

Paweł GRABOWSKI ORCID 0009-0007-9399-1294, pawel.grabowski@itwl.pl –

corresponding author

Krzysztof BLACHA ORCID 0000-0002-4599-4294, krzysztof.blacha@itwl.pl

Paweł PIETRUSZEWSKI ORCID 0000-0003-4192-0906, pawel.pietruszewski@itwl.pl

*Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych), Poland*

## INDICATIVE ASSESSMENT OF THE LOAD BEARING CAPACITY OF ARTIFICIAL AIRFIELD PAVEMENTS

### Wskaźnikowa ocena nośności sztucznych nawierzchni lotniskowych

**Abstract:** *The load bearing capacity of airfield pavements is currently determined with the ACN-PCN method. It should also be noted that existing studies in the discussed area refer only to assessment of the surface's current technical condition. Due to the above, actions were taken to collect data from the selected airport facilities in order to analyze changes in its parameters over a longer period of time. The measurements were carried out over a period of several years, on the same airport facilities and on the same airport's functional elements. The obtained results were used to develop a methodology for index airfield pavement assessment and to determine criteria for technical condition assessment. Knowledge of the above parameters allows to determine the APCI index describing the current, comprehensive technical condition of the surface, allowing for forecasting further activities related to its operation.*

**Keywords:** airfield pavement, load bearing capacity, ACN-PCN method

**Streszczenie:** *Nośność nawierzchni lotniskowych jest aktualnie określana metodą ACN-PCN. Istniejące opracowania w omawianym zakresie odnoszą się jedynie do oceny aktualnego stanu technicznego nawierzchni. W związku z powyższym, podjęto działania mające na celu zebranie danych z poszczególnych obiektów lotniskowych, pozwalających na analizę zmiany jej parametrów w dłuższym czasie. Pomiar realizowane były w okresie kilku lat, na tych samych obiektach lotniskowych i na tych samych elementach funkcjonalnych lotniska. Uzyskane wyniki zostały wykorzystane do opracowania metodyki oceny nawierzchni lotniskowych w podejściu wskaźnikowym oraz określenia kryteriów oceny jej stanu technicznego. Znajomość powyższych parametrów pozwala na wyznaczenie wskaźnika APCI opisującego aktualny, kompleksowy stan techniczny*

*nawierzchni pozwalający na prognozowanie dalszych działań związanych z jej eksploatacją.*

**Słowa kluczowe:** nawierzchnia lotniskowa, nośność, metoda ACN-PCN

Received: April 22, 2024/ Revised: April 29, 2024/ Accepted: April 30, 2024/ Published: June 28, 2024

## 1. Introduction

The most crucial aspect of aviation is safety. Three mutually influencing groups can be identified based on factors influencing safety during air operations:

- vehicle (e.g. aircraft),
- human (e.g. cabin crew, technical staff, air traffic staff),
- environment (e.g. airspace, airfield),

Regarding airfields, particular attention is given to the airfield pavements and, more specifically, to their technical condition. The technical condition is one of the key factors, which that affects safety of air operations.

The factors determining the current technical condition are as follows:

- deterioration (describing its surface),
- load-bearing capacity,
- evenness,
- anti-skid properties,
- peel strength of the surface layer.

The Pavement Condition Index (PCI)-based approach, which is one of the numerous pavement condition evaluation techniques used globally, is utilized by the U.S. Army Corps of Engineers [1] [2]. However, it should be mentioned that this is based only on an observation of the pavement's surface damage.

In previous years, the Air Force Institute of Technology (ITWL) suggested a method for assessing the service value of airfield pavements through the Pavement Condition Index (PSI) [3]. However, the most important technical parameters, the pavement's load-bearing capacity and its roughness, were omitted in this method. In order to facilitate the scheduling of repairs and overhauls, research was also done on a multi-criteria method for determining the deterioration degree of the AFE (airfield functional elements) [4].

The end product of the final works is the APCI (*Airfield Pavement Condition Index*) [5] [6], which aims to provide a comprehensive assessment of the technical condition of airfield pavements based on all diagnostic parameters. One of these parameters is the load-bearing capacity of the pavement, which is one of the most vital parameters used to determine the technical condition of the structure. The load-bearing capacity is defined as

the ability of the pavement structural system, the soil subbase and substructure layers to carry a specific load without the risk of damage [7].

## **2. Research methodology**

In Poland, load-bearing capacity tests of airfield pavements are currently conducted using the ACN-PCN and in accordance with the Polish Defence Standard NO-17-A500:2016 *Airfield and road surfaces. Load-bearing capacity tests*.

Pursuant to regulations of international aviation organisations such as the European Aviation Safety Authority (EASA) [8], the International Civil Aviation Organisation (ICAO) [9] and the Federal Aviation Administration (FAA) [10], currently (until 27 November 2024), load-bearing capacity of airfield pavements is being assessed under the ACN-PCN (*Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number*) method. From 28 November 2024 onwards, load-bearing capacity of airfield pavements will be estimated with the ACR-PCR (*Aircraft Classification Rating – Pavement Classification Rating*) method [8] [11].

According to the Defense Standard NO-17-A500:2016 *Airfield and road pavements. Load-bearing capacity tests*, the load-bearing capacity of airfield pavements is analysed in accordance with the following procedure:

- Measuring elastic deflections of airfield pavements with a HWD (*Heavy Weight Deflectometer*),
- Identifying the structural system of pavement,
- Establishing physical and mechanical parameters of pavement layers and subgrade,
- Determining the permissible number of loads,
- Determining the PCN load-bearing capacity index and/or the permissible total number of air operations.

### **2.1. Load-bearing capacity in view of the ACN-PCN method**

According to the method's general assumptions, to determine the load-bearing capacity of a pavement, the number of aircraft ACNs should be compared with the number of PCNs of the pavement.

