



STANISŁAW SZPINEK

Polska Inżynieria Sp. z o.o.
stanislaw.szpinek@gmail.pl

Badania równości nawierzchni lotniskowych

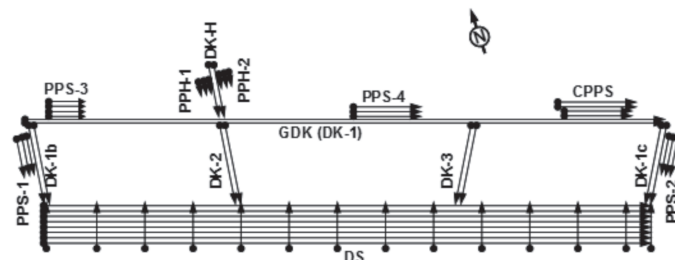
Równość nawierzchni jest jedną z podstawowych jej cech, którą odnosi się bezpośrednio do skali oceny komfortu jazdy pojazdów i bezpieczeństwa użytkowania dróg. Dlatego jednym z ważnych zadań zarządcy nawierzchniami lotniskowymi jest stosowanie systemowych metod obserwacji stanu ich zużycia w celu ujawniania źródeł degradacji, np. [3], [8], [12], [14], [16] i [20]. W niniejszym artykule przedstawiono wybrane wyniki i wnioski z rozpoznawczych badań równości nawierzchni lotniskowych, które uzyskano z pomiarów przeprowadzonych na jednym z lotnisk wojskowych. Zasadniczym celem tego eksperymentu było porównanie stosowanych współcześnie, w odniesieniu do nawierzchni lotnisk i sieci dróg publicznych, trzech różnych metod i skal oceny stanu zużycia nawierzchni pod względem równości.

Do analizy przyjęto trzy odcinkowe oceny równości nawierzchni, przede wszystkim przewidzianą dla lotnisk wojskowych w Polsce **ocenę stopnia wadliwości** nawierzchni lotniskowej [2], którą opracowano w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych ITWL [7] oraz do porównań z nią – **ocenę wielkości uskoku (nieciągłości)** nawierzchni betonowej, opracowaną dla potrzeb drogowych na zlecenie GDDKiA [21], a także **ocenę komfortu jazdy pojazdów**, która została opracowana na zamówienie Banku Światowego [10] i jest stosowana w naszym kraju od wielu lat do odbiorczej i systemowej oceny równości nawierzchni jezdni na sieci dróg publicznych [4], [5] i [6]. Cechą wspólną tych trzech ocen równości jest to, że wyznacza się je według różnych procedur obliczeniowych dla tego samego podłużnego profilu nierówności nawierzchni, który może być rejestrowany przez dowolnego typu profilografy mechaniczne i laserowe, których powszechnie używa się na potrzeby diagnostyki nawierzchni drogowych [9]. Profil ten charakteryzuje się bardzo szerokim widmem amplitudowym składowych fal nierówności nawierzchni o długościach od kilku decymetrów do ponad hektometra i pokrywa on w pełni to pasmo nierówności nawierzchni jezdni, które ma istotny wpływ na warunki ruchu pojazdów i bezpieczeństwo użytkowników dróg [15].

Ogólny program badań rozpoznawczych

Zakres badań rozpoznawczych obejmował wykonanie na danym lotnisku, w sezonie letnim, pomiaru i oceny równości nawierzchni lotniskowych na wybranych drogach i płaszczyznach przeznaczonych do naziemnego ruchu i postoju samolotów. W tym celu rzędne podłużnych profili nierówności nawierzchni, które posłużyły do obliczeń różnie zdefiniowanych odcinkowych ocen równości, zostały zarejestrowane profilografem laserowym.

Nawierzchnie lotniskowe na wyróżnionych do badań 14 obiektach funkcjonalnych lotniska (obszarach) (rys. 1), zostały wykonane z betonu cementowego (BC) na jedenastu z nich oraz na trzech z betonu asfaltowego (BA). Na drodze startowej (DS) o długości ok. 2,5 km profile nierówności nawierzchni mierzono w przekroju podłużnym na ośmiu pasmach płyt betonowych, tj. po cztery z obu stron osi drogi, oraz w przekrojach poprzecznych na jednym paśmie płyt, co około 200 m. Na drogach kołowania (DK) profile nierówności nawierzchni mierzono na pasmach płyt po obu stronach osi drogi, zaś na płaszczyznach postoju samolotów (PPS, CPPS i PPH) na kilku wybranych pasmach płyt w kierunku równoległym do osi przystającej DK. W zależności od usytuowania ocenianego pasma płyt betonowych w planie lotniska, pomiary rozpoczęto od strony zachodniej albo od strony północnej, z wyjątkiem profili poprzecznych DS, gdzie mierzono je od strony ścieku. Pomiary na drogach z nawierzchnią asfaltową wykonywano w takiej samej lokalizacji względem ich osi, jaką przyjęto przy pomiarach pasm płyt betonowych.



Rys. 1. Schemat lokalizacji linii pomiarowych na 14 obiektach (elementach) funkcjonalnych lotniska (kody elementów funkcjonalnych lotniska podane na rysunku przytaczane są w treści niniejszego artykułu)

W zbiorach pomiarowych zapisano uśrednione rzędne podłużnych profili nierówności odcinków (w skrócie – *punktów pomiarowych*) o długości 0,1 m. Wszystkie profile nierówności nawierzchni mierzono profilografem pośrodku ocenianego pasma płyt betonowych w trzech równoległych torach pomiarowych, tj. w dwóch śladach kół i w osi pojazdu pomiarowego. W ten sposób uzyskano do analizy dwukierunkową informację o rozkładzie nierówności na powierzchni pasma płyt betonowych [11]. Na podstawie zarejestrowanych, w postaci numerycznej podłużnych profili, nierówności nawierzchni były wyznaczane, według ustalonych procedur obliczeniowych, jednostkowe oceny równości *odcinków badawczych* o długości równej 50 m, jako składowe ogólnej (wynikowej, odcinkowej) oceny równości nawierzchni obiektu (elementu) funkcjonalnego lotniska: DS, DK, PPS, CPPS i PPH.

Zasady pomiaru i oceny równości nawierzchni

Równość nawierzchni wykonanych z BC i BA na badanym lotnisku oceniano na podstawie profili nierówności zarejestrowanych profilografem laserowym RSP na wszystkich wyróżnionych obiektach funkcjonalnych. W wyniku przetworzenia, według ustalonych procedur, otrzymanych zbiorów pomiarowych zostały wyznaczone dla tych nawierzchni po trzy zbiory jednostkowych ocen równości, które charakteryzują je pod względem: wielkości mierzonego prześwitu pod czterometrową łatą (*stopień wadliwości*, %), wysokości uskoku na krawędziach płyt betonowych (*wskaźnik uskoku*, mm/m) oraz wpływu profilu nierówności na komfort jazdy pojazdów (*wskaźnik IRI*, mm/m).

Ogólna charakterystyka urządzenia pomiarowego

Profilograf laserowy (*Road Surface Profiler*) o numerze seryjnym 5051-2-018 jest wielofunkcyjnym urządzeniem pomiarowym produkcji firmy **Dynatest** (Dania) typu *DYNATEST 5051 Mk-II Test System*. Profilograf RSP odpowiada wymaganiom określonym przez Bank Światowy dla urządzeń pomiarowych I klasy dokładności [26]. Profile nawierzchni są mierzone w sposób ciągły na szerokości 3 m w pięciu torach oddalonych od siebie o 0,75 m albo na szerokości 1,5 m w trzech torach przez symetrycznie rozmieszczone czujniki laserowe, które znajdują się wewnątrz belki z przodu pojazdu, fot.1.



