

Zastosowanie geokrat do zapewnienia nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych

Application of geogrids to ensure the load-bearing capacity of natural airfield pavements



Mariusz Wesołowski

Pplk dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

mariusz.wesolowski@itwl.pl



Danuta Kowalska

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

danuta.kowalska@itwl.pl



Agata Kowalewska

Mgr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

agata.kowalewska@itwl.pl



Aleksandra Rumak

Mgr

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

Streszczenie: W artykule opisano naturalne nawierzchnie lotniskowe w aspekcie wykonywania na nich operacji lotniczych. Z uwagi na fakt, iż elementy funkcjonalne lotnisk nie zawsze są zlokalizowane na podłożach o wystarczającej nośności, należy stosować zabiegi zwiększające wytrzymałość tych podłoży. Aktualnie, na rynku dostępna są różne technologie wzmocnień, a wybór odpowiedniej metody nie jest prosty i jest uzależniony od wielu czynników, m.in. efektu końcowego, jaki chcemy uzyskać po ulepszeniu, dostępności technologii czy względów ekonomicznych.

W artykule przedstawiono propozycję wzmocnienia naturalnej nawierzchni lotniskowej za pomocą geokrat (geosyntetyków komórkowych). Opisano wpływ zastosowanej technologii na poprawę stanu naturalnych nawierzchni lotniskowych na jednym z obiektów lotniskowych. Przeanalizowano wyniki badań terenowych obejmujących: odwierty geotechniczne, sondowanie DPL oraz DCP oraz badanie nośności płytą statyczną (VSS) i ugięciomierzem lotniskowym typu HWD.

Słowa kluczowe: *Naturalne nawierzchnie lotniskowe; Wzmocnienie geokratą; Nośność*

Abstract: The article describes natural airport pavements in the aspect of performing air operations. Due to the fact that airfield functional elements are not always located on ground of sufficient bearing capacity, it is necessary to use treatments that increase the strength of weak soils. Various reinforcement technologies are available on today's market, and choosing the right method is not simple and depends on many factors, including the final effect we want to achieve after improvement, availability of technology or economic reasons.

The article presents a proposal to strengthen the natural airfield pavements using geogrids (cellular geosynthetics). The influence of the applied technology on the improvement of the natural airfield pavemen at one of the airport facilities is described. The results of field tests including geotechnical wells, DPL and DCP probing as well as static plate load tests (VSS and load tests performed with high weight deflectometer (HWD), were analyzed.

Keywords: *Natural airfield pavements; Reinforcement with geogrids Load bearing capacity*

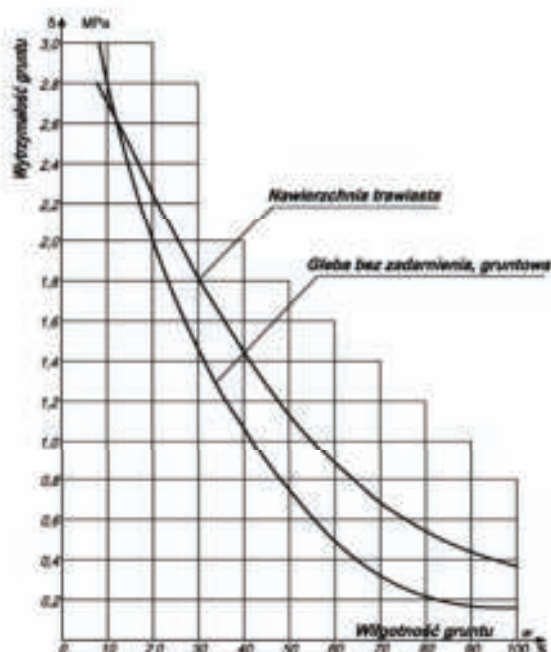
Naturalne nawierzchnie lotniskowe są to nawierzchnie utworzone przez odpowiednie przygotowanie gruntu w celu zapewnienia możliwości bezpiecznego wykonywania ruchu po nich [1]. Naturalne nawierzchnie lotniskowe dzieli się na darniowe oraz gruntowe. Warstwa jezdna nawierzchni gruntowej wykonana jest z gruntu, nie posiada warstwy darniowej. Natomiast nawierzchnia darniowa jest nawierzchnią gruntową, która pokryta jest glebą o

rozwinętej roślinności trawiastej i jest przystosowana do wykonywania na niej operacji lotniczych.

