

Stabilizacja podłoża gruntowego i poziomowanie betonowych płyt nawierzchniowych

Stabilization of the subsoil and leveling of concrete paving slabs



Mariusz Wesołowski

Dr hab. inż.

*Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych*

mariusz.wesolowski@itwl.pl



**Agnieszka Poteraj-
Oleksiak**

Mgr inż.

Cover Technologies Sp. z o.o.,

agnieszka.poteraj@cover.net.pl



Danuta Kowalska

Mgr inż.

*Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych*

danuta.kowalska@itwl.pl

Streszczenie: W procesie użytkowania nawierzchni lotniskowych obserwuje się zachodzące procesy destrukcyjne płyt betonowych spowodowane obciążeniami eksploatacyjnymi oraz czynnikami środowiskowymi. Jednym z najczęściej spotykanych uszkodzeń nawierzchni betonowych są progi (uskoki) – przemieszczenia pionowe krawędzi płyt lub przemieszczenia na pęknięciach płyt, będące następstwem uszkodzeń podłoża gruntowego lub podbudowy. Wykonywanie okresowych przeglądów stanu technicznego nawierzchni pozwala na monitorowanie zachodzących zmian i jednocześnie planowanie napraw, co wiąże się z doбором właściwych materiałów do ich wykonania. Niniejszy artykuł został poświęcony zagadnieniu stabilizacji i poziomowania płyt betonowych nawierzchniowych w technologii iniekcji niskociśnieniowej z wykorzystaniem specjalistycznych materiałów iniekcyjnych (żywicy). Technologia reniwelacji płyt znajduje zastosowanie w miejscach osiadania trwale wzmacniając podłożę gruntowe, względnie podbudowę, jak również pozwala przywrócić żądane parametry równości nawierzchni. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, jak również wyniki testów terenowych wykonanych przed pracami iniekcyjnymi oraz po ich zakończeniu na przykładzie prac realizowanych na jednym z obiektów lotniskowych w Polsce. W artykule przedstawiono m.in. wyniki badań nośności i równości nawierzchni oraz wyniki badań z wykorzystaniem georadaru. Przedstawiona technologia należy do rozwiązań naprawczych nieinwazyjnych i robót krótkoterminowych.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia betonowa; Iniekcje geotechniczne; Klawiszowanie płyt

Abstract: In the process of using airport pavements, destructive processes of concrete slabs caused by operational loads and environmental factors are observed. One of the most common damage to concrete surfaces are thresholds (faults) - vertical displacements of the edges of the slabs or displacements on the cracks of the slabs, resulting from damage to the subsoil or foundation. Performing periodic inspections of the technical condition of the pavement allows you to monitor the changes taking place and at the same time plan repairs, which is associated with the selection of appropriate materials for their implementation. This article is devoted to the issue of stabilization and leveling of concrete pavement slabs in the low-pressure injection technology with the use of specialized injection materials (resins). The technology of slab re-leveling is used in places of settlement, permanently strengthening the subsoil or substructure, as well as allowing to restore the required parameters of pavement evenness. The article presents the results of laboratory tests as well as the results of field tests carried out before and after the injection works, based on the example of works carried out at one of the airport facilities in Poland. The article presents, among others the results of the load-bearing and evenness tests of the pavement and the results of the tests with the use of GPR. The presented technology belongs to non-invasive repair solutions and short-term works.

Keywords: Concrete pavement; Geotechnical injections; Keystrokes

Wstęp

Prawidłowo wykonana i eksploatowana nawierzchnia lotniskowa z betonu cementowego musi zapewnić bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Ze względu na dużą masę startową współczesnych statków powietrznych, które poruszają się z dużymi prędkościami przy starcie i lądowaniu, wymagana jest nawierzchnia o założonej nośności, odpowiedniej

równości i szorstkości. W procesie użytkowania nawierzchni zachodzą procesy destrukcyjne spowodowane obciążeniami eksploatacyjnymi oraz czynnikami środowiskowymi. Pojawiające się uszkodzenia nawierzchni muszą być naprawiane. Niezwykle istotne jest, aby wykonywanie prac utrzymaniowych nie wstrzymywało na dłuższy okres czasu operacji lotniczych. Jedną z metod, która pozwala przywrócić wymagane parametry na-

wierzchni może być technologia iniekcji niskociśnieniowej.

