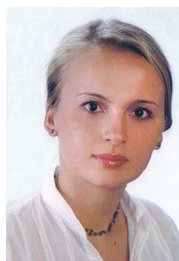


Krata lotniskowa jako szybka i skuteczna metoda poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych

Airport grating as a quick and effective method of improving the load-bearing capacity of natural airport pavements



Agata Kowalewska

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

agata.kowalewska@itwl.pl



Paweł Pietruszewski

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

pawel.pietruszewski@itwl.pl



Krzysztof Blacha

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

krzysztof.blacha@itwl.pl

Streszczenie: Naturalne nawierzchnie lotniskowe, które stanowią elementy funkcjonalne lotnisk jak m.in.: pobocza drogi startowej, czołowe pasy bezpieczeństwa, awaryjna droga startowa lub roboczy pas startowy, odgrywają istotną rolę w kwestii bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Zarówno Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (International Civil Aviation Organization – ICAO) jak i Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (European Union Aviation Safety Agency – EASA) określają wymagania nośności jakie powinny spełnić naturalne nawierzchnie lotniskowe. W dokumentach tych określony jest wymagany kalifornijski wskaźnik nośności CBR (ang. California Bearing Ratio) na poziomie 15÷20% na głębokości 15 cm poniżej poziomu terenu. Dotychczasowe badania poligonowe w cywilnych oraz wojskowych portach lotniczych wykazały, że nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych niekiedy nie spełnia określonych wymagań. W związku z tym, że porty lotnicze nie mogą pozwolić sobie na długotrwałe wyłączenie lotniska zasadne jest poszukiwanie innowacyjnych metod poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych, które będą skuteczne i szybkie w realizacji. Taką metodą może być zastosowanie kraty lotniskowej wciskanej bezpośrednio w naturalną nawierzchnię lotniskową.

Słowa kluczowe: Nośność; CBR; Naturalna nawierzchnia lotniskowa; Bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych

Abstract: Natural airport surfaces, which are functional elements of airports, such as: runway sides, front safety lanes, emergency runway or working runway, play an important role in the safety of air operations. Both the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the European Union Aviation Safety Agency (EASA) define the load-bearing capacity requirements that natural airport pavements should meet. These documents specify the required California Bearing Ratio (CBR) of 15-20% at a depth of 15 cm below ground level. The previous field tests in civil and military airports have shown that the load-bearing capacity of natural airport pavements sometimes does not meet certain requirements. Due to the fact that airports cannot afford a long-term shutdown of the airport, it is justified to search for innovative methods of improving the load-bearing capacity of natural airport pavements, which will be effective and quick to implement. Such a method may be the use of an airport grating pressed directly into the natural airport pavement.

Keywords: Load bearing capacity; CBR; Natural airport pavement; Safety of air operations

Wstęp

Naturalne nawierzchnie lotniskowe pełniące rolę pasa startowego na m.in. lotniskach aeroklubowych, poboczy dróg startowych, czołowych pasów bezpieczeństwa, awaryjnych dróg startowych, roboczych pasów startowych, muszą spełniać określone wymagania dotyczące ich nośności. Służby zajmujące się infrastrukturą na obiektach lotniskowych poszukują metod poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych skutecznych i szybkich, ponieważ bardzo ważne jest, aby jak najszybciej przy-

wrócić zdolność operacyjną lotniska.

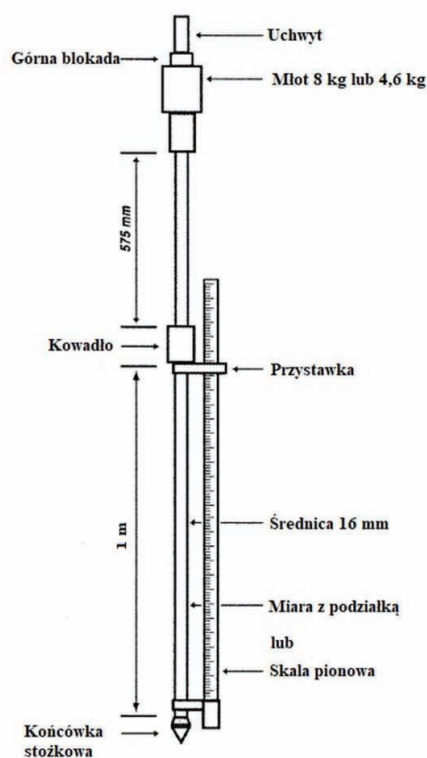
Jedną z takich metod jest zastosowanie kraty lotniskowej wykonanej z tworzywa sztucznego.