Naturalne nawierzchnie lotniskowe dominują na lotniskach sportowych o mniejszym ruchu i obciążeniach, czyli na lotniskach o niższej klasie. Dla nawierzchni darniowych, obciążenie na główną goleń samolotu nie powinno przekraczać 100,00 kN [2, 3, 4].

Na lotniskach o wyższych klasach technicznych, naturalna nawierzchnia

lotniskowa występuje na pasie drogi startowej w obszarze roboczego pasa startowego, bocznych pasów bezpieczeństwa oraz czołowych pasów bezpieczeństwa. Te części pasa drogi startowej powinny być przystosowane lub zbudowane w taki sposób, aby zmniejszyć do minimum zagrożenie dla samolotów, dla których dana droga startowa jest przeznaczona, wynikające z różnicy w nośności nawierzchni, w przypadku, gdy samolot zjechałby z drogi starto-



1. Zależność pomiędzy wytrzymałością σ nawierzchni gruntowej, darniowej a wilgotnością [3]

wej [5]. Zgodnie z [6], pas drogi startowej po obu jej stronach powinien być umocniony tak, aby zmniejszone było zagrożenie statku powietrznego, który przypadkowo opuścił drogę startową. Pas drogi startowej po obu jej stronach powinien być wyrównany i zadarniony, co najmniej na szerokość określoną w zależności od cyfry kodu lotniska. W przypadku pola wzlotów (część pola naziemnego ruchu lotniczego, składająca się z jednego lub kilku pasów startowych [1]) z nawierzchni naturalnej, naturalna nawierzchnia drogi startowej powinna być pozbawiona nierówności i umożliwiać: utrzymanie kierunku ruchu statku powietrznego, jego hamowanie i rozbieg, odprowadzenie dróg opadowych, zachowywanie wymaganej nośności mokrej nawierzchni. Wysokość trawy na polu wzlotów nie powinna przekraczać 10 cm, przy czym w obrębie zabezpieczenia końców dróg startowych (RESA) trawa może mieć wysokość do 20 cm. W odległości do 3 m od krawędzi nawierzchni sztucznych trawa powinna być nisko koszona, w celu zapewnienia widoczności pomocy nawigacyjnych.

Na stan nawierzchni lotniskowych duży wpływ mają opady. Długotrwałe deszcze oraz gwałtowne topnienie śniegu powoduje, że teren lotniska jest grząski i stanowi zagrożenie w ruchu lotniczym. Można przewidzieć, że opady mają decydujący wpływ na stan pola wzlotów, od czego zależy bezpieczeństwo i regularność ruchu lotniczego [7].

Nawierzchnie darniowe

Nawierzchnia darniowa jest naturalną nawierzchnią lotniskową, przystosowaną do wykonywania operacji lotniczych. Jest to nawierzchnia gruntowa, dodatkowo pokryta glebą o rozwiniętej roślinności trawiastej oraz z silnie rozwiniętym systemem korzeniowym, przystosowana dzięki zabiegom technicznym i agrotechnicznym do startów i lądowań [2]. Grubość tej warstwy wynosi zazwyczaj od 10 cm do 18 cm. Uważa się, że obciążenie na goleń główną samolotu nie powinno dla tej nawierzchni przekraczać 100,00 kN [2,3,4].

Nawierzchnia darniowa jest lepszą wersją nawierzchni gruntowej, gdyż dzięki swoim właściwościom zmniejsza nawilgocenie gruntu, a tym samym zwiększa jego wytrzymałość. Nawierzchnia darniowa daje możliwość zwielokrotnienia około 3-5 razy nacisków kół w porównaniu z nawierzchnią gruntową bez darni [8]. Na rysunku 1 przedstawiono zależność pomiędzy wilgotnością gruntu a jego wytrzymałością dla nawierzchni gruntowej oraz trawiastej.

