



MAŁGORZATA LINEK
Kielce University of Technology
e-mail: linekm@tu.kielce.pl

MARIUSZ WESOŁOWSKI
Air Force Institute of Technology
e-mail: mariusz.wesolowski@itwl.pl

Manuscript submitted 2019.10.22 – revised 2019.11.07,
initially accepted for publication 2019.12.06, published in December 2019

SELECTED ASPECTS OF EVALUATING THE TECHNICAL CONDITION OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENTS IN TERMS OF SERVICE LIFE

WYBRANE ASPEKTY OCENY STANU TECHNICZNEGO BETONOWYCH NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH W UJĘCIU TRWAŁOŚCI EKSPLOATACYJNEJ

DOI: 10.30540/sae-2019-020

Abstract

The paper presents the essence of airport pavements' durability in terms of its condition's evaluation. It features a discussion of selected research methods for the most important pavement parameters. It was proposed to expand the existing pavement condition evaluation process with selected verification methods. The use of geo-radar measurements in connection with the specification of the pavement concrete's durability and concrete pavement's internal structure analysis seems to be a necessary element supplementing the currently used evaluation procedure.

Keywords: concrete pavement durability, airport pavements, pavement technical condition

Streszczenie

W artykule przedstawiono istotę trwałości nawierzchni lotniskowych w kontekście oceny stanu nawierzchni. W ramach rozważań omówiono wybrane metody badawcze dla najważniejszych parametrów nawierzchniowych. Zaproponowano rozszerzenie istniejącego procesu oceny stanu nawierzchni o wybrane metody weryfikacyjne. Wykorzystanie pomiarów georadarowych w powiązaniu z określeniem wytrzymałości betonu w nawierzchni i analizą struktury wewnętrznej kompozytu betonowego wydaje się nieodzownym elementem uzupełniającym stosowaną obecnie procedurę oceny.

Słowa kluczowe: trwałość nawierzchni betonowych, nawierzchnie lotniskowe, stan techniczny nawierzchni

1. INTRODUCTION

Atmospheric conditions acting on airport pavements [1], especially in daily and annual cycles [2], contribute to the increase in concrete slab stress [3]. This phenomenon is especially observed in winter, because the concrete is exposed to humidity, frost and chemical agents used for winter pavement maintenance (urea, sodium and potassium acetate, sodium and potassium formate as well as ethylene and propylene glycols) and can be more easily damaged. The requirements concerning agents used for preventing icing and thawing of airport pavements' functional elements are presented in the

1. WPROWADZENIE

Działające na nawierzchnie lotniskowe warunki atmosferyczne [1], szczególnie w cyklach dobowych i rocznych [2], przyczyniają się do zwiększenia wytrzymałości płyt betonowych [3]. Zjawisko to obserwuje się szczególnie w warunkach zimowych, ponieważ beton narażony na oddziaływanie wilgoci, mrozu i środków chemicznych do zimowego utrzymania nawierzchni, w tym szczególnie moczników, octanów sodu i potasu, mrówczanów sodu i potasu oraz glikoli etylenowych i propylenowych łatwiej może ulegać uszkodzeniom. Wymagania dotyczące środków stosowanych do zapobiegania powstawania oblodzenia i odładzania ele-

NO-17-A205:2017 standard [4]. As for the essence of airport pavements' winter maintenance, the topic was discussed in literature [2, 5]. The negative impact on airport pavements is also observed as result of aircraft exploitation and moving specialist vehicles. In many cases, the traffic slab can feature small quantities of exploitation liquids deriving from fuel, hydraulic, oil or pneumatic systems the on-going exploitation of which can contribute to the reduction of the pavement's durability. A special type of impact on concrete airport pavements are coerced thermal loads caused by the emission of hot exhaust fume streams from the nozzles of planes taking off, especially of military aircrafts [6]. Coerced thermal loads are repeated, massless coercions of high kinetic energy and high temperature gas streams on the pavement. These loads can contribute to some extent to the peeling of the pavement's surface layer. The damage can especially be observed in the strips of concrete slabs adjacent to the runway axis, at its end sections. Due to the complex nature of the pavement loads, it is necessary to ensure the exploitative durability of airport structures during each stage of use.

2. ASPECTS CONCERNING AIRPORT PAVEMENTS' DURABILITY

One of the most important factors guaranteeing safety during the use of concrete airport pavement is the knowledge of the actual technical condition of the exploited structural layout. The essence of airport pavements' diagnostics is discussed in detail, among others, in papers [2, 7-12]. The most general division of diagnostic methods covers the highlighting of three basic groups – Figure 1, as part of which a cross-sectional analysis is conducted – Figure 2.

mentów funkcjonalnych nawierzchni lotniskowych przedstawione są w normie NO-17-A205:2017 [4]. A istotę zimowego utrzymania nawierzchni lotniskowych omówiono m.in. w [2, 5]. Negatywne oddziaływanie obserwowane jest również na skutek eksploatacji statków powietrznych i pojazdów specjalistycznych poruszających się po nawierzchniach lotniskowych. W wielu przypadkach na płycie jezdnej mogą pojawić się niewielkie ilości cieczy eksploatacyjnych pochodzących z instalacji paliwowych, hydraulicznych, olejowych czy pneumatycznych, których trwająca w czasie eksploatacja może przyczynić się do obniżenia trwałości nawierzchni. Szczególnym rodzajem oddziaływań na betonowe nawierzchnie lotniskowe są wymuszone obciążenia termiczne powodowane przez emisję gorących strumieni gazów spalinowych z dysz startujących samolotów, zwłaszcza wojskowych statków powietrznych [6]. Wymuszone obciążenia termiczne są wielokrotnie powtarzalnymi bez masowymi wymuszeniami strumienia gazów o dużej energii kinetycznej i wysokiej temperaturze na nawierzchnię. Obciążenia te w pewnym stopniu mogą przyczynić się do powstania w przypowierzchniowej warstwie nawierzchni złuszczeń. Uszkodzenia te można zaobserwować szczególnie w pasmach płyt betonowych przylegających do osi drogi startowej na jej końcowych odcinkach, tzw. wybiegach. Z uwagi na złożony, przedstawiony charakter obciążenia nawierzchni należy zapewnić trwałość eksploatacyjną konstrukcji lotniskowej na każdym etapie użytkowania.