Naturalne nawierzchnie lotniskowe

Rozróżnia się nawierzchnie naturalne gruntowe (warstwa jezdna nawierzchni wykonana jest z gruntu) oraz darniowe (nawierzchnia gruntowa, dodatkowo pokryta warstwą darni grubości 10-18 cm). Zgodnie z opisem w [17] darni jest to zwarta pokrywa roślinna, najczęściej trawiasta, o bardzo silnie rozrośnię-

tym systemie korzeniowym. Wg normy obronnej NO-17-A503:2017 [15] nawierzchnie naturalne są to nawierzchnie lotniskowe utworzone poprzez odpowiednie przygotowanie gruntu, w celu zapewnienia możliwości bezpiecznego ruchu po nich wojskowych statków powietrznych.

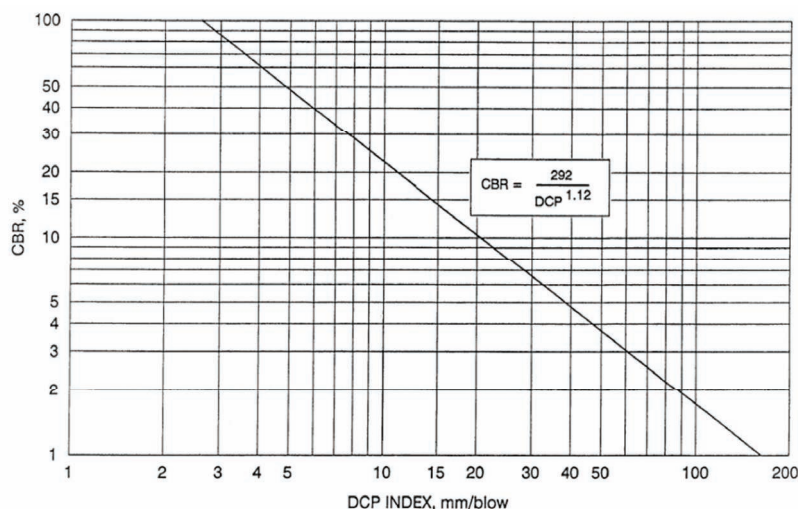
Nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych jest podstawowym parametrem wpływającym na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Określana jest na podstawie kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, który oblicza się na podstawie pomiarów wykona-



1. Schemat sondy SDS [16]

nych sondą dynamiczną stożkową SDS – rys. 1 (ang. DCP Dynamic Cone Penetrometer), zgodnie ze wzorem: $CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}}$, w którym CBR – kalifornijski wskaźnik nośności [%], DCP – zagłębienie stożka sondy przypadające na jedno uderzenie [mm] [16]. Wzór ten zgodnie z [5] jest najlepszą korelacją pomiędzy indeksem DCP a wskaźnikiem CBR – rys. 2.

Niedostateczna nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych może zagrażać bezpieczeństwu wykonywania operacji lotniczych. Na rys. 3 przedstawiono zdjęcie statku powietrznego, który krótko po przyziemieniu wpadł w poślizg i wypadł z drogi startowej. Skutkiem tego było załamanie się obu stron podwozia



2. Korelacja między wskaźnikiem CBR a indeksem DCP [5]

głównego, co spowodowało uszkodzenie skrzydła i wyciek paliwa [12].