Nośność nawierzchni darniowych

Nośność naturalnej nawierzchni lotniskowej jest to jej zdolność do przejęcia i przenoszenia określonego obciążenia od statków powietrznych, bez ryzyka jego uszkodzenia. Uściślając, nośność nawierzchni darniowej jest to opór, jaki

stawia silnie rozbudowany system korzeniowy oraz zawarte w nim cząstki gruntu obciążeniom, które pochodzą od ciężaru samolotu będącego w stanie spoczynku bądź ruchu. Nawierzchnia darniowa pola wzlotów ma jednakową nośność na całej powierzchni oraz równomierny porost traw [8]. Nośność naturalnych nawierzchni lotniskowych wyrażana jest kalifornijskim wskaźnikiem nośności *CBR*.

Obciążenia nawierzchni lotniskowych różnią się od obciążeń występujących na drogach. Główna różnica polega na wielkości powierzchni, która te obciążenia musi przyjąć, gdyż w przypadku nawierzchni lotniskowych jest to niewielka powierzchnia kontaktowa, która musi przejść duże, powtarzalne obciążenia. Zazwyczaj sytuacja jest taka, że mały obszar nawierzchni przejmuje obciążenia osiągające wartości obliczeniowe, a znaczne obszary nawierzchni lotniskowych sporadycznie przyjmują obciążenie obliczeniowe. Należy zaznaczyć, iż obciążenia statyczne nawierzchni pochodzące od samolotów powodują większe odkształcenia nawierzchni niż krótkotrwałe obciążenia dynamiczne o tej samej wartości.

Kryteria nośności nawierzchni darniowych należy wiązać z rodzajem samolotu obliczeniowego, który będzie eksploatowany na danym lotnisku [3]. Badania nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych należy wykonywać na wszystkich elementach funkcjonalnych lotniska, które posiadają nawierzchnię naturalną. Schemat rozmieszczenia poszczególnych elementów funkcjonalnych lotniska przedstawiono na rysunku 2.

Badania nośności naturalnych nawierzchni lotniskowych wykonuje się do głębokości 0,85 m poniżej powierzchni terenu. Wykonuje się je dla trzech wydzielonych warstw, rysunek 3:

- do głębokości 0,15 m – warstwa pierwsza,
- od głębokości 0,15 m do głębokości 0,50 m – warstwa druga,
- od głębokości 0,50 m do głębokości 0,85 m – warstwa trzecia.

W celu określenia kalifornijskiego wskaźnika nośności *CBR* naturalnych nawierzchni lotniskowych należy wykonać badania sondą *DCP* (rysunek 4), która powinna być zgodna z zapisami normy ASTM D6951M-09 [9]. Badania te, zgodnie z ASTM D6951M-09, polegają na pomiarze zagłębienia końcówki

sondy na jedno uderzenie obciążnika spadającego z określonej wysokości.

Kalifornijski wskaźnik nośności *CBR* oblicza się oddzielnie dla każdej wydzielonej warstwy, zgodnie ze wzorem [1,10]:

$$CBR = 292/DCP^{1,2}$$

gdzie:

CBR - kalifornijski wskaźnik nośności [%];
DCP - zagłębienie stożka sondy przypadające na jedno uderzenie [mm].

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, czyli od głębokości 0,15 m do głębokości 0,85 m poniżej powierzchni terenu [1].

Wzmacnianie nawierzchni gruntowych

Przy wyborze terenu pod lotnisko o nawierzchni darniowej, na uwadze należy mieć wszystkie zasady i ustalenia jak dla lotnisk o nawierzchniach sztucznych [3]. W przypadku nawierzchni darniowych dodatkowym wymaganiem jest rodzaj gleby. Rodzaj i właściwości gleby mogą przesądzić o negatywnym charakterze wybranego terenu pod przyszłe lotnisko. Zgodnie z [8] nawierzchnię darniową zakłada się na gruncie o takiej wytrzymałości, aby odkształcenie pionowe nawierzchni podczas przejazdu koła statku powietrznego o największych wymiarach, największym ciężarze oraz ciśnieniu jednostkowym na badaną powierzchnię około 0,6 MPa wynosiło nie więcej niż 2 cm.

W celu zwiększenia wytrzymałości naturalnych nawierzchni lotniskowych można zastosować różnego rodzaju jej wzmocnienia i ulepszenia. Istnieje wiele technologii wzmocnień podłoża gruntowego, trudne jest jednoznaczne sklasyfikowanie tych metod. Jako kryterium podziału przyjmowane są: technologia wzmocnienia, głębokość ingerencji w podłoże, stosowane materiały, finalny efekt wzmocnienia [11].

