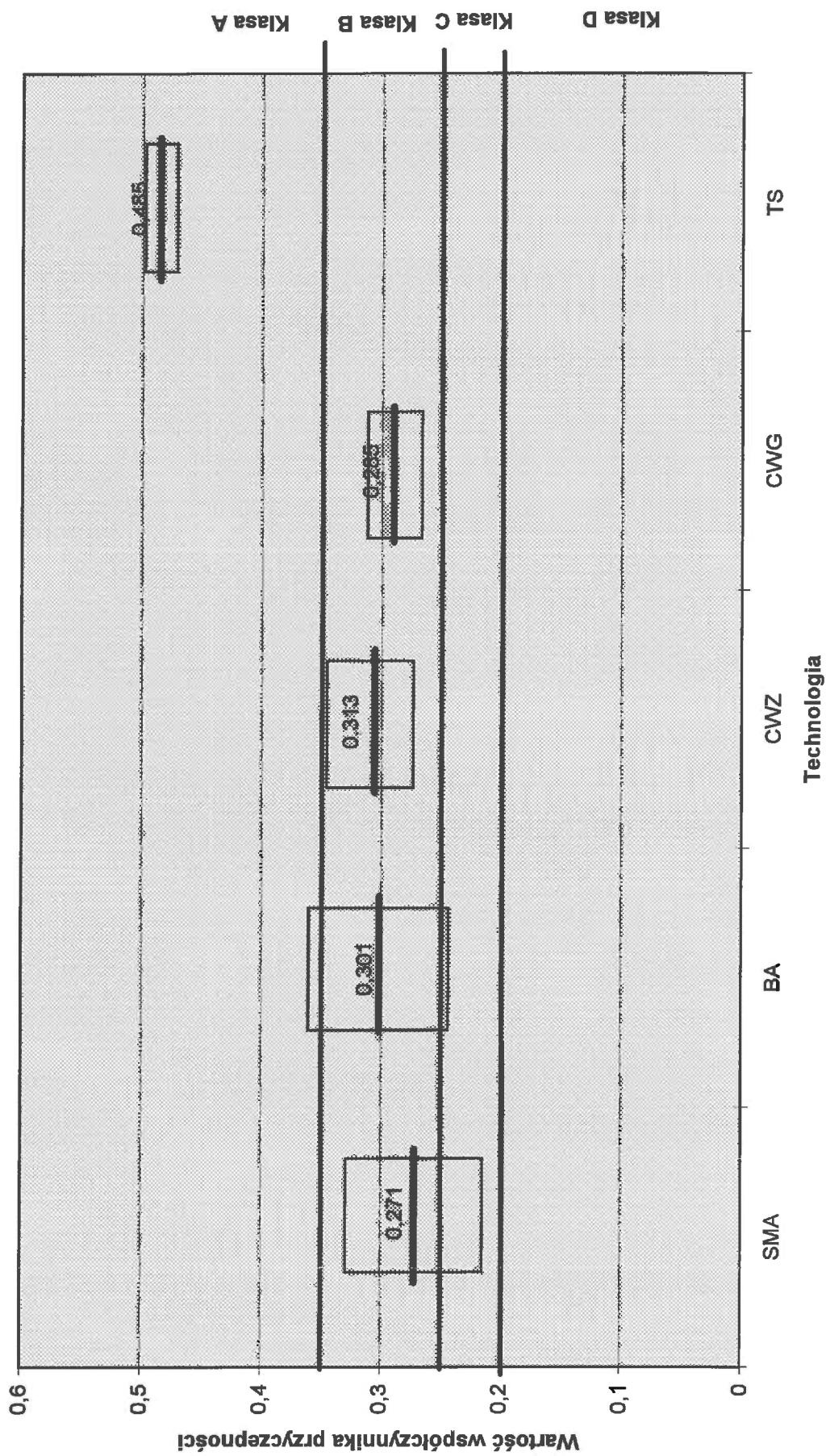
Rysunek 12

Zestawienie wartości średnich i odchylenia standardowego miarod. współ. przyczepności (funkcja przeliczająca z 1996 r) otrzymanych dla różnych technologii wykonania warstwy ściernej



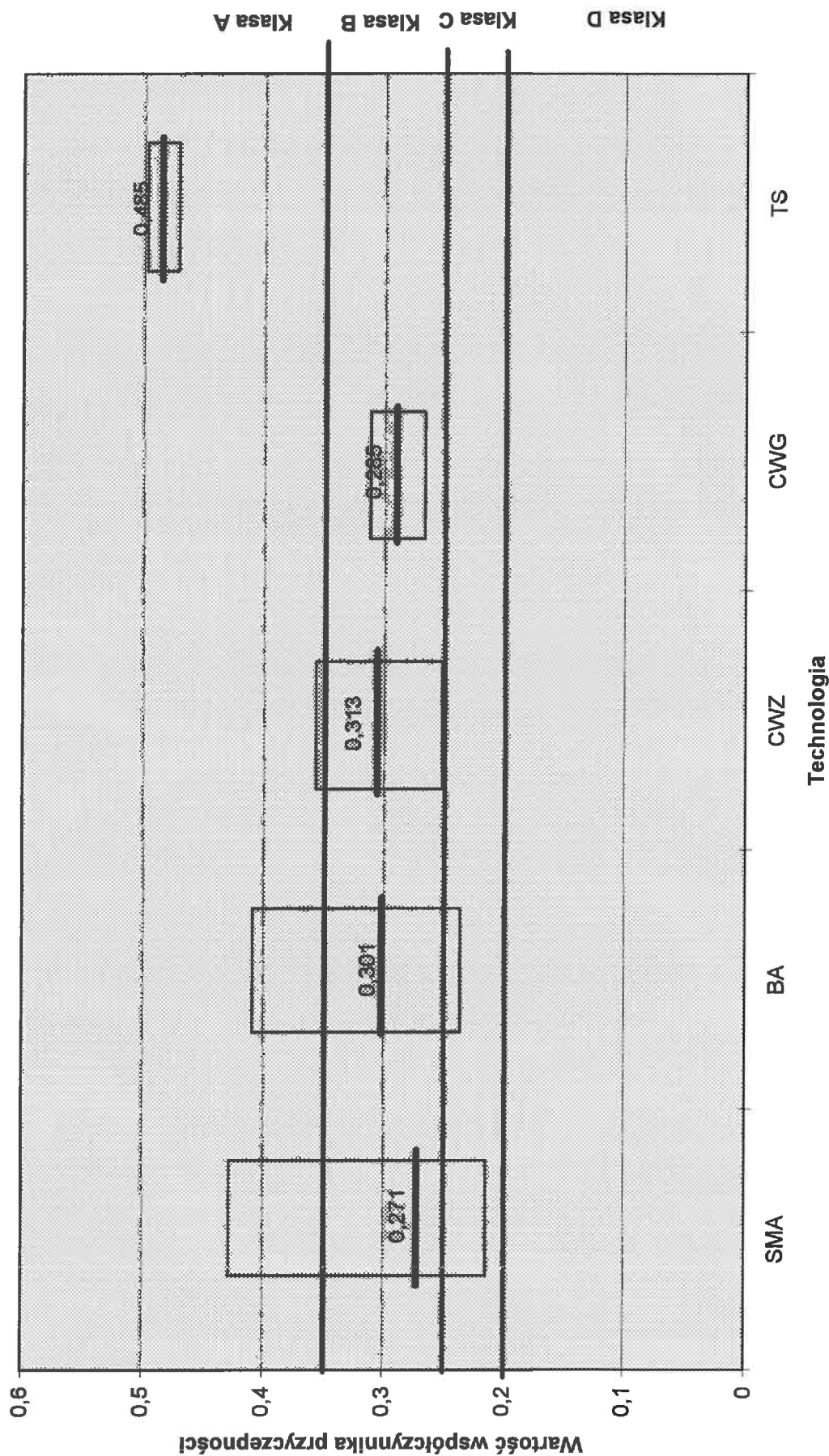
Rysunek 14

Zestawienie wartości średnich i odchylenia standardowego miarod. współ. przyczepności (funkcja przeliczająca z 1997 r) otrzymanych dla różnych technologii wykonania warstwy ściernalnej