Fot. 1. Profilograf RSP firmy Dynatest

W czasie pomiaru każdy z czujników laserowych próbkuje profil nawierzchni jezdni co około 5 mm, uśrednione rzędne tych profili dla 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, GPS i centralny komputer, który może podczas pomiaru jednocześnie rejestrować

w postaci numerycznej zarówno profile podłużne i poprzeczne nawierzchni jezdni, jak również i inne charakteryzujące ją parametry geometryczne, np. spadki podłużne i poprzeczne, krzywizny łuków poziomych i pionowych, zmiany azymutu toru jazdy, współrzędne geograficzne oraz odpowiednio zdefiniowane oceny stanu technicznego. Profilograf RSP wyposażony jest również w dystansomierz, który wykorzystuje się do pomiaru odległości pomiędzy wybranymi przez operatora zdarzeniami o określonych współrzędnych drogi. Te dane na bieżąco są zapisywane w zbiorze pomiarowym i służą później, podczas przetwarzania wyników pomiaru, do zlokalizowania na drodze zarejestrowanych parametrów technicznych nawierzchni jezdni.

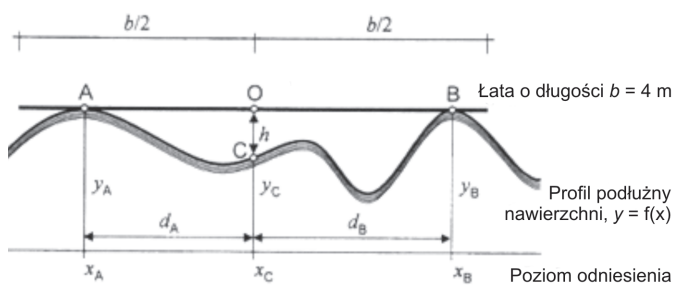
Jednostkowa miara stopnia wadliwości nawierzchni lotniskowej

Równość nawierzchni lotniskowej, zgodnie z ogólnymi założeniami, powinna być wyrażona przez stopień wadliwości, który określa procentowy (względny) udział na odcinku badawczym liczby pododcinków o długości 5 m, gdzie wystąpiło co najmniej jedno przekroczenie dopuszczalnej wartości prześwitu pomiędzy nawierzchnią a swobodnie położoną na jej powierzchni czterometrową łatą, który mierzy się klinem w połowie długości łaty. Graficznym zapisem umownego profilu nierówności nawierzchni pod przesuwającą się po jej powierzchni łatą jest tzw. *wykres prześwitów*.

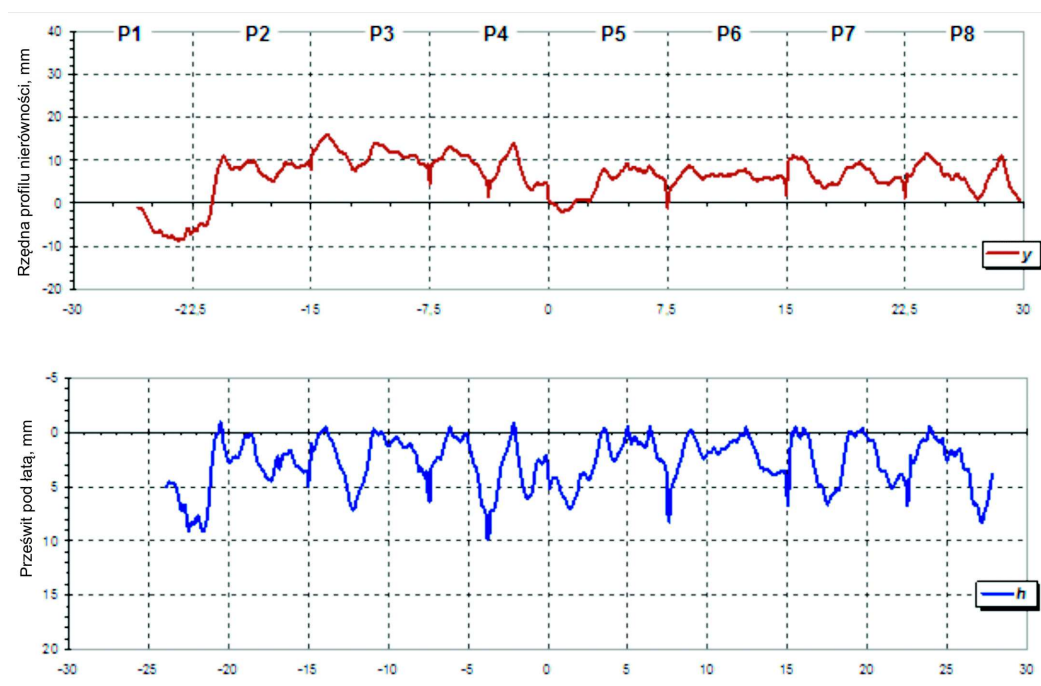
Zgodnie z normą [1], planograf poruszający się na 14 kółkach stanowi niejako mechaniczny model czterometrowej łaty, który wyposażony jest w układ przekładni do rysowania w sposób ciągły wykresu prześwitów w odpowiedniej skali na papierowej taśmie. Natomiast *zmodernizowany* planograf [2] został wyposażony w dodatkowy układ do cyfrowej rejestracji wartości prześwitów odczytywanych w punktach co 0,1 m. Przy tym ustalono, że przekroczenie, które należy uwzględnić w ocenie wadliwości, występuje wtedy, gdy co najmniej dwa kolejne odczyty w zbiorze zarejestrowanych prześwitów są większe od wartości dopuszczalnej, [7]. A to oznacza, że długość takiego przekroczenia nie może być mniejsza niż 0,1 m. Pewnym mankamentem tej metody pomiarowej, niezależnie od sposobu rejestracji wyników, jest przede wszystkim to, że na właściwy wykres prześwitów są nakładane zakłócenia od nieciągłego układu jezdni planografu.

W badaniach równości nawierzchni drogowych korzysta się też z innej metody pomiaru wielkości prześwitów, np. [17], [18], [19], która polega na zastosowaniu teoretycznego modelu planografu (łaty) przesuwającego się po *podłużnym profilu nierówności nawierzchni*, który jest rejestrowany profilografem dla potrzeb diagnostyki nawierzchni drogowych. Z analizy widma amplitudowego profilu nierówności nawierzchni wynika, że w pełni pokrywa on ten zakres długości fal składowych nierówności nawierzchni, który rejestruje planograf, np. [15] i [17]. A to oznacza, że profil nierówności nawierzchni można wykorzystać do sporządzenia wykresu prześwitów. Ogólny schemat teoretycznego modelu planografu pokazano na rysunku 2.