Uszkodzenia nawierzchni betonowych

Nawierzchnie betonowe są niezwykle praktyczne i ekonomiczne pod warunkiem, że wiemy jak się z nimi obchodzić podczas eksploatacji oraz jak eliminować przyczyny pojawiających się uszkodzeń. Generalnie,

uszkodzenia dzielimy na dwa typy: strukturalne i powierzchniowe. Uszkodzenia strukturalne, czyli świadczące o trwałości konstrukcji nawierzchni to przede wszystkim pęknięcia płyt zapoczątkowane na powierzchni lub w spodzie warstw, deformacje szczelin, osiadanie (klawiszowanie) płyt [5, 6, 7]. Uszkodzenia powierzchniowe, czyli świadczące o trwałości warstwy jezdnej, to ścieranie nawierzchni, złuszczenia powierzchniowe (płytkie i głębokie), pęknięcia włoskowate, siatkowe, pęknięcia mrozowe oraz uszkodzenia krawędziowe płyt. Natomiast uszkodzenia punktowe stanowią kraterki (drobne pustki powietrzne), odpryski pomarglowe, ubytki głębokie oraz wyłamania naroży płyt betonowych [4, 8]. Przykładowo, obłamanie krawędzi płyty w wyniku osiadania przedstawiono na rys. 1.

Trwałość konstrukcji nawierzchni warunkowana jest jej uszkodzeniami strukturalnymi, będącymi rezultatem oddziaływania na nią ruchu pojazdów. Powoduje to cykliczne powstawanie naprężeń i odkształceń rozciągających w nawierzchni, wywołujących w długim czasie eksploatacji spękania zmęczeniowe. Liczba obciążeń przeniesionych przez nawierzchnię określana jest terminem trwałości zmęczeniowej. O trwałości zmęczeniowej decyduje konstrukcja nawierzchni (grubość warstw) i jakość (parametry



1. Obłamanie krawędzi płyty w wyniku osiadania

mechaniczne) materiałów [7].

Strategia utrzymania stanu nawierzchni danego typu musi uwzględniać powierzchniowe zabiegi utrzymaniowe wykonywane z odpowiednią częstotliwością, tak aby nie nastąpiło nadmierne uszkodzenie nawierzchni, którego skutkiem może być istotne zmniejszenie jej trwałości strukturalnej. Trzeba tu dodać, że nie istnieją nawierzchnie niewymagające zabiegów konserwujących. Trwałość nawierzchni należy rozumieć w istocie jako zbiór rozmaitych cech, które decydują o czasie eksploatacji nawierzchni (drogi) i kosztach jej utrzymania [7].

Osiadanie płyt betonowych

Osiadanie płyt betonowych jest jednym z częściej występujących zjawisk w trakcie użytkowania nawierzchni komunikacyjnych. Spowodowane jest brakiem współpracy pomiędzy płytami, brakiem dostatecznego podparcia, co w konsekwencji pod dużym obciążeniem prowadzi do nierównomiernego obniżania się płyt [1]. Brak dostatecznego podparcia płyt nawierzchniowych spowodowane może być problemami występującymi w podbudowie. Takie przyczyny jak rozluźnienie materiału podbudowy wskutek penetracji wody, wypłukiwanie materiału prowadzi do jej osłabienia. Skrajnie pod płytą mogą występować puste przestrzenie tzw. kawerny, które zdecydowanie obniżają nośność konstrukcji.