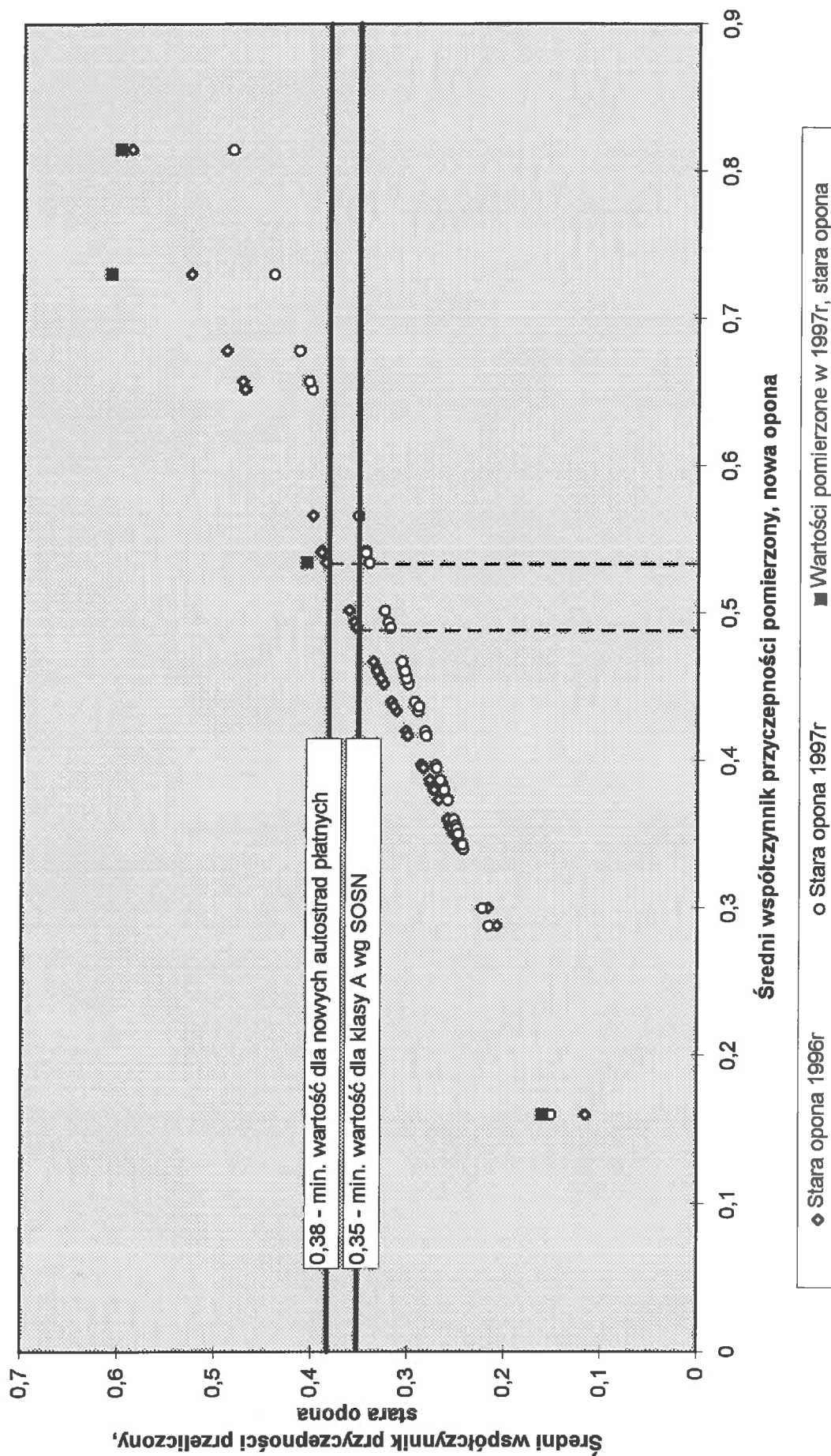
Rysunek 15

Zestawienie wartości średnich i zakresów miarodajnego współczynnika przyczepności (funkcja przeliczająca z 1997 r) otrzymanych dla różnych technologii wykonania warstwy ścieralnej



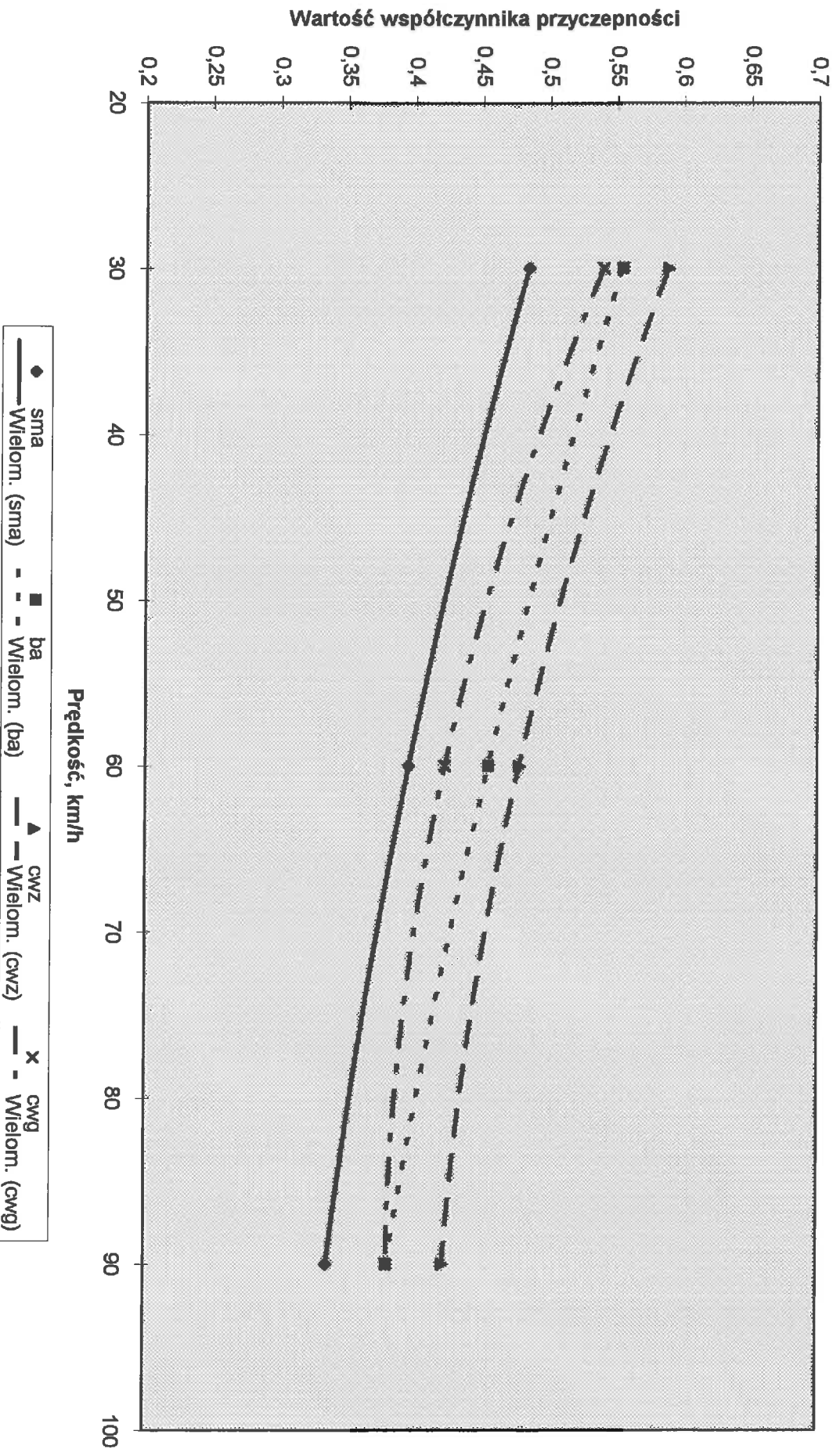
Rysunek 16

Porównanie wartości średniego wsp. przyczepności przeliczonego wg funkcji z 1996r i 1997r



Rysunek 17

Zależność współczynnika przyczepności nawierzchni od prędkości pomiarowej



7.2 Wpływ kruszywa i uziarnienia mieszanki

Obszerne badania na temat wpływu kruszywa na szorstkość nawierzchni wykonał w ubiegłych latach Zawadzki [15]. Badania wykonane w tej pracy potwierdzają, że kruszywo, jego pochodzenie i kształt, ma bezpośrednio decydujący wpływ na współczynnik przyczepności warstwy nawierzchni. Największe wartości współczynnika uzyskano wówczas, gdy zastosowane było kruszywo wykazujące dużą mikroteksturę i małą polerowalność. Wśród badanych odcinków są dwa przykłady o największym współczynniku przyczepności, lecz znacznie różniące się ze względu na kruszywo: jeden z kruszywem mineralnym z naturalnego surowca skalnego – kwarcytem, drugi z kruszywem sztucznym – boksytami spiekanymi.