Efekt działania programu symulującego przejazd modelu planografu po nierównościach nawierzchni przedstawiono na dwóch wykresach dla przykładowo wybranego przekro-



Rys. 2. Model planografu, b – długość łąty, h – prześwit, d_A i d_B – odległości dwóch punktów podparcia A i B od środka ciężkości teoretycznej łąty w punkcie O ($d > 0$), y_A , y_B i y_C – trzy rzędne profilu nierówności nawierzchni [17]



Rys. 3. Przykładowy wykres profilu nierówności nawierzchni betonowej (y) składającej się z płyt (P1 ÷ P8) o długości 7,5 m i odpowiadający mu wykres prześwitów (h) z podziałem na pododcinki o długości 5 m

ju poprzecznego drogi startowej (DS) o szerokości 60 m, rys. 3. Na pierwszym wykresie pokazano profil nierówności nawierzchni, jaki został zarejestrowany profilografem RSP w jednym torze pomiarowym na paśmie ośmiu płyt betonowych, od P1 do P8, o długościach 7,5 m, a na drugim – odpowiadający mu wykres prześwitów, który podzielono na pododcinki badawcze o długości 5 m. Początek osi odciętych na obu wykresach pokrywa się z osią DS. Natomiast profil nierówności mierzono od strony płyty P1, gdzie znajduje się otwarty ściek, którego krzywizny nie uwzględnia się w ocenie wadliwości nawierzchni. Widoczna na wykresie różnica pomiędzy początkiem profilu nierówności (y) a krawędzią DS odpowiada długości ustawionego tam przed rozpoczęciem pomiaru profilografu RSP. Z takiego samego względu długość wykresu prześwitów (h) jest zawsze mniejsza od długości zarejestrowanego profilu nierówności nawierzchni, ponieważ punkt pomiarowy znajduje się pośrodku czterometrowej łąty. Wartości dodatnie h odpowiadają wielkości mierzonego prześwitu pod łątą, pomiędzy dwoma

punktami jej podparcia, zaś wartości ujemne h otrzymuje się w miejscach przejazdu planografu przez wierzchołki nierówności, gdyż w tym modelu założono, że umieszczony w jego środku ciężkości punkt pomiarowy nie jest punktem podparcia ($d > 0$).

Na obu wykresach można rozpoznać pewne charakterystyczne dla nawierzchni betonowej nieciągłości powierzchni, które zwykle występują w miejscach szczelin dylatacyjnych lub pęknięć płyt jako impulsowe zmiany wartości co najmniej jednej rzędnej profilu nierówności albo skokowe zmiany wartości kilku sąsiednich rzędnych, informujące o tzw. uskoku na krawędzi płyt, np. płyta P6.

Ponieważ z pomiarów wykonanych profilografem RSP na nawierzchniach lotniskowych uzyskano wyniki dla trzech

torów pomiarowych, ustalono, że dany pododcinek uznaje się za nierówny (wadliwy), gdy wystąpi co najmniej jedno jednoczesne przekroczenie wartości dopuszczalnej na wszystkich trzech wykresach prześwitów. Takie założenie pozwala wyeliminować pewną przypadkowość usytuowania na paśmie płyt betonowych rozpoznanej nierówności nawierzchni względem toru pomiarowego.

W zależności od rodzaju nawierzchni lotniskowej, w wytycznych ITWL podano dwie wartości dopuszczalne dla prześwitów mierzonych planografem na pododcinku o długości 5 m, których nie można przekroczyć, tj.

- 4 mm dla nawierzchni z betonu asfaltowego;
- 5 mm dla nawierzchni z betonu cementowego.

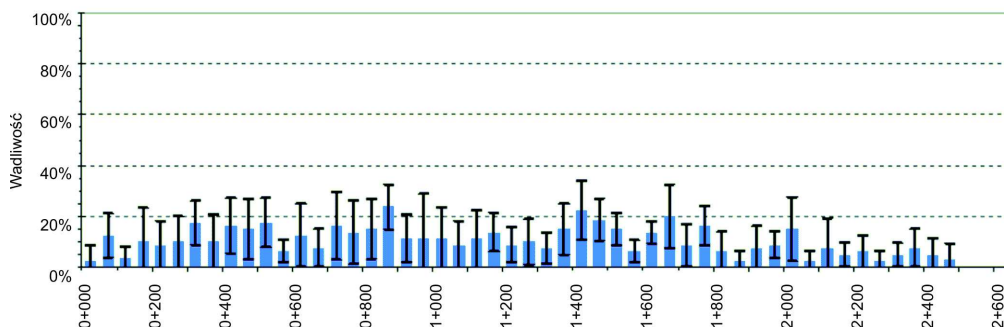
Natomiast oceny równości nawierzchni na odcinku badawczym, jak i na całym obiekcie funkcjonalnym, wystawia się na podstawie wartości średniej stopnia wadliwości (W) według czterostopniowej skali, tabela 1.

Tabela 1. Klasyfikacja stanu nawierzchni lotniskowych wg kryterium wadliwości

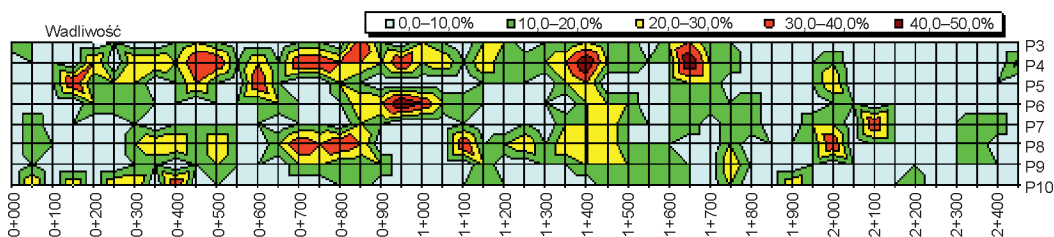
Ocena stanu (równości) nawierzchni	Stopień wadliwości (W)
Bardzo dobra	$W \leq 5\%$
Dobra	$5 < W \leq 10\%$
Dostateczna	$10 < W \leq 20\%$
Niedostateczna	$W > 20\%$

Przykładowe wyniki badań wadliwości nawierzchni DS zaprezentowano na dwóch wykresach (rys. 4).

a) Rozkład brzegowy wartości średnich ocen wadliwości



b) Rozkład powierzchniowy ocen wadliwości



Rys. 4. Graficzne zestawienie wyników badań wadliwości nawierzchni dla środkowych ośmiu pasm płyt betonowych na DS dla odcinków o długości 50 m

Jednostkowa miara wielkości uskoku nawierzchni betonowej

Nawierzchnia betonowa składa się z pojedynczych płyt rozdzielonych szczelinami dylatacyjnymi. Rozpoznanie co do wysokości występujących uskoków na krawędziach płyt prowadzi się jedynie na nowych nawierzchniach, natomiast nie wykonuje się takiego rozpoznania na nawierzchniach użytkowanych i zniszczonych. Zapewne z braku odpowiednio efektywnej metody pomiarowej. Jak widać na przykładowo pokazanym wykresie (rys. 3), to uskoki płyt mogą być z powodzeniem rozpoznawane na profilu nierówności nawierzchni i mierzone jako różnice sąsiednich rzędnych. W tym celu został opracowany dla potrzeb GDDKiA odpowiedni program komputerowy [21].

Poprzez analogię do parametrów technicznych wykorzystywanych dla potrzeb SOSN, przyjęto następujące założenia do wyrażenia odcinkowej oceny (wskaźnika) uskoku dla nawierzchni betonowej:

- Długość jednostkowa ocenianego odcinka nawierzchni wynosi 50 m.
- Wysokość pojedynczego uskoku ($h > 0,5$ mm) równa się różnicy wysokości sąsiednich końców dwóch takich samych łat o długości 0,5 m swobodnie położonych po obu stronach mierzonej nieciągłości nawierzchni, dokładność odczytu 0,1 mm, rys. 5.
- Wartość średnia wysokości uskoku jako odcinkowa ocena (wskaźnik uskoku) równa się stosunkowi sumy zmierzonych na ocenianym odcinku drogi wysokości pojedynczych uskoków (mm) do jego długości (m), dokładność zapisu 0,01 mm/m.