2. ZAGADNIENIA TRWAŁOŚCI UŻYTKOWEJ NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH

Jednym z ważniejszych czynników gwarantujących bezpieczeństwo w trakcie użytkowania betonowych nawierzchni lotniskowych jest znajomość rzeczywistego stanu technicznego eksploatowanego układu konstrukcyjnego. Istotę diagnostyki nawierzchni lotniskowych szczegółowo omówiono m.in. w pracach [2, 7-12]. Najogólniejszy podział metod diagnostycznych obejmuje wyróżnienie trzech podstawowych grup – rysunek 1, w ramach których dokonywana jest analiza przekrojowa – rysunek 2.

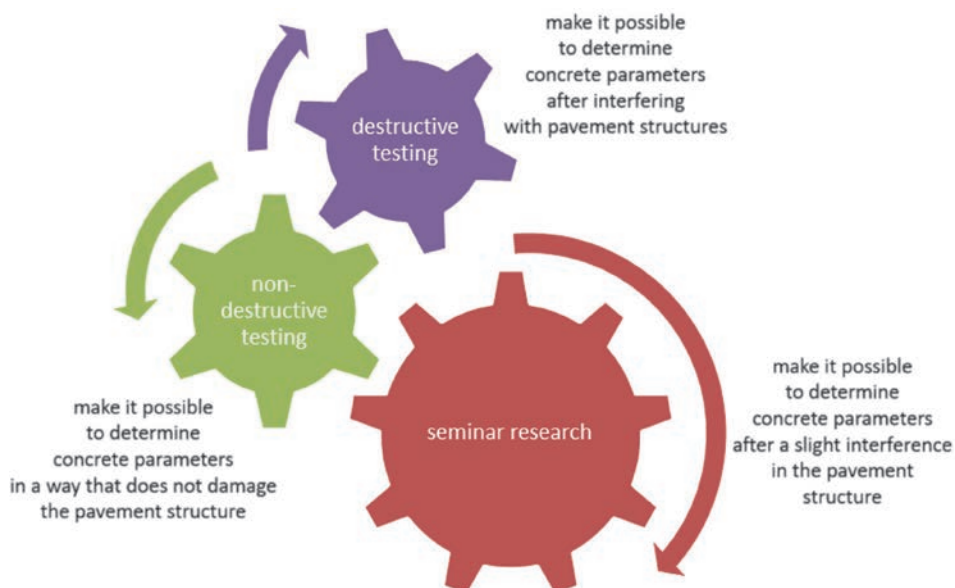


Fig. 1. Division of the diagnostic methods applied to concrete airport pavements
Rys. 1. Podział stosowanych metod diagnostycznych na betonowych nawierzchniach lotniskowych

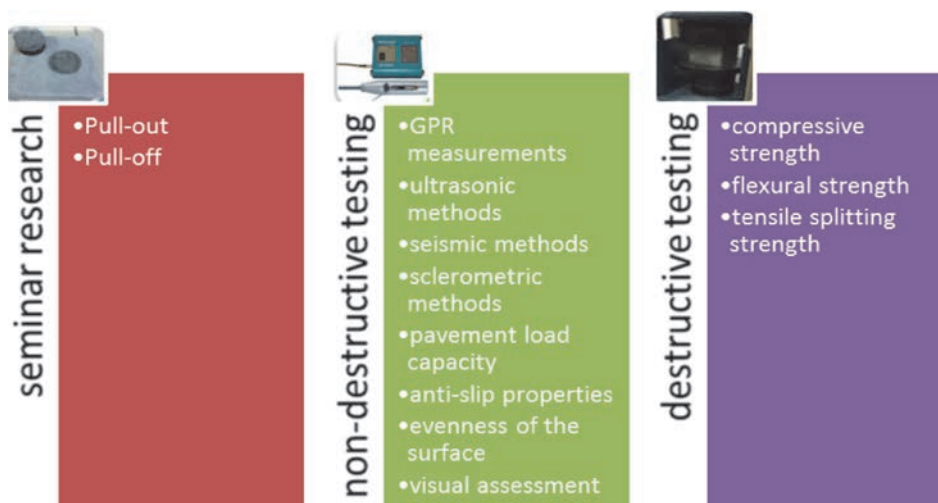


Fig. 2. Classification of the pavement condition's evaluation methods
Rys. 2. Klasyfikacja metod oceny stanu nawierzchni

The evaluation of the current condition of an concrete airport pavement and possible qualification of the pavement for an adequate type of repair is done by using the damage index (Z_B or Z_N), technical wear index (D) and repair index (N). The pavement parameters' qualification intervals for evaluating the service condition are presented in Table 1, in which class I pavements have a very good service condition, class II – good condition, class III – average condition (protective treatment is required), class IV – mediocre condition (repairs or overhauls are required) and class V – bad condition, requiring a major overhaul of the pavement. In cases deviating from the intervals specified in Table 1, it is necessary to designate

W celu oceny bieżącej stanu betonowej nawierzchni lotniskowej i ewentualnej kwalifikacji do odpowiedniego rodzaju naprawy wykorzystywany jest wskaźnik uszkodzeń (Z_B lub Z_N), wskaźnik zużycia technicznego (D) oraz wskaźnik napraw (N). Przedziały kwalifikacyjne parametrów nawierzchni do oceny stanu użytkowego zestawiono w tabeli 1, w której klasie I nawierzchni odpowiada bardzo dobry stan użytkowy, klasie II stan dobry, klasie III stan średni (konieczne są zabiegi ochronne), klasie IV odpowiada stan mierny (konieczna jest naprawa lub remont), a klasie V odpowiada stan zły i konieczne jest wykonanie remontu kapitalnego nawierzchni. W przypadkach odbiegających od przedziałów za-

the general evaluation index Y from formula (1), according to [2], and assign one of the following conditions to the pavement: very good (when $Y \leq 1.00$), good (when $1.01 \leq Y \leq 2.00$), average (when $2.01 \leq Y \leq 3.00$), mediocre (when $3.01 \leq Y \leq 4.00$) or bad (when $Y = 4.00$).

$$Y = 8Z - 6.66S + 0.89R + 13.3D + 8.9N + 2.95 \quad (1)$$

where:

- Z – damage index,
- S – pavement roughness,
- R – pavement’s longitudinal evenness,
- D – technical wear index,
- N – repair index.

wartych w tabeli 1 należy wyznaczyć wskaźnik oceny generalnej Y , ze wzoru (1), wg wytycznych [2], i przypisać nawierzchni jeden z następujących stanów: bardzo dobry (gdy $Y \leq 1,00$), dobry (gdy $1,01 \leq Y \leq 2,00$), średni (gdy $2,01 \leq Y \leq 3,00$), mierny (gdy $3,01 \leq Y \leq 4,00$) lub stan zły (gdy $Y = 4,00$).

$$Y = 8Z - 6,66S + 0,89R + 13,3D + 8,9N + 2,95 \quad (1)$$

w którym:

- Z – wskaźnik uszkodzeń,
- S – szorstkość nawierzchni,
- R – równość podłużna nawierzchni,
- D – wskaźnik zużycia technicznego,
- N – wskaźnik napraw.