In the ACN-PCN method, the load-bearing capacity of the pavement is defined by a group of symbols describing various structure parameters and informing about the evaluation method, which includes:

- dimensionless pavement classification number,
- type of airfield pavement (structure),

- category of load-bearing capacity of the subgrade,
- permissible pressure value in aircraft tyres (tire pressure category),
- the applied evaluation method.

The method for interpreting individual data included in the load index record is shown in Table 1.

**Table 1**

**Elements of PCN pavement record**

No.	Meaning	Description of symbols			
1	Dimensionless PCN				
2	Type of pavement	R	rigid		
		F	flexible		
3	Subgrade category (for rigid pavements – k, for flexible pavements – CBR)	A	high load-bearing capacity	k>120 MN/m <sup>3</sup>	CBR>13%
		B	medium load-bearing capacity	from 60 MN/m <sup>3</sup> to 120 MN/m <sup>3</sup>	from 8 to 13%
		C	low load-bearing capacity	from 25 MN/m <sup>3</sup> to 60 MN/m <sup>3</sup>	from 4 to 8%
		D	very low load-bearing capacity	k<25 MN/m <sup>3</sup>	CBR<4%
4	Permissible pressure in aircraft tyres (Tire pressure category)	W	unlimited		
		X	medium up to 1,5 MPa		
		Y	low up to 1,0 MPa		
		Z	very low up to 0,5 MPa		
5	Evaluation method	T	technical method		
		U	experimental method		

Thus, a PCN index written as 45/R/B/X/T describes an airfield pavement with the following characteristics:

- pavement classification number = 45,
- airport pavement of rigid structure,
- subgrade with a medium load-bearing capacity in the range from MN/m<sup>3</sup> to 120 MN/m<sup>3</sup>,

permissible aircraft tyre pressure up to 1,5 MPa,

the PCN number was determined using a technical method (field measurements).

The ACN number (*Aircraft Classification Number*) determines the relative impact of the aircraft on the airfield pavement for an established standard load-bearing capacity [6] [7]. The aircraft ACN number is determined for different pavement types and different subgrade categories.

It is assumed that aircraft with  $ACN \leq PCN$  of the airfield pavement can operate safely on a given pavement. In addition, the regulations permit infrequent aircraft operations with  $ACN > PCN$  by adopting the necessary acceptable overload conditions [9].

It should be taken into consideration that the load-bearing capacity of airfield pavements can be expressed both by the load capacity index PCN or/and the permissible number of aircraft operations, for a predetermined design PCN index [6]. This is because there is a direct correlation between the parameters of the PCN index and the allowable number of flight operations.

In Poland, it is expected that the service life of airfield pavements with a flexible structure is 20 years, but those with a rigid structure: 30 yrs. The methods for designing airfield pavements used worldwide, taking into account the above-mentioned service lives, assume three categories of air traffic intensity, for which nominal numbers of air operations have been determined [3]:

- low – less than 10 000 aircraft operations,
- medium – between 10 000 and 100 000 aircraft operations,
- high – above 250 000 aircraft operations.

At ITWL, based on many years of research, criteria have been developed for assessing the load-bearing capacity of artificial surfaces of airfield functional elements (AFE) depending on the designated number of permissible aircraft operations  $L$ , as shown in Table 2.

**Table 2**

**Criteria for assessing the load-bearing capacity of artificial pavements of AFEs**

Load-bearing capacity	Number of permissible aircraft operations for the assumed load capacity index PCN $L$ , [-]
Good	$L \geq 250\ 000$
Satisfactory	$100\ 000 \leq L < 250\ 000$
Sufficient	$10\ 000 \leq L < 100\ 000$
Bad	$5\ 000 \leq L < 10\ 000$
Very bad	$1\ 000 \leq L < 5\ 000$
Serious	$500 \leq L < 1\ 000$
Unsuitable	$L < 500$

**2.2. Load-bearing capacity assessment in view of the index method**

The load-bearing capacity index ‘N’ is a component of the APCI airfield pavement technical condition index, which is a function of the indices of individual airfield pavement diagnostic parameters. The APCI is calculated for a given type of airfield

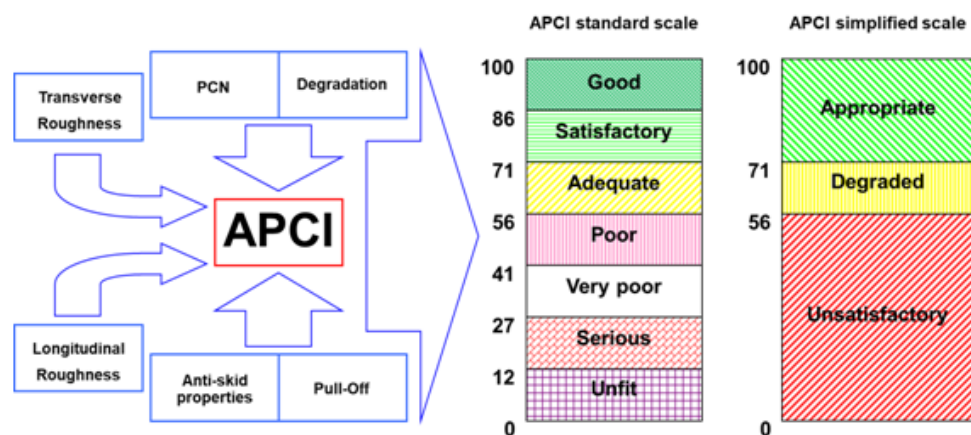
pavement (made of cement concrete or asphalt concrete) and determined according to formula 1 [6]:

$$APCI = 100 - \frac{(w_D D + w_N N + w_{Wpp} Wpp + w_R R + w_{Wod} Wod)}{\sum w_i} \quad (1)$$

where:

- $w_i$  – parameter-type specific weighs,
- $\sum w_i$  – sum of weighs,
- $D$  – degree of pavement deterioration,
- $N$  – bearing capacity index,
- $Wpp$  – skid resistance index,
- $R$  – evenness index,
- $Wod$  – surface layer peel strength index.

The technical condition is assessed according to criteria [6] shown in Figure 1.