Zjawisko osiadających płyt powinno zostać wyeliminowane natychmiast po identyfikacji przyczyn [7]. W przeciwnym razie osłabiona konstrukcja ulegać będzie dalszej szybkiej degradacji przejawiającej się w postaci pęknięć płyt, obłamań krawędzi itp. W przypadku lotnisk, przemieszczenia krawędzi płyt do 1 cm nie stanowią czynnika, który eliminuje nawierzchnię z ruchu lotniczego, lecz ogranicza jej wykorzystanie. Powstanie progów między krawędziami sąsiednich płyt

nawierzchniowych powoduje wiele trudności w eksploatacji, takich jak zastojiska wody, powierzchnie oblodzone w okresie zimowym, deformacje niwelety i ich dalsze konsekwencje [5, 8]. Wystąpienie progów między krawędziami poszczególnych płyt wiąże się z pogorszeniem się stanu równości [2], może wpływać na nośność konstrukcji [3], co może spowodować negatywne konsekwencje dla poruszającego się po nich statku powietrznego.

Iniekcje geotechniczne

W zakresie napraw strukturalnych skutecznym i sprawdzonym rozwiązaniem są iniekcje geotechniczne, czyli nieuciążliwa i nieinwazyjna technologia wzmacniania i stabilizacji podłoża gruntowego oraz konstrukcji [1, 9]. Zapobiega to m. in. osuwaniu się gruntu, co skutkować może powstawaniem awarii czy katastrof budowlanych. Stabilizację gruntu stosuje się głównie w miejscach trudno dostępnych, gdzie mobilizacja ciężkiego sprzętu jest niemożliwa z przyczyn technicznych i ograniczeń ekonomicznych. Iniekcja z powodzeniem zastępuje technologię jet grouting w tego rodzaju sytuacjach. Nieodczownie towarzyszy zagadnieniu głębokiego fundamentowania, mikrotunelingu, umacniania skarp i wykopów.

Iniekcja do celów geotechnicznych jest procesem, w którym pompowalny materiał jest zdalnie wprowadzany do gruntu. Jest on pośrednio kontrolowany przez dobór własności reologicznych iniektu oraz parametrów włączania, tj. ciśnienia, objętości, wydatku. W zakresie iniekcji geotechnicznej wyróżnia się dwa jej typy [10]. Pierwszy to iniekcja bezprzemieszczeniowa wypełniająca, polegająca na zastąpieniu wody lub przestrzeni porowej w gruncie, iniektem lub zaprawą, bez wyraźnych przemieszczeń gruntu. Termin ten obejmuje iniekcję penetracyjną i wypełnienie objętościowe. Drugim typem jest iniekcja przemieszczeniowa (rozpychająca) – iniekcja podłoża w



2. Zastosowanie iniekcji geotechnicznej do unoszenia płyty w nawierzchni betonowej

taki sposób, że powoduje ona deformację, ściśnięcie lub przemieszczenie gruntu [10].

Technologia wykonania dotyczy procesu iniekcji stabilizującej suche i wilgotne grunty jak i wypełnienie ubytków, kawern oraz pustych przestrzeni w strukturze gruntu. Zakres użycia uzależniony jest od temperatury i mieści się w granicach: $+3^{\circ}\text{C}$ - $+30^{\circ}\text{C}$ dla materiałów na bazie żywic.

Zastosowanie inteligentnych dwukomponentowych materiałów szybkoosprawnych na bazie żywic eliminuje konieczność rozbiórki obiektu, prace iniekcyjne wykonywane są w sposób bezinwazyjny polegający na nawierceniu przez płyty nawierzchniowe prostopadłych otworów o średnicy nie większej niż 14 mm (rys. 2). Dokładny dobór parametrów iniektu powinien zostać poprzedzony wykonaniem badań, a w niektórych przypadkach odcinka próbnego celem rozpoznania sytuacji oraz doprecyzowania parametrów materiału iniekcijnego pod kątem spienialności (spienialny – ekspansywny, niespienialny, niskoekspansywny), lepkości (lepki, niskolepki), chłonności ze względu na zastany stan i rodzaj podłoża.