Dla użytkowanych nawierzchni betonowych jeszcze nie została opracowana skala oceny wysokości uskoków. Natomiast na podstawie sformułowanych w różnych dokumen-

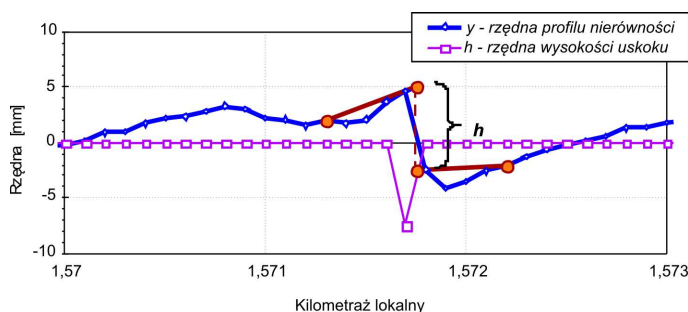
tach wymagań odbiorczych można dokonać oszacowania dopuszczalnej wartości wskaźnika uskoku dla nowych nawierzchni betonowych.

Zgodnie z normą [25] (punkt 2.7.5. *Równość nawierzchni*) wymaga się, aby różnica poziomów krawędzi przy szczelinach płyt nie przekraczała 2 mm. Natomiast odległość pomiędzy poprzecznymi szczelinami skurczowymi płyt (punkt 2.6.2.2 *normy [25]*) nie powinna być większa niż 6 m – w przypadku płyt niezbrojonych i 10 m – w przypadku płyt zbrojonych. Z tego wynika, że na odcinku drogi o długości 50 m może znajdować się nie mniej niż 8 płyt niezbrojonych lub 5 płyt zbrojonych, a więc oczekiwana

górną wartość wskaźnika uskoku powinna być równa:

- 8 płyt niezbrojonych $\times 2$ mm/50 m = 0,32 mm/m lub
- 5 płyt zbrojonych $\times 2$ mm/50 m = 0,20 mm/m.

W okresie eksploatacji nawierzchni betonowej, jak można oczekiwać, liczba nieciągłości będzie się już tylko zwiększać o powstające poprzeczne pęknięcia płyt.



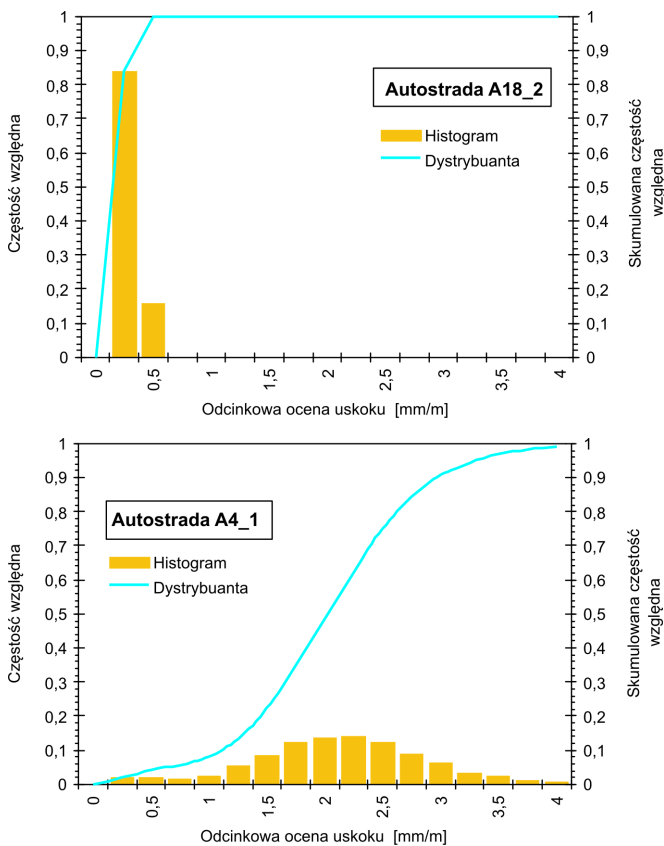
Rys. 5. Schemat pomiaru wysokości uskoku na krawędziach nieciągłości nawierzchni betonowej zarejestrowanej profilografem laserowym RSP

Zgodnie z normą [2] (punkt 2.9.5. *Równość nawierzchni*) wymaga się, aby różnice poziomów krawędzi płyt przy szczelinach podłużnych i poprzecznych nie były większe niż 1,5 mm. Natomiast w sprawie długości płyt odwołano się tu do wcześniej cytowanej normy [25]. Z tego wynika, że oczekiwane wartości wskaźnika uskoku będą odpowiednio równe 0,24 mm/m (płyty niezbrojone) lub 0,15 mm/m (płyty zbrojone).

Z obserwacji obiektów budownictwa drogowego wynika, że na ogół dla nowo wykonanych nawierzchni betonowych przyjmuje się stałą długość płyt równą 5 m (np. autostrada A2 i A4) albo 4,5 m (np. droga krajowa nr 8). A więc oczekiwany przedział zmienności wskaźnika uskoku dla tego typu nawierzchni drogowych wynosi:

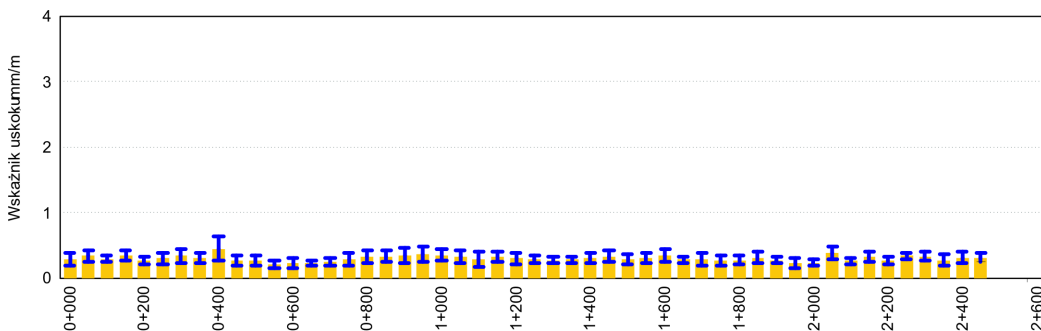
- $0,40 \div 0,44$ mm/m według PN-75/S-96015
- $0,30 \div 0,33$ mm/m według PN-V-83002:1999

Na dwóch kolejnych wykresach pokazano wyniki badań wskaźnika uskoku, które otrzymano z pomiarów profili nierówności wykonanych profilografem RSP na nowej i zniszczonej nawierzchni betonowej, (rys. 6).