Table 1. Classification of the pavements’ service conditions [2]
Tabela 1. Klasyfikacja stanów użytkowych nawierzchni [2]

Pavement class	Wear index [%]	Roughness index			longitudinal evenness		Pavement degradation index	Repair index [%]
		For $V = 200$ km/h	For $V < 200$ km/h	v [%]	Clearance R	v [%]	Cement concrete D [%]	
I	<10	<0.5	<0.57	<12	<4	<12	<1	<1
II	10÷15	<0.47	>0.54	12÷15	4÷6	12÷15	1÷1.5	1÷2
III	15÷20	0.43÷0.46	0.50÷0.53	15÷18	6÷8	15÷18	1.5÷2.0	2÷3
IV	20÷25	0.40÷0.43	0.47÷0.50	18÷21	8÷10	18÷21	2.0÷2.5	3÷4
V	25÷80	0.36÷0.4	0.43÷0.47	>21	>10	>21	2.5÷3.0	4÷5
	$W1 = 0.400$	$W2 = 0.200$			$W3 = 0.176$		$W4 = 0.133$	$W5 = 0.089$

v - coefficient of variation

Due to the on-going exploitation of existing pavements, they are subject to wear and tear, which consists of permanent, undesired changes in the pavement’s surface condition and, in consequence, in the entire structure. The subject changes can be divided into continuous changes developed within a specific time interval or gradual changes that appear suddenly (dynamically). All changes in the pavement’s parameters result in the shortening of the pavement’s designed service life.

3. SCOPE OF TECHNICAL CONDITION EVALUATION – SELECTED EXAMPLES

The evaluation of the airport pavements’ technical condition covers the collection and analysis of input data concerning the carrying capacity, evenness, roughness and the surface condition’s visual inspection.

One of the most important parameters affecting the airport pavement structure’s technical condition evaluation is its carrying capacity [13, 14]. Paper [15]

Na skutek ciągłego procesu eksploatacji istniejących nawierzchni dochodzi do ich zużycia, które polega na trwałych, niepożądanych zmianach stanu przypowierzchniowego, a w konsekwencji również całej konstrukcji nawierzchni. Przedmiotowe zmiany można podzielić na zmiany ciągłe, powstające w ciągu określonego przedziału czasowego, bądź zmiany skokowe, występujące w sposób nagły – dynamiczny. Wszelkie zmiany parametrów nawierzchni skutkują skróceniem projektowanego okresu przydatności nawierzchni do użytku.

3. ZAKRES OCENY STANU TECHNICZNEGO – WYBRANE PRZYKŁADY

Proces oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych obejmuje zgromadzenie i analizę danych wejściowych dotyczących nośności, równości, szorstkości i oceny wizualnej stanu powierzchni.

Jednym z najważniejszych parametrów wpływających na ocenę stanu technicznego konstrukcji nawierzchni lotniskowej jest jej nośność [13, 14].

presents a non-destructive method of evaluating the airport pavement's carrying capacity with the use of the ACN-PCN method acc. to assumptions [16], based on the aircraft classification number (ACN) acc. to formula (2) and the pavement classification number (PCN).

$$ACN = 2P_r \quad (2)$$

where:

P_r – equivalent load.

The measurement method utilising the HWD device (Fig. 3) is based on measuring the rebound deflection of the tested pavement and determining its change in time. The slab's deflections measurement is conducted under a dynamic load (dump of a specific load of 30-240 kN on the measurement slab with the diameter of 450 mm, adhering to the tested pavement).



W pracy [15] przedstawiono metodę oceny nośności nawierzchni lotniskowej w sposób nieniszczący z wykorzystaniem metody ACN-PCN wg założeń [16] na podstawie liczby klasyfikacyjnej samolotu (ACN) wg wzoru (2) i liczby klasyfikacyjnej nawierzchni (PCN).

$$ACN = 2P_r \quad (2)$$

gdzie:

P_r – obciążenie równoważne.

Metoda pomiaru przy wykorzystaniu urządzenia HWD (*Heavy Weight Deflectometer*) (rys. 3) polega na pomiarze wartości ugięcia sprężystego badanej nawierzchni i określenia jego zmiany w czasie. Pomiar ugięć płyty odbywa się pod wpływem dynamicznego obciążenia (zrzut określonej wartości ciężaru rzędu 30-240 kN na płytę pomiarową o średnicy 450 mm przylegającą do badanej nawierzchni).

Fig. 3. Device intended for measuring the rebound deflections of airport pavements

Rys. 3. Urządzenie do pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni lotniskowych

The surface layer's roughness is also important in terms of the pavement's quality [17]. Publication [18] includes a general presentation of the issue of evaluation of the usefulness of systems intended for measuring the friction index of airport pavements' functional elements (Fig. 4) and an example result obtained during the measurement is presented in Figure 5.



Istotna z punktu widzenia jakości nawierzchni jest także szorstkość warstwy powierzchniowej [17]. W publikacji [18] przedstawiono ogólnie problematykę procesu oceny przydatności systemów służących do pomiaru współczynnika tarcia elementów funkcjonalnych nawierzchni lotnisk (rys. 4), a przykładowy pomiar uzyskany w czasie pomiaru zaprezentowano na rysunku 5.

