

Diagnostyka techniczna i kształtowanie niezawodności betonowych nawierzchni lotniskowych w toku ich modernizacji i rekonstrukcji

Technical diagnostics and reliability development of concrete airfield pavements in modernization and reconstruction progress



Małgorzata Linek

Dr inż.

Adjunkt w Katedrze Inżynierii
Komunikacyjnej Politechniki
Świętokrzyskiej w Kielcach

linekm@tu.kielce.pl



Piotr Nita

Prof. dr hab. inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych w Warszawie

piotr.nita@itwl.pl



Adam Poświata

Dr inż.

Główny Specjalista w Instytucie
Technicznym Wojsk Lotniczych w
Warszawie

adam.poswiata@itwl.pl

Streszczenie: Techniczna niezawodność betonowych nawierzchni lotniskowych, kształtuje się przede wszystkim na etapie opracowywania projektu i jego rozwiązań techniczno-funkcjonalnych we wszystkich rodzajach robót branżowych. W procesie eksploatacji niezawodność techniczną nawierzchni można kształtować w wyniku ich modernizacji i rekonstrukcji. Efekt tych działań zależy przede wszystkim od jakości robót. Obecnie wykonawcy robót dysponują wysokiej jakości materiałami, specjalistycznym sprzętem ograniczającym ingerencję człowieka w procesie przygotowania i wbudowania mieszanki betonowej. Potencjalnie wysokie kwalifikacje personelu technicznego i innych członków załogi wykonujących roboty powinny być gwarancją wysokiej jakości robót. Proces eksploatacji, musi cechować wysoki poziom kultury technicznej i racjonalne procedury utrzymaniowe. W publikacji przedstawiono teoretyczny model niezawodności modernizowanego i rekonstruowanego obiektu lotniskowego, ze zwróceniem szczególnej uwagi na: poprawność i skuteczność technologicznej jego realizacji.

Słowa kluczowe: Niezawodność nawierzchni; Jakość robót nawierzchniowych; Stany eksploatacyjne; EFL (elementy funkcjonalne lotniska)

Abstract: The technical reliability of concrete airport pavements evolves mainly when the project and its technical and functional solutions in all types of industry works is being developed. In the operation process, the technical reliability of the pavement can be shaped as a result of its' modernization and reconstruction. The effect depends primarily on the quality of the works. Currently, the contractors have high-quality materials and specialized equipment minimising human factor in the process of preparing and placing the concrete mix. Potentially high qualifications of technical personnel and other members of the works crew should be a guarantee of high quality works. The operation process must be characterized by a high level of technical culture and rational maintenance procedures. The publication presents the theoretical model of modernized and reconstructed airport's reliability, paying particular attention to the accuracy and efficiency of its technological implementation.

Keywords: Pavement reliability, Quality of pavement works, Operational condition; AFE (airport functional elements)

Wstęp

Celem modernizacji i rekonstrukcji nawierzchni lotniskowych lub wybranych jej części (EFL) elementu funkcjonalnego lotniska jest zwiększenie stanu bezpieczeństwa związanego z wykonywaniem operacji lotniczych i podniesienie standardów technicznych urządzeń lotniskowych, który ten poziom zapewnia. Cel ten można osiągnąć poprzez wysoką jakość procesów technologicznych podczas prowadzonej modernizacji oraz instalację

skutecznych urządzeń technicznych, które bezpieczeństwo wykonywanych operacji lotniczych podnoszą na wyższy poziom. Właściwym działaniem w tym zakresie jest, wykorzystanie matematycznych relacji wynikających z teorii niezawodności obejmującej głównie ocenę rozkładów statystycznych i wyznaczenie odpowiednich wskaźników niezawodnościowych, które zwykle łączą się z zagadnieniami trwałości tych budowli. W zakres analizy niezawodnościowej wchodzi między innymi: gromadzenie informacji o

konstrukcji i jej cechach w tym elementach trwałości. W konstrukcjach nawierzchni lotniskowych model niezawodności tego układu jest najczęściej wynikiem stanu podłoża gruntowego i zmian jego fizycznych i mechanicznych parametrów. Obserwacje licznych procesów technologicznych związanych z modernizacją nawierzchni i ich rekonstrukcji, naprężenia rzeczywiste i obliczeniowe (orzecz $\leq$ oblicz), prowadzone badania kontrolne na poszczególnych etapach realizacji wykazują, że w pewnych przypadkach, jakość

wykonanych robót nie jest zadawalająca. W publikacji przedstawiono istotność technicznej niezawodności tych obiektów oraz jej wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych.