Materiały do iniekcji geotechnicznych

Materiały stosowane w iniekcjach wzmacniających to dwuskładnikowe systemy krzemianowo – izocjanianowe, otrzymywane przez zmieszanie składnika A i składnika B w stosunku objętościowym 1:1 [9]. Materiały takie

wykorzystywane są w drogownictwie do iniektowania i unoszenia elementów betonowych dróg, wypełniania mniejszych pustek oraz stabilizowania i konsolidowania luźnych skał i piasków. Ponadto służą do wzmacniania i uszczelniania kruchych i słabych warstw górotworu oraz węgla o różnych stopniach zawilgocenia, skłonnych do odspajania się od calizny. Służą także do uszczelniania wycieków wody i gazów.

Cechy charakterystyczne ww. materiałów to:

- wysoka wytrzymałość mechaniczna,
- uzyskiwanie w krótkim czasie zadanej wytrzymałości,
- niewrażliwość na wodę,
- niska temperatura utwardzania,
- dobre właściwości hydro- i gazoizolacyjne,
- właściwości antyelektrostatyczne,
- trudnopalność.

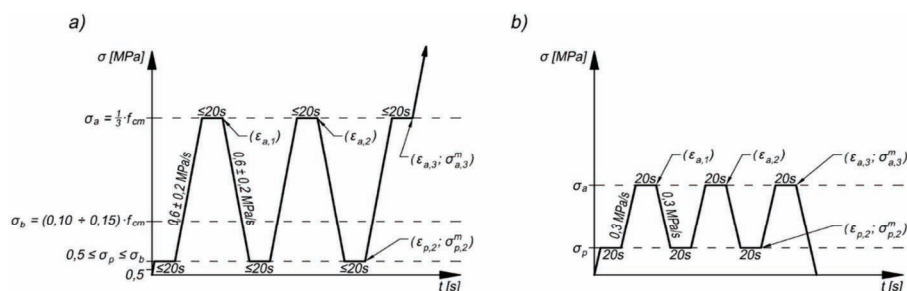
Przebieg prac związanych z iniekcją pod płytą betonową

- prace zabezpieczające;
- wytyczenie siatki otworów mianowicie co 1 – 1,5 m, przy krawędziach płyt co 0,5 - 1 m;
- nawiercenie prostopadłych otworów iniekcyjnych o śr. 14 – 16 mm na wskroś płyty w w/w siatce;
- osadzenie stalowych lanc iniekcyjnych w w/w otworach;
- wykonanie iniekcji niskociśnieniowej (do 20 bar) szybkoosprawną, konstrukcyjną żywicą.
- usunięcie lanc i zaślepienie otworów;

- prace porządkowe;
- sporządzenie raportu z przebiegu prac iniekcyjnych.

Sposób wykonania iniekcji

Iniekcja prowadzona jest przez bieżącą lancę aż do momentu zatamowania dalszego przepływu (gwałtowny wzrost ciśnienia i zatrzymanie pompy), pojawienia się „świeżej” żywicy w sąsiednim otworze iniekcyjnym lub osiągnięcia maksymalnego ciśnienia [9]. Zalecany kierunek iniekcji to systematyczne iniektowanie w jednym kierunku. Przy iniekcji wzmacniającej proces iniekcji rozpoczynamy z jednej strony i prowadzimy w miarę postępu w przeciwnym kierunku. W tym celu odpowiednia lanca iniekcyjna wyposażona jest w zawór zamykający. Przez tą lancę dokonuje się iniekcji do momentu, aż materiał wypełniający wydostanie się przez następną lancę, nastąpi gwałtowny wzrost ciśnienia lub ciągłość gruntu zostanie przerwana. Tu rozpoczyna się na nowo proces iniekcji, aż do uzyskania efektu w/w na kolejnej lancy. W niektórych miejscach może zajść potrzeba wykonania indywidualnej siatki rozmieszczenia lanc w celu ominięcia przeszkód lub braku dostępu. Iniekcja powinna być po możliwie jak najkrótszej przerwie kontynuowana. Przy jak najmniejszym ciśnieniu podającym można uzupełniać kończący się materiał wypełniający. Przerwa w iniekcji niesie ze sobą ryzyko niedostatecznego wypełnienia struktury iniektowanego ośrodka. Jeżeli przerwa jest niezbędna, należy