**Fig. 1.** Criteria for assessing the technical condition of pavements using the APCI method [6]

The bearing capacity index of the pavement itself, assessed in view of the index method, is calculated from formula 2:

$$N = \left(1 - \frac{L}{L_p}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

where:

$L$  – number of permissible air operations obtained during the load testing,

$L_p$  – design number of permissible air operations.

For newly constructed pavements, the result of the acceptance tests obtained during the measurements made after completing the structure of the AFE's pavement is adopted as the 'design' number of permissible air operations.

In case of pavements in operation (often put into use back in the 1980s), where there are usually no measurements as a reference point, the „design” number of air operations determined for good condition according to Table 3, i.e. 250,000 operations, is usually assumed.

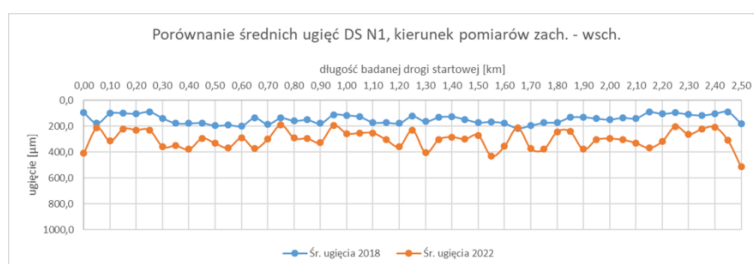
### 3. Test results

This paper presents the results from measurements carried out over a period of several years, on the same airfield facilities and the same airfield functional elements. Four AFEs were adopted for comparative analyses.

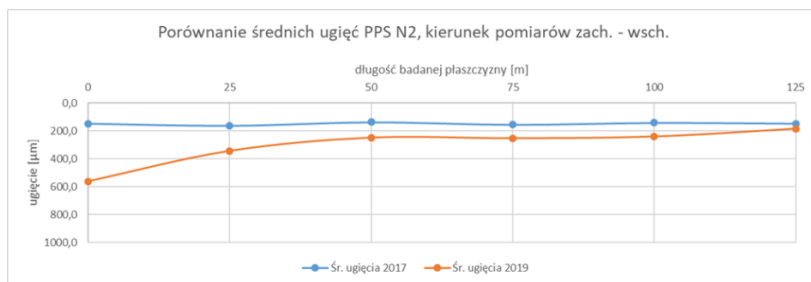
Different pavements made of cement concrete were selected. They were of different age and structure and were marked as 'new' and 'old' facilities. These included:

- **New 1** – runway (DS). Year of construction: 2018. Control tests: 2022.
- **New 2** – aircraft parking plane (PPS). Year of construction: 2017 Control tests: 2019.
- **Old 1** – runway. Control tests: 2021 and 2023.
- **Old 2** – taxiway (DK). Control tests: 2017 and 2022.

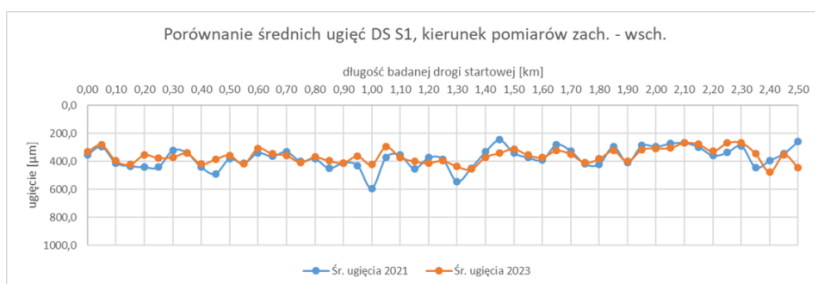
The elastic deflections were measured for each airfield functional element, and the structure was identified. The deflection graphs are shown in Figures 2-5.



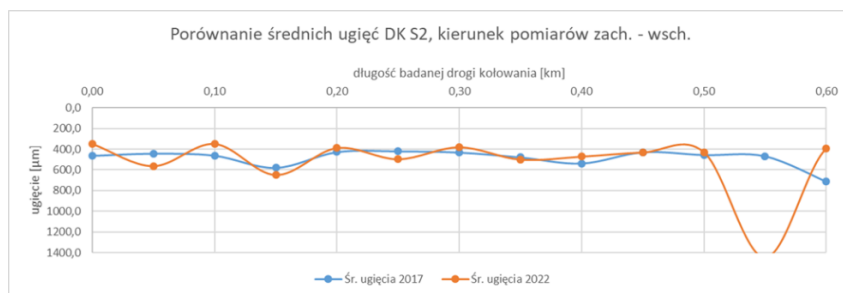
**Fig. 2.** Pavement deflection charts of the runway (DS) (facility „New 1”)



**Fig. 3.** Pavement deflection charts of the aircraft parking plane (PPS) (facility „New 2”)



**Fig. 4.** Pavement deflection charts of the aircraft parking plane (PPS) (facility „Old 1”)



**Fig. 5.** Pavement deflection charts of the taxiway (DK) (facility „Old 2”)

The measurement results described by the ACN-PCN method (mean deflection, standard deviation and coefficient of variation) are summarised in Table 3. The table also includes an assessment of the technical condition of the pavement according to the criteria listed in Table 2.



**Table 3**

**Load-bearing capacity test results described according to the ACN-PCN method**

PCN facility	Year of test	Standard deflections [μm]	Standard deviation [μm]	Coefficient of variation [%]	Permissible number of air operations L	Technical condition
New 1 65/R/B/W/T	2018	145,2	34,2	23,6	560.000	good
	2022	302,2	68,7	22,7	540.000	good
New 2 50/R/B/W/T	2017	149,0	9,3	6,2	300.000	good
	2019	305,9	135,3	44,2	285.000	good
Old 1 52/R/B/W/T	2021	374,0	72,2	19,3	75.000	sufficient
	2023	362,5	51,0	14,1	76.000	sufficient
Old 2 38/R/C/W/T	2017	485,8	82,2	16,9	5.500	bad
	2022	516,9	280,8	54,3	4.000	very bad

For the ACN-PCN test results presented above, an analysis (assessment) was also made of the technical condition of the pavement of individual facilities in view of the load-bearing capacity was and using the APCI method, applying the load-bearing capacity index.