Niezawodność procesu technologicznego i niezawodność eksploatacyjna

Niezawodność procesu technologicznego T_i można przedstawić w postaci zależności

$$T_i \in T_n \leftrightarrow [l_r \geq l_p \cap q_r \geq q_p \cap t_r - t_z] \quad (1)$$

w którym:

l_r - ogólna ilość wykonywanych robót,

l_p - planowana do wykonania ilość robót,

q_r - określona liczbowo jakość robót,
 q_p - wymagana jakość robót zgodna z obowiązującymi normami,

t_r - rzeczywisty czas trwania robót,
 t_z - czas wyłączenia obiektu z eksploatacji.

Uwagę o ogólnej ilości robót należy rozumieć jako syntezę występujących poszczególnych rodzajów robót np. na ogólną ilość robót betonowych ma wpływ ich sumaryczna ilość wykonywana na poszczególnym elemencie funkcjonalnym nawierzchni (podbudowy, warstwy konstrukcyjnej, lub ewentualnie innych warstw). Stopień szczegółowości takiej analizy, zwraca uwagę na

istotność takiej oceny i jej wpływu na niezawodność technologiczną wykonywanej modernizacji lub budowy nawierzchni na nowym obiekcie. Miarą niezawodnego procesu technologicznego należy uznać wektor kolumnowy w postaci zależności:

$$N = \begin{bmatrix} \frac{l_r}{l_p} \\ \frac{q_r}{q_p} \\ \frac{t_z}{t_r} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Niezawodność nawierzchni lotniskowej to właściwość rozumiana, że spełni ona poprawnie wszystkie funkcje w założonym okresie czasu, w określonych warunkach eksploatacyjnych. W odniesieniu do betonowej nawierzchni lotniskowej, którą zmodernizowano, miarą jej niezawodności jest sumaryczna liczba operacji lotniczych i obciążeń masowych Q , które wykonuje obliczeniowy samolot do czasu, w którym zostanie wykonana kolejna naprawa lub remont o kilkudziesięciu procentach rzeczywistej powierzchni EFL .

Inne rodzaje napraw mogą być pochodną działania sił przyrody lub działań wymuszonych. Obciążenie masowe nie powinno być mniejsze niż Q_{min} . Warunek ten można zapisać w postaci:

$$R(Q) = P \{ Q, \phi, \square, | Q \geq Q_{min} \} \quad (3)$$

Funkcja ϕ oznacza, że stan nawierzchni zapewnia bezpieczny i re-

gularny ruch statków powietrznych w istniejących warunkach eksploatacyjnych [1]. Wielkością, która jest w stanie spełnić ten warunek przy zastosowanych rozwiązaniach: projektowych, konstrukcyjnych i geometrycznych - jest jakość robót q . Miarą jakości robót należy uznać ich dokładność i skuteczność, która jest szczególnie istotna dla robót ulegających zakryciu. W postaci graficznej problem jakości przedstawiono na rys. 1.

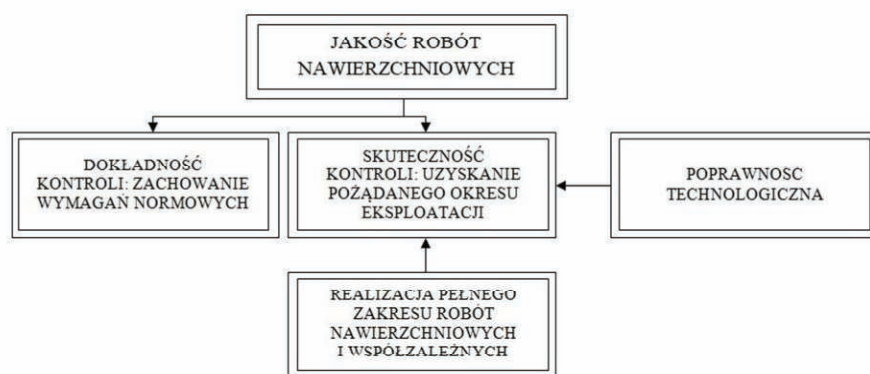
Poprawę jakości robót nawierzchniowych na lotniskach osiągnąć można poprzez doskonalenie odbiorów poszczególnych robót a w szczególności robót ulegających zakryciu. Istotnym zagadnieniem, które można zaobserwować w praktyce jest spotykana często pewna rozbieżność między rozwiązaniami przedstawionymi w projekcie a realiami wykonawstwa.