Można wydzielić następujące grupy technologii:

- wzmocnienie podłoża poprzez poprawienie jego właściwości i/lub parametrów, bez stosowania domieszek innych materiałów;
- wymiana gruntów słabonośnych z wykorzystaniem kwalifikowanego kruszywa;
- wzmocnienie podłoża przy zasto-

sowaniu domieszek, np. na drodze powierzchniowej lub wgłębnej stabilizacji lub formowania kolumn;

- wzmocnienie podłoża przy użyciu geosyntetyków [11].

Geosyntetyki, jak podaje [12] są to wyroby, których co najmniej jeden składnik został wytworzony z syntetycznego lub naturalnego polimeru, mający postać arkusza, taśmy lub formy przestrzennej, stosowany w kontakcie z gruntem i/lub innymi materiałami w geotechnice i budownictwie. Geosyntetyki mają wielorakie zastosowanie, m.in. drenowanie, filtrowanie, separacja, wzmacnianie czy ochrona, np. przeciw powierzchniowej erozji. Podział geosyntetyków, oparty na [12] przedstawionow tabeli 1.

Zastosowanie geokraty do wzmacniania nawierzchni gruntowych

Geokraty są to geosyntetyki komórkowe, które wykorzystywane są do wzmacniania podłoża gruntowego, do umocnień przeciwoerozyjnych lub do budowy konstrukcji oporowych. Według [12] geosyntetyki komórkowe są to polimerowe (syntetyczne lub naturalne) wyroby o przestrzennej, przepuszczalnej strukturze w formie plastra miodu lub podobnej strukturze komórkowej, wytworzony z połączonych ze sobą taśm geosyntetyków.

Oceniając prawidłowość wyboru geosyntetyku do pełnienia określonej funkcji można posługiwać się różnymi współczynnikami. I tak, gdy geosyntetyk ma pełnić funkcję wzmacniania podłoża gruntowego można analizować współczynniki [13]:

$$LCR = q_r/q$$

gdzie:

LCR - współczynnik wzmocnienia (Load Capacity Ratio); q_r - obciążenie, które należy przyłożyć do powierzchni konstrukcji nawierzchni, by wywołać określoną wielkość odkształcenia podłoża wzmocnionego geosyntetykiem; q - obciążenie, które należy przyłożyć do powierzchni konstrukcji nawierzchni,

by wywołać tę samą wielkość odkształcenia podłoża niewzmocnionego geosyntetykiem.

$$BCR = q_{u(R)}/q_u$$

gdzie:

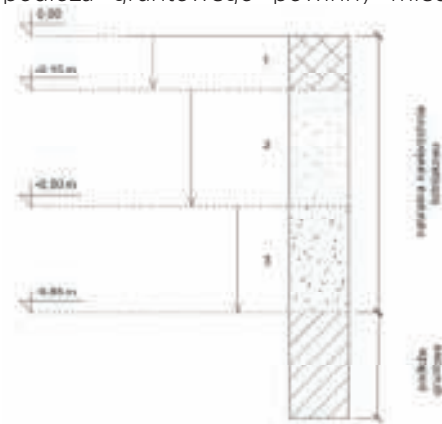
BCR - współczynnik nośności (Bearing Capacity Ratio); $q_{u(R)}$ - nośność podłoża wzmocnionego geosyntetykiem; q_u - nośność podłoża niewzmocnionego geosyntetykiem.

W normie PN-EN 13249 [14] podano wymagania dotyczące właściwości, jakie powinny spełniać geosyntetyki, w zależności od pełnionej funkcji. Materiały użytkowane w celu wzmocnienia podłoża gruntowego powinny mieć