As mentioned above, for the ‘new’ facilities, where acceptance tests were conducted, the results of these measurements were used as a reference point. For ‘old’ facilities, in the absence of the results of the acceptance tests of load-bearing capacity, 250,000 operations (good condition according to the criteria set out in Table 2) were taken as the reference point.

The load-bearing capacity indices for these airfield functional elements, calculated according to formula (3), are shown in Table 4.

**Table 4**

**Load-bearing capacity index for various AFEs**

PCN facility	Year of test	Permissible number of air operations L	„Design” number of air operations L <sub>p</sub>	Load-bearing capacity index N
New 1 65/R/B/W/T	2018	560.000	560.000	100 %
	2022	540.000	560.000	96,4 %
New 2 50/R/B/W/T	2017	300.000	300.000	100 %
	2019	285.000	300.000	95 %
Old 1 52/R/B/W/T	2021	75.000	250.000	30 %
	2023	76.000	250.000	30,4 %
Old 2 38/R/C/W/T	2017	5.500	250.000	2,2 %
	2022	4.000	250.000	1,6 %

Both when assessing the load-bearing capacity in view of the ACN-PCN and the index method, in the case of most AFEs (airfield functional elements), a decrease in load-bearing capacity was observed (over the service life). However, as can be seen, in one case there was an improvement in the load-bearing capacity (the 'Old 1' facility). This is due to the implementation of a number of ongoing overhaul and repair activities on this AFE, which ensure maintaining an adequate level of structural performance.

## **4. Conclusions and summary**

Current standards for the load-bearing capacity of airfield pavements ignore the aspect of the deterioration degree of the structure, focusing above all on assessing its current technical condition. Meanwhile, the deterioration degree of the structure fully illustrates the facility's operational capability. The permissible number of air operations (e.g., 100,000) should be interpreted differently at a small local airport and a large international airport.

It should be considered at the design stage of new AFEs, where appropriate assumptions are made with the available air traffic forecasts. Nevertheless, the fact that one facility may have a projected number of flight operations of several million and another of several hundred thousand, makes it difficult to objectively compare their technical condition using the current methods.

With this in mind, an index method for assessing the load-bearing capacity of artificial airfield pavements has been developed as part of the APCI pavement condition assessment. The nature of the index will ensure an objective comparison of airfield functional elements

of different structures, age, construction technology, location, etc., to enable rational planning of overhaul and repair interventions at different airfields. Determining the load-bearing capacity of the pavement with the index method allows only current load-bearing capacity of the airfield pavement to be determined but also the impact of repair activities on the structure's condition and the effectiveness of the selected repair technology to be verified. The results of the index-based load-bearing capacity tests, collected continually, will ensure more accurate forecasting of the pavement's serviceability, i.e. determining its reliability.

As a result, in accordance with its design assumptions, the APCI method is planned to be used by the organisational units of the Polish Armed Forces for the proper management of airfield infrastructure resources in Poland. The method is also an important element of the currently implemented IT system supporting the functioning of airfield services in the Polish Armed Forces, which is called NAWLOT.

Further analysis and verification of test results obtained at various airfield facilities will be applied for developing detailed criteria for assessing surfaces using the index method.

## 5. References

1. ASTM D6433-18, *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*, ASTM International, West Conshohocken 2018.
2. UFC 3-260-16, O&M Manual: *Standard Practice for Airfield Pavement Condition Surveys*, United Facilities Criteria, Department of Defence, United States of America 2019.
3. P. Nita, *Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1999, 2008.
4. P. Barszcz and K. Blacha, „Wielokryterialna metoda oceny stopnia zdegradowania nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk wykonanych z betonu cementowego”, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, R.17, nr 12, 2016.
5. M. Wesołowski, K. Blacha and P. Iwanowski, “Complex Method of Airfield Pavement Condition Evaluation Based on APCI Index”, *Applied Sciences* 2022.
6. M. Wesołowski, *Kompleksowa ocena stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów*, Warszawa: Wydawnictwo ITWL, 2020.
7. NO-17-A500:2016 *Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badanie nośności*. Polish Military Standard, 2016.
8. “Easy Access Rules for Aerodromes” (Regulation (EU) No 139/2014), EASA, 2023.
9. „Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes Vol. I - Aerodrome Design and Operations”, ICAO, 2018 (ed. 8).
10. Advisory Circular no: 150/5335-5C, U.S. Dep. of Transportation, FAA, 2014.
11. Advisory Circular no: 150/5335-5D, U.S. Dep. of Transportation, FAA, 2022.

# WSKAŹNIKOWA OCENA NOŚNOŚCI SZTUCZNYCH NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH

## 1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo jest najważniejszym wyzwaniem w szeroko pojętej działalności związanej z lotnictwem. Czynniki wpływające na bezpieczeństwo podczas wykonywania operacji lotniczych zgrupować można w trzech oddziałujących na siebie wzajemnie grupach:

- urządzenie (m.in. statek powietrzny),
- człowiek (np. personel pokładowy, techniczny, ruchu lotniczego),
- otoczenie (m.in. przestrzeń powietrzna, lotnisko),

W przypadku lotnisk mowa jest o nawierzchniach lotniskowych, a dokładnie o ich stanie technicznym. To on właśnie stanowi jeden z kluczowych czynników wpływających na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych.

Aktualnie, stan techniczny nawierzchni lotniskowych określany jest na podstawie następujących parametrów:

- degradacja (opisująca jej stan powierzchniowy),
- nośność,
- równość,
- właściwości przeciwpoślizgowe,
- wytrzymałość warstwy przypowierzchniowej na odrywanie.