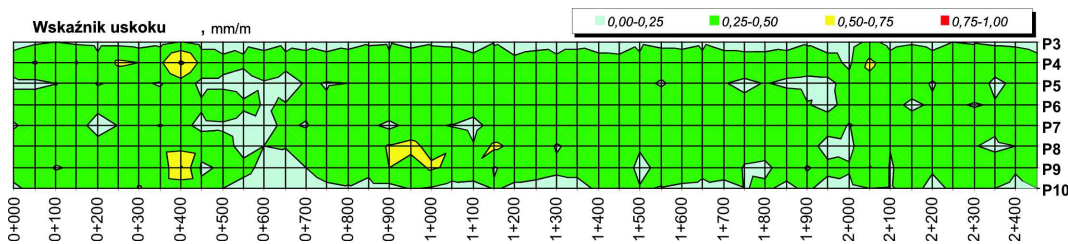


Rys. 6. Ocena wskaźnika uskoku dla nowej (A18_2) i zniszczonej (A4_1) betonowej nawierzchni drogowej, [21].

a) Rozkład brzegowy wartości średnich ocen uskoków krawędzi płyt



b) Rozkład powierzchniowy ocen uskoków mm krawędzi płyt



Rys. 7. Graficzne zestawienie wyników badań wielkości uskoków krawędzi nieciągłości nawierzchni dla środkowych ośmiu pasm płyt betonowych na drodze startowej – odcinki o długości 50 m

Na podstawie przedstawionych rozważań, można przyjąć hipotezę roboczą mówiącą o tym, że wartość dopuszczalna wskaźnika uskoku na nowych nawierzchniach betonowych nie powinna być większa od 0,5 mm/m.

Do oceny równości nawierzchni lotniskowej na odcinku badawczym przyjęto wartość średnią wskaźnika uskoku dla trzech torów pomiarowych. Przykładowe wyniki badań wysokości uskoków nieciągłości nawierzchni DS pokazano na dwóch wykresach, rys. 7.

Jednostkowa miara równości nawierzchni drogowej

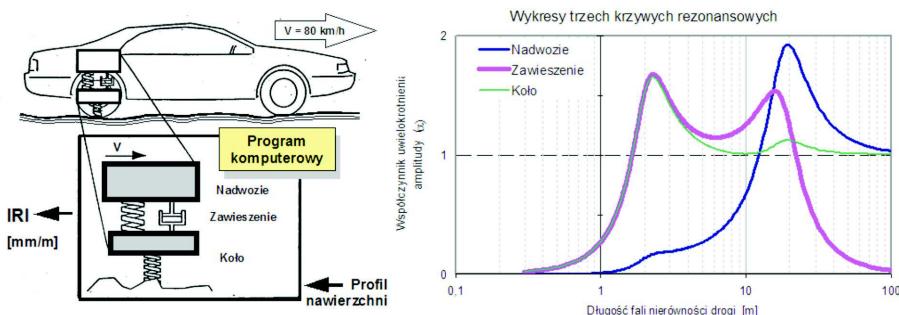
Równość jest cechą eksploatacyjną, która w odczuciu użytkownika pojazdu wyraża zdolność danej nawierzchni jezdni do niewzbudzenia wstrząsów i drgań. Jednostkową miarą (oceną) równości podłużnej jest wskaźnik *IRI* obliczany na odcinku nawierzchni jezdni o długości 50 m.

Wskaźnik IRI (*International Roughness Index*) 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 urządzenie pomiarowe profilu nierówności drogi, (rys. 8). Jego wartość odpowiada *przeciętnemu odchyleniu*¹ wielkości względnego przyrostu przemieszczenia dwóch mas, nadwozia i koła, wywołanych w jednostce czasu kinematycznym wymuszeniem profilu nierówności nawierzchni jezdni na przejechanym odcinku drogi i wyraża się go w mm/m (lub m/km). **Odchylenie standardowe powtarzalności dla wskaźnika IRI jako miara standardowej niepewności pojedynczego wyniku pomiaru wynosi $Se \approx 0,08$ IRI mm/m**, [9] i [23].

Jeśli dany profil nawierzchni jezdni nie wywoła w zamodelowanym zawieszeniu pojazdu żadnych efektów ($IRI = 0$ mm/m), to badany odcinek drogi uważa się za idealnie równy. Nawierzchnie w stanie dobrym (nowe) charakteryzują się

niższymi wartościami *IRI* niż nawierzchnie zniszczone i zdeformowane. Na ogół wyższa wartość wskaźnika *IRI* oznacza niższy komfort jazdy. Czyli im bardziej jest zaangażowany amortyzator wraz z resorem do tłumienia drgań i wstrząsów w jadącym po danej drodze pojeździe samochodowym, tym jej nawierzchnię uważa się za mniej równą. Z wykresu rezonansowego można odczytać, że o ocenie stanu nawierzchni decydują sinu-

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

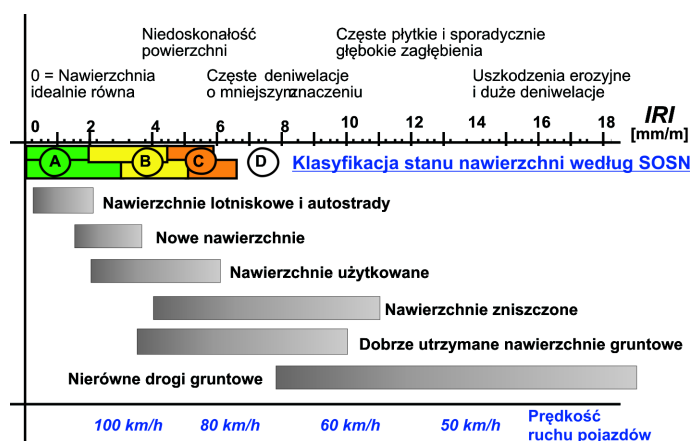


Rys. 8. Charakterystyka dynamiczna modelu pojazdu samochodowego służącego do obliczeń wskaźnika IRI, [13], [15]

soidalne fale nierówności o długościach z przedziału od około 1 m do 35 m. Przy czym fale nierówności o dwóch długościach rezonansowych mogą być szczególnie niebezpieczne dla ruchu, gdyż fale krótkie z zakresu długości 2÷3 m nie sprzyjają zachowaniu przez jadący pojazd ciągłości kontaktu kół z nawierzchnią, zaś fale długie z zakresu 10÷20 m są odczuwane przez kierującego pojazdem. Pasma wrażliwości pojazdów na fale nierówności nawierzchni przesuwają się w stronę większych długości wraz ze zwiększeniem prędkości jazdy. **Należy dodać, iż wykres prześwitów z planografu charakteryzuje nierówności nawierzchni jedynie z zakresu fal krótkich, [17].**

Wskaźnik IRI jest międzynarodową miarą równości podłużnej nawierzchni jezdni, również akceptowaną przez Bank Światowy. W Polsce wskaźniki IRI dla sieci dróg krajowych są od wielu lat gromadzone w bazach systemów diagnostyki nawierzchni GDDKiA w postaci zbiorów tekstowych o strukturze określonej w wytycznych SOSN, [6]. Na ogół stanowi on bardzo użyteczną w praktyce miarę równości podłużnej nawierzchni jezdni, gdyż odnosi się bezpośrednio do oceny warunków jej użytkowania. Im dana nawierzchnia wykazuje więcej takich cech zużycia, które wpływają na ograniczenie bezpiecznej prędkości jazdy, tym jego wartość jest większa. W różnych publikacjach na świecie przedstawia się tę zależność najczęściej w postaci graficznej, jako ogólną skalę oceny równości podłużnej określoną dla różnego rodzaju nowych i użytkowanych nawierzchni drogowych, (rys. 9). Jak widać, najwyższe wymagania stosuje się w odniesieniu do równości nawierzchni lotniskowych i autostradowych.