Według wymagań opisanych w Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego ICAO [13] oraz Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego EASA [14] wskaźnik CBR powinien kształtować się na poziomie 15÷20% na głębokości 15 cm poniżej poziomu terenu. W normie obronnej [15] określono wymagania wskaźnika nośności CBR dla warstwy do głębokości 15 cm – 15% oraz dla warstwy od głębokości 15 cm do 85 cm – 8%.

Liczne badania poligonowe nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych, które wykonano na obiektach lotniskowych cywilnych oraz wojskowych na terenie RP wykazały, że większość nawierzchni naturalnych nie spełnia wymagań. 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.

Natomiast na rys. 5 zobrazowano profil nośności nawierzchni naturalnej spełniającej określone wymagania.

Metody poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych

W celu poprawy oraz utrzymania odpowiedniej nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych należy poddawać je zabiegom naprawczym oraz konserwacyjnym.

Zabiegi konserwacyjne polegają na przeprowadzaniu planowych i bieżących zabiegów agrotechnicznych i mechanicznych, które wpływają na podniesienie na wyższy poziom urodzajności gleby i wartości eksploatacyjnej roślinności darniotwórczej [6].

Zabiegi naprawczo-agrotechniczne polegają na: systematycznym koszeniu nawierzchni naturalnych, wałowaniu nawierzchni, uzupełnianiu obszarów o zmniejszonym zadarnieniu mieszanką traw oraz nawożeniu darni oraz wykonywaniu oprysków chemicznych [6]. Na rys. 6 przedstawiono zabieg uzupełniania obszarów o zmniejszonym zadarnieniu mieszanką traw, natomiast na rys. 7 wykonanie oprysków chemicznych [8].

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

Stabilizacja mechaniczna polega na wykonaniu czynności prowadzących do uzyskania odpowiedniego zagęszczenia gruntu, które zapewni trwały wzrost wy-



3. Wypadnięcie statku powietrznego poza drogę startową [12]

trzymałości mechanicznej gruntu [9].

Stabilizacja chemiczna polega na wymieszaniu gruntu rodzimego z odpowiednio dobranymi środkami chemicznymi, np. cement, wapno, popioły lotne. Wybór środka chemicznego zależy od stanu w jakim znajduje się grunt i jakie właściwości gruntu należy poprawić. Na rys. 8 przedstawiono proces mieszania gruntu rodzimego ze środkiem chemicznym.

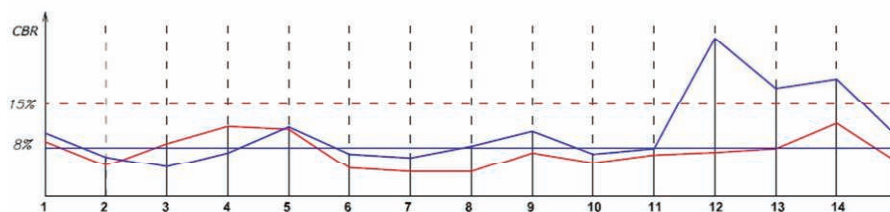
Wzmacnianie naturalnej nawierzchni włóknami polimerowymi polega na wymieszaniu mieszaniny piasku, gruntu rodzimego i włókien polimerowych [1]. Włókna polimerowe zazębiają się zapewniając wysoką wytrzymałość na rozciąganie i ścinanie, natomiast odpowiednio dobrany grunt (piasek) zapewnia odpowiednie zagęszczenie nawierzchni oraz jej stabilność w mokrych warunkach.

Wymiana gruntu jest bardzo kosztownym rozwiązaniem, stosowana jest gdy w podłożu występują grunty słabo- nośne, np. grunty organiczne – torfy, namuły, gytie lub grunty drobnoziarniste w stanie miętko plastycznym i płynnym.