3. Wykres badania modułu sprężystości: a) wg PN-EN 12390-13:2014-02, metoda B; b) metoda zmodyfikowana



4. Badanie modułu sprężystości próbki materiału do iniekcji geotechnicznej, a) próbka z materiału Cover Geolift 2K przygotowana do badania b) widok próbki z materiału Cover Geopur 2K w maszynie wytrzymałościowej



5. Widok obniżenia krawędzi płyty na stanowisku postojowym (zalana wodą) – szczelina oznaczona nr 2



6. Nawiercenie otworów iniekcyjnych o średnicy 14-16 mm (zgodnie z wytyczoną siatką)

kontynuować iniekcję w następnym pakiecie, po stwardnieniu żywicy.

Maksymalne ciśnienie podczas iniekcji nie powinno przekraczać 20 bar. Natomiast niedopuszczalne jest rozzerwanie gruntu żyłą materiału i niekontrolowane tłoczenie iniektu w środowisko gruntu. Na pompie ciśnienie iniekcji można od czytać bezpośrednio na manometrze. Wyższe ciśnienie może prowadzić do sedimentacji materiału, rozwarstwienia gruntu lub uszkodzenia konstrukcji. Stan techniczny danego elementu budowlanego może także wymagać ograniczenia ciśnienia iniekcji.

Przykład zastosowania technologii iniekcji geotechnicznej na bazie żywic (polimerów) na nawierzchni lotniskowej

Technologię iniekcji niskociśnieniowej zastosowano do wyrównania płyty betonowej na płycie postoju samolotów na jednym z obiektów lotniskowych w Polsce.

Wstępnie, w Zakładzie Lotniskowym Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w warunkach laboratoryjnych wykonano badania modułu sprężystości dwóch materiałów stosowanych w technologii iniekcji niskociśnieniowej, celem wytypowania jednego z nich do zastosowania w badaniach terenowych. Próbkę do badań wykonano z materiałów dwukomponentowych: Cover Geolift 2K i Cover Geopur 2K, stosowanych w technologii iniekcji wypełniającej i rozpychającej. Sieczny ustabilizowany moduł sprężystości określono metodą B wg PN-EN 12390-13:2014-02 [11], zmodyfikowaną empirycznie (rys. 3). Do wykonania badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową do prób statycznych typu 50-C9842 firmy Controls oraz 3 czujniki odkształceń typu 55-C0222/G firmy Controls o ustawionej bazie pomiarowej $L_0 = 120 \text{ mm}$ i zakresie pomiarowym $118,5 \div 121,5 \text{ mm}$ (rys. 4). Wyniki badań przedstawiono w tab. 1. Ostatecznie, do prac

terenowych wytypowano materiał Cover Geolift 2K, dla którego średnia wartość siecznego ustabilizowanego modułu sprężystości wyniosła 680 MPa.

Widok skławiszowanych płyt pokazano na rys. 5. Po oczyszczeniu badanej nawierzchni oczyszczarką lotniskową, nawiercono otwory iniekcyjne (rys. 6) zgodnie z wytyczoną siatką, w których osadzono stalowe lance iniekcyjne (rys. 7), po czym wykonano iniekcje niskociśnieniową, kontrolując w trakcie robót przemieszczenia konstrukcji (rys. 8).