Fig. 4. Device intended for determining the roughness of airport pavements

Rys. 4. Urządzenie do określania szorstkości nawierzchni lotniskowych

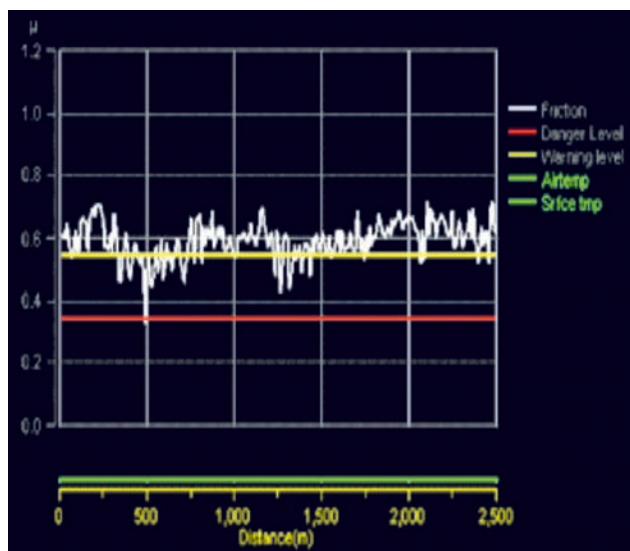


Fig. 5. Example record of an airport pavement's friction index

Rys. 5. Przykładowy zapis pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni lotniskowej

The evenness requirement as part of the airport pavements' diagnostic system aspects is set due to the comfort of the utilised structural layouts. An important factor is also the minimisation of the effects of dynamic impacts and the ability to effectively and quickly discharge rainwater from the airport's surface. The device presented in Figure 6 records the displacement of the movable measurement wheel in relation to the four-metre base and allows for measuring the pavement's irregularities in the road length increase function (Fig. 7). In terms of evenness, the facility is evaluated by analysing the average faultiness (acc. to formula (3)), i.e. the percentage measure of the excess irregularities adopted in standard [19] as acceptable.

Wymaganie równości w ramach zagadnień systemu diagnostycznego nawierzchni lotniskowych stawiane jest ze względu na komfort użytkowanych układów konstrukcyjnych. Istotnym czynnikiem jest również minimalizowanie skutków oddziaływań dynamicznych oraz możliwość skutecznego i szybkiego odprowadzenia wód opadowych z powierzchni lotniska. Urządzenie przedstawione na rysunku 6 rejestruje wychylenie ruchomego kółka pomiarowego względem czterometrowej bazy i pozwala na pomiar występujących nierówności nawierzchni w funkcji przyrostu długości drogi (rys. 7). Obiekt pod względem równości ocenia się, analizując średnią wadliwość (wg wzoru (3)), czyli procentową miarę liczby przekroczeń wartości nierówności przyjętych w normie [19] jako dopuszczalne.



Fig. 6. Planograph for determining the evenness of airport pavements

Rys. 6. Planograf do określania równości nawierzchni lotniskowych

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} [\%] \quad (3)$$

where:

$i < 1-n$ – number of testing areas,

F_i – surface or zone of the i th testing area.

gdzie:

$i < 1-n$ – liczba obszarów badawczych,

F_i – powierzchnia lub strefa i -tego obszaru badawczego.

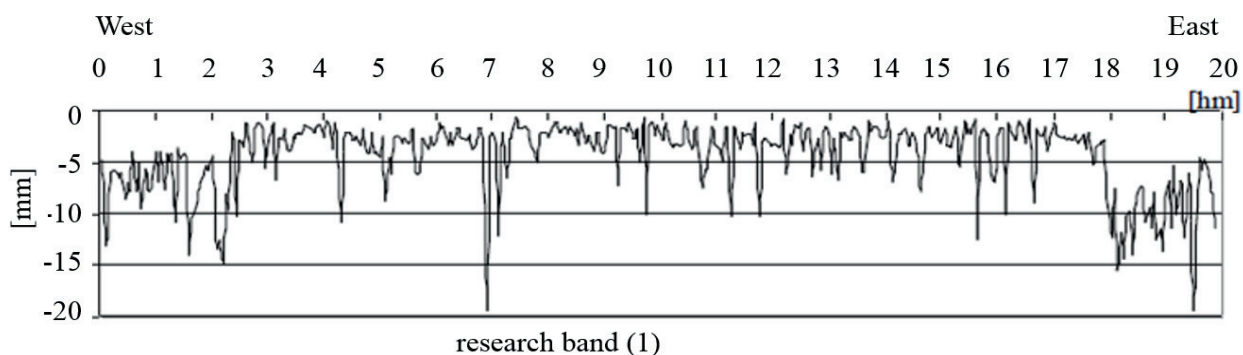


Fig. 7. Example record of an airport pavement's irregularity

Rys. 7. Przykładowy zapis nierówności nawierzchni lotniskowej

For the adopted faultiness criterion [20], the following classification of the airport pavement's evenness was determined: very good condition (when $W \leq 5\%$), good condition (when $5\% < W \leq 10\%$), adequate condition (when $10\% < W \leq 20\%$), unsatisfactory condition (when $20\% < W \leq 50\%$) and an inadequate condition (when $W > 50\%$).

The condition of cement concrete in the pavement can also be determined in a non-destructive manner by using the geo-radar method. These tests allow for identifying the hidden changes in the concrete's structure, including: dampness, details concerning expansion joints, loosening of the surface layer and the subbase or changes in the layers' thickness and delamination. The testing must be conducted in the direction of moving vehicles in the selected profiles, the compaction of which should be chosen individually in a manner providing the pavement's full characteristics. The scope of the structure's in-depth identification depends on the antenna's frequency, therefore in order to obtain more accurate information about the structure's layers, it is recommended to use at least two antennae with varied frequencies (e.g. 1.20 GHz and 500 MHz). An example echogram record made on a concrete pavement is presented in figure 8.

Dla przyjętego kryterium wadliwości [20] określono klasyfikację stanu równości nawierzchni lotniskowych obejmującą: stan bardzo dobry (gdy $W \leq 5\%$), stan dobry (gdy $5\% < W \leq 10\%$), stan dostateczny (gdy $10\% < W \leq 20\%$), stan niezadawalający (gdy $20\% < W \leq 50\%$) i stan niedostateczny (gdy $W > 50\%$).