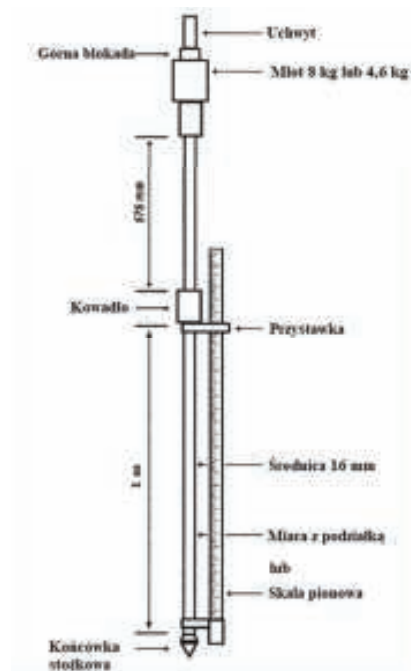


2. Schemat rozmieszczenia EFL podlegających ocenie nośności [1]

gdzie: CzPB - czołowy pas bezpieczeństwa; BPB - boczny pas bezpieczeństwa; DS - droga startowa; RPS - roboczy pas startowy.



3. Układ wydzielonych warstw naturalnej nawierzchni lotniskowej [1]



4. Schemat sondy DCP

Tab. 1. Rodzaje geosyntetyków zgodnie z normą PN-EN ISO 10318-1:2015-12 [12]

GEOSYNTETYKI (GSY)			
GEOTEKSTYLIA (GTX)	GEOTEKSTYLNE WYROBY POKREWNE (GTP)	BARIERY GEOSYNTETYCZNE (GBR)	GEOKOMPOZYTY (GCO)
• Tkane (GTX-W)	• Geosiatki (georuszty) (GGR)	• Polimerowe (GBR-P)	
• Nietkane (GTX-N)	• Georuszty drenażowe (GNT)	• Iłowe (GBR-C)	
• Dziane (GTX-K)	• Geosyntetyki komórkowe (GCE)	• Bitumiczne (GBR-B)	
	• Geotaśmy (GST)		
	• Geomaty (GMA)		
	• Geosyntetyki dystansujące (GSP)		

zdefiniowane następujące parametry:

- wytrzymałość na rozciąganie;
- wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu;
- odporność na przebicie statyczne CBR;
- przebicie dynamiczne;
- trwałość.

Właściwości geokraty zastosowanej do wzmocnienia nawierzchni naturalnej

Do wzmocnienia nawierzchni trawiastej na jednym z lotnisk aeroklubowych zastosowano geokratę, taką jaką wykorzystano wcześniej do modernizacji pasa startowego lądowiska leśnego, służącego do startów i lądowań lekkich samolotów pożarniczych oraz rolniczych.

Wygląd geokarty przedstawiono na fotografii 5.

Powierzchnia biologicznie czynna omawianej geokraty wynosi 85% a tym samym tworzywo stanowi 15%. Dane techniczne przedstawiono poniżej [15]:

Wymiary - 50 x 50 cm

Wysokość ścianek - 4 cm

Grubość ścianek - 3 – 4 mm

Wielkość oczek - 49 oczek, 7 x 7 cm (w jednej kratce)

Liczba elementów na m² - 4 szt.

Materiał - PP PE w 100% z recyklingu

Waga - 1,40 kg/sztuka; 5,60 kg/1 m²

Stabilność wymiarów - ± 3% (-30°C do +50°C)

Trwałość materiału - minimum 10 lat

Dopuszczalny nacisk na oś - 200kN/oś

Geokrata posiada certyfikat zgodności

zakładowej kontroli produkcji wystawiony przez akredytowaną jednostkę certyfikującą wyroby oraz deklarację właściwości użytkowych CE. Deklarowane właściwości użytkowe przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki badań polowych naturalnej nawierzchni lotniskowej bez wzmocnienia i wzmocnionej geokratą

Zaprojektowana konstrukcja naturalnej nawierzchni drogi startowej miała następujący układ:

- wypełnienie geokraty humusem z obsianiem trawą lotniskową,
- geokrata z PEHD 500 x 500 x 40 mm,
- podsypka z piasku pod ułożenie geokraty 2 cm,
- górna warstwa podbudowy tłuczniowej z tłucznia twardego do stabilizacji mechanicznej 0/31,5 (melafir, gabro, granit itp.), grubości 10 cm z zagęszczeniem,
- dolna warstwa podbudowy tłuczniowej z tłucznia twardego ze skał magmowych np. melafir, gabro, granit, 0/63 mm, grubość warstwy 15 cm,
- podsypka piaskowa o grubości 10 cm,
- wyprofilowane i wyrównane podłoże,
- pobocze drogi startowej o nawierzchni trawiastej nieumocnionej 2 x 7 m,
- spadek pobocza gruntowego 3%.

