



STANISŁAW SZPINEK

stanislaw.szpinek@
gmail.com

Statystyczna metoda rozpoznawania odcinków jednorodnych

Część II. Przykłady zastosowań w badaniach równości nawierzchni

W artykule, na przykładzie wybranych zbiorów danych drogowych pochodzących z czteroletnich, systemowych pomiarów podłużnej równości nawierzchni jezdni autostrady A2 w okresie eksploatacji poprzedzającym jej remont generalny, pokazano i porównano wielkości zmian stanu technicznego opisanego za pomocą zbioru obserwacji zwyczajowo podzielonego na odcinki jednokilometrowe oraz na charakteryzujące się brakiem autokorelacji odcinki jednorodne. Jak wykazano, w wyniku zastosowania metody statystycznej otrzymano bardziej precyzyjne oszacowanie aktualnego stanu technicznego nawierzchni jezdni i jego prognozy.

Równość nawierzchni drogowej

Równość jest taką cechą eksploatacyjną, która w odczuciu użytkownika drogi wyraża zdolność danej nawierzchni jezdni do niewzbudzania wstrząsów i drgań jadącego pojazdu. Zachodzi bowiem oczywisty związek między nierównościami nawierzchni jezdni a kosztami ponoszonymi bezpośrednio przez użytkowników drogi (czas podróży i eksploatacja pojazdu), a także kosztami publicznymi, jakie wydatkuje zarządca sieci dróg na bieżące utrzymanie i remonty, by zapewnić warunki bezpiecznego ich użytkowania. Zmiana poziomu ocen równości informuje też o postępie procesu degradacji nawierzchni zachodzącym wewnątrz wielowarstwowej konstrukcji, zwykle wskutek oddziaływania ruchu pojazdów ciężkich. Na potrzeby systemowego zarządzania siecią dróg okresowo rejestruje się, za pomocą specjalistycznego urządzenia, rzędne profilu podłużnego nierówności nawierzchni jezdni na zewnętrznym pasie ruchu w prawym śladzie kół, który uważa się za reprezentatywny do całej jego szerokości. Uzyskane wyniki pomiaru są przetwarzane na jednostkowe i odcinkowe oceny równości, które odnosi się do właściwej dla nich skali oceny.

Ogólna charakterystyka sprzętu pomiarowego

Jednym z kilku wielofunkcyjnych urządzeń pomiarowych wykorzystywanych w naszym kraju do pomiaru równości nawierzchni jezdni na sieci dróg publicznych i autostrad płatnych jest profilograf laserowy RSP (*Road Surface Profiler*) produkcji firmy Dynatest (Dania) typu *DYNATEST 5051 Mk-II Test System*. Odpowiada on wymaganiom określonym przez Bank Światowy do urządzeń pomiarowych I klasy dokładności, *World Bank Technical Paper Number 46*, ISBN 0-8213-0590-5. Podłużne profile nierówności nawierzchni

jezdni są mierzone na szerokości pasa ruchu w ustalonych torach pomiarowych w sposób ciągły przez odpowiednio rozmieszczone czujniki laserowe, które znajdują się wewnątrz belki z przodu pojazdu (fot. 1).

W czasie pomiaru każdy z czujników laserowych próbkuje profil nawierzchni jezdni co około 5 mm, uśrednione rzędne tych profili odcinków drogi o zadeklarowanej stałej długości (5 ÷ 25 cm) są na bieżąco zapisywane w zbiorze pomiarowym. Na ogół pomiary wykonuje się przy prędkości jazdy profilografu RSP równej 50 km/h, ale stosownie do panujących warunków ruchu i bez istotnego wpływu na wyniki pomiaru można ją zmieniać w szerokim zakresie od 20 km/h do 110 km/h.

Oprócz laserowych czujników, profilograf RSP jest wyposażony w żyroskop, akcelerometrię i centralny komputer, który podczas pomiaru może jednocześnie rejestrować w postaci numerycznej zarówno profile podłużne i poprzeczne nawierzchni jezdni, jak również i inne charakteryzujące ją parametry geometryczne, np.: pochylenia podłużne, spadki poprzeczne, krzywizny łuków poziomych i pionowych, zmiany azymutu toru jazdy, a także obliczać odpowiednio zdefiniowane oceny stanu technicznego. Zamontowany w profilografie RSP dystansomierz wykorzystuje się do pomiaru odległości pomiędzy wybranymi przez operatora zdarzeniami o określonych współrzędnych drogi. Te dane są również zapisywane w zbiorze pomiarowym i służą później, podczas przetwarzania wyników pomiaru, do zlokalizowania na drodze zarejestrowanych parametrów technicznych nawierzchni jezdni.

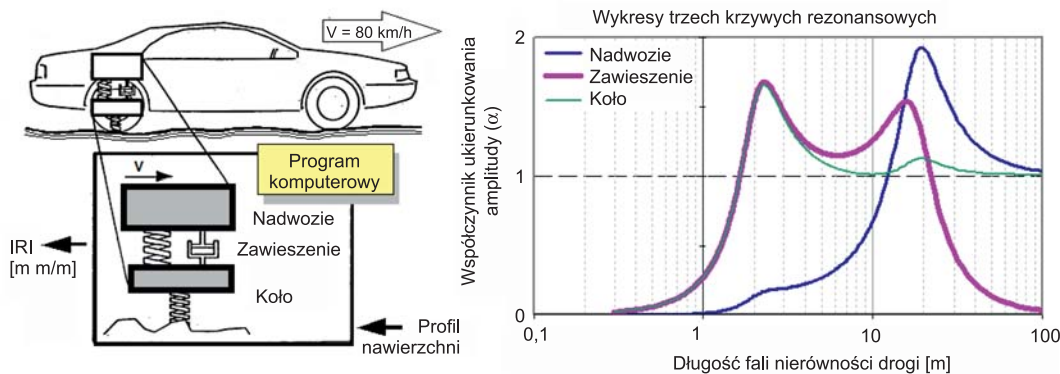


Fot. 1. Profilograf laserowy RSP

Wszystkie urządzenia wykorzystywane w naszym kraju do prowadzenia rutynowych pomiarów równości na sieci dróg publicznych, na potrzeby Systemu oceny Stanu Nawierzchni (SOSN), są systematycznie poddawane badaniom porównawczym na wyznaczonych odcinkach testowych [1]. Z tych badań wynika, że odchylenie standardowe powtarzalności wskaźnika *IRI* jako miara standardowej niepewności pojedynczego wyniku pomiaru wynosi $S_r \approx 0,08 E(IRI)$ mm/m.