Stany eksploatacyjne i niezawodnościowe betonowych nawierzchni lotniskowych

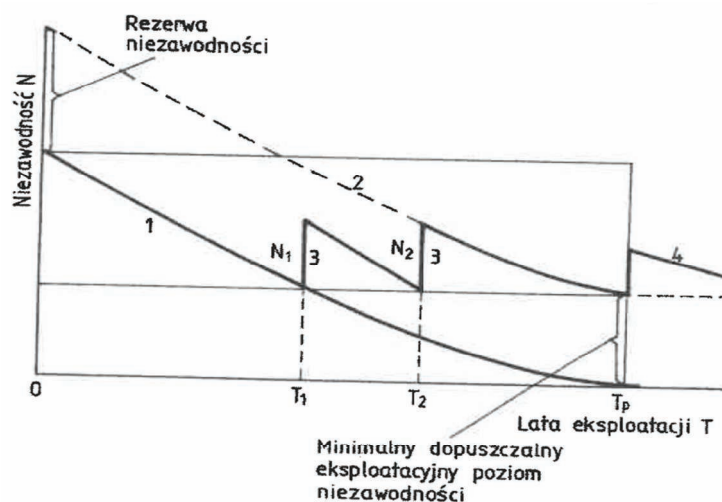
Analizując stany niezawodnościowe i eksploatacyjne nawierzchni lotniskowych należy mieć na uwadze zagadnienia o charakterze teoretycznym (metodologicznym i poznawczym) oraz doświadczalnym i użytkowym. Podczas użytkowania nawierzchni może się ona znajdować w następujących stanach eksploatacyjnych:

- a) Stan pełnej gotowości eksploatacyjnej (E^1),
- b) Stan ograniczonej zdolności eksploatacyjnej (E^2),
- c) Stan niezdatności eksploatacyjnej (E^0).

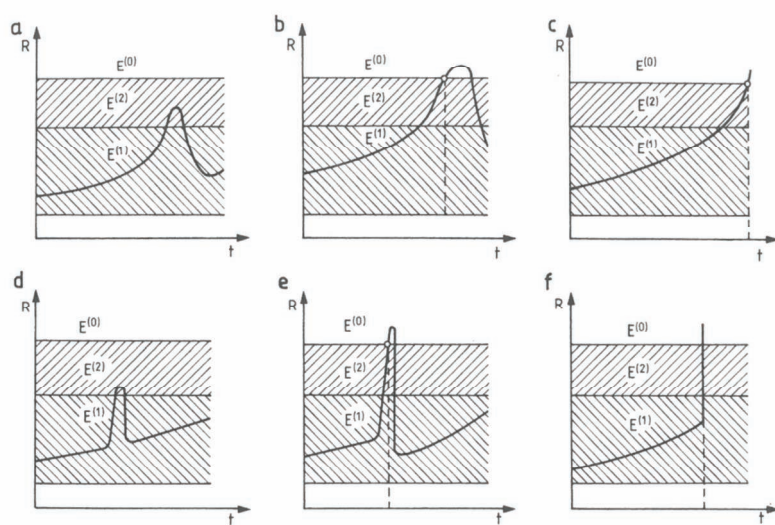
W tej sytuacji konieczna jest umiejętność trafego rozpoznawania stanów eksploatacyjnych nawierzchni zgodnie z odpowiednimi kryteriami oceny. Zasadniczym kryterium stanu technicznego nawierzchni są za-



