

Agata KOWALEWSKA, Piotr WŁODARSKI, Paweł PIETRUSZEWSKI  
*Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych)*

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA KRATY Z TWORZYWA SZTUCZNEGO DO POPRAWY PARAMETRU NOŚNOŚCI NATURALNYCH NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH

### Analysis of the possibility of using a geogrid to improve load bearing capacity of natural airfield pavements

**Streszczenie:** *W artykule przedstawiono innowacyjną, zweryfikowaną w warunkach terenowych, metodę poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych, które stanowią jeden z elementów systemu bezpieczeństwa lotów. Są one zabezpieczeniem drogi startowej w przypadku wykołowania statku powietrznego poza jej nawierzchnię. Służą też do prowadzenia operacji startów i lądowań wojskowych statków powietrznych. Z tego powodu wymaga się od nich nośności na odpowiednim poziomie, zapewniającym bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Porty lotnicze nie mogą pozwolić sobie na długotrwałe wyłączenie lotniska, zasadne jest więc poszukiwanie skutecznych i szybkich w realizacji rozwiązań poprawiających nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych. Autorzy zaproponowali zastosowanie kraty lotniskowej wciskanej bezpośrednio w naturalną nawierzchnię lotniskową.*

**Słowa kluczowe:** nośność, CBR, naturalna nawierzchnia lotniskowa, bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych

**Abstract:** *The article presents an innovative method that was verified in the field. It is aimed to improve the load bearing capacity of airfield pavements, which are one of the elements of the flight safety system. Airfield pavements protect the runway in case when the aircraft is taxiing beyond the runway. Moreover, they are also used to perform starting and landing operations of military aircraft. Due to this, they need to have an adequate load bearing capacity that ensures the safety of performing aircraft flights. Airports cannot afford to be shut down for a long time; thus, it is essential to look for efficient and fast solutions that could improve the load bearing capacity of airfield pavements. The authors suggested to apply geogrid immersed in natural airfield pavement.*

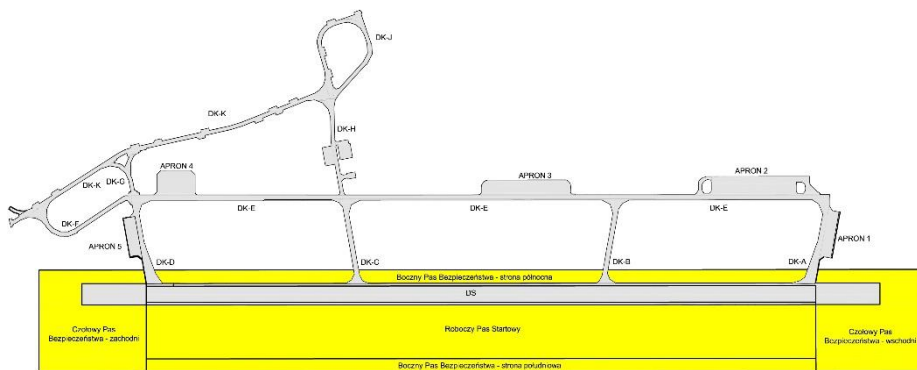
**Keywords:** load bearing capacity, California Bearing Ratio (CBR), natural airfield pavement, safety of aircraft operations

## 1. Wprowadzenie

Zapewnienie odpowiednich warunków bezpieczeństwa operacji lotniczych stanowi priorytet dla służb lotniskowych. Dotyczy to m.in. utrzymania odpowiedniej jakości infrastruktury naziemnej, w tym elementów funkcjonalnych lotniska. Dla bezpieczeństwa osób oraz mienia niewątpliwie znaczenie mają wszelkiego rodzaju systemy zabezpieczeń spotykane na obiekcie lotniskowym. Do systemów biernego zabezpieczenia lotów można zaliczyć boczne pasy bezpieczeństwa (BPB, pobocza) oraz czołowe pasy bezpieczeństwa (CzBP, RESA). Ich znaczenie staje się zauważalne w momencie opuszczenia drogi startowej (DS) przez statek powietrzny. Aby spełniały swoją funkcję w należyty sposób, konieczne jest zapewnienie odpowiednich parametrów nośności tych elementów. W związku z tym, przeprowadza się ocenę nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych, zgodnie z normą NO-17-A503:2017 *Nawierzchnie lotniskowe – Naturalne nawierzchnie lotniskowe – Badania nośności* [3]. Norma ta jest jednym z niewielu dokumentów w skali światowej wskazującym procedury badawcze przedmiotowych nawierzchni. W sytuacji niespełnienia wymagań dla naturalnych nawierzchni lotniskowych konieczne jest przeprowadzenie zabiegów poprawiających ich nośność. Jedną z szybkich i skutecznych metod poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych jest zastosowanie kraty lotniskowej wykonanej z tworzywa sztucznego.