Jednostkowa miara równości nawierzchni jezdni

Wskaźnik *IRI* charakteryzuje pracę zawieszenia w umownie przyjętym dynamicznym modelu pojazdu samochodowego o dwóch stopniach swobody, który teoretycznie jedzie z prędkością 80 km/h po zarejestrowanym przez specjalistyczne urządzenie pomiarowe profilu nierówności drogi (rys. 8).



Rys. 8. Charakterystyka dynamiczna modelu pojazdu samochodowego służącego do obliczeń wskaźnika *IRI*

Matematyczny model tego pojazdu obliczeniowego jest opisany układem dwóch równań różniczkowych zwyczajnych rzędu drugiego, które rozwiązują się numerycznie. Obliczona wartość wskaźnika *IRI* odpowiada *przeciętnemu odchyleniu*¹ wielkości przyrostu przemieszczenia względem siebie dwóch mas, nadwozia i koła, wywołanych w jednostce czasu kinematycznym wymuszeniem nierówności nawierzchni jezdni na przejechanym odcinku drogi i wyraża się go w mm/m (lub m/km). Jeśli dany profil nawierzchni jezdni nie wywoła w zamodelowanym zawieszeniu pojazdu żadnych efektów ($IRI = 0,0 \text{ mm/m}$), to badany odcinek drogi uważa się za idealnie równy. Nawierzchnie w stanie dobrym (nowe) charakteryzują się mniejszymi wartościami *IRI* niż nawierzchnie zniszczone i zdeformowane. Na ogół wyższa wartość *IRI* oznacza niższy komfort jazdy. Czyli im mniej jest zaangażowany amortyzator wraz z resorem do tłumienia drgań i wstrząsów w jadącym po danej drodze pojeździe samochodowym, tym jej nawierzchnię uważa się za bardziej równą. Z wykresu rezonansowego można odczytać, że o ocenie stanu nawierzchni decydują sinusoidalne fale nierówności o długo-

¹ *Odchylenie przeciętne* – średnia arytmetyczna odchyżeń od przyjętej wartości odniesienia, jeżeli wszystkim odchyleniom jest przypisany znak dodatni (PN-ISO 3534-1:2002 *Statystyka. Terminologia i symbole*).

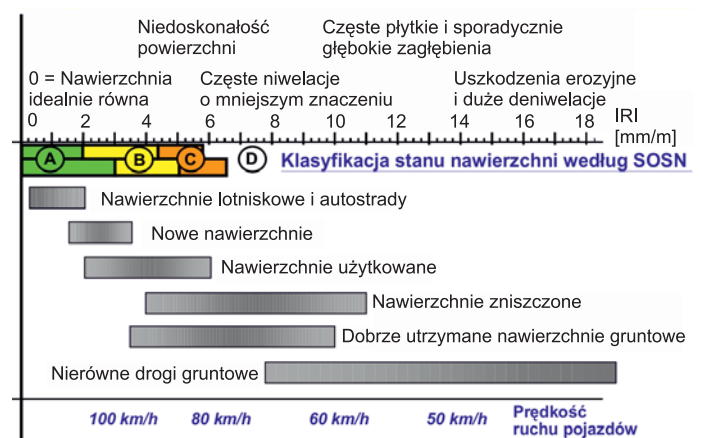
ściach z przedziału od około 1 m do 35 m. Przy czym fale nierówności o dwóch rezonansowych długościach mogą być szczególnie niebezpieczne dla ruchu pojazdów. Jedna o długości około 10 - 20 m, ze względu na jej odczuwanie przez kierującego pojazdem, a druga o długości około 2 - 3 m nie sprzyjając zachowaniu przez jadący pojazd ciągłości kontaktu kół z nawierzchnią.

Kryteria oceny równości nawierzchni drogowej

Wskaźnik *IRI* jest międzynarodową miarą równości podłużnej nawierzchni jezdni, akceptowaną również przez Bank Światowy. W Polsce wskaźniki *IRI* dla sieci dróg krajowych są od wielu lat gromadzone w bazie systemu SOSN GDDKiA w postaci zbiorów tekstowych o strukturze określonej w wytycznych SOSN. Na ogół stanowi on bardzo użyteczną w praktyce miarę równości nawierzchni drogowej, gdyż odnosi się bezpośrednio do oceny warunków jej użytkowania.

Im dana nawierzchnia wykazuje więcej takich cech zużycia, które wpływają na ograniczenie bezpiecznej prędkości jazdy pojazdów, tym jego wartość jest większa. W różnych publikacjach na świecie tę zależność przedstawia się w postaci graficznej jako ogólną skalę oceny równości podłużnej, określoną dla różnego rodzaju nowych i użytkowanych nawierzchni drogowych (rys. 9). Na tym wykresie pokazano

także, na tle wymagań międzynarodowych, obowiązujące w Polsce dla sieci dróg krajowych zakresy zmienności wartości średnich $E(IRI)$ z podziałem na dwie grupy klas dróg publicznych i cztery klasy stanu nawierzchni według wytycznych SOSN.



Rys. 9. Ogólna skala oceny stanu nawierzchni pod względem równości według wskaźnika *IRI*, na której pokazano określone według SOSN granice podziału na cztery klasy stanu nawierzchni dla dwóch grup klas dróg krajowych

W Polsce do oceny stanu zużycia nawierzchni autostradowych stosowane są dwie różne skale oceny, jedna czteroklasowa w odniesieniu do dróg krajowych (publicznych) – tabela 2 i druga trzyklasowa w odniesieniu do autostrad płatnych – tabela 3. W obu przypadkach wyznacza się odcinkowe oceny równości nawierzchni na odcinkach jednokilometryowych. Należy podkreślić, że choć w opisie tych klas stanu technicznego używa się takich samych symboli literowych i określić, to przypisuje się im zasadniczo różne znaczenie. Aby zapobiec ewentualnym pomyłkom, w niniejszym artykule przyjęto, że tam gdzie będzie mowa o ocenie równości nawierzchni drogi publicznej klasy A (autostrada) będzie podawany symbol SOSN, a gdzie o ocenie równości nawierzchni autostrady płatnej – symbol AP.