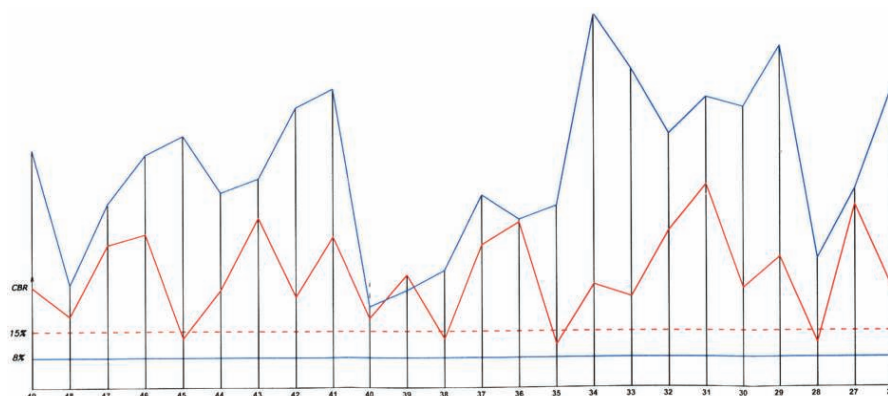
Zastosowanie kraty lotniskowej w celu wzmocnienia naturalnych nawierzchni lotniskowych

Krata lotniskowa jest to produkt tożsamy z kratką drogową stosowaną np. na parkingach, z tą różnicą, że została zaprojektowana w taki sposób, aby jej parametry wytrzymałościowe były dostosowane do obciążeń jakie musi przenieść od statku powietrznego.

Zastosowanie kraty lotniskowej poprawia nośność nawierzchni naturalnych dzięki: zwiększeniu odporności materiałów wypełniających kratę na ścinanie w wyniku ich zamknięcia i zagęsz-



4. Profil nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych niepełniających w pełni wymagań



5. Profil nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych spełniających wymagania

czenia wewnątrz komórek, zmniejszeniu osiadania spowodowanego naturalnym zagęszczeniem oraz ograniczeniu bocznych przesunięć materiału wypełniającego komórki, zmniejszeniu naprężeń przekazywanych na podłoże gruntowe od obciążenia oddziaływującego na nawierzchnię w wyniku rozkładania skoncentrowanych obciążeń na sąsiadujące komórki kraty [2] – rys. 9.

Zarówno w Polsce jak i na świecie kraty lotniskowe wykonane z recyklingowanych materiałów z tworzywa sztucznego są stosowane do wzmacniania naturalnych nawierzchni lotniskowych. Przykładem może być lądowisko samolotowe użytku wewnętrznego Narew 2 należące do firmy Pronar Sp. z o.o. Posiada ono drogę startową z nawierzchnią trawiastą utwardzoną za pomocą krat wykonanych z tworzywa sztucznego o długości 1500 m. Spośród pasów startowych budowanych w tej technologii

pas w Narwi jest najdłuższy na świecie [10]. Na rys. 10 przedstawiono proces układania kraty na trawiastej nawierzchni startowej natomiast na rys. 11 efekt końcowy.

Właściwości kraty lotniskowej

Krata lotniskowa będąca obiektem badań (rys. 12) 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.

Badania poligonowe wzmocnienia naturalnej nawierzchni lotniskowej przy użyciu kraty lotniskowej

Badania wpływu zastosowania kraty lotniskowej na poprawę nośności nawierzchni naturalnej wykonano na



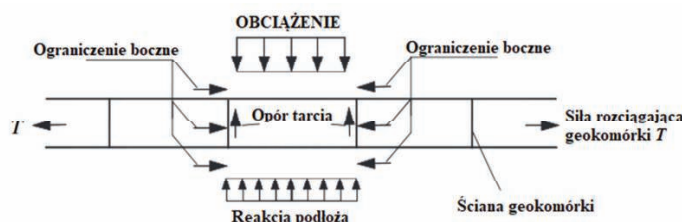
6. Uzupełnianie obszarów o zmniejszonym zadarnieniu mieszanką traw [8]