## 2. Naturalne nawierzchnie lotniskowe

Naturalne nawierzchnie lotniskowe wg normy obronnej NO-17-A503:2017 [3] utworzone są przez odpowiednio przygotowane grunty umożliwiające bezpieczny ruch statku powietrznego bez uszkodzenia jego konstrukcji. Obecnie naturalne nawierzchnie lotniskowe dzielimy na gruntowe i darniowe. Nawierzchnie gruntowe wykonane są z odpowiednio przygotowanego i zagęszczonego gruntu (bez warstwy darniowej-trawiastej). Natomiast nawierzchnie darniowe są nawierzchniami gruntowymi, pokrytymi warstwą odpowiednio dobranej roślinności trawiastej [9]. Na lotniskach, które posiadają nawierzchnię sztuczną do wykonywania operacji lotniczych, nawierzchnie naturalne występują na roboczym pasie startowym oraz na bocznych i czołowych pasach bezpieczeństwa. Przykładowy schemat rozmieszczenia poszczególnych elementów funkcjonalnych lotniska (EFL) z naturalną nawierzchnią lotniskową podlegającą ocenie przedstawiono na rys. 1.



**Rys. 1.** Schemat rozmieszczenia EFL

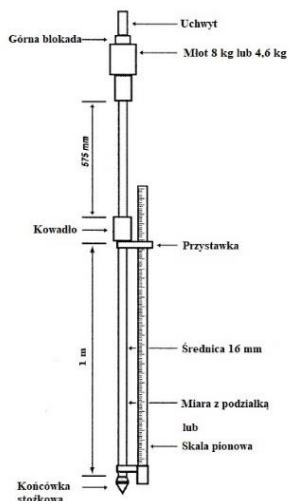
Nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych jest podstawowym parametrem wpływającym na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Określana jest na podstawie kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, który oblicza się w oparciu o pomiary wykonane sondą dynamiczną stożkową SDS – rys. 2 (ang. DCP Dynamic Cone Penetrometer), zgodnie ze wzorem [6]:

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}}, \quad (1)$$

gdzie:

CBR – kalifornijski wskaźnik nośności [%],

DCP – zagłębienie stożka sondy przypadające na jedno uderzenie [mm].



**Rys. 2.** Schemat sondy SDS [2]

Niedostateczna nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych np. w sytuacji manewru przerwane go startu bądź opóźnionego lądowania i ewentualnego wykołowania z drogi startowej lub awaryjnego opuszczenia utwardzonego pasa startowego i zjechania na pobocze drogi startowej. Wypadki związane z ww. sytuacjami są zarejestrowane w międzynarodowej bazie katastrof lotniczych [1]:

1. 17 lipca 2007 r. Airbus A-320-233 zjechał z końca pasa startowego na Congonhas Airport (Brazylia) i uderzył w stację benzynową oraz w budynek; w wyniku katastrofy 187 osób straciło życie, w tym cała załoga.
2. 22 maja 2010 r. Boeing 737-800 rozbił się podczas próby lądowania w ciężkich warunkach atmosferycznych; samolot nie zatrzymał się na drodze startowej, zsunął się w dolinę i stanął w płomieniach; zginęło 158 osób.

Przykład niedostatecznej nośności naturalnej nawierzchni lotniskowej przedstawiono na rys. 3.