Tabela 2. Klasyfikacja stanu zużycia nawierzchni według wytycznych SOSN

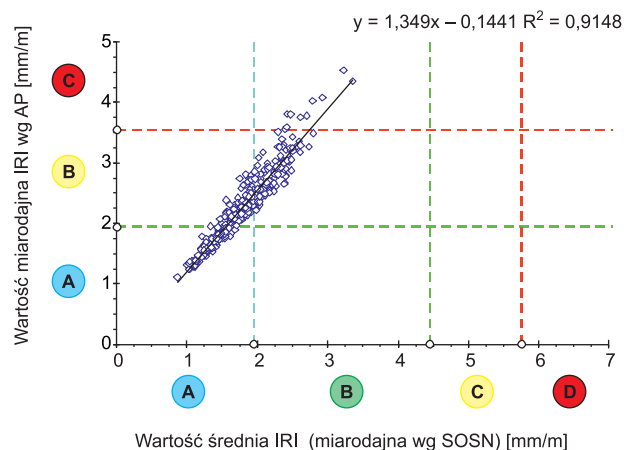
Klasa	Ocena opisowa E(IRI) [mm/m]	Charakterystyka stanu nawierzchni
A	stan dobry < 2,0	Nawierzchnie nowe, odnowione i eksploatowane, przy czym dopuszcza się występowanie sporadycznych uszkodzeń. Nawierzchnie nie wymagają remontu.
B	stan zadowalający 2,0÷4,4	Nawierzchnie ze znacznymi uszkodzeniami, które należy włączyć do planu remontów.
C	stan niezadowalający 4,4÷5,7	Nawierzchnie ze znacznymi i rozległymi uszkodzeniami, które wymagają natychmiastowego remontu.
D	stan zły > 5,7	

Tabela 3. Klasyfikacja stanu zużycia nawierzchni według Rozporządzenia MI

Klasa	Ocena opisowa E(IRI) + D(IRI) [mm/m]	Charakterystyka stanu nawierzchni
A	stan dobry < 2,0	Pożądany stan nawierzchni, w którym nie planuje się żadnych przedsięwzięć utrzymaniowych. Ocenę równości poprzecznej należy wykonywać w odstępach rocznych, natomiast ocenę pozostałych parametrów nie rzadziej niż co dwa lata.
B	stan zadowalający 2,0÷3,5	Własności użytkowe nawierzchni są obniżone, nie stwarzają jednak niebezpieczeństwa dla użytkowników. Wymagana jest coroczna ocena parametrów technicznych oraz włączenie nawierzchni do planu remontów.
C	stan zły > 3,5	Nawierzchnia przekroczyła stan przydatności do użytkowania i niezwłocznie powinna być poddana naprawie.

Systemowa ocena równości jednokilometryowych odcinków nawierzchni A2

Jak wynika z analizy porównawczej dwóch stosowanych w Polsce systemów oceny stanu zużycia nawierzchni, to w przypadku dróg krajowych system SOSN jest o wiele mniej rygorystyczny pod względem wymagań jakościowych (rys.



Rys. 10. Porównanie odcinkowych ocen równości, jakie wyznaczono według kryteriów SOSN i AP dla jednokilometryowych odcinków nawierzchni na podstawie zbiorów danych z okresu trzyletniej eksploatacji dwóch jezdni autostrady A2

10), niż system AP stosowany do nawierzchni autostrad płatnych, które są drogami o najwyższym wymaganym w Polsce standardzie użytkowania. Nawierzchnia badanej autostrady A2 w ostatnim roku eksploatacji, według kryteriów SOSN, na całej swojej długości nie kwalifikuje się na żadnym z odcinków do remontu i jeszcze długo by mogła być bezpiecznie użytkowana, natomiast w stanie dobrym według kryteriów AP jest na długości około 13% (rys. 11).

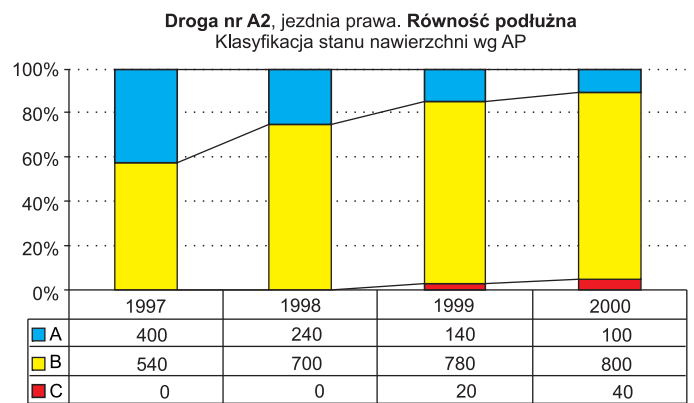
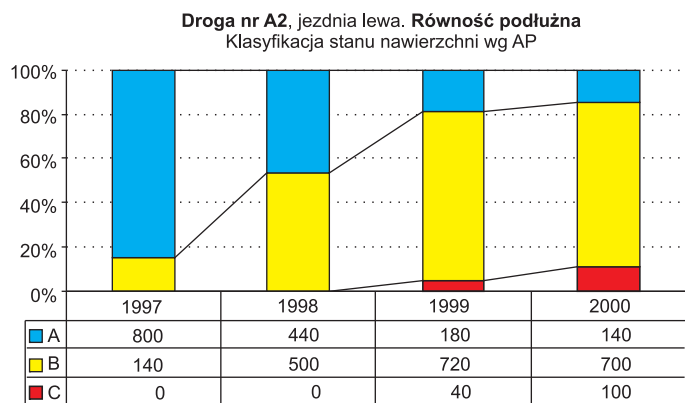
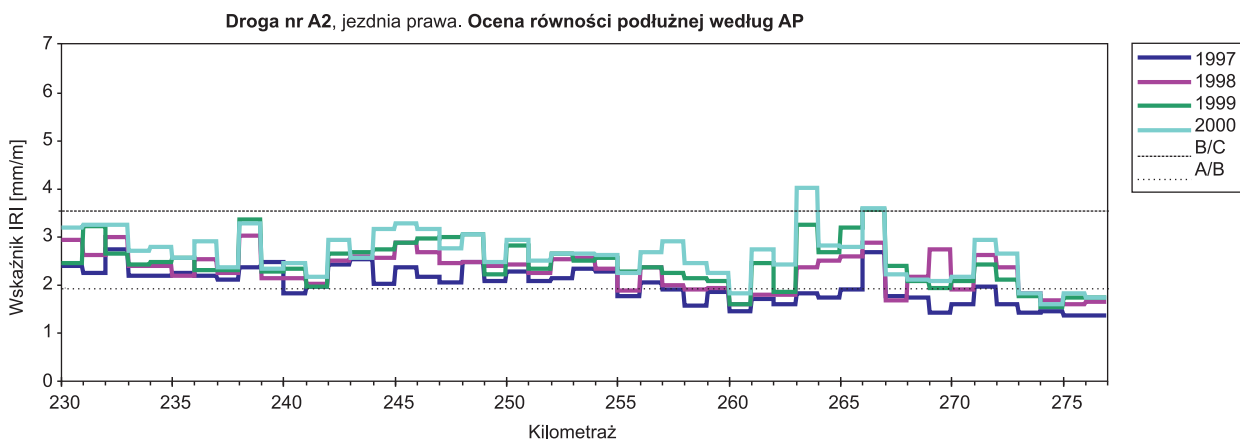
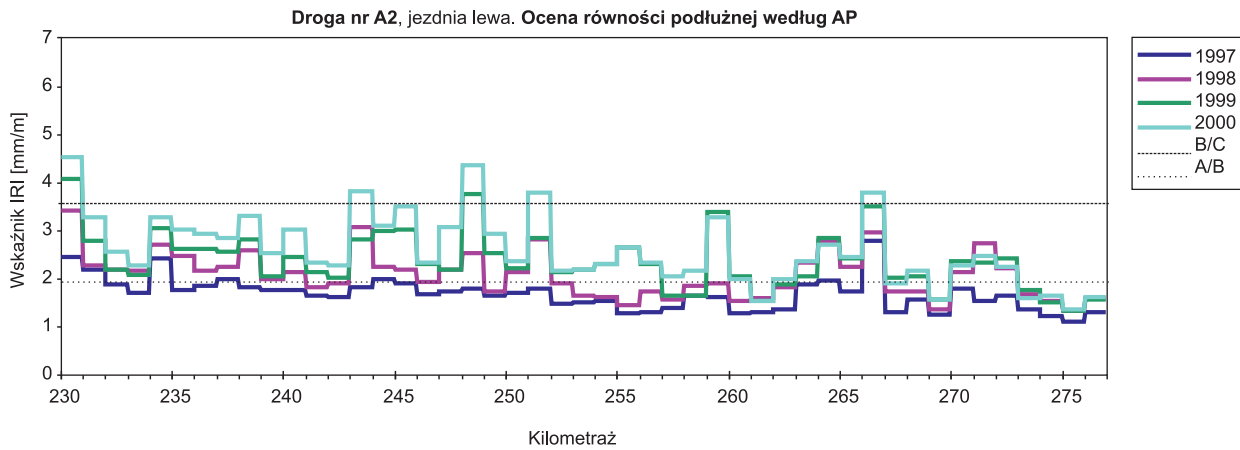
Systemowa ocena równości jednorodnych odcinków nawierzchni A2