Stan betonu cementowego w nawierzchni można określić również w sposób nieniszczący, przy wykorzystaniu metody georadarowej. Badania takie umożliwiają rozpoznanie niewidocznych zmian w strukturze betonu, takich jak: zawilgocenia, szczegóły dotyczące szczelin dylatacyjnych, odspojenia między warstwą jezdnią a podbudową czy zmiany miąższości warstw i rozwarstwienia. Badania należy wykonywać zgodnie z kierunkiem poruszających się pojazdów w wybranych profilach, których zagęszczenie powinno być dobierane indywidualnie w sposób zapewniający pełną charakterystykę nawierzchni. Zakres identyfikacji wglębnej konstrukcji uzależniony jest od częstotliwości anteny, dlatego też w celu uzyskania dokładniejszych informacji o warstwach konstrukcji w badaniach zaleca się wykorzystywać co najmniej dwie anteny o zróżnicowanych częstotliwościach (np. 1,20 GHz i 500 MHz). Przykładowy zapis echogramu zarejestrowany na nawierzchni betonowej przedstawiono na rysunku 8.

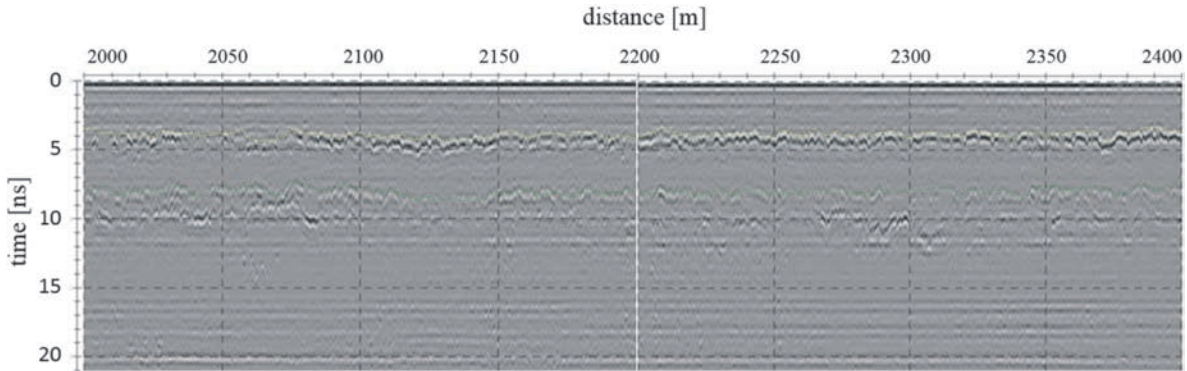
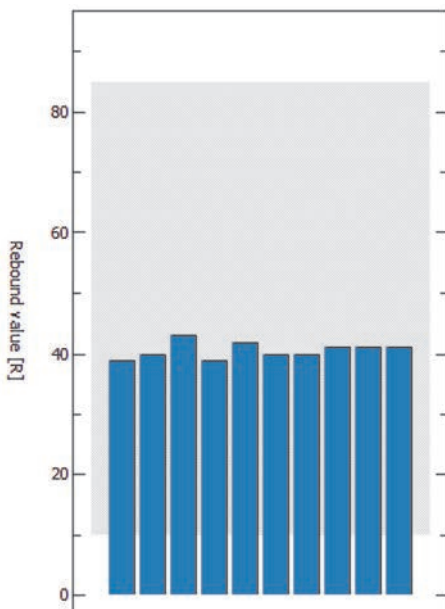


Fig. 8. Echogram recorded on an airport pavement, test section 1, from KM 2+000.00 to KM 2+400.00

Rys. 8. Echogram zarejestrowany na nawierzchni lotniskowej, odcinek badawczy 1, od KM 2+000,00 do KM 2+400,00

The use of the sclerometric method – the Schmidt hammer – allows for non-destructive determination of the structural concrete’s compressive strength based on the surface hardness evaluation. In order to determine the average compressive strength using the sclerometric method, it is necessary to select the test sections and then the measurement points along these sections. Each point features 10 designations (Fig. 9) and then the average rebound is determined in terms of the compressive strength at the assumed conversion curve. An example of the data obtained from measurements conducted in four test sections, each 1000 m in length, is presented in Figure 10, while a detailed analysis is provided in Table 2.

Wykorzystanie metody sklerometrycznej – młotka Schmidta – umożliwia określenie w sposób nieniszczący wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji na podstawie oceny twardości powierzchniowej. W celu określenia średniej wytrzymałości na ściskanie metodą sklerometryczną należy wytypować odcinki badawcze, a następnie punkty pomiarowe wzdłuż tych odcinków. W każdym z punktów wykonywanych jest po 10 oznaczeń (rys. 9), a następnie określana jest wartość średnia liczby odbicia w przeliczeniu na wytrzymałość na ściskanie, przy założonej krzywej konwersji. Przykład danych uzyskanych z pomiarów w ciągu czterech odcinków badawczych, każdy o długości 1000 m, przedstawiono na rysunku 10, a szczegółową analizę w tabeli 2.



Set parameters

Impact direction	↓
Eliminate outliers	M1
Conversion curve	Average Curve J
Form factor	1.00
Time factor	1.00
Carbonation depth	d = -

Statistic

Number of measurements	N = 10
Mean rebound value	m = 40.6 R
Mean compressive strength	f _{ck} = 44.6 MPa
Standard deviation	sa = 1.3 R
Maximum rebound value	Max = 43 R
Minimum rebound value	Min = 39 R
Span	R = 4 R

Measured rebound value [R]

39	40	43	39	42	40	40	41	41	41
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Fig. 9. Example record from a compressive strength measurement obtained during a test conducted using the Digi Schmidt 2N type Schmidt hammer

Rys. 9. Przykładowy zapis pomiaru wytrzymałości na ściskanie uzyskany z badania młotkiem Schmidta typu Digi Schmidt 2N

Table 2. Average compressive strengths for the analysed test sections with cross-sections after every 50 m
Tabela 2. Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie dla analizowanych odcinków badawczych w przekrojach co 50 m