1. Składowe elementy procesu związanego z uzyskaniem odpowiedniej jakości robót



2. Wykres przedstawiający okres eksploatacji nawierzchni z założonym czasie



3. Możliwe stany niezawodnościowe nawierzchni w okresie jej użytkowania

wsze naprężenia gdzie $\sigma_{rzecz} \leq \sigma_{oblicz}$. Dla tej podstawowej zależności wyróżnia się następujące relacje:

$$\begin{aligned} \sigma_{rzecz} / \sigma_{oblicz} &= 1 \rightarrow E_i \cap E^{(1)} \\ 0 \leq \sigma_{rzecz} / \sigma_{oblicz} &\leq 1 \rightarrow E_i \cap E^{(2)} \\ \sigma_{rzecz} / \sigma_{oblicz} &= 0 \rightarrow E_i \cap E^{(0)} \end{aligned} \quad (4)$$

Naprężenia σ_{rzecz} i σ_{oblicz} są rzeczywistymi średnimi naprężeniami w środkowym przekroju płyty betonowej (rzeczywistymi i obliczeniowymi). Konsekwencją poprawnych relacji naprężeń w nawierzchni jest zawsze oczekiwana jej nośność. Okres eksploatacji nawierzchni z założonym czasie przedstawiono na rys. 2.

Nawierzchnia lotniskowa, niezależnie od tego czy występuje w klasycznym układzie warstw, czy też w układzie złożonym z warstw i o róż-

nych parametrach mechanicznych jest układem probabilistycznym. Opis stanu, w którym znajduje się nawierzchnia można przedstawić jako prawdopodobieństwo przejścia z jednego stanu w drugi. Stany te można opisać w postaci zbiorów złożonych z danych statystycznych, które tworzone są podczas okresowych (wiosennych i jesiennych) przeglądów technicznych i są archiwizowane.

Na rys. 3 przedstawiono wpływ różnorodnych czynników, które mają znaczenie na zaistnienie odpowiednich stanów technicznych nawierzchni. Stany fizyczne (techniczne) konstrukcji wyznaczają zbiór stanów niezawodnościowych. W zależności od wymagań związanych z niezawodnością istnieje relacja, któ-

ra oznacza prawdopodobieństwo wejścia poszczególnych mierzalnych parametrów zbioru Δ do zbioru Ω , który opisuje nawierzchnie jako zdeterminowany układ konstrukcyjny przedstawiony zależnością:

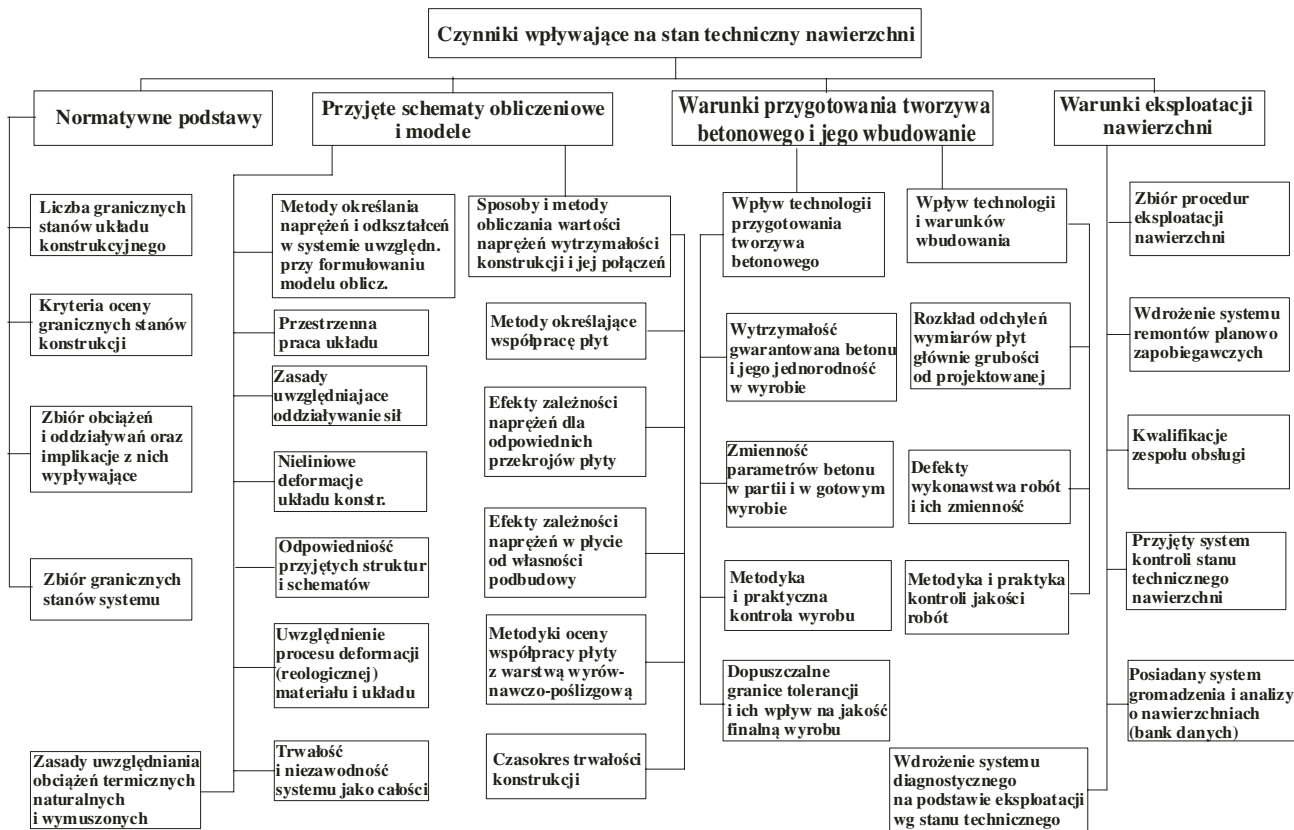
$$R = R\{\Delta \cap \Omega\} \quad (5)$$