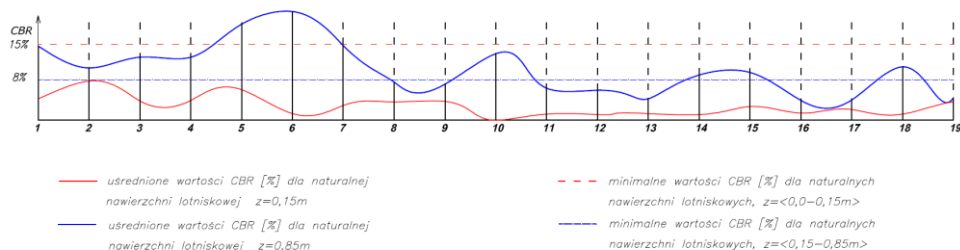


**Rys. 3.** Wypadnięcie statku powietrznego poza drogę startową  
[<http://www.kumpulberita.com/2011/06/55-foto-kecelakaan-pesawat-terbang.html>]

Według wymagań opisanych w przepisach Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego ICAO [10] oraz Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego EASA [11] wskaźnik CBR powinien oscylować pomiędzy 15÷20% na głębokości 15 cm poniżej poziomu terenu. Natomiast norma obronna [3] podaje, że minimalna wartość CBR dla badanego EFL powinna wynosić 15% dla pierwszej warstwy (do głębokości 0,15 m) oraz 8% dla warstwy powstałej z połączenia warstwy drugiej i trzeciej (od głębokości 0,15 m do głębokości 0,85 m poniżej poziomu terenu).

Prowadzone przez Zakład Lotniskowy Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL) badania poligonowe na obiektach lotniskowych na terenie Polski wykazały, że większość nawierzchni naturalnych nie spełnia wymagań wynikających z dokumentów

normatywnych. Na rys. 4 przedstawiono profil nośności naturalnej nawierzchni lotniskowej, która nie spełnia w pełni określonych wymagań. Dotyczy to w szczególności warstwy do głębokości 15 cm.



Rys. 4. Profil nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych niespełniających w pełni wymagań

### 3. Sposoby poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych

W celu utrzymania zdolności operacyjnej i zapewnienia bezpieczeństwa podczas wykonywania operacji lotniczych, ważne jest utrzymanie odpowiedniej nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych. W tym celu należy je poddawać zabiegom konserwacyjnym bądź wzmacniającym.

Zabiegi konserwacyjne są to planowane zabiegi agrotechniczno-biologiczne. Polegają one m.in. na systematycznym zwiększaniu i odbudowywaniu zawartości substancji organicznej w glebie, dzięki czemu wzrasta poziom urodzajności roślinności darniowo-twórczej [4]. Ponadto, zabiegi konserwacyjne polegają na: systematycznym koszeniu nawierzchni naturalnych (rys. 5), wałowaniu nawierzchni, uzupełnianiu obszarów o zmniejszonym zadarnieniu mieszanką traw oraz nawożeniu darni oraz wykonywaniu oprysków chemicznych [4].



**Rys. 5.** Systematyczne koszenie nawierzchni naturalnych [<http://www.jsagriculture.com/airfield-maintenance.php>]

Klasycznymi zabiegami wzmacniającymi, mającymi na celu poprawę nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych są: stabilizacja mechaniczna/chemiczna, wzmacnianie włóknami polimerowymi lub ostatecznie wymiana gruntu.

Stabilizacja mechaniczna polega na zagęszczaniu kolejnych warstw podłoża o odpowiedniej wilgotności i uziarnieniu przy pomocy walców wibracyjnych, statycznych, zagęszczarek i ubijaków. Zabieg ten jest skuteczny w przypadku gruntów do tego przydatnych, tj.: gruboziarnistych i różnoziarnistych o wskaźniku różnoziarnistości  $U \geq 5$ . Natomiast dla gruntów o wskaźniku różnoziarnistości uziarnienia  $U < 5$  wskazane jest doziarnienie gruntu niespełniającego określonych wymagań gruntami o odpowiednim uziarnieniu, kruszywami naturalnymi, kruszywami łamanymi, popiołami czy żużlem, następnie jego wymieszaniu i zagęszczeniu powierzchniowemu. Zabieg ten powoduje wzrost wskaźnika zagęszczenia gruntu, a co za tym idzie, polepszenie jego nośności.