Wysoką wartość współczynnika uzyskano z drobnym kruszywem granitowym (cienkie warstwy na zimno), z kruszywem bazaltowym w specjalnie zaprojektowanym betonie asfaltowym z uszorstnieniem i bez oraz w SMA z uszorstnieniem (DS3 Okęcie). Wysokie wyniki, choć poniżej progu wymaganego, uzyskano z diabazem w betonie asfaltowym (A4 Dromex) oraz z bazaltem w SMA (ul. Górnośląska PRInż.).

Na podstawie uzyskanych wyników należy jeszcze raz podkreślić konieczność uwzględnienia w doborze kruszyw do mieszanek mineralno-asfaltowych do warstw ścieralnych także kryterium szorstkości nawierzchni. Konieczne jest stosowanie kruszyw o dużej mikroteksturze i małej polerowalności. Należy też wzorem innych krajów stosować mieszanki kruszyw różnego pochodzenia.

Mieszanki gruboziarnistego betonu asfaltowego nie zapewniły uzyskania odpowiednio wysokiego współczynnika przyczepności. Nasuwają się tu wątpliwości, czy w tej konwencjonalnej technologii można uzyskać tak wysokie wartości współczynnika.

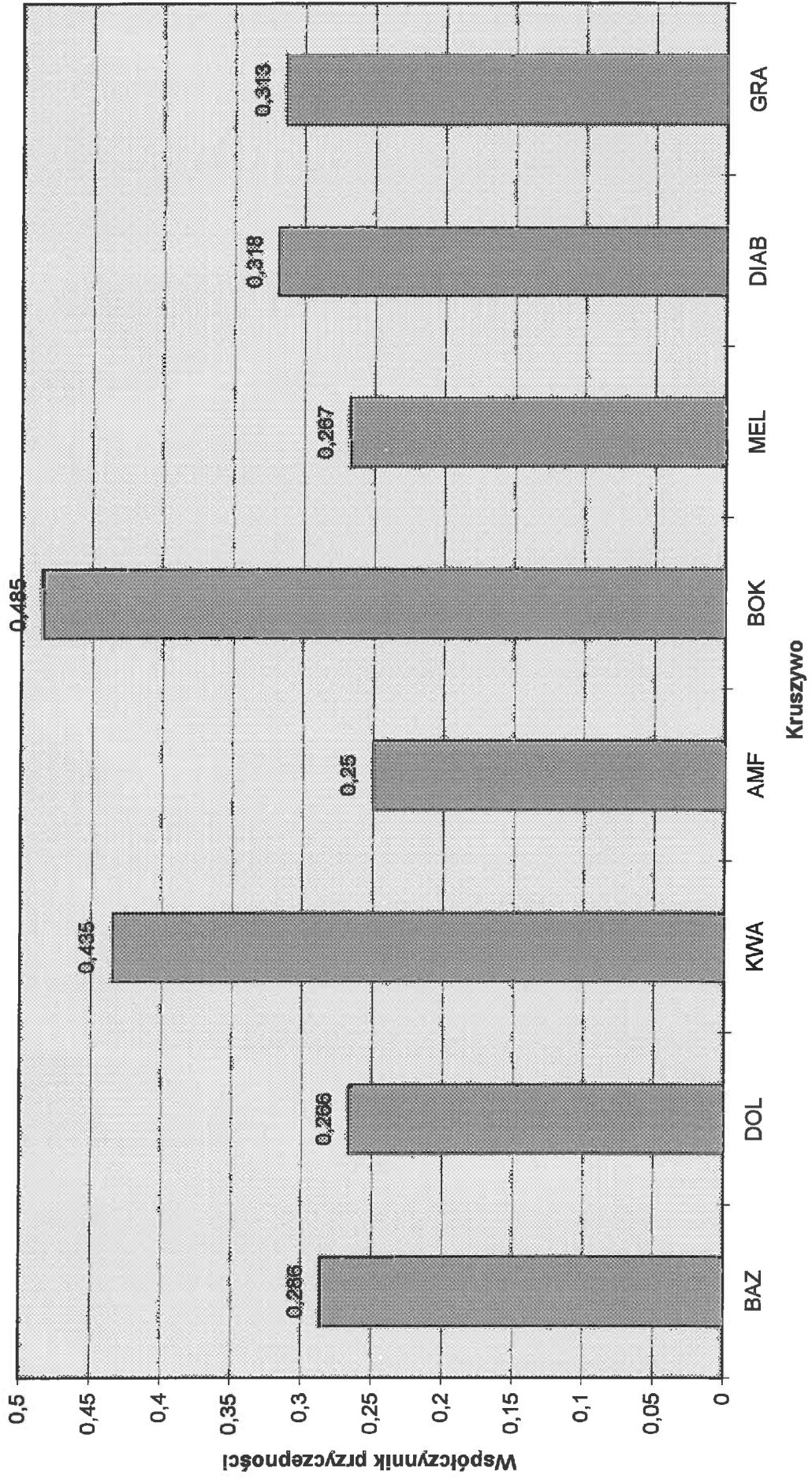
7.3 Wpływ lepiszcza

Błonka asfaltu na ziarnach kruszywa stanowi przyczynę zmniejszenia współczynnika przyczepności nawierzchni. Wpływ ten jest większy w początkowym okresie po wykonaniu nawierzchni, gdy błonka ta jest świeża i nie uległa starciu kołami pojazdów. Znalazło to nawet swoje odzwierciedlenie w terminologii drogowej jako „śliskość powykonawcza”, którą tłumaczono w przeszłości małą szorstkość wykonywanych nawierzchni. Wraz z upowszechnieniem w Europie Zachodniej badań współczynnika przyczepności i wprowadzeniem zaleceń dotyczących szorstkości zjawisko to przestało być tak groźne, bowiem konieczność spełnienia wymagania szorstkości wymusiła odpowiednie zmiany w doborze materiałów i składu oraz w technologii wykonywania robót.

Nadal jednak uznaje się, że w początkowym okresie eksploatacji można zauważyć wpływ asfaltu na zmniejszenie współczynnika przyczepności. Dotyczy to zwłaszcza nawierzchni z zastosowaniem polimeorasfaltu. Wyniki przeprowadzonych badań nie potwierdzają tego niebezpieczeństwa. Najbardziej szorstkie nawierzchnie spośród badanych wykonano właśnie z asfaltami modyfikowanymi elastomerem SBS. Są to odcinki zarówno betonu asfaltowego (DS3 Okęcie Warszawa), jak i SMA (DS3 Okęcie Warszawa, lotnisko Masłów, k/Kielc, ul. Górnośląska).

Rysunek 18

Wykres zależności współczynnika przyczepności od rodzaju kruszywa



7.4 Zmiany w czasie

Kilka odcinków nawierzchni było monitorowanych przez IBDM w ciągu kilku ostatnich lat. Dzięki temu uzyskano dane pomiarowe, mogące stanowić wskazówkę o zmianach współczynnika przyczepności w czasie eksploatacji nawierzchni. Przedstawia je tablica 10.