Na tym wykresie pokazano, 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 dla dwóch grup klas dróg krajowych granice podziału na cztery klasy stanu nawierzchni

Tabela 2. Klasyfikacja stanu zużycia nawierzchni według wytycznych SOSN [6]

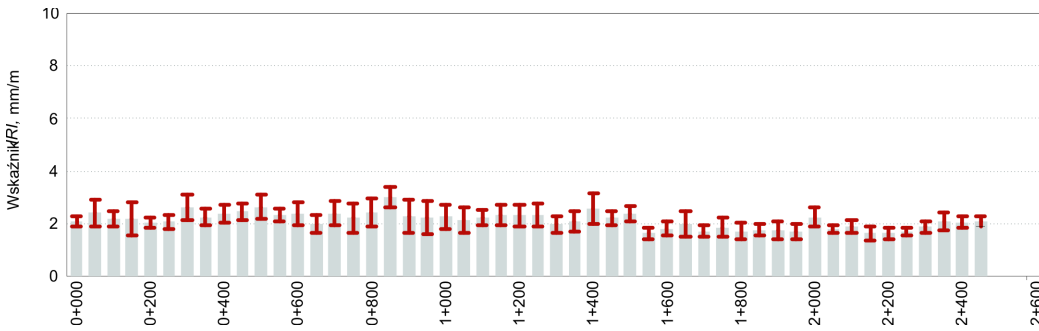
Klasa	Ocena opisowa E(IRI) [mm/m]	Charakterystyka stanu nawierzchni
A	stan dobry < 2,0	Nawierzchnie nowe, odnowione i eksploatowane, przy czym dopuszcza się występowanie sporadycznych uszkodzeń. Nawierzchnie nie wymagają remontu.
B	stan zadowalający 2,0÷4,4	Nawierzchnie ze znacznymi uszkodzeniami, które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

Tabela 3. Klasyfikacja stanu zużycia nawierzchni według rozporządzenia MI [5]

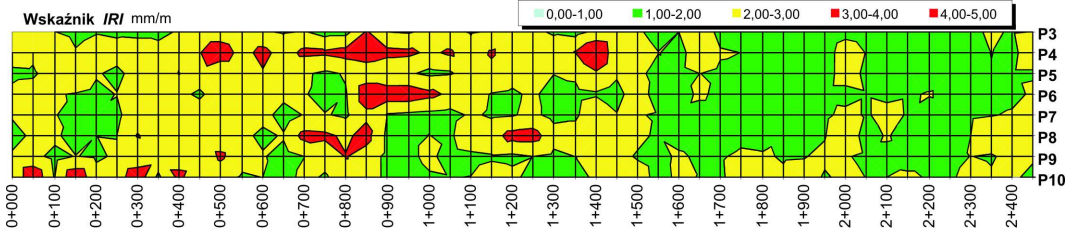
Klasa	Ocena opisowa*) E(IRI) + D(IRI) [mm/m]	Charakterystyka stanu nawierzchni
A	stan dobry < 2,0 / E < 1,5/	Pożądany stan nawierzchni, w którym nie planuje się żadnych przedsięwzięć utrzymaniowych. Oceny równości poprzecznej należy wykonywać w odstępach rocznych, natomiast ocenę pozostałych parametrów nie rzadziej niż co dwa lata.
B	stan zadowalający 2,0 ÷ 3,5 / 1,5 ÷ 2,6/	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 / E > 2,6/	Nawierzchnia przekroczyła stan przydatności do użytkowania i niezwłocznie powinna być poddana naprawie.

*) W nawiasach /ukośnych/ podano równoważne wartości ocen stanu zużycia nawierzchni według SOSN [22]

a) Rozkład brzegowy wartości średnich wskaźników IRI



b) Rozkład powierzchniowy wskaźników IRI



Rys. 10. Graficzne zestawienie wyników badań podłużnej równości nawierzchni dla środkowych ośmiu pasm płyt betonowych na DS dla odcinków o długości 50 m.

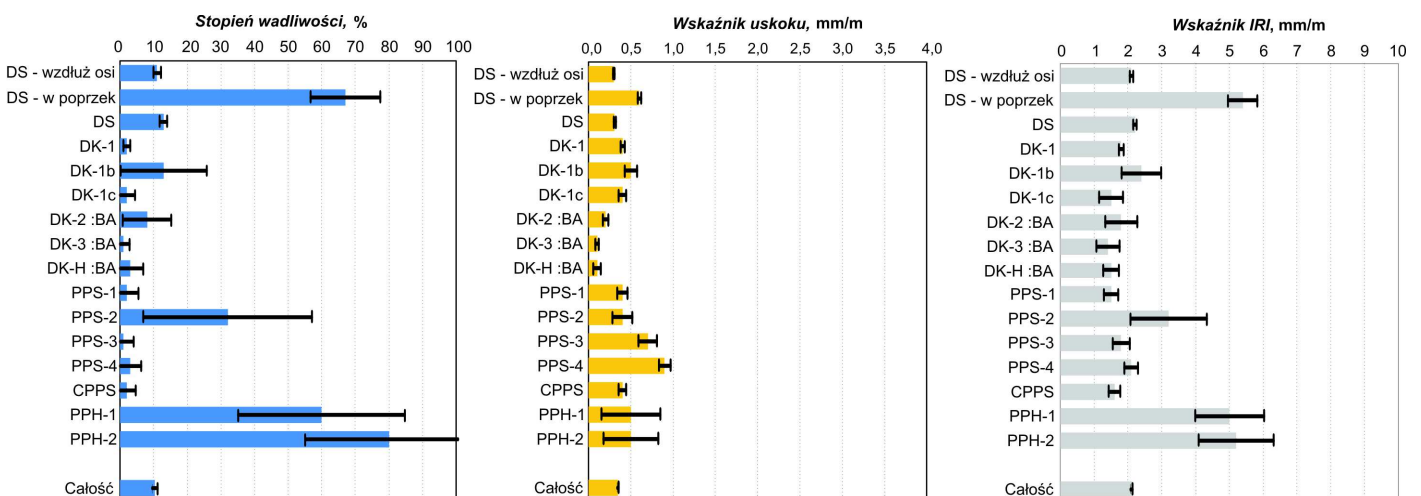
Zestawienie ocen równości nawierzchni lotniskowych

Na podstawie odpowiednio przetworzonych zbiorów pomiarowych z zapisem profilu nierówności nawierzchni, zostały wyznaczone dla badanych nawierzchni lotniskowych po trzy zbiory jednostkowych ocen równości, które charakteryzują je pod względem: wielkości mierzonego prześwitu pod czterometrową tałą (*stopień wadliwości*, %), wysokości uskoku na krawędziach płyt betonowych (*wskaźnik uskoku*, mm/m) oraz wpływu profilu nierówności na komfort jazdy pojazdów (*wskaźnik IRI*, mm/m).

D(*IRI*). Należy zaznaczyć, że choć w opisie obu klas stanu technicznego używa się takich samych symboli literowych i określeń, to przypisuje się im zasadniczo różne znaczenie. Aby zapobiec ewentualnym omyłkom, w niniejszym artykule przyjęto, że gdy będzie mowa o ocenie równości nawierzchni drogi publicznej klasy A, będzie podawany symbol SOSN, a gdy o ocenie równości nawierzchni autostrady płatnej – symbol AP. W zasadzie zachodzi taka relacja, iż wszystkie trzy klasy stanu nawierzchni określone dla autostrad płatnych zawierają się w całości w dwóch pierwszych klasach stanu dla dróg publicznych.

Do oceny równości nawierzchni lotniskowej na odcinku badawczym przyjęto wartość średnią wskaźnika *IRI* z trzech torów pomiarowych. Przykładowe wyniki badań podłużnej równości nawierzchni DS pokazano na dwóch wykresach, (rys. 10).