Określenie stanów niezawodnościowych nawierzchni wymaga znajomości genezy, czasu trwania i pracy nawierzchni w czasie związanym z jej eksploatacją. Proces przejścia z jednego stanu eksploatacyjnego w drugi w normalnych warunkach (wyłączając stany wymuszone – losowe) jest procesem ciągłym. Ilustrację tego stanu (procesu) przedstawiono na rys. 3, w którym zwrócono uwagę na stany pośrednie przejścia nawierzchni ze stanu pełnej zdolności eksploatacyjnej $E^{(1)}$ do stanu niezdolności eksploatacyjnej $E^{(0)}$.

Oznaczenia przyjęte na rysunku:

- a) odwracalny proces starzenia się nawierzchni bez osiągnięcia stanu $E^{(0)}$,
- b) odwracalny proces starzenia się nawierzchni z osiągnięciem stanu $E^{(0)}$,
- c) proces starzenia się nawierzchni o nieodwracalnym charakterze,
- d) skokowy proces odwracalny bez osiągnięcia stanu $E^{(0)}$,
- e) skokowy proces odwracalny z osiągnięciem stanu $E^{(0)}$,
- f) proces skokowy nieodwracalny.

Ważnym zagadnieniem diagnostyki technicznej nawierzchni jest możliwość prognozowania jej zachowania się w danych warunkach i określenia czasu bezpiecznej pracy. Techniczną niezawodność nawierzchni można rozumieć dwójako tj. w ujęciu opisowym i ujęciu wartościowym. W znaczeniu opisowym niezawodność nawierzchni jest jej zdolnością do spełniania przez tę nawierzchnię, określonych wymagań technicznych i operacyjnych.



4. Schemat struktury różnorodnych czynników, które wpływają na proces projektowania, budowy i utrzymania nawierzchni lotniskowych

W znaczeniu wartościowym niezawodność tej konstrukcji to prawdopodobieństwo właściwego spełnienia przez tę nawierzchnię wymagań technicznych w czasie t nie mniejszym jednak od czasu założonego (oczekiwanego) t_0 . Relację tą można przedstawić w postaci zależności.

$$R(t_0) = P(t \geq t_0) \quad (6)$$

$$R(\square_0) = P(\square \geq \square_0) \quad (7)$$

Relację tą można przedstawić również jako prawdopodobieństwo wykonania pewnej ilości pracy, którą można utożsamiać z ilością przewiezionego ładunku $\square_0$.