Stabilizacja chemiczna stosowana jest najczęściej w gruntach przewilgoconych oraz w gruntach wątpliwych, np. piaski gliniaste, piaski pylaste, zaglinione grunty gruboziarniste. Metoda ta polega na mieszaniu gruntu z wybranym spoiwem, tj.: wapno, cement, środki powierzchniowoczynne, a następnie zagęszczeniu powierzchniowemu uzyskanej mieszanki. Wybór środka chemicznego zależy od stanu, w jakim znajduje się grunt, i właściwości gruntu, jakie należy poprawić. Na rys. 6 przedstawiono proces mieszania gruntu rodzimego ze środkiem chemicznym.



**Rys. 6.** Proces mieszania gruntu rodzimego ze środkiem chemicznym

Mniej popularną, ale skuteczną oraz stosunkowo kosztowną metodą wzmocnienia podłoża gruntowego jest System Aviation Fibreturf, czyli tzw. wzmocnianie włóknami polimerowymi. Wzmocnianie naturalnej nawierzchni włóknami polimerowymi polega na wymieszaniu mieszanki piasku, gruntu rodzimego i włókien polimerowych [8]. Włókna polimerowe zazębiają się, zapewniając wysoką wytrzymałość na rozciąganie i ścinanie, natomiast odpowiednio dobrany grunt (piasek) zapewnia stosowne zagęszczenie nawierzchni oraz jej stabilność w mokrych warunkach. Gotową ukorzloną mieszankę Aviation Fibreturf przedstawiono na rys. 7.



**Rys. 7.** Ukorzleniona warstwa z zastosowaniem systemu Aviation Fibreturf [Fibresand International, [www.fibresand.com](http://www.fibresand.com)]

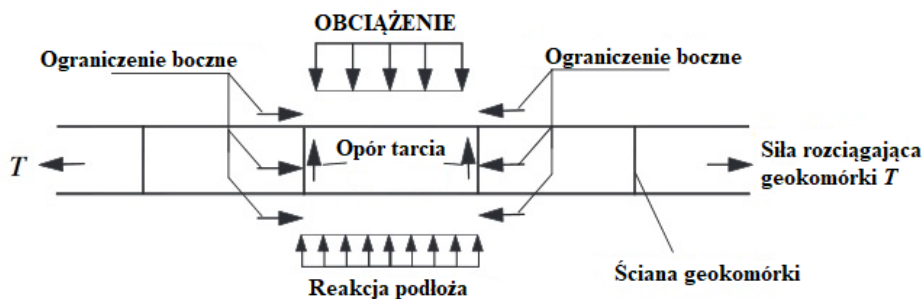


W przypadku, gdy pod naturalnymi nawierzchniami zalegają grunty słabonośne, w szczególności grunty organiczne, takie jak: torfy, namuły, gytie, może się okazać, że jedynym skutecznym rozwiązaniem prowadzącym do podniesienia parametrów nośności podłoża gruntowego jest wymiana gruntu.

#### 4. Wzmocnienie naturalnych nawierzchni poprzez zastosowanie kraty lotniskowej

Krata do zastosowań lotniskowych jest to produkt tożsamy z kratą stosowaną w branży drogowej, z tą różnicą, że została zaprojektowana w taki sposób, aby jej parametry wytrzymałościowe były adekwatne do obciążeń, jakie generują statki powietrzne.

Zastosowanie kraty lotniskowej zwiększa nośność nawierzchni naturalnych dzięki: wzrostowi odporności materiałów wypełniających kratę na ścinanie w wyniku ich zamknięcia i zagęszczenia wewnątrz komórek, zmniejszeniu osiadania spowodowanego naturalnym zagęszczeniem oraz ograniczeniu bocznych przesunięć materiału wypełniającego komórki, zmniejszeniu naprężeń przekazywanych na podłoże gruntowe od obciążenia oddziałującego na nawierzchnię w wyniku rozkładania skoncentrowanych obciążeń na sąsiadujące komórki kraty [6], co przedstawia rys. 8.