Tablica 10

Średni współczynnik przyczepności zmierzony w kolejnych latach
(wyniki pomiarów w latach 1993-1996 starą oponą,
w 1997 wynik przeliczony z pomiaru nową oponą)

Nr odcinka	Technologia	Rok pomiaru				
		1993	1994	1995	1996	1997
1	SMA			0,365	0,350	0,245
5	SMA				0,315	0,217
6	SMA			0,256	0,302	0,332
17	SMA	0,285				0,287
39	SMA	0,302			0,315	0,256
45	SMA	0,580				0,527
2	BA		0,235			0,274
3	BA		0,265			0,253
4	BA		0,190			0,303
37	BA			0,302	0,381	0,248
38	BA			0,335	0,302	0,313
29	MNU				0,515	0,301

Wyniki te zilustrowano rys. 19. Niektóre z badanych odcinków wykazały istotne zmiany w czasie eksploatacji – zmniejszenie współczynnika przyczepności, co jest spodziewanym kierunkiem zmiany. Wielkość tej zmiany w po kilku latach eksploatacji jest jednak niepokojąco duża, bowiem można przewidywać przejście nawierzchni do niższej klasy wg SOSN. Może to przynieść skutek w konieczności wykonania zabiegu utrzymaniowego ze względu na niewystarczającą szorstkość.

Odcinek cienkiej warstwy na gorąco z MNU wykazał w ciągu jednego roku znaczne zmniejszenie współczynnika, co można raczej przypisać błędnemu pomiarowi w 1996 r. (pomiar wykonano w późnej porze roku, co mogło zawyżyć wynik). Odcinek SMA na lotnisku w Masłowie zachował w ciągu kilku lat bardzo wysoki współczynnik, choć można powiedzieć, że jest to przykład nie reprezentatywny dla warunków drogowych, bowiem jest to lotnisko, na którym nawierzchnia nie ulega dogęszczaniu i uszczelnieniu pod ruchem.

Ponieważ badań zmiany współczynnika przyczepności nie wykonywano na badanych odcinkach systematycznie, to wyniki te trudno uznać za w pełni miarodajne. Jednak informacje te mogą stanowić pewne wskazania i uzupełnienie wniosków z pomiarów systematycznie prowadzonych w ramach SOSN przez BPRSD.

7.5 Analiza maksymalnej wartości współczynnika przyczepności oraz tekstury nawierzchni

W wielu krajach jako kryterium oceny przyjmuje się wartości współczynnika przyczepności przy niepełnej blokadzie koła pomiarowego, a więc przy częściowym poślizgu, najczęściej $s=10\div 15\%$, przy której to wartości występuje z reguły maksymalna wartość współczynnika przyczepności μ_{\max} . Wartość ta, w przybliżeniu, odpowiada współczynnikowi przyczepności do nawierzchni koła z systemem ABS.

Możliwość pomiaru maksymalnego współczynnika przyczepności posiada również urządzenie SRT-3. Parametr ten wyznaczono dla 40 badanych odcinków. Pomiar wykonywano przy prędkości 60 km/h, przy odpowiednio wydłużonym cyklu hamowania.

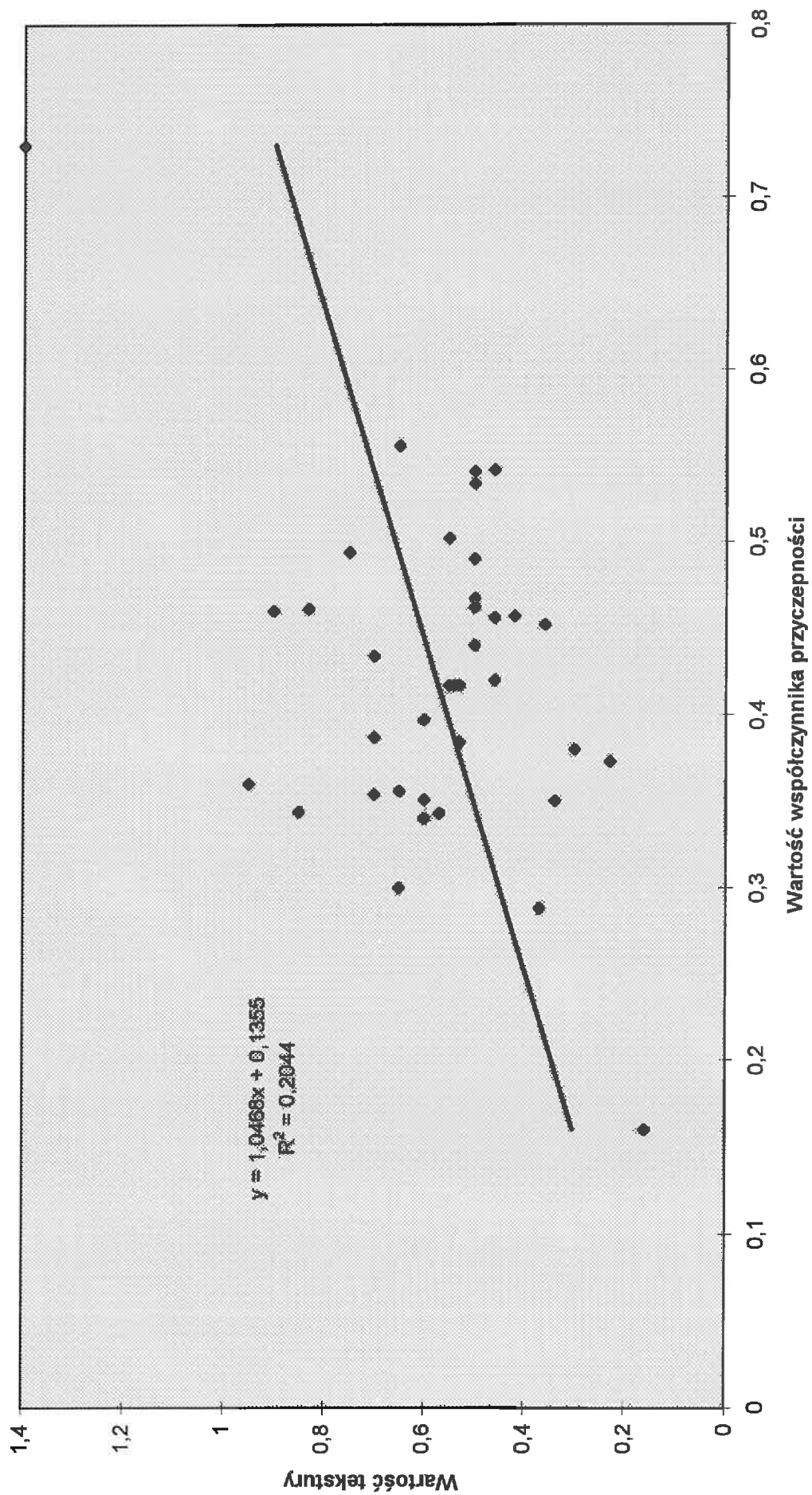
Przeprowadzono również pomiary głębokości tekstury metodą piasku kalibrowanego (ASTM E-965 Sandpatch).

Wyniki pomiaru średniego (100% poślizgu) i maksymalnego współczynnika przyczepności oraz głębokości tekstury nawierzchni poddano analizie statystycznej (rys. 20 - 25) w celu ustalenia zależności pomiędzy tymi parametrami. Stwierdzono, że:

- współczynnik korelacji dla oceny tekstury (dla wszystkich odcinków) i współczynnika przyczepności wyniósł ok. 0,45, co świadczy o małym wzajemnym powiązaniu tych parametrów. Wniosek ten potwierdzają spostrzeżenia przedstawione w [1],
- lepsza korelacja głębokości tekstury i współczynnika przyczepności występuje w zakresie poszczególnych technologii (ok. 0,75),
- istnieje silna korelacja pomiędzy średnim i maksymalnym współczynnikiem przyczepności nawierzchni (ok. 0,88),
- brak jest korelacji między głębokością tekstury i maksymalnym współczynnikiem przyczepności nawierzchni, $r = 0$. Świadczy to o tym, że parametry te są niezależne.