Spośród stosowanych na świecie kompleksowych metod oceny stanu technicznego nawierzchni wymienić należy przede wszystkim opracowaną i używaną przez U.S. Army Corps of Engineers, metodę opartą na wskaźniku PCI (*Pavement Condition Index*) [1] [2]. Należy jednak zauważyć, że bazuje ona na wizualnej ocenie uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni.

W Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych (ITWL) w ubiegłych latach zaproponowano m.in. metodę oceny wartości użytkowej nawierzchni lotniskowej wykorzystującą wskaźnik przydatności nawierzchni PSI [3]. Metoda ta nie obejmowała jednak jednego z najważniejszych parametrów technicznych, jakim jest nośność nawierzchni, jak również jej szorstkości. W celu wsparcia planowania realizacji napraw oraz remontów prowadzono również prace nad wielokryterialną metodą oceny stopnia zdegradowania nawierzchni EFL (elementów funkcjonalnych lotniska) [4].

Będący wynikiem ostatecznych prac wskaźnik stanu nawierzchni lotniskowych APCI (*Airfield Pavement Condition Index*) [5] [6], zgodnie ze swoimi założeniami, ma na

celu umożliwienie kompleksowej oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych, w oparciu o wszystkie parametry diagnostyczne. Jednym z nich jest nośność nawierzchni, która jest jednym z najważniejszych parametrów określających stan techniczny konstrukcji. Definiowana jest jako zdolność układu konstrukcyjnego nawierzchni, wraz z zalegającym pod nim podłożem gruntowym i warstwami podbudowy, do przenoszenia określonego obciążenia bez ryzyka jej uszkodzenia [7].

## 2. Metodyka badań

W Polsce badania nośności nawierzchni lotniskowych metodą ACN-PCN wykonywane są obecnie zgodnie z metodyką opisaną w Normie Obronnej NO-17-A500:2016 *Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności*.

Zgodnie z przepisami międzynarodowych organizacji lotniczych takich jak European Aviation Safety Authority (EASA) [8], International Civil Aviation Organization (ICAO) [9] i Federal Aviation Administration (FAA) [10] aktualnie (do 27 listopada 2024 r.) nośność nawierzchni lotniskowych oceniana jest według metody ACN-PCN (*Aircraft Classification Number - Pavement Classification Number*). Od 28 listopada 2024 r. nastąpi zmiana w sposobie oceny nośności nawierzchni. W życie wejdzie wówczas metoda ACR-PCR (*Aircraft Classification Rating - Pavement Classification Rating*) [8] [11].

Zgodnie z Normą Obronną NO-17-A500:2016 *Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności* analizę nośności nawierzchni lotniskowych przeprowadza się wg poniższej, ogólnej procedury:

- pomiar ugięć sprężystych nawierzchni ugięciomierzem lotniskowym typu HWD (*Heavy Weight Deflectometer*),
- identyfikacja układu konstrukcyjnego nawierzchni,
- określenie parametrów fizykomechanicznych materiałów warstw nawierzchni i podłoża gruntowego,
- wyznaczenie dopuszczalnej liczby obciążeń,
- wyznaczenie wskaźnika nośności PCN lub/i dopuszczalnej, całkowitej liczby operacji lotniczych.

### 2.1. Ocena nośności w ujęciu metody ACN-PCN

Zgodnie z ogólnymi założeniami metody, określenie zdolności konstrukcji nawierzchni do przenoszenia obciążeń polega na porównaniu liczby ACN statku powietrznego z liczbą PCN nawierzchni.

W metodzie ACN-PCN nośność nawierzchni określona jest przez grupę symboli opisującą poszczególne parametry konstrukcji oraz informującą o metodzie wyznaczania, w której skład wchodzi:

- bezwymiarowa liczba klasyfikacyjna nawierzchni,
- rodzaj nawierzchni lotniskowej (konstrukcji),
- kategorię nośności podłoża gruntowego,
- dopuszczalna wartość ciśnienia w oponach statku powietrznego,
- zastosowana metoda oceny.

Sposób interpretacji poszczególnych danych wchodzących w skład zapisu wskaźnika nośności przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1**

**Elementy zapisu PCN nawierzchni**

Lp.	Znaczenie	Opis symboli		
1	Bezwymiarowa liczba PCN			
2	Rodzaj nawierzchni	R	sztywna	
		F	podatna	
3	Kategoria gruntu (dla nawierzchni sztywnych – k, dla nawierzchni podatnych – CBR)	A	duża nośność	k>120 MN/m <sup>3</sup> CBR>13%
		B	średnia nośność	od 60 MN/m <sup>3</sup> do 120 MN/m <sup>3</sup> od 8 do 13%
		C	niska nośność	od 25 MN/m <sup>3</sup> do 60 MN/m <sup>3</sup> od 4 do 8%
		D	bardzo niska nośność	k<25 MN/m <sup>3</sup> CBR<4%
4	Dopuszczalne ciśnienie w oponach statku powietrznego	W	bez ograniczeń	
		X	średnie do 1,5 MPa	
		Y	niskie do 1,0 MPa	
		Z	bardzo niskie do 0,5 MPa	
5	Metoda oceny	T	metoda techniczna	
		U	metoda doświadczalna	

I tak na przykład, wskaźnik PCN zapisany jako 45/R/B/X/T opisuje nawierzchnię lotniskową o następującej charakterystyce:

- liczba klasyfikacyjna nawierzchni = 45,
- nawierzchnia lotniskowa o konstrukcji sztywnej,
- podłoże gruntowe o średniej nośności w przedziale od 60 MN/m<sup>3</sup> do 120 MN/m<sup>3</sup>,
- dopuszczalne ciśnienie w oponie statku powietrznego do 1,5 MPa,
- liczbę PCN wyznaczono metodą techniczną (pomiar terenowy).

Z kolei liczba klasyfikacyjna samolotu ACN (*Aircraft Classification Number*) określa względne oddziaływanie statku powietrznego na nawierzchnię lotniskową dla ustalonej standardowej nośności podłoża gruntowego [6] [7]. Liczba ACN statku powietrznego określana jest dla różnych rodzajów nawierzchni oraz dla różnych kategorii podłoża gruntowego.