Do systemowej oceny równości nawierzchni autostrady A2 przyjęto odcinkowe oceny, wyznaczone do wydzielonych odcinków jednorodnych. Otrzymane wyniki przedstawiono na wykresach (rys. 12), w takim samym układzie, jak na odcinkach jednokilometryowych na rysunku 11. Jak widać na pokazanych wykresach rozkładów odcinkowych ocen równości, można łatwo zlokalizować na długości autostrady A2 te strefy, gdzie lokalne zmiany ich wartości są największe. Natomiast pokazane tutaj zestawienia ilościowe na ogół nie uległy drastycznej zmianie, co zapewne wynika z dużej szerokości przedziałów klasowych, otrzymano nieco więcej odcinkowych ocen w klasie A i mniej w klasie C.

Precyzja oszacowania odcinkowych ocen równości nawierzchni A2

W tabeli 4 zestawiono obliczone według wzoru (6) współczynniki determinacji jako miary precyzji oszacowania na podstawie zbioru wartości IRI odcinkowych ocen równości dla przyjętych do analizy różnych wariantów podziału na odcinki dwóch nawierzchni jezdni autostrady A2 w kolejnych latach jej eksploatacji.

Jako wyjściowy przyjęto podział stały na odcinki jednokilometryowe, który stosuje się obecnie w systemowej ocenie stanu technicznego nawierzchni drogowych, a do porównań z nim wybrano trzy warianty wydzielonych odcinków jedno-



Rys. 11. Przebieg procesu degradacji nawierzchni na jednokilometrowych odcinkach dwóch jezdni autostrady A2 w okresie trzyletniej eksploatacji według kryteriów MI dotyczących autostrad płatnych. Na dwóch wykresach u góry pokazano rozkład odcinkowych ocen $E(IRI) + D(IRI)$ na długości badanego odcinka drogi, a na dwóch wykresach u dołu – zestawienie ilościowe tych ocen według trzech klas stanu technicznego: A, B i C, w tabeli podano liczby jednostkowych ocen równości