Rys. 8. Ograniczenie boczne wzmocnienia kratą komórkową [12]

Dzięki rozwojowi technologii recyklingu i segregacji materiałów, zarówno w Polsce, jak i na świecie kraty lotniskowe stosowane do wzmocniania naturalnych nawierzchni lotniskowych wykonane są również z recyklingowanych materiałów z tworzywa sztucznego. Przykładem takiego rozwiązania może być lądowisko samolotowe użytku wewnętrznego Narew 2 należące do firmy Pronar Sp. z o.o., które posiada drogę startową o długości 1500 m z nawierzchnią trawiastą, utwardzoną za pomocą krat wykonanych z tworzywa sztucznego. Spośród pasów startowych budowanych w tej technologii pas w Narwi jest najdłuższy na świecie. Na rys. 9 przedstawiono proces układania kraty na trawiastej nawierzchni startowej, natomiast na rys. 10 efekt końcowy wykonania wzmocnienia z zastosowaniem kraty lotniskowej.





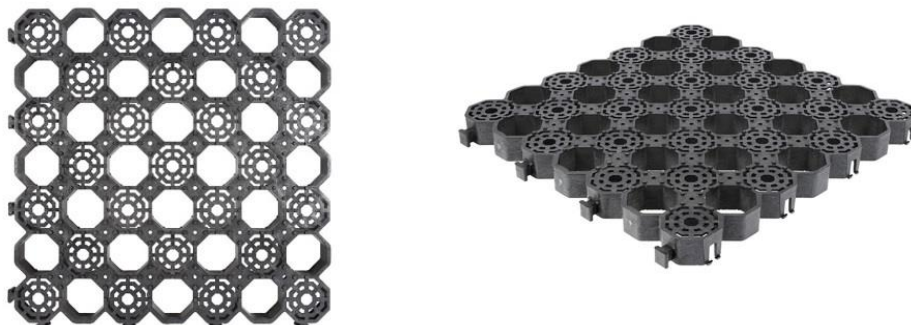
**Rys. 9.** Układanie kraty lotniskowej na odpowiednio przygotowanych warstwach konstrukcyjnych



**Rys. 10.** Utwardzona za pomocą kraty trawiasta nawierzchnia drogi startowej  
[<https://www.geoproduct.pl/realizacja/trawiasty-pas-startowy/>]

#### **4.1. Właściwości kraty lotniskowej**

Krata lotniskowa poddana analizie, przedstawiona na rys. 11, została wykonana metodą wtryskową z polietylenu o wysokiej gęstości – HDPE. Typowe właściwości tego tworzywa opisano w tab. 1, natomiast w tab. 2 przedstawiono dane techniczne kraty lotniskowej.



Rys. 11. Widok badanej kraty lotniskowej

Tabela 1

Typowe właściwości tworzywa, z którego wykonano kratę lotniskową

Typowe właściwości	Wartość nominalna	Jednostka miary	Metoda badań
Wskaźnik szybkości płynięcia (MFR) 190°C/2,16 kg	4,0	g/10 min	ISO 1133-1
190°C/5,0 kg	11,0	g/10 min	ISO 1133-1
Gęstość	0,955	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183-1
Moduł sztywności przy rozciąganiu	1200	MPa	ISO 527-1, -2
Napężenie na granicy plastyczności	27	MPa	ISO 527-1, -2
Wydłużenie na granicy plastyczności	8	%	ISO 527-1, -2
FNCT (3,5 MPa, 2% Arkopal N100, 80°C)	4,5	godz.	ISO 16770
Udarność z karbem wg Charpy'ego 23°C, Typ 1, karb A	4,0	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179
-30°C, Typ 1, karb A	4,5	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179
Twardość Shore (Shore D)	60		ISO 868
Twardość kulkowa (H 132/30)	52	MPa	ISO 2039-1
Temperatura mięknięcia Vicata (B/50 N)	73	°C	ISO 306

Tabela 2

Dane techniczne kraty lotniskowej

Cechy	Wartości deklarowane
Wymiary: ± 3%	490 x 490 mm
Wysokość ścianek:	40 mm
Grubość ścianek:	ścianki mają budowę stożkową od góry 5 mm od dołu 3,5 mm
Liczba krat na m <sup>2</sup> :	~ 4,2 szt.