Niezawodność nawierzchni wiąże się ściśle z pojęciem trwałości, którą należy rozumieć jako zdolność do zachowania zasadniczych właściwości nawierzchni w określonym czasie. Ewentualne obniżenie się poziomu technicznych wymagań dla nawierzchni może mieć charakter zużycia lub uszkodzenia. Nawierzchnia lotniskowa w znaczeniu niezawodności jest układem probabilistycznym a więc układem, którego zachowania nie da się dokładnie przewidzieć, można natomiast zbadać i określić odpowiedni poziom ufności poszczególnych zdarzeń. Nawierzchnia lotniskowa jest w istocie konstrukcyjnym układem mieszanym. Obecnie dąży się do tego, by zbudować wiarygodny model niezawodnościowy o dużej użyteczności. Przesłaniem tej idei jest możliwość zastąpienia któregoś z ewentualnie uszkodzonych różnorodnych elementów składowych układu, przez przejście jego zadań przez jeden



5. W miejscu przeznaczonym na ułożenie mieszanki betonowej zalega warstwa wody



6. Technologiczne pęknięcie płyty nawierzchni betonowej powstałe kilkanaście godzin po ułożeniu mieszanki betonowej

lub więcej elementów współpracujących. Charakterystyczną cechą pracy nawierzchni jest ciągłość procesu jej użytkowania. Odnowienie nawierzchni należy rozumieć jako wymianę pojedynczego elementu lub takiej ich liczby w wyniku czego nawierzchnia odzyskuje oczekiwane własności eksploatacyjne. Najdalej idącym odnowieniem nawierzchni jest jej remont kapitalny. W diagnostyce nawierzchni lotniskowych trafność doboru odpowiedniej metody jej oceny, a następnie wykonanie prac remontowych w odpowiedniej ilości i jakości przyczynia się do podniesienia bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Stan techniczno-eksploatacyjny nawierzchni lotniskowych jest wypadkową bardzo wielu czynników: począwszy od przyjętych założeń i aktów normatywnych, poprzez dobór odpowiednich metod obliczeniowych i sposobu realizacji inwestycji, do zasad i poziomu kultury technicznej ich eksploatacji. Zbiór tych wielu czynników mających wpływ na cały proces „powstania i technicznego życia nawierzchni” przedstawiono na rys. 4.

Przykłady niewłaściwego wykonania wybranych elementów robót nawierzchniowych

Na rys. 4 przedstawiono liczne i różnorodne warunki gwarantujące wysoką niezawodność i trwałość nawierzchni lotniskowych. Jednak w nielicznych przypadkach realizacje robót nawierzchniowych obciążone są odstępstwami i nie spełniają wszystkich zasad prakseologicznej zasady wynikającej z „Traktatu o Dobrej Robocie”[2] dotyczy to przede wszystkim procesu realizacji robót i w nielicznych przypadkach rozwiązań projektowych. Na rys. 5 i 6 przedstawiono takie przykłady.

Podsumowanie i wnioski

Poprawny przebieg robót remontowych i modernizacyjnych betonowych nawierzchni lotniskowych ma zasadniczy wpływ na ich trwałość i niezawodność w konsekwencji jest warunkiem bezpiecznego wykonywania operacji lotniczych.

1. Obecnie przy ogólnie dobrej jakości materiałów wchodzących w skład przygotowywanej mieszanki betonowej, istnieje szansa

na uzyskanie oczekiwanej „poprawności technologicznej robót”.

2. Czynnikiem ograniczającym dotychczas uzyskanie wysokiej i oczekiwanej jakości robót, jest sprzęt do układania mieszanki betonowej w miejscu przeznaczenia tj. maszyny układające mieszankę betonową. Wykorzystywany dotychczas sprzęt w naszych krajowych warunkach jest technicznie przestarzały i oczekiwanej jakości robót nie gwarantuje.
3. Spotykana jednak, niższa niż spodziewana poprawność technologiczna robót niweczy trud organizacyjny włożony w realizację zadania inwestycyjnego i ogranicza spodziewane efekty trwałościowe i niezawodnościowe.
4. Pewnym czynnikiem utrudniającym uzyskanie wysokiej jakości robót jest nadmierna kooperacja robót, nie chodzi tu jednak o roboty specjalistyczne.
5. Dyskusyjną sprawą, z zakresu nadzoru nad jakością robót jest sprawa zlecenia tych czynności strukturom organizacyjnym nie będących związanych organizacyjnie z inwestorem. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bałuch H.: Diagnostyka nawierzchni kolejowej. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1978.
- [2] Kotarbiński T.: Traktat o dobrej robocie. Wydawnictwa Polskiej Akademii Nauk. Warszawa 1955.
- [3] Nita P.: Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2005.