Proces układania geokraty przedstawiono na fotografii 6.

Teren objęty badaniami obejmował nawierzchnię naturalną bez wzmocnienia, trawiastą oraz nawierzchnię z kompletną technologią wzmocnienia, łączoną z zadarnioną geokratą (fotografia 7).

Pomiary przeprowadzono na drodze startowej lądowiska o długości 500 m i szerokości 36 m.

W ramach badań nawierzchni naturalnej bez wzmocnienia dokonano identyfikacji podłoża gruntowego, wykonując odwiert geotechniczny do głębokości 2,0 m (fotografia 8), dający pogląd na litologię terenu badań. Przeprowadzono również sondowanie dynamiczne lekką sondą dynamiczną DPL (fotografia 9) oraz sondowanie sondą dynamiczną stożkową DCP (fotografia 10). Sondowanie sondą DCP pozwoliło na określenie zagęszczenia warstw niespoistych, natomiast dzięki sondowaniu sondą DCP określono kalifornijski wskaźnik nośności CBR badanego podłoża.

Układ warstw litologicznych na badanym obszarze przedstawia się tak, jak podano w tabeli 3. Zwierciadło wody gruntowej nawiercono na głębokości 1,30 m p.p.t., po 1 godzinie ustabilizowało się na głębokości 1,0 m p.p.t. Podłoże gruntowe nawierzchni w przedziale głębokości od 0,8 do 1,7 m p.p.t. zakwalifikowano wg wysadzinowości gruntu i warunków wodnych, do grupy nośności G4 (grunty bardzo wysadzinowe).

Badanie kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR przeprowadzono na naturalnej nawierzchni lotniskowej bez wzmocnienia (fotografia 7).

Jak wynika z wykresu – rysunek 11 – badana nawierzchnia naturalna (bez wzmocnienia) nie posiadała wymaganych wartości wskaźnika nośności CBR, wyniki ukształtowały się następująco: CBR (do 0,15 m) = 5,7% (wymagane min. 15 %), CBR (od 0,15 do 0,85 m) = 5,7% (wymagane min. 8 %).

Na naturalnej nawierzchni lotnisko-



5. Wygląd geokraty użytej do wzmocnienia naturalnych nawierzchni lotniskowych



Tab. 2. Właściwości charakterystyczne geokraty

Zasadnicze charakterystyki poddane ocenie w systemie 2+	Właściwości użytkowe
Wytrzymałość na rozciąganie	66,7 [kN/m] ± 15%
Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	(11 ± 5)%
Przewidywana trwałość w warunkach pH>4 oraz pH<9	co najmniej 12 lat



6. Proces układania geokraty na odpowiednio przygotowanej konstrukcji



← naturalna nawierzchnia bez wzmocnienia
← nawierzchnia wzmocniona

7. Obszary nawierzchni objęte badaniami



8. Wiercenie geotechniczne



9. Sondowanie sondą DPL



10. Sondowanie sondą DCP

wej wzmocnionej systemem geokrat wykonano badanie nośności przy pomocy płyty statycznej VSS (fotografia 12) oraz badania nośności przy użyciu ugięciomierza lotniskowego HWD (fotografia 13).

W ramach badań polowych wykonywanych na wzmocnionej naturalnej nawierzchni lotniskowej (fotografia 7) wykonano badania nośności za pomocą płyty statycznej VSS w dwóch punktach oraz w pobliżu tych punktów, za pomocą ugięciomierza lotniskowego HWD.

Badanie nośności przy pomocy płyty VSS polega na pomiarze osiadania gruntu pod płytą, przy jego stopniowym obciążaniu, przy pomocy przeciwwagi i służy do określenia cech odkształceniowych i wytrzymałościowych podłoża. Badanie to charakteryzuje strefę do głębokości około 30-50 cm.

Wyniki nośności nawierzchni otrzymane podczas badań płytą VSS przedstawiono w tabeli 4.