KM	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	
2+000.00	55.1	55.8	58.2	52.3	
2+050.00	53.6	53.0	52.5	56.0	
2+100.00	54.2	58.3	54.6	53.6	
2+150.00	58.1	52.3	54.3	52.5	
2+200.00	59.4	57.0	58.3	58.6	
2+250.00	55.1	56.5	53.1	55.5	
2+300.00	57.5	53.0	53.6	59.7	
2+350.00	53.2	53.8	52.8	59.3	
2+400.00	56.1	57.8	54.1	58.2	
2+450.00	54.8	56.4	56.5	56.3	
2+500.00	52.3	51.3	53.3	51.5	
2+550.00	56.7	57.8	58.8	53.8	
2+600.00	53.5	53.3	56.1	57.6	
2+650.00	56.6	55.6	56.5	54.8	
2+700.00	54.3	58.6	55.6	57.6	
2+750.00	58.3	52.7	59.2	59.2	
2+800.00	55.8	56.3	57.0	55.7	
2+850.00	54.6	56.3	55.0	55.1	
2+900.00	53.0	53.8	58.7	54.5	
2+950.00	55.5	53.8	55.6	59.3	
3+000.00	52.9	53.6	55.1	57.6	
	52.3	51.3	52.5	51.5	Minimum value [MPa]
	59.4	58.6	59.2	59.7	Maximum value [MPa]
	55.27	55.09	55.66	56.13	Average value [MPa]
	1.957	2.184	2.111	2.514	Standard deviation [MPa]

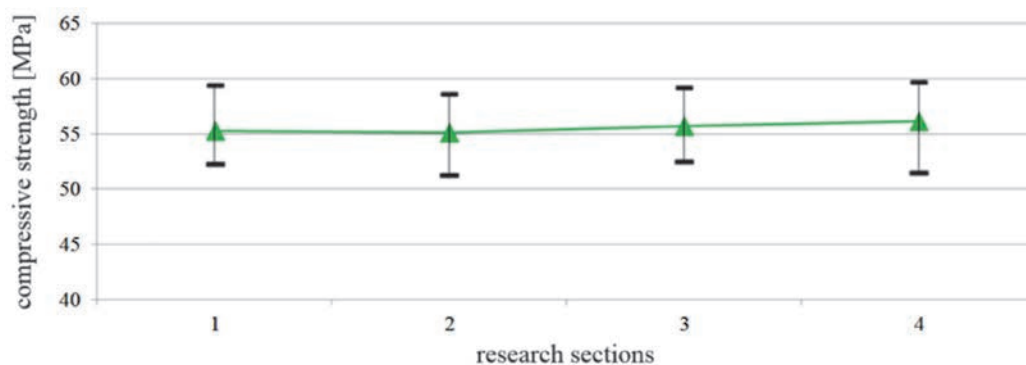


Fig. 10. Average compressive strength for selected test sections, from KM 2+000.00 to KM 3+000.00
Rys. 10. Średnia wartość wytrzymałości na ściskanie dla wybranych odcinków badawczych, od KM 2+000,00 do KM 3+000,00

An extension of the standard tests determining the parameters of concrete in the pavement structure should include observations of the internal structure of cured cement concrete. Special attention must be paid to the surface layer, because it is here that the destructive

Rozszerzeniem standardowo stosowanych badań określających parametry betonu w konstrukcji nawierzchni powinny być obserwacje struktury wewnętrznej stwardniałego betonu cementowego. Szczególną uwagę należy zwrócić na warstwę przy-

impact of atmospheric conditions, intensified by the service load (e.g. hot exhaust fume gases emitted from the nozzles of aircrafts taking off) can enhance the formation of surface damage (Fig. 11).



powierzchniową, ponieważ to właśnie w tym obszarze destrukcyjne oddziaływanie warunków środowiskowych, spotęgowane obciążeniem eksploatacyjnym (np. gorące gazy spalinowe emitowane z dysz starujących statków powietrznych), może potęgować powstawanie uszkodzeń powierzchniowych (rys. 11).

Fig. 11. Example pavement with altered colouring due to repeated impact of temperature deriving from the aircrafts' thermal emissions

Rys. 11. Przykład nawierzchni o zmienionym zabarwieniu na skutek wielokrotnego oddziaływania temperatury pochodzącej z emisji termicznej statków powietrznych

The changes that take place in the cement matrix substantially affect the concrete's mechanical parameters [1]. In relation to pavement concrete, these parameters are the basic factors that determine its durability. In cured concrete, it is possible to distinguish the cement matrix, coarse and fine aggregate grains (usually with a varied mineral composition and varied shapes and dimensions), pores and air voids, crevices and cracks as well as various reinforcement. The most important components of cured concrete include the contact layers between the aggregate grains and the cement grout. Due to their physical (increased porosity) and mechanical (reduced strength) properties, the zones play an important role in the pavement's destruction process. Due to the fact that the surroundings of this zone features micro-cracking, the contact layer between the cement matrix and the aggregated grains is deemed as the weakest element of the cured concrete's micro-structure. Micro-structural observations in the proposed testing, conducted periodically in the perspective of several years, allow for correlating the changes taking place in the cured concrete with the changes in the mechanical

Zmiany, jakie zachodzą w matrycy cementowej, wpływają w istotny sposób na parametry mechaniczne betonu [1]. Parametry te w odniesieniu do betonu w nawierzchni są podstawowymi czynnikami determinującymi jej trwałość. W stwardniałym betonie można wyróżnić matrycę cementową, ziarna kruszywa grubego i drobnego (przeważnie o zróżnicowanym składzie mineralnym oraz zróżnicowanych kształtach i wymiarach), pory i pustki powietrzne, rysy i spękania oraz różnego rodzaju zbrojenie. Do najistotniejszych elementów składowych stwardniałego betonu należy zaliczyć warstwy kontaktowe występujące pomiędzy ziarnami kruszyw a zaczynem cementowym. Strefy te, ze względu na właściwości fizyczne (zwiększona porowatość) i mechaniczne (mniejsza wytrzymałość), odgrywają istotną rolę w procesie niszczenia nawierzchni. Ponieważ w obrębie tej strefy pojawiają się mikrospeknięcia warstwa kontaktowa matryca cementowa-ziarna kruszywa uznawana jest za najsłabszy element mikrostruktury stwardniałego betonu. Obserwacje mikrostrukturalne w proponowanych badaniach wykonywane cyklicznie w perspektywie kilku lat umożliwią powiązanie zmian zachodzących w stwardniałym betonie ze

or service parameters of the pavement concrete. The observations of samples collected from the exploited pavements at locations of aircraft traffic conducted thus far demonstrated a substantial impact of the traffic conditions and of destructive factors on the changes in the surface layer. Based on the observations of sample surfaces in the Scanning Electron Microscope, a change in the concrete's micro-structure and a network of micro-cracks, causing partial delamination of the material's top layer, were ascertained (Fig. 12a). Numerous micro-cracks were observed in the cement matrix and cracks in the contact zone of the matrix and aggregate grains. The cross-section of the analysed samples featured an altered concrete micro-structure in the surface layer (Fig. 12). The layer is characterised with increased porosity, altered crystallisation and numerous micro-crevices with substantial widths. The micro-crevices are causing the loosening of the material's top layer. The destructive impact of aircrafts on the concrete airport pavements is also confirmed by the concrete's chemical composition analyses. The surface layer features increases carbon and sulphur contents compared to lower layers by approx. 60-70%.