7. Wykonanie oprysków chemicznych [8]



8. Proces mieszania gruntu rodzimego ze środkiem chemicznym



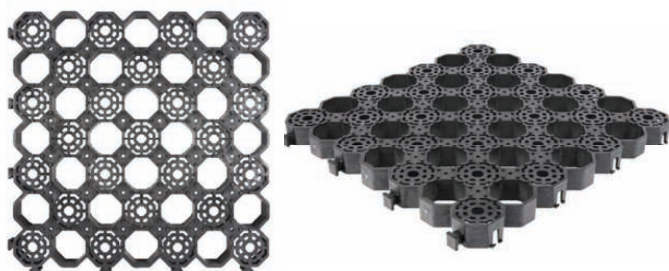
9. Ograniczenie boczne wzmocnienia geosiatką komórkową [4]



10. Układanie kraty na trawiastej nawierzchni drogi startowej [11]



11. Utwardzona za pomocą kraty trawiasta nawierzchnia drogi startowej [7]



12. Widok badanej kraty lotniskowej



13. Widok kraty lotniskowej zaraz po wciśnięciu oraz po miesiącu

dwóch poletkach badawczych. Krata lotniskowa została bezpośrednio wciśnięta w istniejącą nawierzchnię naturalną – rys. 13.

Badania nośności konstrukcji nawierzchni naturalnej i kraty lotniskowej wykonano ugięciomierzem lotnisko-

wym HWD – rys. 14.

W celu analizy skuteczności zastosowania kraty lotniskowej jako wzmocnienia nawierzchni naturalnych, wyniki uzyskane z badania wskaźnika CBR przeliczono na moduł sprężystości E . W Polsce najczęściej stosowaną w tym

celu zależnością jest wzór Powella [3]: $E=17,6 \cdot CBR^{0,64}$.

Na wykresie – rys. 15 przedstawiono porównanie wartości modułu sprężystości uzyskanego przed i po zastosowaniu kraty lotniskowej na nawierzchniach naturalnych. Uzyskane wyniki potwierdzają skuteczność zastosowania takiej metody do wzmocnienia nawierzchni naturalnych, gdyż nośność nawierzchni wzrosła o około 20-25%.

Podsumowanie

Zastosowanie kraty lotniskowej w celu poprawy nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych jest zasadne z wielu powodów.

Główną zaletą zastosowanie krat lotniskowych wykonanych z tworzywa sztucznego jest możliwość szybkiego przywrócenia zdolności operacyjnej lotniska.

Krata jest wykonana z tworzywa sztucz-

Tab. 1. Typowe właściwości tworzywa, z którego wykonano kratę lotniskową

Typowe właściwości	Wartość nominalna	Jednostka	Metoda badań
Wskaźnik szybkości płynięcia (MFR) 190°C/2,16 kg 190°C/5,0 kg	4,0 11,0	g/10 min g/10 min	ISO 1133-1 ISO 1133-1
Gęstość	0,955	g/cm ³	ISO 1183-1
Moduł sztywności przy rozciąganiu	1200	MPa	ISO 527-1, -2
Naprężenie 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 -30°C, Typ 1, karb A	4,0 4,5	kJ/m ² kJ/m ²	ISO 179 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

nego pochodzącego z recyklingu co jest korzystniejszym rozwiązaniem pod względem finansowym w porównaniu do wykonania np. nawierzchni sztywnej z betonu cementowego. Co za tym idzie, pomimo, że jest to tworzywo sztuczne to ma mniejszy negatywny wpływ na środowisko w przeciwieństwie do produkcji betonu cementowego.

Badania doświadczalne wykazały, że nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych wzmocnionych za pomocą wciskanej kraty lotniskowej z tworzywa sztucznego uległa poprawie średnio o około 20%.