Analiza otrzymanych danych

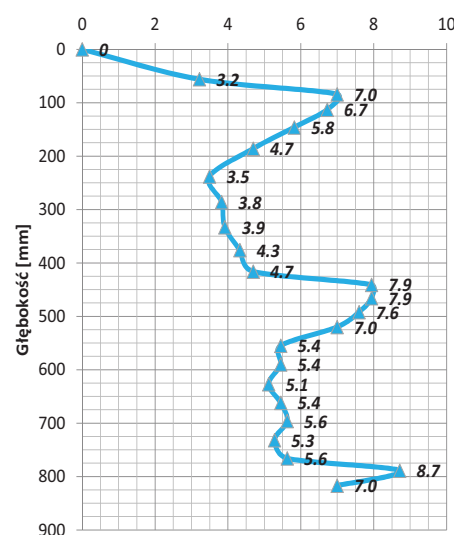
Aby określić moduł odkształcenia dla niewzmocnionej naturalnej nawierzchni lotniskowej, dla której wyznaczono kalifornijski wskaźnik nośności CBR, posłużono się wzorem Powella [1]:

$$E = 17,6 \times CBR^{0,64}$$

gdzie:

E - moduł sprężystości, [MPa]; CBR - kalifornijski wskaźnik nośności, [%].

Przy ocenie wyników przeprowadzonych badań należy pamiętać, iż ocena nośności sondą DCP była wykonana w nawierzchni naturalnej, niewzmocnionej. Natomiast konstrukcja wzmocnienia, wg projektu, ma 41 cm grubości,



11. Wykres wskaźnika nośności CBR

Tab. 3. Profil litologiczny naturalnej nawierzchni lotniskowej

Głębokość [m]	Rodzaj gruntu	Opis makroskopowy (kolor, wilgotność)
0,0 - 0,3	Humus	czarny, mało wilgotny
0,3 - 0,8	Piasek drobny z domieszką kamieni	szarozółty, wilgotny
0,8 - 1,3	Piasek gliniasty	ciemnoszary mokry
1,3 - 1,7	Piasek gliniasty przewarstwiony gliną piaszczystą	ciemnoszary, nawodniony
1,7 - 2,0	Piasek średni	ciemnoszary, nawodniony

zatem podczas badania nośności płytą statyczną VSS wzmocnionej nawierzchni naturalnej badano przede wszystkim nośność konstrukcji wzmocnienia.

Zestawienie wyników modułów odkształcenia uzyskanych w wyniku badania płytą VSS oraz poprzez przeliczenie wskaźnika CBR zamieszczono w tabeli 5.

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że nośność wzmocnionej naturalnej nawierzchni lotniskowej wzrosła o około 20%. Na wzrost nośności naturalnej nawierzchni lotniskowej miało z pewnością wpływ nie tylko zastosowanie geokraty, ale również warstwy podbudowy z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (podbudowa dolna z tłucznią o uziarnieniu 0/63 oraz podbudowa górna, z tłucznią o uziarnieniu 0/31,5 mm).

W trakcie badań poligonowych, w miejscach przeprowadzenia pomiarów płytą typu VSS, wykonano również pomiar nośności już ulepszanego odcinka EFL za pomocą ugięciomierza lotniskowego typu HWD (fotografia 13). Na podstawie uzyskanych wyników oszacowano moduły odkształcenia dla całej



12. Badanie VSS



13. Badanie ugięciomierzem HWD

konstrukcji, tabela 6. Wyniki uzyskane podczas pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni (HWD) są większe w porównaniu do modułów odkształcenia uzyskanych podczas badań płytą VSS. Może to wynikać z faktu, że badanie płytą VSS charakteryzuje strefę do około 0,5 m w głąb badanego ośrodka, natomiast badanie ugięciomierzem lotniskowym HWD ma zasięg większy.

Podsumowanie

W artykule omówiono pojęcie naturalnych nawierzchni lotniskowych, dominujące na lotniskach sportowych, ale również występujące w pasie drogi startowej na lotniskach o wyższych klasach technicznych. Najważniejszą cechą nawierzchni jest jej nośność, która jest charakteryzowana jako zdolność nawierzchni do przejścia i przeniesienia określonego obciążenia od statku

Tab. 4. Wyniki nośności wzmocnionej nawierzchni naturalnej otrzymane podczas badania płytą statyczną VSS

Nr punktu	E_1 [MPa]	E_2 [MPa]	I_0 [-]
1	47	83	1,8
2	43	80	1,9

gdzie:

E_1 - pierwotny moduł odkształcenia; E_2 - wtórny moduł odkształcenia (zwany również modułem odkształcenia sprężystego); I_0 - wskaźnik odkształcenia.