zmianami parametrów mechanicznych czy eksploatacyjnych betonu w nawierzchni. Wykonane dotychczas obserwacje próbek pobranych z eksploatowanych nawierzchni w miejscach poruszających się statków powietrznych wykazały istotny wpływ warunków ruchu i czynników destrukcyjnych na zmiany w warstwie powierzchniowej. Na podstawie obserwacji w skaningowym mikroskopie elektronowym powierzchni próbek stwierdzono zmianę mikrostruktury betonu oraz sieć mikrospekkań powodującą częściowe odspajanie górnej warstwy materiału (rys. 12a). Zaobserwowano bardzo liczne mikrospekkania, zarówno samej matrycy cementowej, jak również spekkania w strefie kontaktu matrycy z ziarnami kruszyw. W przekroju analizowanych próbek ujawniono w warstwie przypowierzchniowej zmienioną mikrostrukturę betonu (rys. 12). Warstwa ta charakteryzuje się zwiększoną porowatością, zmienioną krystalizacją oraz licznymi mikrorysami o znacznych rozwartościach. Mikrorysy powodują odspajanie górnej warstwy materiału. Destrukcyjne oddziaływanie statków powietrznych na betonowe nawierzchnie lotniskowe potwierdzają również analizy składu chemicznego betonu. W warstwie przypowierzchniowej stwierdzono zwiększoną zawartość węgla i siarki w stosunku do warstw niżej leżących o ok. 60-70%.

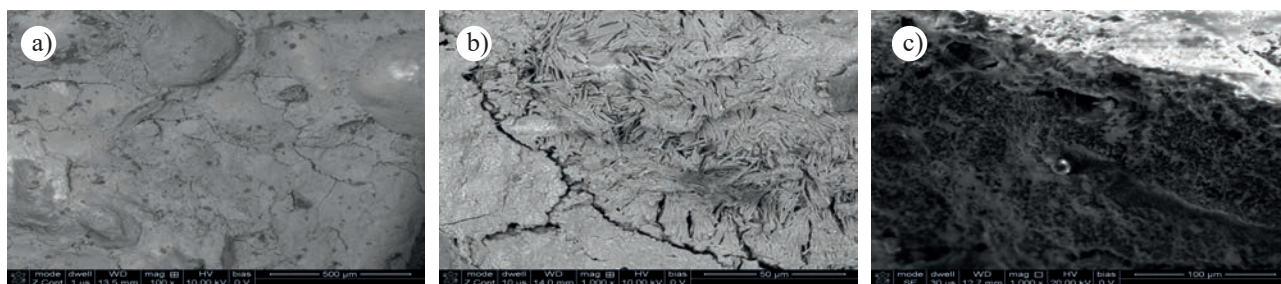


Fig. 12. Micro-structure of samples of concrete collected from the exploited pavement: (a) sample surface, (b) cement matrix, c) surface layer (10.00KX zoom)

Rys. 12. Mikrostruktura próbek betonu pobranego z eksploatowanej nawierzchni: (a) powierzchnia próbki, (b) matryca cementowa, c) warstwa przypowierzchniowa (powiększenie 10.00KX)

The observed micro-scale damage can develop and propagate into the macro-scale in sufficient conditions. Then, it is possible to catalogue them during visual inspection as part of the pavement condition's evaluation (Fig. 13). The evaluation utilises the assumptions [21] by adopting the damage specified in Table 3 and designating the pavement's degradation degree according to formula (4) [22].

Obserwowane uszkodzenia w skali mikro, w sprzyjających warunkach mogą rozwijać się i propagować do skali makro. Wówczas na etapie oceny wizualnej w ramach oceny stanu nawierzchni możliwe jest ich zinventaryzowanie (rys. 13). Do oceny wykorzystuje się założenia [21], przyjmując uszkodzenia przedstawione w tabeli 3 i ostatecznie wyznaczając stopień degradacji nawierzchni zgodnie ze wzorem (4) [22].

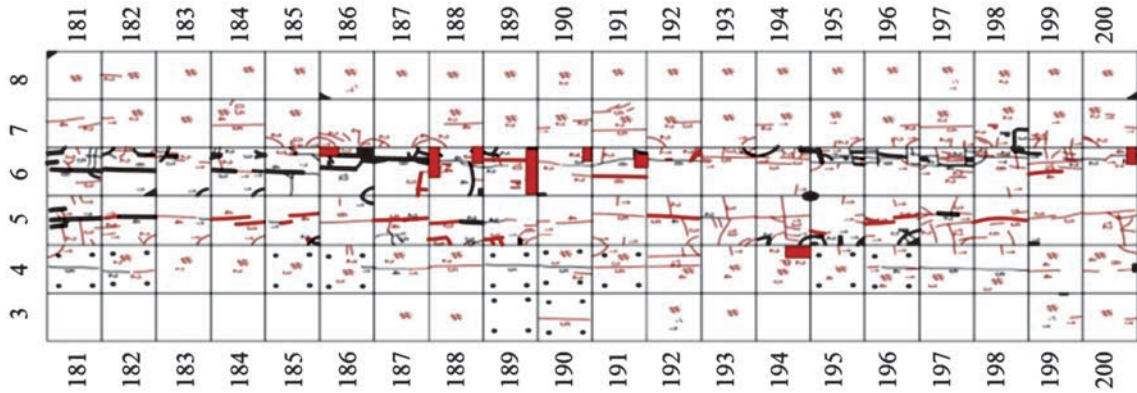


Fig. 13. Example record of damage in an airport pavement made from cement concrete