Przyjmuje się, że w sposób bezpieczny na danej nawierzchni może operować statek powietrzny, którego  $ACN \leq PCN$  nawierzchni lotniskowej. Jednocześnie przepisy dopuszczają sporadyczne operacje lotnicze statków powietrznych o  $ACN > PCN$ , przyjmując stosowne kryteria dopuszczalnych przeciążeń [9].

Należy jednocześnie zauważyć, że nośność nawierzchni lotniskowych może być wyrażana zarówno wskaźnikiem nośności PCN lub/i dopuszczalną liczbą operacji lotniczych, dla z góry założonego, projektowego wskaźnika PCN [6]. Spowodowane jest to faktem, iż wskaźnik PCN i dopuszczalna liczba operacji powietrznych są parametrami bezpośrednio od siebie zależnymi.

W Polsce przyjmuje się, że nawierzchnie lotniskowe o konstrukcji podatnej projektuje się na 20-letni okres eksploatacji, zaś nawierzchnie o konstrukcji sztywnej na okres 30-letni. Stosowane na świecie metody projektowania konstrukcji nawierzchni lotniskowych z uwzględnieniem wyżej podanych okresów eksploatacji zakładają trzy kategorie natężenia ruchu lotniczego, dla których określono nominalne liczby operacji lotniczych [3]:

- niskie – poniżej 10 000 operacji lotniczych,
- średnie – od 10 000 do 100 000 operacji lotniczych,
- wysokie – powyżej 250 000 operacji lotniczych.

W ITWL, na podstawie wyników wieloletnich badań, opracowano kryteria oceny stanu nośności sztucznych nawierzchni elementów funkcjonalnych lotniska (EFL) w zależności od wyznaczonej liczby dopuszczalnych operacji lotniczych  $L$ , co przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2**

**Kryteria oceny stanu nośności sztucznych nawierzchni EFL**

Stan nośności	Liczba dopuszczalnych operacji lotniczych dla założonego wskaźnika nośności PCN $L$ , [-]
Dobry	$L \geq 250\ 000$
Zadawalający	$100\ 000 \leq L < 250\ 000$
Dostateczny	$10\ 000 \leq L < 100\ 000$
Zły	$5\ 000 \leq L < 10\ 000$
Bardzo zły	$1\ 000 \leq L < 5\ 000$
Poważny	$500 \leq L < 1\ 000$
Niezdalny	$L < 500$

## 2.2. Ocena nośności w ujęciu metody wskaźnikowej

Wskaźnik nośności „N” jest elementem składowym wskaźnika stanu technicznego nawierzchni lotniskowej APCI, który jest funkcją wskaźników poszczególnych parametrów diagnostycznych nawierzchni lotniskowych. Wskaźnik APCI obliczany jest dla danego typu nawierzchni lotniskowej (wykonanej z betonu cementowego lub betonu asfaltowego) i wyznaczany wg wzoru (1):

$$APCI = 100 - \frac{(w_D D + w_N N + w_{Wpp} Wpp + w_R R + w_{Wod} Wod)}{\sum w_i} \quad (1)$$

gdzie:

$w_i$  – wagi charakterystyczne dla rodzaju parametru,

$\sum w_i$  – suma wag,

$D$  – stopień degradacji nawierzchni,

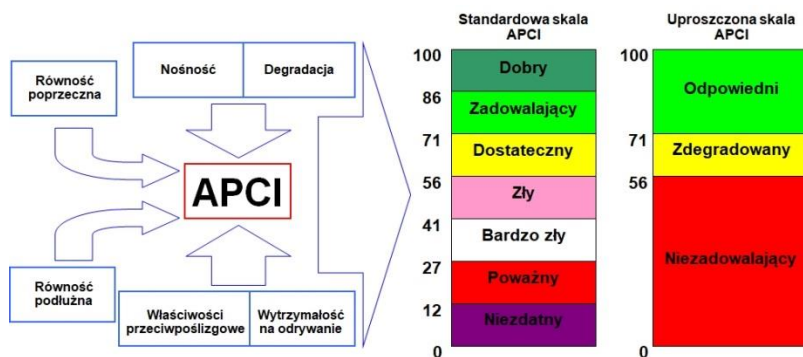
$N$  – wskaźnik nośności,

$Wpp$  – wskaźnik właściwości przeciwpoślizgowych,

$R$  – wskaźnik równości,

$Wod$  – wskaźnik wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie.

Stan techniczny oceniany jest wg kryteriów [6] przedstawionych na rys. 1.



Rys. 1. Kryteria oceny stanu technicznego nawierzchni metodą APCI [6]

Sam wskaźnik nośności nawierzchni, przy ocenie w ujęciu metody wskaźnikowej, obliczany jest według wzoru (2):



$$N = \left(1 - \frac{L}{L_p}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:

$L$  – liczba dopuszczalnych operacji lotniczych uzyskana podczas badania nośności,

$L_p$  – projektowana liczba dopuszczalnych operacji lotniczych.

W przypadku nowo budowanych nawierzchni, jako „projektowaną” liczbę dopuszczalnych operacji lotniczych przyjmuje się wynik badań odbiorczych uzyskany podczas pomiarów wykonanych po zakończeniu budowy nawierzchni EFL.

W przypadku nawierzchni będących w eksploatacji (oddanych do użytku często jeszcze w latach osiemdziesiątych), gdzie zazwyczaj nie ma pomiarów stanowiących punkt odniesienia, jako „projektowaną” standardowo przyjmuje się liczbę operacji lotniczych określoną dla stanu dobrego wg tabeli 3, tzn. 250 000 operacji.