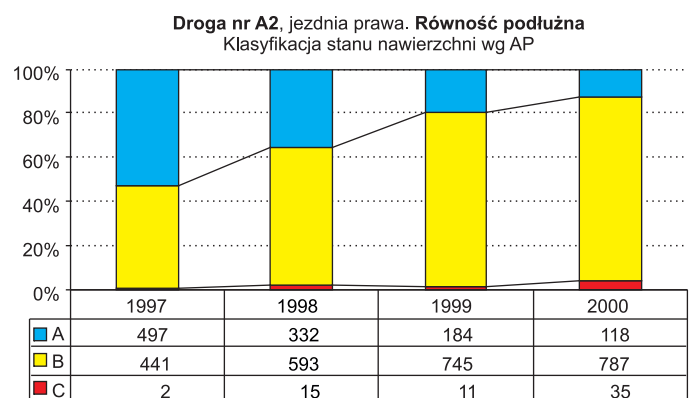
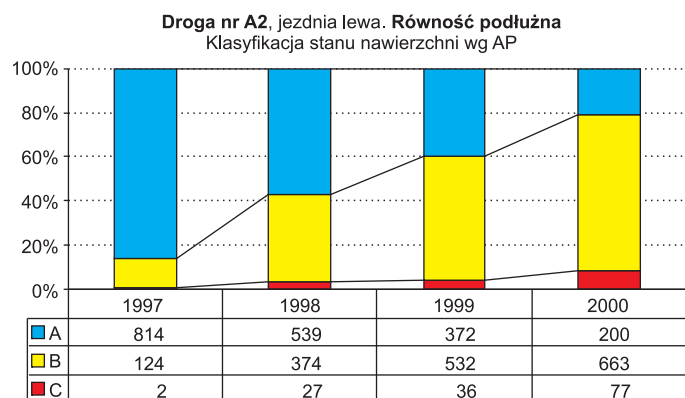
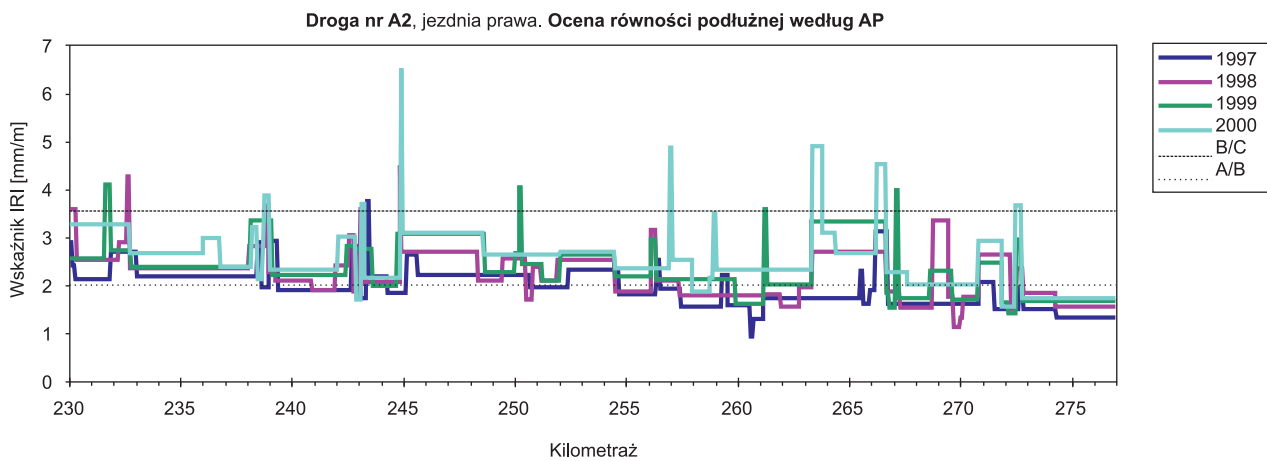
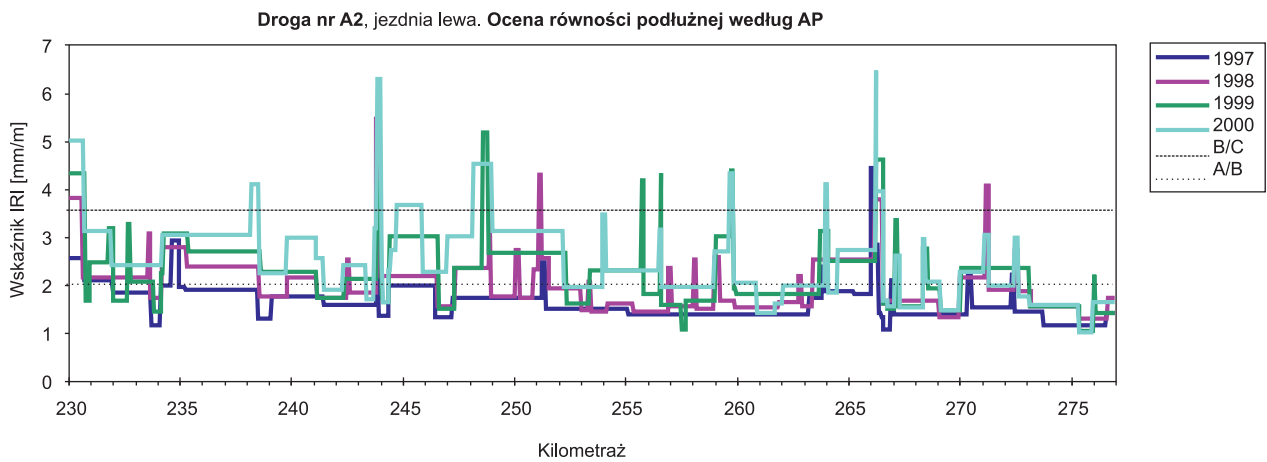
rodnych o różnej długości, które otrzymano w wyniku zastosowania procedury eliminacji autokorelacji reszt przez podział zbioru obserwacji. Obliczenia przeprowadzono na zbiorach wartości IRI bez przekształcenia i po ich przekształceniu za pomocą funkcji $\ln(IRI)$, a także na zbiorach wygładzonych średnią ważoną 1:2:1.

Jak widać, przekształcenie funkcją logarytmiczną zbiorów danych drogowych zasadniczo nie przyczyniło się do zmiany wartości współczynnika determinacji i liczby wydzielonych odcinków jednorodnych. Natomiast wygładzenie zbiorów

danych przed wyznaczeniem odcinków jednorodnych, zgodnie z oczekiwaniem, znacząco wpłynęło na zwiększenie wartości tych dwóch parametrów, R^2 i M .

Na dwóch wykresach u góry pokazano rozkład odcinkowych ocen $E(IRI) + D(IRI)$ na długości badanego odcinka drogi, a na dwóch wykresach u dołu – zestawienie ilościowe tych ocen według trzech klas stanu technicznego: A, B i C, w tabeli podano liczby odcinków o długości 50 m.

Wynika z tego, że precyzja oszacowania odcinkowych ocen, które wyznaczono do odcinków jednorodnych jest



Rys. 12. Przebieg procesu degradacji nawierzchni na jednorodnych odcinkach dwóch jezdni autostrady A2 w okresie trzyletniej eksploatacji według kryteriów MI dotyczących autostrad płatnych

Tabela 4. Wyniki badań precyzji oszacowania odcinkowych ocen równości nawierzchni autostrady A2 (w nawiasach obok wartości średniej podano odchylenie standardowe)

Przyjęty do badań podział na odcinki	Średnia liczba wydzielonych odcinków na jednej jezdni M	Współczynnik determinacji R^2
Jednokilometrowe	47	30,9% ($\pm 3,2\%$)
Jednorodne	42 (± 8)	50,9% (4,6%)
jednorodne na podstawie przekształconych danych funkcją $\ln(y)$	42 (± 7)	49,7% ($\pm 5,6\%$)
jednostkowe (bez grupowania) wygładzone średnią ważoną 1:2:1	940	82,2% ($\pm 1,8\%$)
jednorodne na podstawie wygładzonych danych średnią ważoną 1:2:1	146 (± 9)	66,8% ($\pm 2,6\%$)