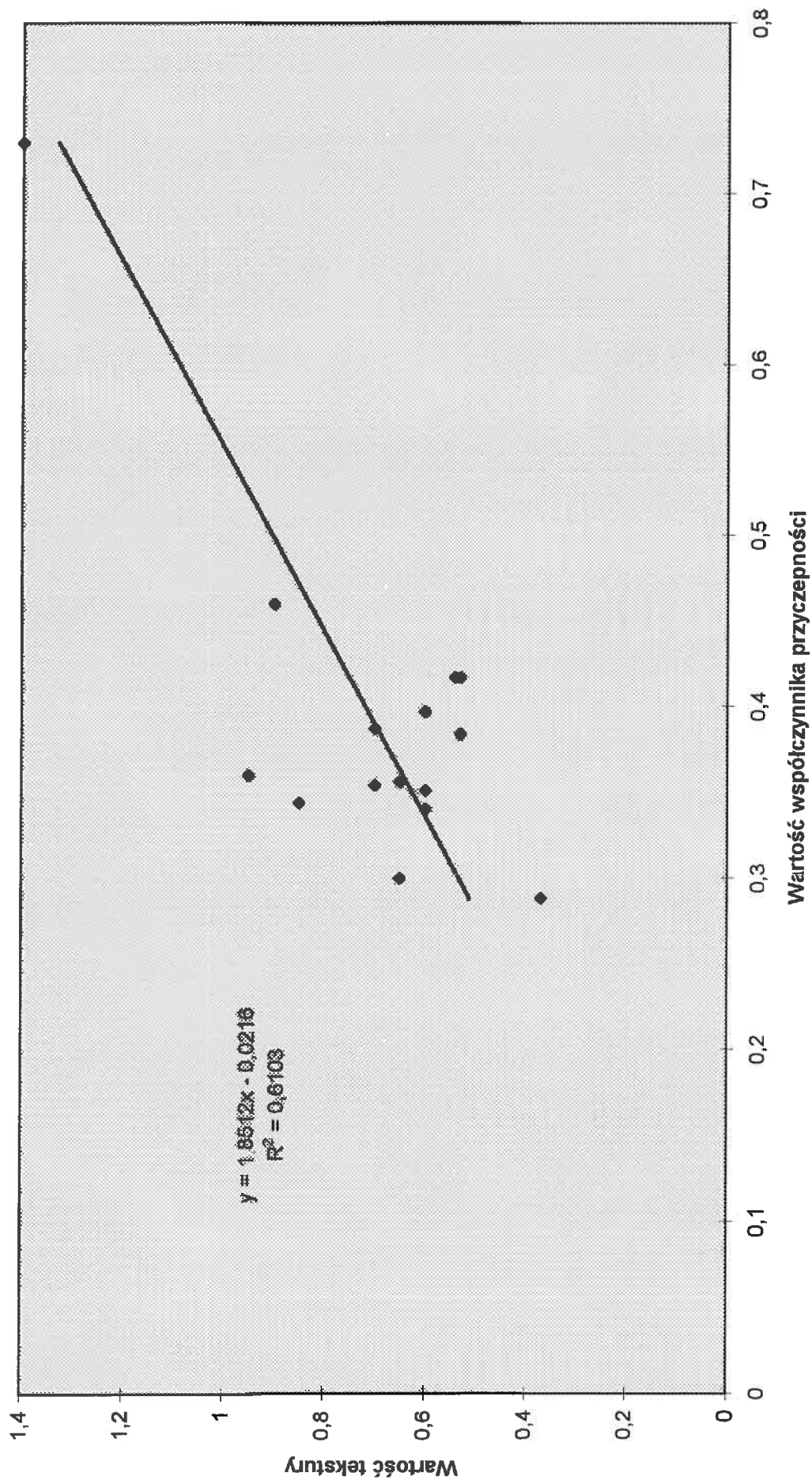
Rysunek 20

Zależność tekstury, mierzonej metodą piasku kalibrowanego, od wartości wsp. przyczepności (dla wszystkich odcinków)



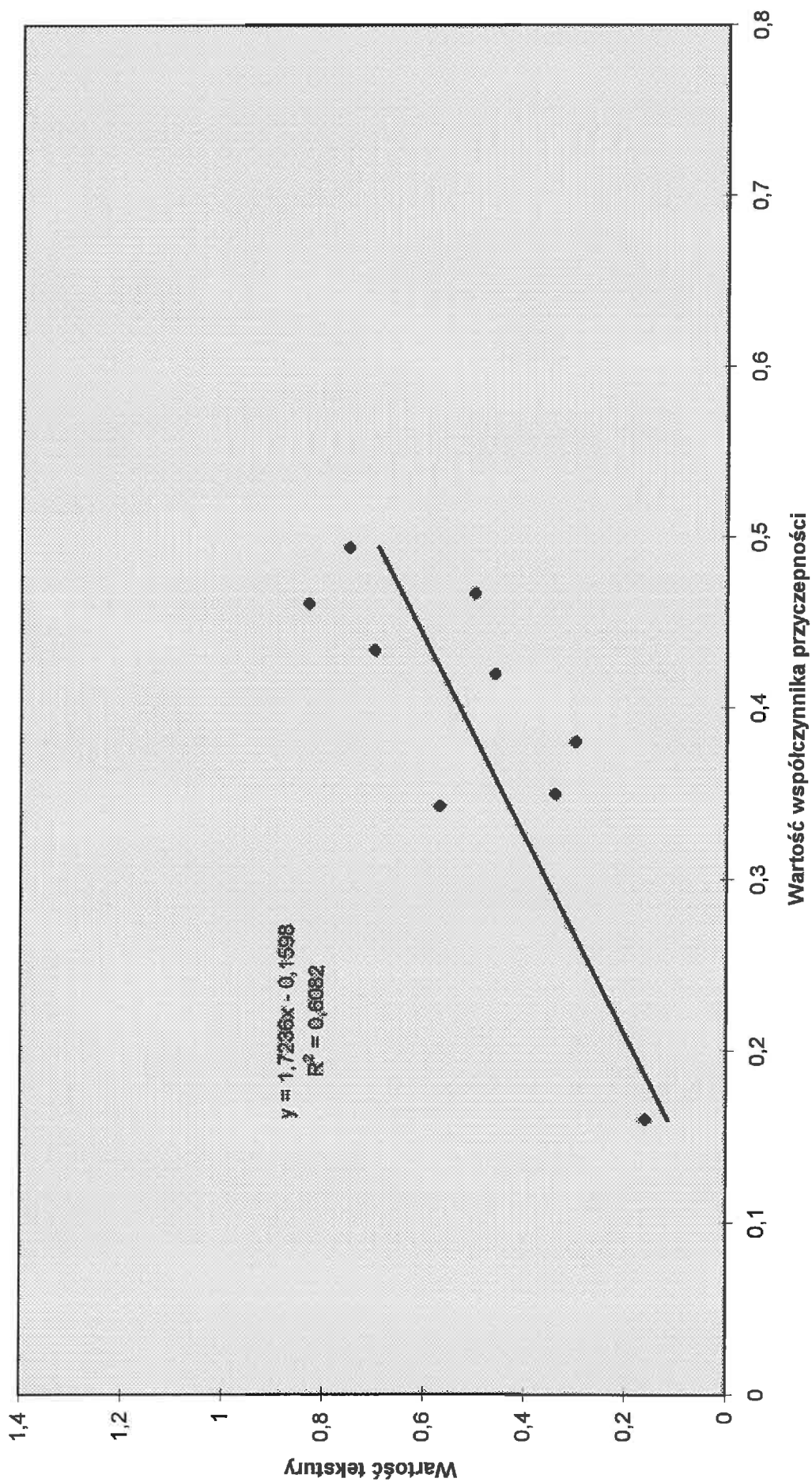
Rysunek 21

Zależność tekstury, mierzonej metodą piasku kalibrowanego, od wartości wsp. przyczepności (odcinki wykonane w technologii SMA)