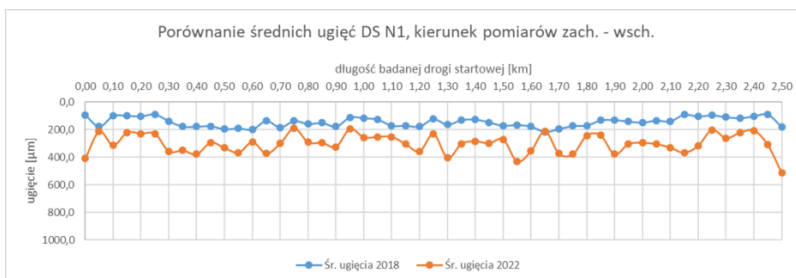
### 3. Wyniki badań

W artykule przedstawiono wyniki badań z pomiarów realizowanych w okresie kilku lat, na tych samych obiektach lotniskowych i na tych samych elementach funkcjonalnych lotniska. Do analiz porównawczych przyjęto cztery EFL.

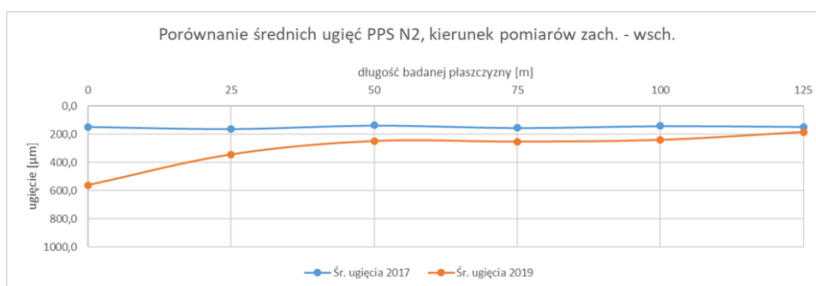
Wybrano różne nawierzchni wykonane z betonu cementowego, o różnym wieku i różnej konstrukcji, oznaczając je jako obiekty „nowe” i „stare”. Były to:

- **Nowy 1** – droga startowa (DS). Rok budowy: 2018. Badania kontrolne: 2022 rok.
- **Nowy 2** – płaszczyzna postoju samolotów (PPS). Rok budowy: 2017. Badania kontrolne: 2019 rok.
- **Stary 1** – droga startowa. Badania kontrolne: 2021 i 2023 rok.
- **Stary 2** – drogę kołowania (DK). Badania kontrolne: 2017 i 2022 rok.

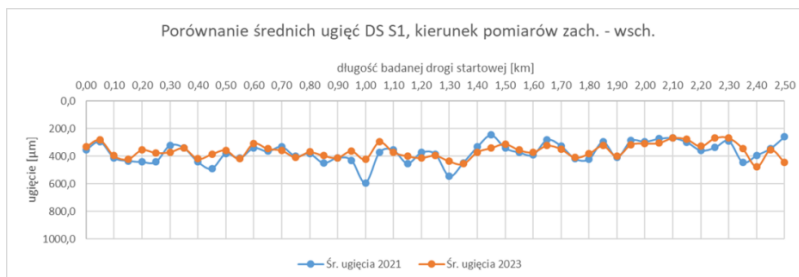
Dla poszczególnych EFL zmierzono ugięcia sprężyste oraz zidentyfikowano konstrukcję. Wykresy ugięć przedstawiono na rys. 2–5.



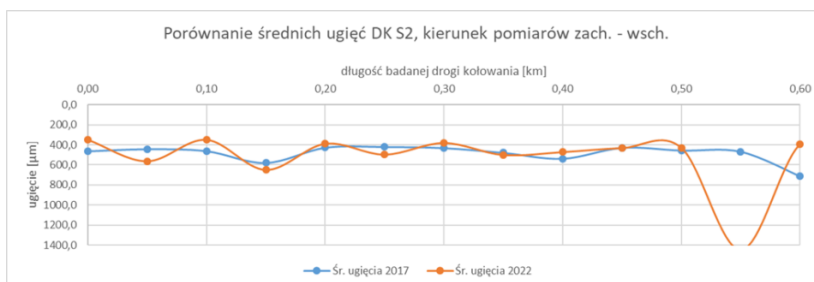
Rys. 2. Wykresy ugięć nawierzchni DS (obiekt „Nowy 1”)



Rys. 3. Wykresy ugięć nawierzchni PPS (obiekt „Nowy 2”)



Rys. 4. Wykresy ugięć nawierzchni PPS (obiekt „Stary 1”)



Rys. 5. Wykresy ugięć nawierzchni DK (obiekt „Stary 2”)

Wyniki pomiarów opisane metodą ACN-PCN (średnie ugięcia, odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienności) zestawiono w tabeli 3. W tabeli zamieszczono również ocenę stanu technicznego nawierzchni wg kryteriów zamieszczonych w tabeli 2.

**Tabela 3**

**Wyniki badania nośności opisane wg metody ACN-PCN**

Obiekt PCN	Rok badania	Średnie ugięcia [ $\mu\text{m}$ ]	Odchyl. stand. [ $\mu\text{m}$ ]	Wsp. zmien. [%]	Dopuszczalna liczba operacji lotniczych L	Stan techn.
Nowy 1 65/R/B/W/T	2018	145,2	34,2	23,6	560 000	dobry
	2022	302,2	68,7	22,7	540 000	dobry
Nowy 2 50/R/B/W/T	2017	149,0	9,3	6,2	300 000	dobry
	2019	305,9	135,3	44,2	285 000	dobry
Stary 1 52/R/B/W/T	2021	374,0	72,2	19,3	75 000	dostateczny
	2023	362,5	51,0	14,1	76 000	dostateczny
Stary 2 38/R/C/W/T	2017	485,8	82,2	16,9	5 500	zły
	2022	516,9	280,8	54,3	4 000	bardzo zły

Dla wyżej przedstawionych wyników badań metodą ACN-PCN, dokonano także analizy (oceny) stanu technicznego nawierzchni poszczególnych obiektów w zakresie nośności metodą APCI, z wykorzystaniem wskaźnika nośności.