Przed rozpoczęciem prac i po wykonaniu iniekcji wykonano badanie nośności (współpracy płyt betonowych), równości oraz badania georadarowe. Układ konstrukcyjny stanowiły warstwy: beton nawierzchniowy o grubości 20 cm, warstwa poślizgowa (papa) oraz podłoże gruntowe (piasek średni).

Badania georadarowe wykonano wykorzystując system georadarowy RIS MF HI-MOD#1 włoskiej firmy IDS, wyposażony w antenę dwuczęstotliwościową o zakresie 600-2000 MHz. W trakcie pomiarów, ze względu występujące zawilgocenie powierzchni elementu oraz lokalnie występujące kałuże, zasięg głębokościowy georadaru wyniósł ok. 1,0 m p.p.t. Na rys. 9 przedstawiono profil charakterystyczny dla analizowanego obszaru przed iniekcją, a na rys. 10 – profil charakterystyczny po iniekcji. Na poszczególnych profilach numerami oznaczono widoczne szczeliny dylatacyjne pomiędzy płytami. Występujące zaniżenie spągu warstwy położonej bezpośrednio pod konstrukcją unoszonej płyty pozwala sądzić, iż nastąpiło zmniejszenie stopnia zagęszczenia gruntu w tym rejonie, względem podłoża znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie. Najprawdopodobniej w wyniku tego zjawiska nastąpiło przemieszczenie się płyty betonowej. Badania georadarowe wykonane po przeprowadzeniu zabiegu iniekcji wykazały zmiany w podłożu gruntowym położonym

Tab. 1. Zestawienie wyników badań siecznego ustabilizowanego modułu sprężystości przy ściskaniu materiału Cover Geolift 2K i Cover Geopur 2K

nr próbki	Cover Geolift 2K					Cover Geopur 2K				
	d	$\epsilon_{p,2}$	$\epsilon_{a,3}$	$\Delta\epsilon_s$	E_{CS}	d	$\epsilon_{p,2}$	$\epsilon_{a,3}$	$\Delta\epsilon_s$	E_{CS}
	[mm]	[10 ⁻⁶]	[10 ⁻⁶]	[10 ⁻⁶]	[MPa]	[mm]	[10 ⁻⁶]	[10 ⁻⁶]	[[10 ⁻⁶]	[MPa]
1	155,0	389,1	4516,5	4127,4	680	153,0	472,9	4705,1	4232,2	1540
2	155,0	326,8	4517,0	4190,2	670	153,0	847,7	4722,1	3874,4	1680
3	155,0	571,1	4661,5	4090,4	680	153,0	881,1	4924,8	4043,7	1610
	Wartość średnia				680	Wartość średnia				1610



7. Osadzenie w nawierconych otworach, stalowych lanc iniekcyjnych



a)



b)



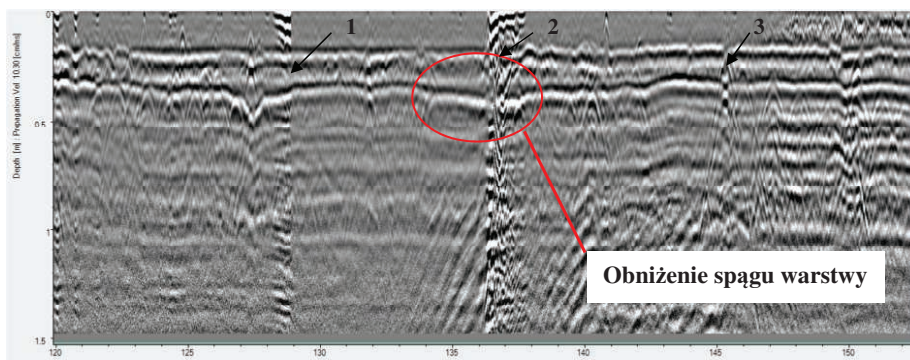
c)

8. Wykonanie iniekcji niskociśnieniowej zabezpieczonej folią płyty (a). Kontrolowanie w trakcie robót iniekcyjnych przemieszczeń konstrukcji (b, c)