14. Pomiar nośności ugięciomierzem lotniskowym HWD

W związku z rozwojem tej metody jako wzmocnianie nawierzchni naturalnych będą prowadzone dalsze prace nad nowymi kształtami, właściwościami oraz sposobami instalacji krat lotniskowych na nawierzchniach naturalnych. ◀

Materiały źródłowe

- Artykuły

- [1] Wesołowski M., Pietruszewski P. i Kowalewska A. Cellural geosynthetics in the aspect of appliaction in air-field construction. Journal of KONBIN, 2019, Vol. 49, Issue 4, 341-362, nr DOI: DOI 10.2478/jok-2019-0090.
- [2] Wesołowski M., Kowalewska A. The impact of a geogrid system on load-bearing capacity of natural airfield pavements. Archives of Civil Engineering, 2020, Vol. LXVI, 52, nr DOI: 10.24425/ace.2020.131795.
- [3] 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, nr DOI: 10.3850/981-973-0000-00-0.
- [4] Zhang L., Zhao M., Shi C., Zhao H. Be-

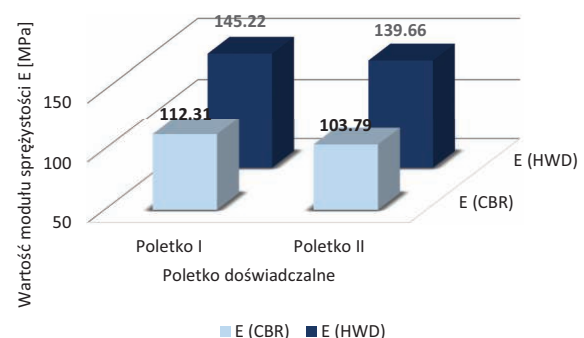
aring Capacity of geocell reinforcement in embankment engineering. Geotextiles and Geomembranes 2010, 28, 475-482, nr DOI: 10.1016/j.geotextmem.2009.12.011.

- Książki

- [5] Webster S. L. i inni. Instruction Report GL-92-3 Description and application of dual mass dynamic cone penetrometer. US Army Corps of Engineers, 1992.
- [6] Vademecum Służby Lotniskowej, Poznań: Lotniczych, Ministerstwo Obrony Narodowej Dowództwo Wojsk, 1974.
- Dokument elektroniczny I
- [7] dlapilota.pl, www.lotniska.dlapilota.pl, 15.09.2021.
- [8] JSA Culture Group, www.jsagriculture.com, 14.09.2021.
- [9] Nascon, www.nascon.pl, 14.09.2021.
- [10] PRONAR, www.pronar.pl, 15.09.2021.
- [11] Przegląd Lotniczy, www.plar.pl, 15.09.2021.
- [12] Transportation Safety Board of Canada, https://tsb.gc.ca/eng/index.html, 13.09.2021.
- [13] Załącznik 14 do Konwencji o Mię-

Tab. 2. Dane techniczne kraty lotniskowej

Cechy	Wartości deklarowane
Wymiary: $\pm 3\%$	490 x 490 mm
Wysokość ścianek:	40 mm
Grubość ścianek:	ścianki mają budowę stożkową od góry 5 mm od dołu 3,5 mm
Ilość krat na m ² :	~ 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: $\pm 4\%$	1,65 kg/sztuka 6,93 kg/m ²
Powierzchnia biologicznie czynna:	53% powierzchnia wolna 47% tworzywo



15. Porównanie wartości modułu sprężystości nawierzchni naturalnej przed i po zastosowaniu kraty lotniskowej

dzynarodowym Lotnictwie Cywilnym, Lotniska, tom I, Projektowanie i Eksploatacja Lotnisk, https://www.ulc.gov.pl, 13.09.2021.

- [14] 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 Wytyczne (GM) do Projektowania Lotnisk CS-ADR-DSN, https://www.ulc.gov.pl, 13.09.2021.
- Opracowania techniczne
- [15] Norma obronna NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe. Naturalne nawierzchnie lotniskowe. Badania nośności.
- [16] Norma ASTM D6951/D6951M-09 Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer In Shallow Pavement Applications.
- [17] Wytyczne lotniskowe. Ocena techniczna lotniskowych nawierzchni darniowych na podłożu piaszczystym i piaszczysto-gliniastym. ITWL. Warszawa (1967).