Tab. 5. Wartości modułów odkształcenia uzyskanych z badań płytą VSS oraz przeliczenia wskaźnika CBR

Nr punktu	Rodzaj nawierzchni	E [MPa]	I_0 [-]
1	Naturalna niewzmocniona	64	1,8
2	Naturalna wzmocniona	83	1,9
3		80	

Tab. 6. Wartości modułów odkształcenia oszacowanych na podstawie badań ugięć sprężystych ugięciomierzem lotniskowym HWD

Nr punktu	Rodzaj nawierzchni	E [MPa]
1	Naturalna wzmocniona	134
2		121

powietrznego. Przy wyborze terenu na lotnisko o nawierzchni naturalnej brane są pod uwagę wszystkie wymagania i ustalenia, jakie obowiązują dla nawierzchni sztucznych, ponadto w przypadku nawierzchni darniowych bardzo ważnym czynnikiem, nieraz decydującym o wyborze terenu, jest rodzaj występującej gleby.

Stosowanie wzmocnienia podłoża nawierzchni darniowych i gruntowych, w celu uzyskania zwiększenia ich nośności wiąże się bezpośrednio z zapewnieniem bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. W artykule opisano wzmocnienie podłoża naturalnych nawierzchni za pomocą geosyntetyków komórkowych, jakimi są geokraty.

Wyniki przeprowadzonych badań wstępnych potwierdzają, że istnieje możliwość poprawy nośności nawierzchni naturalnych, co stanowi sumaryczny efekt wynikający z zastosowania geokraty, ale również z ułożenia warstw podbudowy z kruszywa stabilizowanego mechanicznie. ◀

Materiały źródłowe

- [1] NO-17-A503:2017 Nawierzchnie lotniskowe. Naturalne nawierzchnie lotniskowe. Badania nośności. Ministerstwo Obrony Narodowej, 2017.
- [2] Wytyczne lotniskowe. Ocena techniczna lotniskowych nawierzchni darniowych na podłożu piaszczystymi piaszczysto-gliniastym. Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 1967.
- [3] Nita P. Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008.
- [4] Nita P. Naturalne nawierzchnie lotnisk, ich nośność oraz warunki budowy i użytkowania. Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 2015.
- [5] Załącznik 14 ICAO do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, Lotniska Tom I - Projektowanie i eksploatacja lotnisk, wydanie 6, lipiec 2013.
- [6] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 31 sierpnia 1998 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dla lotnisk cywilnych (Dz. U. nr 130 z dn. 31.08.1998 r. poz. 859 z późn. zmianami).
- [7] J. Marszałek. Budowa Lotnisk. Część 3 Projektowanie robót ziemnych i odwodnienia. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 1991.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 07.06.2018 w sprawie wymagań technicznych i eksploatacyjnych dla lotnisk użytku wyłącznego oraz sposobu i trybu przeprowadzania kontroli sprawdzającej. Dz. U. z 2018 r. poz.1208.
- [9] ASTM D6951/D6951M-09 Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications.
- [10] Pietruszewski P., Blacha K., Weśółowski M. Evaluation of the bearing capacity of natural aircraft pavements by military standard NO-17-A503:2017. Aviation Advances&Maintenance, 2018, Volume 41, Issue 1.
- [11] Łęcki P., Dojcz P. Problematyka oraz sposoby stabilizacji i wzmocnienia gruntów budowlanych, GT Projekt, 2007.
- [12] PN-EN ISO 10318-1:2015-12 Geosyntetyki - Część 1: Terminy i definicje.
- [13] Łach K. Przegląd i systematyka geosyntetyków, Magazyn Autostrady 3/2017.
- [14] PN-EN 13249:2016-11 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy dróg i innych powierzchni obciążonych ruchem (z wyłączeniem dróg kolejowych i nawierzchni asfaltowych).
- [15] www.geoproduct.pl, 30.07.2018 r.