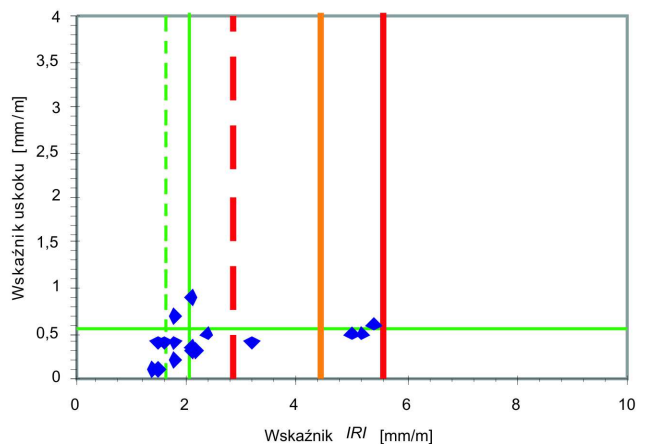
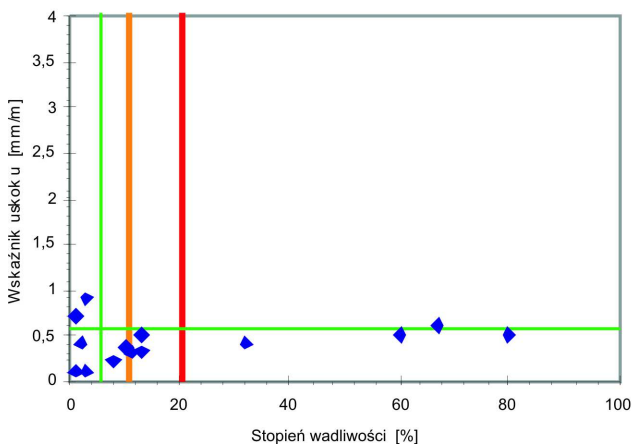
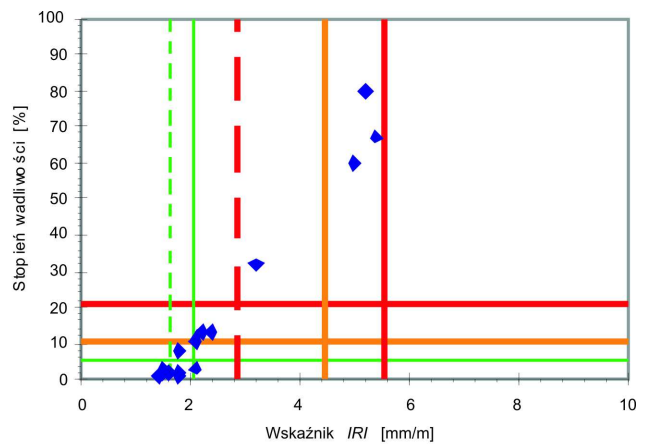
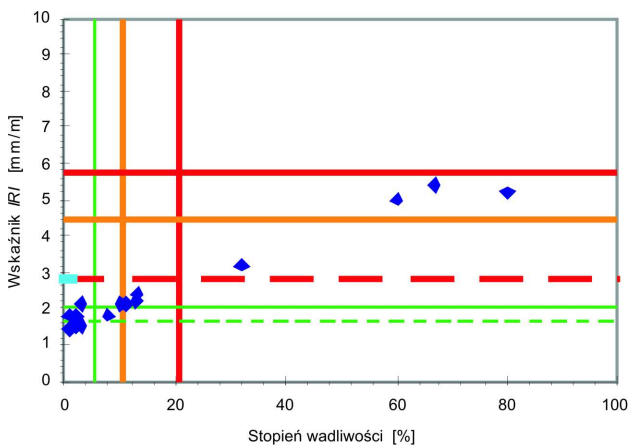
Wynikowe wartości średnie (ważone) ocen równości nawierzchni lotniskowych dla badanych obiektów funkcjonalnych zestawiono w tabeli 4. Ponadto na trzech wykresach (rys. 11) pokazano wartości średnie ocen równości razem z określonym dla każdej z nich przedziałem ufności na poziomie istotności 0,05. Uproszczona interpretacja przedziału ufności jest taka, że jeśli zakresy zmienności dla porównywanych ze sobą parami ocen równości nie pokrywają się, to różnica między nimi jest istotna i hipotezę o ich równości należy odrzucić. Natomiast, gdy pokrywają się całkowicie lub częściowo, to nie ma podstaw do odrzucenia takiej hipotezy. Na przykład, z porównania wartości średnich ocen równości, który otrzymano dla PPS-1 i PPS-2 wynika, że jeśli chodzi o oceny stopnia wadliwości i wskaźnika *IRI*, to ich wartości są mniejsze dla PPS-1 niż dla PPS-2, ale nie różnią się one w sposób istotny pod względem wskaźnika uskoku.



Rys. 11. Graficzne zestawienie ocen równości nawierzchni lotniskowych wydzielonych obiektów funkcjonalnych na lotnisku (oznaczenia obiektów funkcjonalnych zgodne z podanymi na rys. nr 1)

Tabela 4. Zestawienie ocen równości wydzielonych obiektów funkcjonalnych na lotnisku

Lp.	Obiekt funkcjonalny	Liczba odcinków badawczych	Stopień wadliwości	Ocena stanu wg kryterium wadliwości	Wskaźnik uskoku	Wskaźnik IRI	Klasa wg SOSN
			%		mm/m	mm/m	
	DS - wzdłuż osi	400	11	dostateczna	0,3	2,1	B
	DS - w poprzek	14	67	niedostateczna	0,6	5,4	C
1.	DS	414	13	dostateczna	0,3	2,2	B
2.	DK-1	104	2	bardzo dobra	0,4	1,8	A
3.	DK-1b	12	13	dostateczna	0,5	2,4	B
4.	DK-1c	12	2	bardzo dobra	0,4	1,5	A
5.	DK-2 :BA	12	8	dobra	0,2	1,8	A
6.	DK-3 :BA	12	1	bardzo dobra	0,1	1,4	A
7.	DK-H :BA	8	3	bardzo dobra	0,1	1,5	A
8.	PPS-1	9	2	bardzo dobra	0,4	1,5	A
9.	PPS-2	9	32	niedostateczna	0,4	3,2	B
10.	PPS-3	8	1	bardzo dobra	0,7	1,8	A
11.	PPS-4	18	3	bardzo dobra	0,9	2,1	B
12.	CPPS	26	2	bardzo dobra	0,4	1,6	A
13.	PPH-1	3	60	niedostateczna	0,5	5,0	C
14.	PPH-2	3	80	niedostateczna	0,5	5,2	C
	Całość	650	10	dobra	0,4	2,1	B



Rys. 12. Wykresy zależności między trzema ocenami równości nawierzchni wydzielonych obiektów funkcjonalnych na lotnisku. Trzy linie ciągłe (zielona, żółta i czerwona) wyznaczają granice pomiędzy ustalonymi stopniami wadliwości i klasami oceny równości wg SOSN, a dwie linie przerywane (zielona i czerwona) – pomiędzy klasami oceny równości wg AP (po ich przeliczeniu na wartość średnią)

Na podstawie zestawionych parametrów na wykresach trzema ocenami równości nawierzchni dla wszystkich wydzielonych obiektów funkcjonalnych (rys. 12), można stwierdzić, że wskaźnik uskoków jest oceną niezależną, a pomiędzy ocenami wadliwości i komfortu jazdy występuje pewna współzależność (korelacja). Jak widać, to dolna granica oceny niedostatecznej ($W > 20\%$) odpowiada w przybliżeniu dolnej granicy klasy C wg AP – stan zły, tj. $E(IRI) > 2,6$ mm/m.