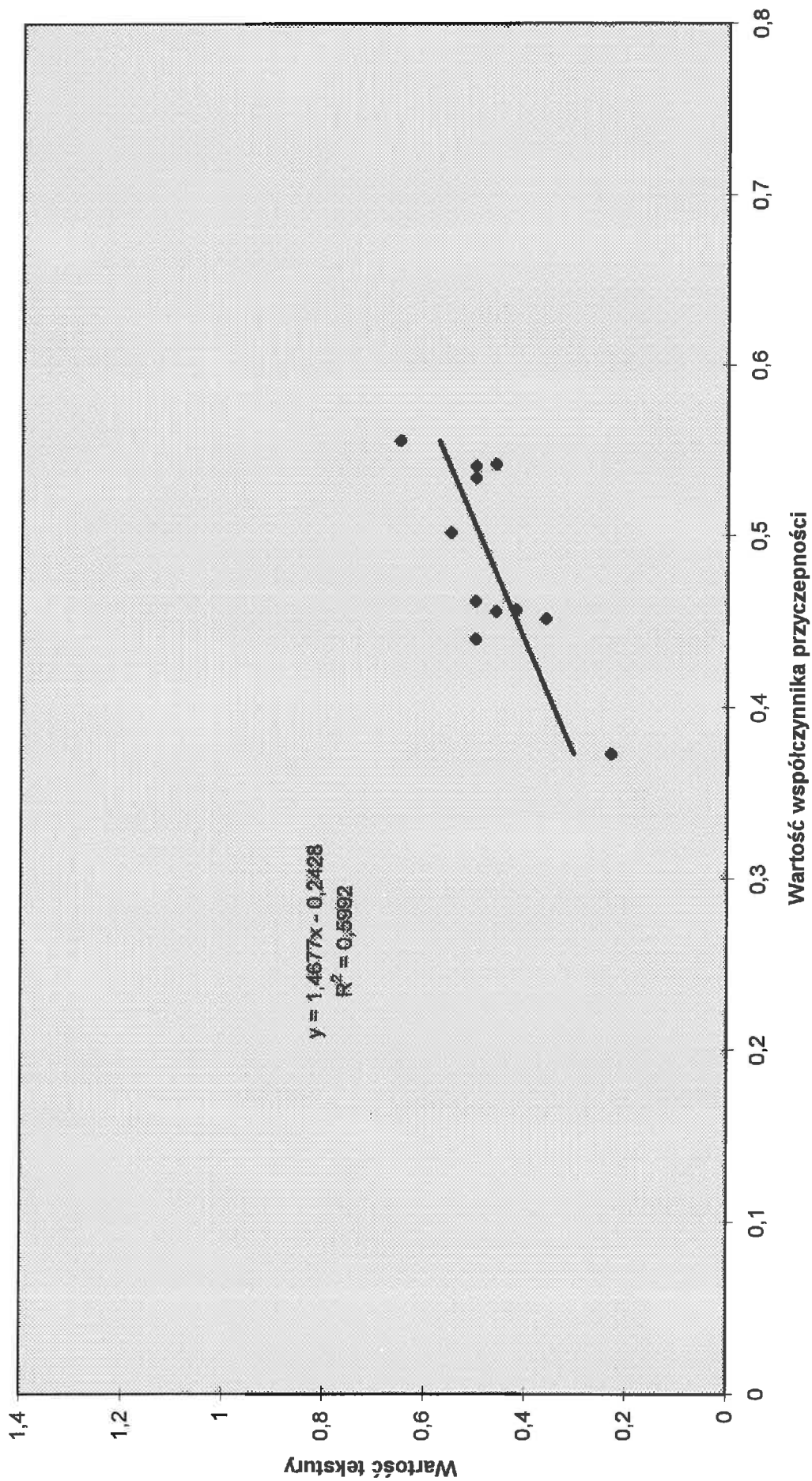
Rysunek 22

Zależność tekstury, mierzonej metodą piasku kalibrowanego, od wartości wsp. przyczepności (odcinki wykonane w technologii betonu asfaltowego)



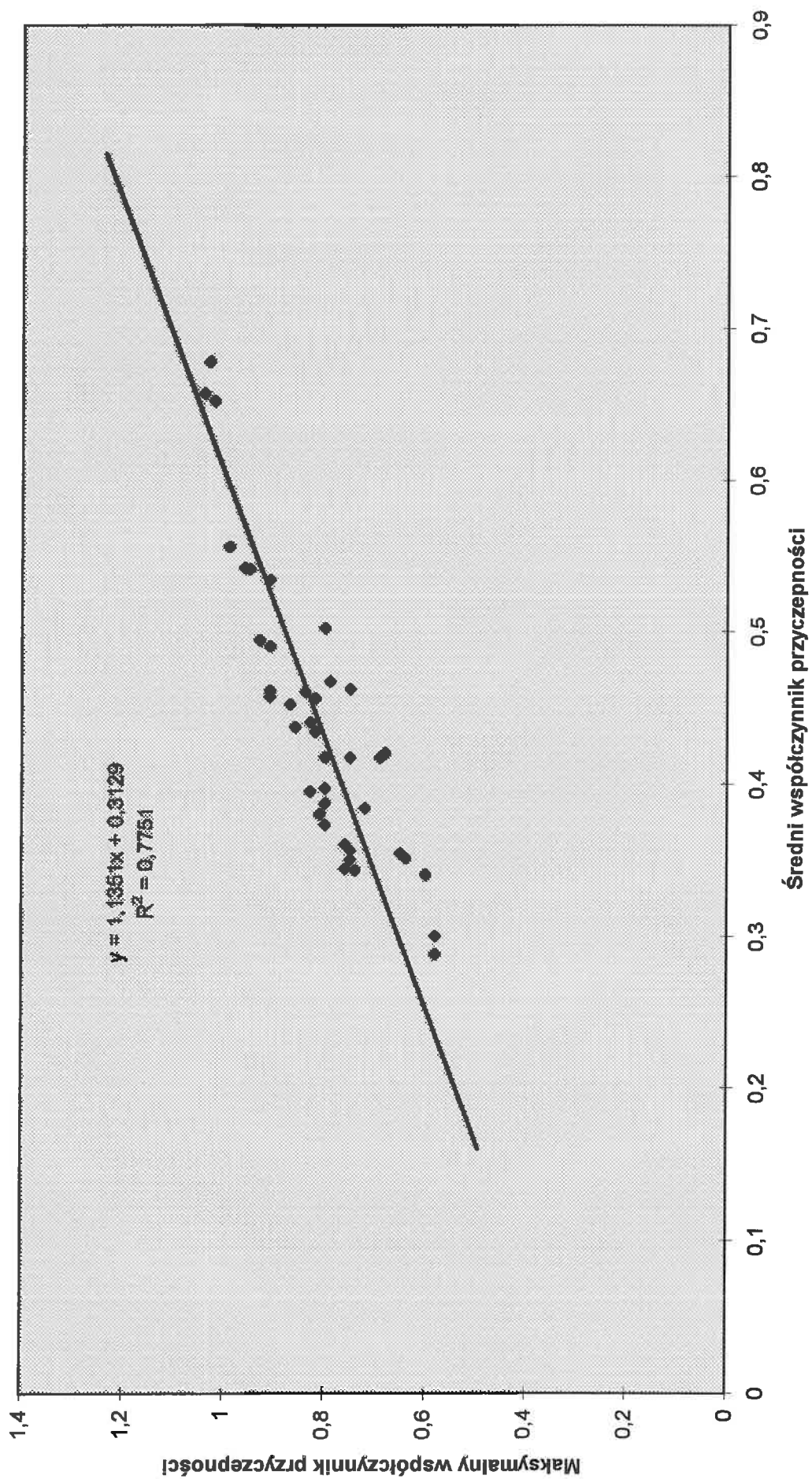
Rysunek 23

Zależność tekstury, mierzonej metodą piasku kalibrowanego, od wartości wsp. przyczepności (odcinki wykonane w technologii cienkiej warstwy na zimno)