Wielkość oczek:	24 oczka puste – 63 mm x 63 mm 25 oczek zabudowanych – 63 mm x 63 mm 36 pełnych kwadratów – 23 mm x 23 mm
Waga: ± 4%	1,65 kg/sztuka 6,93 kg/m <sup>2</sup>
Powierzchnia biologicznie czynna:	53% powierzchnia wolna 47% tworzywo

## **4.2. Badania terenowe wzmocnienia naturalnej nawierzchni lotniskowej przy użyciu kraty lotniskowej**

Badania możliwości zastosowania kraty lotniskowej w celu poprawy nośności nawierzchni naturalnej przeprowadzono na dwóch poletkach badawczych zlokalizowanych na lotniskach aeroklubowych. Krata lotniskowa została rozłożona na istniejącej naturalnej nawierzchni lotniskowej, a następnie przy pomocy walca wciśnięta w nią (rys. 12).



**Rys. 12.** Wciskanie kraty lotniskowej w nawierzchnię naturalną za pomocą walca

Badania nośności wykonanego wzmocnienia zrealizowano z wykorzystaniem ugięciomierza lotniskowego HWD (rys. 13). W celu analizy efektywności zastosowania kraty lotniskowej jako wzmocnienia nawierzchni naturalnych, uzyskane wyniki z badania wskaźnika CBR przeliczono na moduł sprężystości  $E$ , korzystając z wzoru Powella [7]:

$$E = 17,6 \cdot CBR^{0,64} \quad (2)$$

gdzie:

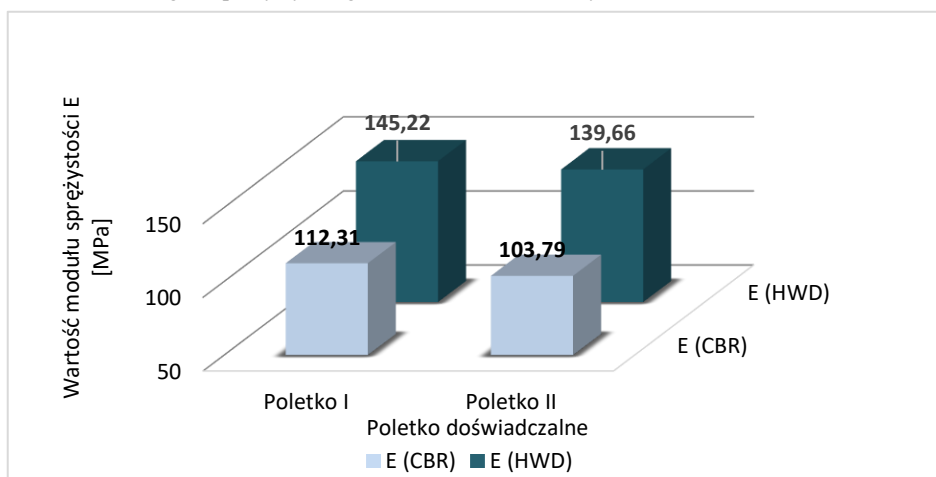
$E$  – moduł sprężystości,

CBR – kalifornijski wskaźnik nośności [%],

Uzyskane wartości modułów sprężystości przed i po zastosowaniu kraty, przedstawione na rys. 14, potwierdzają skuteczność zastosowania takiej metody do wzmocnienia nawierzchni naturalnych, gdyż nośność nawierzchni wzrosła o ok. 20–25%.



Rys. 13. Pomiar ugięć sprężystych ugięciomierzem lotniskowym HWD



Rys. 14. Porównanie wartości modułu sprężystości nawierzchni naturalnej przed zastosowaniem kraty lotniskowej i po nim

## 5. Podsumowanie

Zapewnienie bezpieczeństwa podczas wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne bezpośrednio powiązane jest ze stanem nośności naturalnych nawierzchni

lotniskowych znajdujących się w obszarze pasa startowego. Sytuacja ta wymusza, aby naturalne nawierzchnie lotniskowe spełniały swoje zadania i skutecznie minimalizowały negatywne oddziaływania w sytuacji awaryjnej. Przeprowadzona analiza możliwości zastosowania kraty lotniskowej w celu poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych jest obiecująca z wielu powodów. Główną zaletą stosowania krat lotniskowych wykonanych z tworzywa sztucznego jest możliwość szybkiego przywrócenia zdolności operacyjnej lotniska (przy odpowiednich warunkach gruntowych) bez konieczności prowadzenia zaawansowanych prac budowlanych oraz użycia specjalistycznego sprzętu. Krata jest wykonana z tworzywa sztucznego pochodzącego z recyklingu, co jest korzystniejszym rozwiązaniem pod względem finansowym oraz środowiskowym. Ponadto, przeprowadzone badania terenowe na dwóch poletkach doświadczalnych wykazały, że nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych wzmocnionych wciskaną kratą lotniskową z tworzywa sztucznego uległa poprawie średnio o ok. 20%.