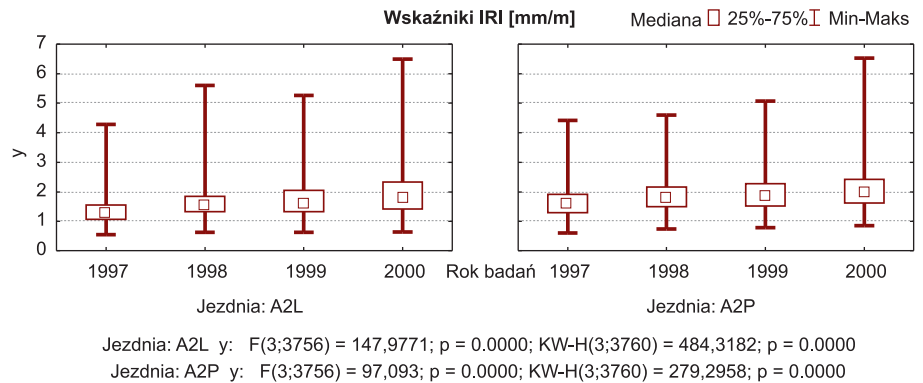
średnio o około 65% lepsza niż otrzymana dla odcinków jednokilometryowych, przy zbliżonej ich liczbie. Znaczną poprawę precyzji oszacowania tych ocen można uzyskać przez wygładzenie zbiorów danych drogowych, tutaj o ponad 100%, ale przy ponad trzykrotnie większej liczbie wydzielonych odcinków jednorodnych.

Model degradacji nawierzchni jezdni

Z prowadzonych w poprzednich częściach artykułu rozważań wynika, że w okresie trzyletniej eksploatacji autostrady A2 wystąpiły na dwóch jezdniach pewne przyrosty wartości ocen równości. W celu sprawdzenia istotności tych przyrostów zastosowano nieparametryczne testy, jeden Kruskala-Wallisa oraz drugi Friedmana, który stosuje się do pomiarów powtarzanych. W wyniku odrzucono hipotezę zerową zakładającą równość tych odcinkowych ocen, a to oznacza, że zaobserwowane przyrosty nie są przypadkowe i świadczą o zajściu trwałych zmian na obu jezdniach (rys. 13, tabele 5-6).

Na podstawie wyników analizy regresji przyjęto, że funkcja logarytmiczna osi czasu jest najlepszym ogólnym modelem opisującym proces degradacji badanych tutaj zbiorów ocen równości. Na rysunku 14 przedstawiono wykresy tej funkcji do odcinkowych ocen równości wyznaczanych według AP. Jak widać, od początku badań stan techniczny nawierzchni lewej jezdni pod względem równości był istotnie lepszy od stanu technicznego nawierzchni prawej jezdni, przy czym proces jej degradacji przebiegał szybciej. Jednostkowy przyrost odcinkowych ocen równości, charakteryzujący tutaj wyraźnie zmniejszające się tempo przebiegu procesu degradacji, prawdopodobnie wskutek ustabilizowania się na tej drodze poziomu obciążenia ruchem pojazdów. A więc można oczekiwać, że przy niezmiennym ruchu pojazdów ciężkich, stan techniczny nawierzchni na obu jezdniach mógłby się wyrównać za około 3 lata.

W dalszej części (wzór 7) przedstawiono wybrany przykład modelu degradacji nawierzchni do szacowania wartości miarodajnej, w którym oprócz zmiennej niezależnej czas $t = \text{Rok} - 1996$ dodatkowo uwzględniono lokalizację

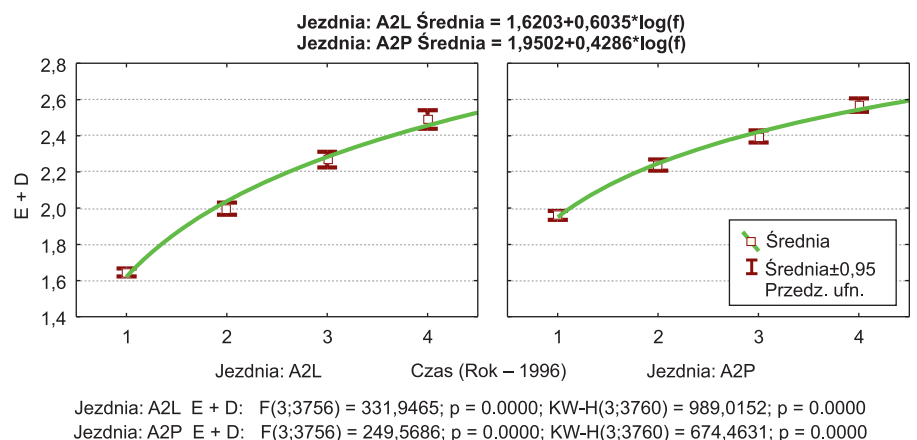


Rys. 13. Graficzne zestawienie wartości wybranych parametrów statystycznych i wyniki testów ANOVA do zbiorów danych z ocenami równości nawierzchni dwóch jezdni autostrady A2

Tabele 5-6. Zestawienie wyników testu Friedmana oraz wartości parametrów charakteryzujących w czteroletnim cyklu badań zbiory odcinkowych ocen równości, którym przypisano klasy według dwóch klasyfikacji, SOSN i AP

Zmienna	ANOVA Friedmana i współczynnik zgodności Kendalla (A2L.sta) Chi kwad. ANOVA (N = 940, df 3) = 764,2584 p 0,00000 Współczynnik zgodności = ,27101 r śred. rang = ,27024						
	Średnia Ranga	Suma Rang	Średnia E	Odch. std. D	Klasa wg SOSN	Miarodajna E + D	Klasa wg AP
y'97	1,588830	1493,500	1,36	0,42	A	1,78	A
y'98	2,527128	2375,500	1,66	0,55	A	2,21	B
y'99	2,689894	2528,500	1,80	0,73	A	2,52	B
y'00	3,194149	3002,500	1,97	0,84	A	2,81	B

Zmienna	ANOVA Friedmana i współczynnik zgodności Kendalla (A2L.sta) Chi kwad. ANOVA (N = 940, df 3) = 501,4080 p 0,00000 Współczynnik zgodności = ,17780 r śred. rang = ,17693						
	Średnia Ranga	Suma Rang	Średnia E	Odch. std. D	Klasa wg SOSN	Miarodajna E + D	Klasa wg AP
y'97	1,792021	1684,500	1,63	0,48	A	2,11	B
y'98	2,467553	2319,500	1,87	0,54	A	2,41	B
y'99	2,639894	2481,500	1,95	0,63	A	2,58	B
y'00	3,100532	2914,500	2,08	0,69	B	2,77	B



Rys. 14. Modele degradacji nawierzchni trzyletniego okresu eksploatacji (t-1) dwóch jezdni autostrady A2, które wyznaczono na podstawie stosowanych do autostrad płatnych odcinkowych ocen równości nawierzchni według Rozporządzenia MI.