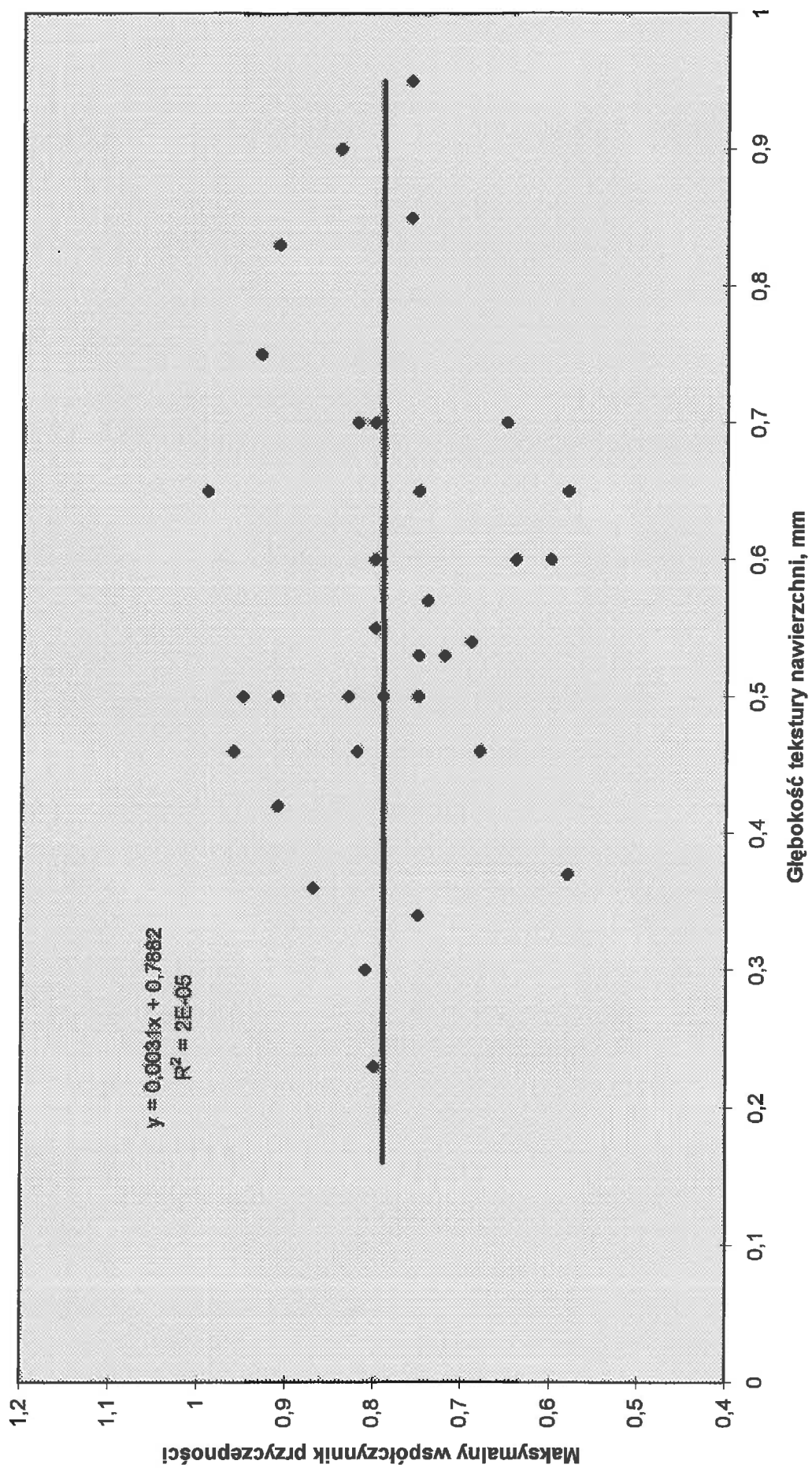
Rysunek 24

Wykres zależności maksymalnego współczynnika przyczepności (przy niepełnej blokadzie koła pomiarowego) od średniego współczynnika przyczepności (100% poślizgu)



Rysunek 25

Wykres zależności maksymalnego współczynnika przyczepności (przy niepełnej blokadzie koła pomiarowego) od głębokości tekstury nawierzchni



8 Porównanie z kryteriami oceny wg SOSN i z wymaganiami dot. autostrad płatnych i dróg publicznych - ocena możliwości spełnienia wymagań

Odniesienie wyników pomiarów współczynnika przyczepności do kryteriów dla klasy A wg SOSN (0,35) oraz do wymagania dla płatnych autostrad (0,38) przedstawiono już we wcześniejszej części analizy. Tu należy przypomnieć podstawowe wnioski:

- tylko nieliczne odcinki betonu asfaltowego i SMA spełniły kryterium klasy A wg SOSN i wymaganie autostradowe, są to odcinki nawierzchni o specjalnych wymaganiach i wykonanych ze specjalnymi rozwiązaniami technologicznymi:
 - nr 42 i 43 beton asfaltowy na DS3 Okęcie, Warszawa
 - nr 41 SMA na DS3 Okęcie, Warszawa
 - nr 45 SMA na lotnisku w Masłowie, k/Kielc
- nie przekroczyły progu klasy A wg SOSN nawierzchnie z betonu asfaltowego i SMA wykonane na ważnych drogach realizowanych w ramach ważnych kontraktów, np. A4 Legnica, A4 Kraków – Katowice, DK2, DK8, przez różnych wykonawców i z różnych materiałów, ze spełnieniem wymagań zapewniających odporność na deformacje
- spełniły wymagania klasy A wg SOSN niektóre z odcinków cienkiej warstwy na zimno, co potwierdza przydatność tej technologii w wykonywaniu robót utrzymaniowych, lecz trzeba przypomnieć, że nie jest to technologia rozwiązująca problem wykonywania warstw ścieralnych w nowo budowanych nawierzchniach
- cienka warstwa na gorąco, która jest z powodzeniem stosowana we Francji zarówno w budowie nowych nawierzchni, jak i w utrzymaniu istniejących (także na autostradach), nie wykazała współczynnika przyczepności, który sklasyfikowałby badane odcinki w klasie A, a tym bardziej nie spełnił wymagania autostradowego
- wymagania klasy A, ani wymagania autostradowego nie spełniła nawierzchnia z betonu cementowego (choć odcinek ten można uznać za mało miarodajny, bowiem wykonany jest na lotnisku i poza obszarem lądowań).

Można przypuszczać, że spełnienie wymagań możliwe jest, jeśli:

- beton asfaltowy jest specjalnie zaprojektowany z dużą zawartością frakcji grysowej, na dolnej krzywej granicznej wg normy; może się okazać trudne spełnienie równocześnie wymagania odporności na koleinowanie, o ile nie zostanie zastosowane równocześnie lepsze modyfikowane i inne specjalne środki technologiczne
- warstwa z SMA jest uszorstniona drobnym kruszywem łamanym
- niezależnie od typu mieszanki stosuje się kruszywa o rozwiniętej mikroteksturze i małej polerowalności, np. kwarcyt.

Należy jednak zaznaczyć, że, biorąc pod uwagę znajomość stosowanych technologii i świadomość tego, że większość badanych nawierzchni nie odbiega poziomem od nawierzchni wykonanych w tych technologiach w Europie Zachodniej i świecie, nasuwają się wątpliwości co do poziomu stawianych wymagań. Nie możemy stawiać wymagań, które mogą być spełnione tylko przez nieliczne technologie, niekoniecznie przydatne w wykonywaniu nowych robót, np. powierzchniowe utrwalenie, bądź cienka warstwa na zimno.

9 Zakończenie i wnioski

Przeprowadzone badania współczynnika przyczepności nowych (co najwyżej kilkuletnich) nawierzchni wykonanych w Polsce w technologiach powszechnie stosowanych lub wdrażanych do budowy nowych i utrzymania istniejących nawierzchni (beton asfaltowy, SMA, cienka warstwa na gorąco), bądź w utrzymaniu (cienka warstwa na zimno) pozwoliły na uzyskanie cennych informacji dotyczących zarówno samej metodyki pomiaru i sposobu obróbki i wykorzystania wyników, jak też poziomu wymagań stawianych nawierzchni, a także zaleceń technologicznych i materiałowych.