W związku z obiecującymi rokowaniami zaprezentowanej w artykule metody wzmacniającej nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych będą prowadzone dalsze prace badawcze nad nową geometrią kraty umożliwiającą przeniesienie większych obciążeń oraz nad składem chemicznym, w celu poprawy parametrów fizyko-mechanicznych.

Mając na uwadze stosowaną dotychczas metodykę oceny nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych polegającą na wykonywaniu terenowych pomiarów punktowych z wykorzystaniem sondy SDS (rys. 2), pracownicy Zakładu Lotniskowego ITWL opracowali nową, innowacyjną w skali świata metodę oceny parametru nośności. W tym celu, wspólnie z firmą Dobrowolski sp. z o.o., zaprojektowali i skonstruowali bezzałogową, autonomiczną platformę pomiarową do badania nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych i warstw nawierzchni z mieszanek niezwiązanych w sposób ciągły BIZON. Proponowane rozwiązanie zostało objęte patentem nadanym przez Urząd Patentowy RP po trwającej około dwóch lat procedurze sprawdzającej (Pat.237034). Widok proponowanego rozwiązania przedstawiono na rys 15.



**Rys. 15.** Bezzałogowa, autonomiczna platforma pomiarowa do badania nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych BIZON

## 6. Literatura

1. Annual Report of the Council, ICAO 2018.
2. Norma ASTM D6951/D6951M-09 Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer In Shallow Pavement Applications.
3. Norma obronna NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe. Naturalne nawierzchnie lotniskowe. Badania nośności.
4. Vademecum Służby Lotniskowej, Poznań: Lotniczych, Ministerstwo Obrony Narodowej Dowództwo Wojsk, 1974.
5. Webster S.L. i in.: Instruction Report GL-92-3 Description and application of dual mass dynamic cone penetrometer. US Army Corps of Engineers, 1992.
6. Wesołowski M., Kowalewska A.: The impact of a geogrid system on load-bearing capacity of natural airfield pavements. Archives of Civil Engineering, Vol. LXVI, 52, 2020, DOI: 10.24425/ace.2020.131795.
7. Wesołowski M., Kowalska D., Kowalewska A.: Geocell reinforcement in natural airfield pavement structure in the aspect of the safety of conducted flight operations. Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference, 2019, DOI: 10.3850/981-973-0000-00-0.
8. Wesołowski M., Pietruszewski P., Kowalewska A.: Cellular geosynthetics in the aspect of application in airfield construction. Journal of KONBIN, 2019, Vol. 49, Issue 4, 341-362, DOI: 10.2478/jok-2019-0090.
9. Wytoczne lotniskowe. Ocena techniczna lotniskowych nawierzchni darniowych na podłożu piaszczystym i piaszczysto-gliniastym. ITWL. Warszawa (1967).
10. Załącznik 14 do Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym, Lotniska, tom I, Projektowanie i Eksploatacja Lotnisk, <https://www.ulc.gov.pl>, 13.09.2021.
11. Załącznik do Decyzji Dyrektora Wykonawczego EASA nr 2017/021/R z dnia 08 grudnia 2017 r. wdrażającej wydanie czwarte Specyfikacji Certyfikacyjnych (CS) oraz Materiałów Zawierających Wytoczne (GM) do Projektowania Lotnisk CS-ADR-DSN, <https://www.ulc.gov.pl>, 13.09.2021.
12. Zhang L., Zhao M., Shi C., Zhao H. Bearing Capacity of geocell reinforcement in embankment engineering. Geotextiles and Geomembranes 2010, 28, 475-482, DOI: 10.1016/j.geotexmem.2009.12.011.