Tabele 7–8. Zestawienie wyników obliczonych oddzielnie dla obu jezdni wartości trzech parametrów liniowego modelu degradacji nawierzchni, tj. wyrazu wolnego (B_0) i dwóch współczynników kierunkowych (B_1 , i B_2)

Jezdnia = A2L Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: E + D (A2*IRI.sta) R = ,59546184 R ² = ,35457481 Skoryg. R2 = ,35423122 F(2,3757) = 1032,0 p<0,0000 Błąd std. estymacji: ,55412						
N = 3760	BETA	Bł. std. BETA	B	Bł. std.	t(3757)	poziom p
W. wolny			2,078529	0,022745	91,3831	0,00
Nr pkt	-0,383278	0,013107	-0,000974	0,000033	-29,2423	0,00
ln(t)	0,455712	0,013107	0,603488	0,017357	34,7686	0,00

Jezdnia = A2P Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: E + D (A2*IRI.sta) R = ,57371954 R ² = ,32915411 Skoryg. R2 = ,32879699 F(2,3757) = 1032,0 p<0,0000 Błąd std. estymacji: ,55412						
N = 3760	BETA	Bł. std. BETA	B	Bł. std.	t(3757)	poziom p
W. wolny			2,336017	0,018474	126,4492	0,00
Nr pkt	-0,405109	0,013363	-0,000820	0,000027	-30,3166	0,00
ln(t)	0,406252	0,013363	0,428603	0,014098	30,4022	0,00

zając jednostkowych ocen równości na długości drogi $Nr_pkt = (x - 229)/50$, gdzie x współrzędna punktu w km. W dwóch tabelach (7–8) podano obliczone oddzielnie do obu jezdni wartości trzech parametrów modelu: B_0 , B_1 , i B_2 .

$$E(IRI) + D(IRI) = B_0 + B_1 Nr_pkt + B_2 \ln(t) \quad (7)$$

Ujemna wartość parametru B_1 oznacza, że wartość miarodajna IRI maleje wraz z rosnącym kilometrażem drogi na obu jezdniach prawie jednakowo (w granicach błędu zaokrąglenia) o około 0,02 mm/m na jeden kilometr drogi. Wartość parametru B_2 wyznacza jednostkowy przyrost wartości miarodajnej IRI w punkcie i jest on istotnie większy na jezdni lewej niż na jezdni prawej.

Z tego modelu wynika, że średni poziom nierówności na autostradzie A2, niezależnie od rozpatrywanej jezdni, zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do odległości od początku badanego odcinka drogi. A to oznacza, że od strony Wrześni występują na obu jezdniach istotnie większe nierówności nawierzchni niż od strony Konina.

Następny model degradacji nawierzchni wyznaczono do odcinków jednorodnych, które w ostatnim roku badań znajdowały się w jednym z trzech określonych stanów technicznych wg klasyfikacji AP: dobrym, zadowalającym albo złym. Pokazane na rysunku 15 modele degradacji nawierzchni ilustrują wcześniejsze zachowanie się ocen równości na wydzielonych w 2000 roku odcinkach jednorodnych i pogrupowanych według trzech klas stanu technicznego.

Jak widać, te odcinki nawierzchni jezdni autostrady A2, które w ostatnim roku eksploatacji były w stanie złym (klasa C₂₀₀₀), już wcześniej charakteryzowały się większym przyrostem wartości odcinkowych ocen równości, wyraźnie odbiegającym od średniego tempa przebiegu procesu degradacji.

Podsumowanie i wnioski

Zbiory danych drogowych z jednostkowymi ocenami stanu technicznego nawierzchni drogowych w równoodległych punktach są uporządkowane według kilometrażu drogi, analogicznie do szeregów czasowych. Stanowią one na ogół pojedynczą realizację ciągłego procesu losowego. Naturalny zakres zmienności ich wartości pozwala przyjąć założenie, iż na długości drogi jest to proces stacjonarny o skokowo zmiennych poziomach ciągów obserwacji. Ponieważ następujące po sobie obserwacje podlegają wpływom czynników losowych, więc do ich rozpoznania i eliminacji mogą być zastosowane metody analizy szeregów czasowych.

Przedmiotem badań statystycznych były zbiory danych z jednostkowymi ocenami równości nawierzchni dwóch jezdni autostrady A2, które charakteryzują jej stan techniczny w okresie trzyletniej eksploatacji w latach 1997 - 2000.