Wprowadzenie nowej opony pomiarowej wprowadziło zakłócenie procedury badawczej. Potęgowane to jest chęcią dostosowania wyników pomiarów uzyskanych nową oponą do kryteriów zaproponowanych na podstawie pomiarów starą oponą. Opracowane na podstawie dwóch różnych serii pomiarów (w 1996 i 1997 r.) funkcje przeliczeniowe różnią się między sobą na tyle znacznie, że zależnie od przyjętej funkcji niektóre odcinki mogą być różnie sklasyfikowane: jako spełniające kryterium lub nie. Wyniki pomiarów kontrolnych starą i nową oponą wykonane w ramach tej pracy świadczą, że lepsza jest funkcja opracowana na podstawie pomiarów z 1996 r. Zastosowanie jej daje lepszą korelację w zbiorze wyników większego współczynnika przyczepności, czyli w zbiorze nawierzchni o lepszych parametrach, mogących znaleźć się na granicy wymagania.

Tylko nieliczne odcinki z betonu asfaltowego i SMA spełniły kryterium klasy A wg SOSN oraz wymagania dla nawierzchni płatnych autostrad. Są to nawierzchnie wykonane na specjalne zamówienie, tj. z określonymi specjalnymi wymaganiami wobec szorstkości – nawierzchnie lotniskowe na DS3 Okęcie w Warszawie i na lotnisku sportowym w Masłowie k/Kielc. Technologie tam zastosowane są zgodne z wymaganiami stawianymi tym technologiom w robotach drogowych. Beton asfaltowy jest zgodny z PN-S-96022: 1974, a SMA z Zeszytem 49, lecz zastosowane specjalne projektowanie składu i uszorstwienie nawierzchni nie są powszechną praktyką wykonawczą. Podobnie zaprojektowanie mieszanki SMA złożonej w 80% z kruszywa kwarcytowego nie jest normalną praktyką. Te niekonwencjonalne zabiegi dały efekt w postaci bardzo wysokiej wartości współczynnika przyczepności, wyraźnie powyżej kryterium SOSN, bądź wymagania autostradowego, lecz trzeba się zastanowić, czy te specjalne środki technologiczne mogą być stosowane powszechnie. Tymczasem stosowana powszechnie praktyka doboru materiałów, projektowania składu betonu asfaltowego i wykonawstwa robót nawierzchniowych nie pozwoliła na uzyskanie odpowiednio wysokiego współczynnika przyczepności. Stało się tak na odcinkach nawierzchni wykonanych przez dobrych, renomowanych wykonawców pod doświadczonym nadzorem inwestora na najważniejszych kontraktach.

Wykonana praca pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- należy opracować nowe kryteria podziału na klasy SOSN według współczynnika przyczepności odnoszące się do bezpośredniego pomiaru nową oponą, bez stosowania funkcji przeliczeniowych
- do porównań z wcześniej wykonywanymi badaniami należy stosować funkcję opracowaną po serii pomiarów w 1996 r, a nie w 1997 r., ewentualnie należy powtórzyć badania, lecz z doбором odcinków obejmujących możliwie szeroki zakres wartości współczynnika przyczepności; wykonana praca pozwala na wybór takich odcinków
- najwyższe kryteria, dotyczące najbardziej szorstkich nawierzchni, powinny być uważnie zweryfikowane – zachodzi poważna obawa, że tylko nieliczne nowo budowane

nawierzchnie spełnią obecne wymaganie klasy A wg SOSN (0,35) i tym bardziej kryterium szorstkości nawierzchni płatnych autostrad (0,38)

- dobór materiałów i projektowanie składu betonu asfaltowego musi uwzględniać wymaganie szorstkości wobec nawierzchni, konieczne jest zwłaszcza zwrócenie uwagi na dobór kruszywa mineralnego
- warstwy z SMA muszą być wykonywane z uszorstnieniem drobnym odsianym kruszywem granulowanym
- cienkie warstwy na gorąco, tak często stosowane we Francji, powinny być projektowane z kruszywem zapewniającym uzyskanie wysokiej szorstkości (kwarcyt, granit)
- należy stosować mieszanki kruszyw z różnego surowca skalnego
- zastosowanie polimeroasfaltu lub modyfikacja mieszanki mineralno-asfaltowej polimerem nie pogarsza istotnie współczynnika przyczepności (najwyższe wyniki uzyskano na odcinkach wykonanych z asfaltem modyfikowanym elastomerem SBS, zarówno metodą pośrednią, jak i bezpośrednią)
- cienkie warstwy na zimno są skuteczną technologią w utrzymaniu nawierzchni, zapewniającą jej uszczelnienie i uszorstnienie; wysoki współczynnik przyczepności warstwa taka wykazuje zarówno przy małej, jak i dużej prędkości, co przeczy sformułowanemu w dawnych latach pogładowi, że szorstkość warstwy z drobnoziarnistej mieszanki znacznie zmniejsza się wraz ze zwiększeniem prędkości.

PIŚMIENNICTWO:

- [1] Antle Ch., Wambold J., Henry J.J.: International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid-Resistance Measurements. PIARC Technical Committee on Surface Characteristics C1, 1995
- [2] Czarniecki K., Szpinek S.: Monitoring szorstkości nawierzchni drogowych na sieci dróg krajowych w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. IBDiM, 1994
- [3] Fortuna E., Szwabik B.: Badania przyczepności nawierzchni drogowych. Prace IBDiM 4/1985
- [4] Fortuna E., Szwabik B.: Nowa generacja urządzeń do badania przyczepności nawierzchni drogowych. Prace IBDiM 1/1986
- [5] Klim M., Szczęsna J., Szrajber W.: Wstępna analiza wyników pomiarów współczynnika szorstkości wybranych odcinków sieci dróg państwowych. Prace IBDiM 3/1993
- [6] Mechowski T.: Praca naukowo-badawcza związana z potrzebą unowocześnienia czterech zestawów do badania przyczepności nawierzchni poprzedniej generacji tzw. SRT-2. IBDiM, 1996
- [7] Rafalski L., Godlewski D., Czarniecki K.: Porównanie metod pomiarowych współczynnika przyczepności i tekstury nawierzchni - eksperyment międzynarodowy. Drogownictwo 5/1993
- [8] System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN”, Wytyczne stosowania. GDDP, 1989
- [9] Szwabik B., Pokorski J.: Przesłanki teoretyczne a techniczne środki pomiaru współczynnika przyczepności nawierzchni drogowych. Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników spalinowych, Zeszyt 8, Polska Akademia Nauk, Kraków 1996
- [10] Szwabik B., Pokorski J., Hanula W.: Zestawy pomiarowe SRT-3. Podstawowe urządzenia do badania przyczepności nawierzchni drogowych w Polsce. Seminarium naukowo-techniczne „Diagnostyka i ocena stanu dróg”. Polska Akademia Nauk, Politechnika Szczecińska, 1997.
- [11] Wojdanowicz S., Fortuna E., Zapaśnik W.: Pomiar i ocena parametrów nawierzchni drogowych wpływających na ich stan techniczny. Prace IBDiM 4/1987
- [12] Wojdanowicz S.: Ocena szorstkości nawierzchni za pomocą piasku kalibrowanego. Prace IBDiM 4/1977
- [13] Wojdanowicz S.: Instrukcja pomiaru tekstury nawierzchni za pomocą piasku kalibrowanego. Prace IBDiM 4/1977

- [14] Wojdanowicz S. i zespół: Badania zależności szorstkości nawierzchni od składu mas mineralno-bitumicznych, użytych materiałów i technologii wykonania. IBDiM 1977.
- [15] Zawadzki J.: Polerowalność grysów z różnych rodzajów skał. Zbiór referatów z II Międzynarodowej Konferencji „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”. Kielce 1996