Jak wspomniano powyżej, dla obiektów „nowych”, gdzie realizowane były badania odbiorcze, jako punkt odniesienia przyjęto wyniki tych pomiarów. W przypadku obiektów „starych”, w związku z brakiem wyników badań odbiorczych nośności jako punkt odniesienia przyjęto 250 000 operacji (stan dobry wg kryteriów określonych w tabeli 2).

Wskaźniki nośności dla tych EFL, obliczone wg wzoru (3), zamieszczono w tabeli 4.

**Tabela 4**

**Wskaźnik nośności obliczony dla poszczególnych EFL**

Obiekt PCN	Rok badania	Dopuszczalna liczba operacji lotniczych L	„Projektowa” liczba operacji lotniczych $L_p$	Wskaźnik nośności N
Nowy 1 65/R/B/W/T	2018	560 000	560 000	100 %
	2022	540 000	560 000	96,4 %
Nowy 2 50/R/B/W/T	2017	300 000	300 000	100 %
	2019	285 000	300 000	95 %
Stary 1 52/R/B/W/T	2021	75 000	250 000	30 %
	2023	76 000	250 000	30,4 %
Stary 2 38/R/C/W/T	2017	5 500	250 000	2,2 %
	2022	4 000	250 000	1,6 %

Zarówno przy ocenie nośności w ujęciu metody ACN-PCN oraz wskaźnikowej, w przypadku większości EFL tożsamo zaobserwowano obniżenie się stanu nośności (w perspektywie upływu czasu eksploatacji). Jak można jednak zauważyć, w jednym przypadku nastąpiła poprawa stanu nośności (obiekt „Stary 1”). Spowodowane jest to realizacją na tym EFL szeregu bieżących działań naprawczych i remontowych, które pozwalają na utrzymanie odpowiedniego poziomu sprawności konstrukcji.

## **4. Wnioski i podsumowanie**

Aktualnie obowiązujące unormowania w zakresie nośności nawierzchni lotniskowych pomijają aspekt stopnia zużycia konstrukcji, skupiając się przede wszystkim na ocenie jej aktualnego stanu technicznego. Tymczasem, to właśnie stopień zużycia konstrukcji najpełniej obrazuje możliwości eksploatacyjne obiektu. Inaczej bowiem należy interpretować uzyskaną dopuszczalną liczbę operacji lotniczych (na przykład 100 000) na małym lokalnym lotnisku, a inaczej na dużym, międzynarodowym obiekcie lotniskowym. Jest to oczywiście uwzględniane na etapie projektowania konstrukcji nowych EFL, gdzie posiadając prognozy ruchu lotniczego, przyjmuje się stosowne założenia. Tym niemniej fakt, iż jeden obiekt może mieć projektowaną liczbę operacji lotniczych na poziomie kilku milionów, a inny na poziomie kilkuset tysięcy, sprawia, że obiektywne porównywanie ich stanu technicznego za pomocą dotychczas stosowanych metod jest utrudnione.

Mając na uwadze powyższe, opracowana została wskaźnikowa metoda oceny nośności sztucznych nawierzchni lotniskowych, jako element oceny stanu technicznego nawierzchni metodą APCI. Charakter wskaźnika ma pozwolić na obiektywne porównywanie EFL, o różnych konstrukcjach, wieku, technologii wykonania, lokalizacji itp., co ma pozwolić na racjonalne planowanie zabiegów konserwacyjnych i remontowych na różnych lotniskach. Określenie nośności nawierzchni w ujęciu wskaźnikowym pozwala nie tylko na określenie aktualnej nośności nawierzchni lotniskowej, ale także na ocenę wpływu działań naprawczych na stan konstrukcji oraz weryfikację skuteczności wybranej technologii napraw. Zbierane w sposób ciągły wyniki badań nośności w ujęciu wskaźnikowym pozwolą na dokładniejsze niż dotychczas prognozowanie możliwości eksploatacji nawierzchni, czyli określanie jej niezawodności.

Zgodnie z założeniami projektowymi, planuje się wykorzystanie metody APCI przez komórki organizacyjne Sił Zbrojnych RP do właściwego zarządzania zasobem infrastruktury lotniskowej w Polsce. Metoda stanowi też ważny element wdrażanego aktualnie informatycznego systemu wspomagania funkcjonowania służb lotniskowych w Siłach Zbrojnych RP pn. NAWLOT.

Dalsza analiza i weryfikacja uzyskiwanych wyników badań na różnych obiektach lotniskowych pozwoli na opracowanie szczegółowych kryteriów oceny nawierzchni w ujęciu wskaźnikowym.

## 5. Literatura

12. ASTM D6433-18, *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*, ASTM International, West Conshohocken 2018.
13. UFC 3-260-16, O&M Manual: *Standard Practice for Airfield Pavement Condition Surveys*, United Facilities Criteria, Department of Defence, United States of America 2019.
14. P. Nita, *Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1999, 2008.
15. P. Barszcz and K. Blacha, „Wielokryterialna metoda oceny stopnia zdegradowania nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk wykonanych z betonu cementowego”, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, R.17, nr 12, 2016.
16. M. Wesołowski, K. Blacha and P. Iwanowski, “Complex Method of Airfield Pavement Condition Evaluation Based on APCI Index”, *Applied Sciences* 2022.
17. M. Wesołowski, *Kompleksowa ocena stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów*, Warszawa: Wydawnictwo ITWL, 2020.
18. NO-17-A500:2016 *Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badanie nośności*. 2016.
19. Łatwo Dostępne Przepisy dla Lotnisk (Rozporządzenie UE 139/2014) Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA), 2023.
20. Załącznik 14 ICAO do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym, Lotniska Tom I – Projektowanie i eksploatacja lotnisk, Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO), 2018 (wydanie 8).
21. Advisory Circular no: 150/5335-5C, U.S. Dep. of Transportation, FAA, 2014.
22. Advisory Circular no: 150/5335-5D, U.S. Dep. of Transportation, FAA, 2022.