Rys. 13. Przykładowy rejestr występujących uszkodzeń na nawierzchni lotniskowej z betonu cementowego

$$D_{BC} = \frac{D_{Ap} + D_{Bg} + D_{Pm} + D_{Pw} + D_{Op} + D_{Now} + D_{Vg} + D_{Ps} + D_{Psszer} + D_M + D_{Pr} + D_O + D_{Wp}}{13} \quad (4)$$

Parameter	Mark	Unit of measure
shallow peeling	A_p	m ²
deep peeling	B_g	m ²
frost cracking	P_m	m ²
capillary cracking	P_w	m ²
chipping	O_p	items
breaking, edge and corner	N_{ow}	items
deep cavities	U_g	m ²
crevice cracking	P_s	m
wide crevice cracking	P_{sszer}	m
mass in crevices	M	m
thresholds	P_r	items
drill openings	O	items
slab replacement	W_p	m ²

Table 3. Specific types of damage for visual inspection

Tabela 3. Wyszczególnione rodzaje uszkodzeń do oceny wizualnej

4. SUMMARY

Taking into consideration the assurance of the high level of safety of air traffic and the durability of airport pavements, there is a need for continuous monitoring of the technical condition of concrete airport pavements.

The adopted airport pavement technical condition evaluation process is a reliable tool allowing for obtaining the pavement's condition index in the form of input data. The proposed extension of diagnostics with geo-radar measurements will allow for identifying cross-sections that deviate from the standard values and enable quicker and more complete verification of the pavement's condition. The SEM observations of concrete samples from selected pavement areas can

4. WNIOSKI

Mając na uwadze zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa ruchu lotniczego i trwałości eksploatacyjnej nawierzchni lotniskowych, istnieje potrzeba systematycznego monitorowania stanu technicznego betonowych nawierzchni lotniskowych.

Przyjęty proces oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych jest wiarygodnym narzędziem umożliwiającym uzyskanie, jako danych wyjściowych, wskaźnika stanu nawierzchni. Zaproponowane rozszerzenie diagnostyki o pomiary georadarowe umożliwi identyfikację przekrojów odbiegających od wartości normowych i pozwoli na szybszą oraz pełniejszą weryfikację stanu nawierzchni. Obserwacje w SEM próbek betonu z wybranych

unambiguously constitute the basis for determining the structural concrete's condition and the changes taking place in the cement composite.

obszarów nawierzchni w jednoznaczny sposób mogą stanowić podstawę wnioskowania o stanie betonu w konstrukcji i zachodzących zmianach w kompozycie cementowym.

REFERENCES

- [1] Glinicki M.A.: *Trwałość betonu w nawierzchniach drogowych. Wpływ mikrostruktury, projektowanie materiałowe, diagnostyka* [Hardness of concrete in road pavements. Impact of micro-structure, material designing, diagnostics]. Wydawnictwo Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, Warsaw 2011.
- [2] Nita P.: *Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych* [Construction and maintenance of airport pavements]. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warsaw 2008.
- [4] NO-17-A205: 2017 Winter airport pavement maintenance. Use of de-icing agents. Requirements and testing.
- [5] Kowalska D., Wesołowski M.: *Bezpieczne lądowanie. Nawierzchnie asfaltowe (1-2)* [Safe landing. Asphalt pavement (1-2)], 2018, pp. 14-19.
- [6] Linek M.: *Beton nawierzchniowy o podwyższonych parametrach fizycznych i mechanicznych na działanie wymuszonych obciążeń temperatury* [Pavement concrete with improved physical and mechanical parameters against coerced temperature loads]. Kielce 2013.
- [9] Linek M., Piotrowska-Nowak P., Nita P.: *Termiczna odporność betonowych nawierzchni lotniskowych i jej skutki dla procesu użytkowania* [Thermal resistance of concrete airport pavements and its effects for the exploitation process]. Journal of KONBIN, 2017.
- [13] NO-17-A500:2016. *Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności* [Airport and road pavements. Carrying capacity testing].
- [14] Wesołowski M.: *Badania nośności mobilnych pokryć kompozytowych stosowanych do odbudowy nawierzchni lotniskowych* [Testing the carrying capacity of mobile composite coatings used for airport pavement reconstruction]. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, XXXIII, 63, 2016, pp. 437-444.
- [15] Wesołowski M., Blacha K.: *Ocena nośności konstrukcji nawierzchni lotniskowych metodą ACN-PCN* [Evaluation of the carrying capacity of airport pavements using the ACN-PCN method]. Prace Naukowe ITWL, 35, 2014, pp. 5-21.
- [17] NO-17-A501:2015. *Nawierzchnie lotniskowe - Badania szorstkości* [Airport pavements – Roughness testing].
- [18] Wesołowski M., Barszcz P., Blacha K.: *Badania porównawcze urządzeń przeznaczonych do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk* [Comparative testing of devices intended for continuous measurement of the friction index in airport functional elements' pavements]. Acta Sci. Pol. Architectura, 16, 3, 2017, pp. 137-145.
- [19] NO-17-A204:2015. *Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego* [Concrete airport pavements. Requirements and methods of testing cement concrete pavements].
- [20] NO-17-A502:2015. *Nawierzchnie lotniskowe – Badania równości* [Airport pavements – Evenness testing].
- [21] Poświęta A., Wesołowski M., Kowalska D.: *Współczesne betonowe nawierzchnie lotniskowe w Polsce – wybrane problemy* [Modern concrete airport pavements in Poland – selected issues], Konferencja Dni Betonu, 2014.
- [22] Nita P., Wesołowski M. e.t.c.: *Dobór parametrów i wskaźników charakteryzujących stopień zdegradowania płyt stanowiących elementy nawierzchni lotniskowych wykonanych z betonu cementowego w oparciu o dane uzyskane z eksploatowanych obiektów* [Selection of parameters and indices characterising the degradation degree of slabs constituting elements of airport pavements made from cement concrete, based on the data obtained from exploited facilities], ITWL, Warsaw 2016.

Acknowledgments:

The work was financed by Kielce University of Technology, Department of Transportation Engineering, Air Force Institute of Technology, Warsaw

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską Kielce, Instytut Lotnictwa, Katedra Inżynierii Transportu, Warszawa