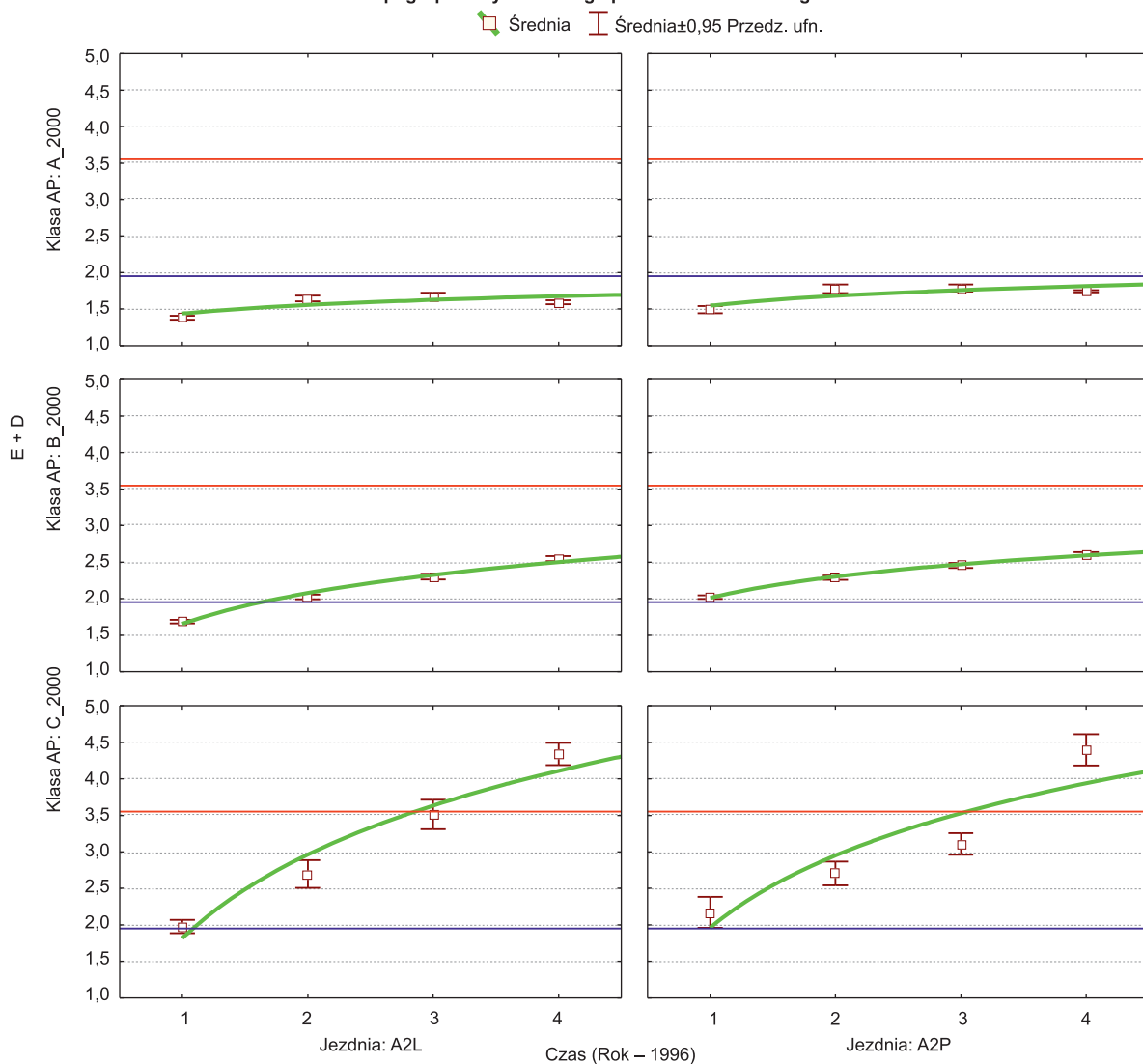
W artykule przedstawiono wyniki analizy porównawczej precyzji oszacowania odcinkowych ocen równości nawierzchni, jakie wyznaczono w tym celu na podstawie zbioru ocen jednostkowych z odcinków jednokilometrowych oraz odcinków jednorodnych o zmiennej długości. Przy wyznaczaniu odcinków jednorodnych posłużono się metodą eliminacji autokorelacji reszt przez podział zbioru danych drogowych. Jak wykazano, to test *von Neumanna* może być stosowany do rozpoznawania autokorelacji rzędu pierwszego w klasie zbiorów danych o skokowo zmiennych poziomach wartości obserwacji, także o małej ich liczebności.

Przekształcenie zbiorów IRI funkcją logarymiczną w celu spełnienia wymaganych założeń metod stosowanych w badaniach szeregów czasowych, którymi posłużono się w statystycznej analizie zbiorów danych drogowych, nie poprawiło precyzji oszacowania odcinkowych ocen równości.

Choć długość ocenianych odcinków nawierzchni nie wpływa znacząco na zestawienia ilościowe odcinkowych ocen równości według stosowanych u nas w kraju klasyfikacji, to jednak ma ona wpływ na błąd oszacowania nierównomiernego rozkładu ocen symptomów procesu degradacji na długości drogi. W przypadku autostrady A2 odcinkowe oceny równości, które otrzymano do jednorodnych odcinków, są bardziej precyzyjne, o około 65%, niż dla jednokilometrowych odcinków przy zbliżonej ich liczbie. Precyzję oszacowania odcinkowych ocen stanu technicznego można jeszcze poprawić, jeśli przed zastosowaniem procedury wyznaczania odcinków jednorodnych zostaną odpowiednio wygładzone wartości obserwacji w zbiorze danych drogowych w celu zmniejszenia poziomu szumów.

Zgodnie z przedstawionym modelem degradacji nawierzchni dwóch jezdni autostrady A2, tempo jego przebiegu stopniowo malało, co może świadczyć o ustabilizowaniu się ruchu pojazdów ciężkich w okresie prowadzonych na tej drodze badań równości. Wydzielone odcinki nawierzchni jezdni,

Wykres zmian wartości miarodajnych IRI na odcinkach jednorodnych pogrupowanych według opisu stanu technicznego z 2000 r.



Jezdnia: A2L, Klasa AP: A_2000 Średnia = $1,4366+0,1725*\log(t)$
 Jezdnia: A2L, Klasa AP: B_2000 Średnia = $1,653+0,6114*\log(t)$
 Jezdnia: A2L, Klasa AP: C_2000 Średnia = $1,8164+1,6547*\log(t)$
 Jezdnia: A2P, Klasa AP: A_2000 Średnia = $1,5461+0,1937*\log(t)$
 Jezdnia: A2P, Klasa AP: B_2000 Średnia = $2,0103+0,4194*\log(t)$
 Jezdnia: A2P, Klasa AP: C_2000 Średnia = $1,9609+1,4281*\log(t)$

Rys. 15. Modele degradacji nawierzchni trzyletniego okresu eksploatacji (t-1) dwóch jezdni autostrady A2, które wyznaczono do odcinków jednorodnych pogrupowanych na podstawie odcinkowych ocen równości z 2000 r. według klasyfikacji AP

które w ostatnim roku badań były w stanie złym, charakteryzowały się od początku znacznie większym przyrostem wartości odcinkowych ocen równości.

Przedstawiona metoda rozpoznawania jednorodnych zbiorów obserwacji może być wykorzystana w systemowym zarządzaniu siecią dróg.

Szczególne podziękowania za cenne uwagi i wnikliwą ocenę zaprezentowanej w artykule analizy danych drogowych składam prof. Andrzejowi Sokołowskiemu.

Bibliografia

- [1] St. Szpinek, *Nadzór merytoryczny nad pomiarami równości podłużnej i głębokości kolein*, zbiór corocznych raportów dla GDD-KiA (dawniej GDDP), DRO-KONSULT, Warszawa, 1995 - 2011
- [2] St. Szpinek, *Zastosowanie wybranych metod badań szeregów czasowych do analizy zbiorów danych drogowych z wydzielonymi odcinkami jednorodnymi na przykładzie zbiorów ocen równości nawierzchni autostrady A2 Września – Konin z okresu trzyletniej eksploatacji w latach 1997–2000*, Praca Dyplomowa pod kierunkiem: prof. UEK dra hab. Andrzeja Sokołowskiego, Studia podyplomowe *Praktyczne prognozowanie i analiza szeregów czasowych*, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków 2009 ■