Podsumowanie i wnioski

Ocenie równości podlegały nawierzchnie wykonane z betonów cementowego i asfaltowego przeznaczone do naziemnego ruchu i postoju samolotów na lotnisku, które podzielono na 14 obiektów funkcjonalnych.

Na podstawie wyników badań stopnia wadliwości otrzymano **niedostateczne** oceny stanu nawierzchni lotniskowych pod względem równości dla trzech wydzielonych obiektów funkcjonalnych, **dostateczne** – dla dwóch, **dobrze** – dla jednego i **bardzo dobrze** – dla ośmiu, oraz ocenę **dobrą** dla lotniska jako całości, (tabela 4).

Na podstawie analizy otrzymanych zbiorów ze wskaźnikami *IRI*, które przyjmuje się do oceny równości nawierzchni dróg publicznych według SOSN, w tym autostradowych, wynika (tabela 2), że stan nawierzchni lotniskowych jest **niezadowolający** na dwóch obiektach funkcjonalnych, stan **zadowolający** na czterech i stan **dobry** na ośmiu, oraz stan **zadowolający** na lotnisku jako całości.

Na podstawie wyników badań wskaźnika uskoków na terenie obiektów funkcjonalnych stwierdzono, że ich wartości, z wyłączeniem płaszczyzn postoju samolotów nr 3 i nr 4 oraz przekrojów poprzecznych na drodze startowej, nie przekraczają wartości dopuszczalnej w przypadku nowych nawierzchni betonowych. Przy czym oceny uskoków wyznaczone w przypadku nawierzchni z BA są istotnie mniejsze niż dla nawierzchni z BC i niejako wyznaczają dolną granicę szumów oceny tego parametru. Wyniki z tych badań równości mogą być wykorzystane w przyszłości do opracowania skali oceny wysokości uskoków na krawężniach nieciągłości użytkowanych nawierzchni (nie tylko) betonowych.

Z przeprowadzonych na lotnisku rozpoznawczych badań równości nawierzchni dróg i płaszczyzn wynika, że zarejestrowane profilografem rzędne podłużnego profilu nierówności mogą mieć różne zastosowania w diagnostyce nawierzchni lotniskowych i drogowych. Istnieją też uzasadnione przesłanki, by ocenę stopnia wadliwości znaną jedynie w Polsce na lotniskach wojskowych zastąpić stosowaną powszechnie do dróg publicznych międzynarodową oceną komfortu jazdy. Warto dodać, że ten sam profil nierówności nawierzchni jest wykorzystywany na świecie także do oceny równości nawierzchni lotniskowych metodą *Boeinga*, która bazuje na analizie amplitudowej fal składowych tego profilu o długościach z przedziału od 0,5 m do 120 m, [24].

Bibliografia

[1] BN-68/8931-04 *Drogi samochodowe. Pomiar równości nawierzchni planografem i łatą*

- [2] PN-V-83002:1999 *Lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania ogólne i metody badań*
- [3] PN-S-96025:2000 *Drogi samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania*. (Norma została wycofana w dniu 29.05.2008 r. ze zbioru Polskich Norm bez zastąpienia)
- [4] *Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*, Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 roku (Dz. U. Nr 43, poz. 430)
- [5] *Przepisy techniczno-budowlane dotyczące autostrad płatnych*, Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 roku (Dz. U. Nr 12, poz. 116)
- [6] *System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN”*, wytyczne stosowania, GDDP BSSD, Warszawa, luty 2002
- [7] A. Poświata, St. Szpinek, *Ocena równości i ukształtowania pionowego nawierzchni lotniskowej*, nr pracy BT9911/I, ITWL, Warszawa 1991
- [8] St. Szpinek, *Ocena wpływu nierówności podbudowy na równość warstwy jezdni drogi startowej*, materiały z Konferencji Naukowej pt. *Aktualne problemy budowy nawierzchni lotniskowych, projektowanie, budowa, badanie, eksploatacja*, ITWL, Warszawa 1992
- [9] St. Szpinek, *Nadzór merytoryczny nad pomiarami równości podłużnej i głębokości kolein*, zbiór corocznych raportów dla GDDKiA (dawniej GDDP), Warszawa 1995 - 2013
- [10] M.W. Sayers, S.M. Karamihias, *The Little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles*, October 1996
- [11] St. Szpinek, *Ocena równości podłużnej nawierzchni dróg krajowych pomiarami jedno- i wielotorowymi*, „Drogownictwo” 1/2000
- [12] St. Szpinek, *(Nie)równość miarą (zu)życia nawierzchni jezdni drogi*, „Drogownictwo” 6/2000
- [13] St. Szpinek, *Ocena równości nawierzchni wskaźnikami IRI*, „Drogownictwo” 10/2000
- [14] St. Szpinek, *Porównanie równości nawierzchni asfaltowej i betonowej autostrady*, „Drogownictwo” 8/2001
- [15] St. Szpinek, *Widmo amplitudowe nierówności podłużnych nawierzchni drogowych*, artykuł recenzowany przez prof. dra hab. inż. Antoniego Szydłę, „Drogownictwo” 9/2001
- [16] St. Szpinek, *Wielość ocen i „nierówne” autostrady w Polsce* (artykuł dyskusyjny), „Drogownictwo” 1/2002
- [17] St. Szpinek, *O tym, dlaczego wykres prześwietów nie nadaje się do obliczeń wskaźnika IRI*, „Drogownictwo” 3/2002
- [18] St. Szpinek, *Probabilistyczny model prześwietu mierzonego planografem i jego zastosowanie do oceny podłużnej równości nawierzchni jezdni drogowych*, zbiór referatów IX Międzynarodowej Konferencji nt.: *Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe*, Kielce 6-7 maja 2003 r.
- [19] St. Szpinek, *Odchylenie w ocenie równości podłużnej nawierzchni*, „Drogownictwo” 9/2003
- [20] St. Szpinek, *Równość podłużna nawierzchni betonowej autostrady płatnej*, „Drogownictwo” 11/2004
- [21] St. Szpinek, *Opis działania programu komputerowego do odczytywania wartości średniej uskoków na krawężniach nieciągłości nawierzchni betonowej*, załącznik nr 1 do raportu dla GDDKiA pt.: *Modernizacja pakietu programów MAGDA oraz nadzór merytoryczny nad pomiarami równości podłużnej i głębokości kolein w 2006 roku*, DRO-KONSULT, Warszawa, czerwiec 2006
- [22] St. Szpinek, *Statystyczna metoda rozpoznawania odcinków jednorodnych, część I. Założenia teoretyczne, część II. Przykłady zastosowań w badaniach równości nawierzchni*, „Drogownictwo” 10 i 11/2012
- [23] St. Szpinek, *Niepewność oceny równości nawierzchni drogowej*, „Drogownictwo” 3/2013
- [24] *Runway Roughness Measurement, Quantification and Application – The Boeing Method*, D6-81746, Boeing Commercial Airplane Group. Airport Technology organization
- [25] PN-75/S-96015. *Drogowe i lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego*
- [26] *World Bank Technical Paper Number 46*, ISBN 0-8213-0590-5 ■