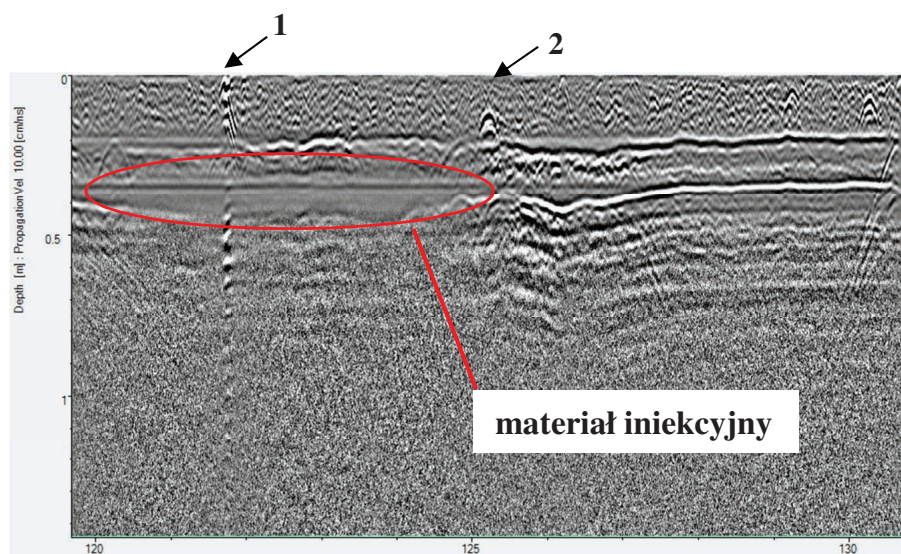
bezpośrednio pod konstrukcją płyty. Na echogramach zauważono obszar wykazujący inną charakterystykę w porównaniu do podłoża gruntowego. W powiązaniu z przeprowadzonymi zabiegami należy przypuszczać, iż jest to wprowadzony materiał iniekcyjny. Znaczna część materiału została wprowadzona pod płytę bezpośrednio są-

siadającą z płytą podnoszoną.

Pomiary nierówności wykonano przy pomocy łaty o długości 3 m. Ocenę stanu równości nawierzchni przeprowadzono na podstawie kryterium wadliwości, zgodnie z NO-17-A502:2015 i NO-17-A204:2015 [12, 14]. Pomiary odbywały się na losowo wybranych miejscach, na których



9. Echogram prezentujący profil podłużny (obejmujący 4 płyty) uzyskany w wyniku pomiaru georadarem przed wykonaniem iniekcji. Numerami oznaczono szczeliny dylatacyjne



10. Echogram prezentujący profil podłużny uzyskany w wyniku pomiaru po wykonaniu iniekcji



11. Ugięciomierz udarowy typu HWD podczas pomiarów ugięć sprężystych

nie było przeszkód mogących mieć wpływ na wartość mierzonych nierówności. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że stan równości po wykonaniu iniekcji polepszył się o 3,7 % względem wyników uzyskanych przed wykonaniem iniekcji.

Badanie współpracy sąsiadujących ze sobą płyt betonowych, wbudowanych w nawierzchnię badanego obszaru, wykonano za pomocą ciężkiego ugięciomierza lotniskowego typu

HWD (Heavy Weight Deflectometer). Na rys. 11 przedstawiono ugięciomierz udarowy typu HWD w trakcie wykonywania pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni badanego odcinka w miejscu połączenia płyt betonowych. Badanie przeprowadzono dokonując pomiarów ugięć sprężystych na krawędziach sąsiadujących ze sobą płyt betonowych ocenianej nawierzchni lotniskowej płytą o średnicy 450 mm, z siłą przekazywaną na nawierzchnię

nię wynoszącą około 200 kN. Wyniki badania współpracy płyt betonowych przed i po wykonaniu iniekcji zestawiono w tab. 2. W czasie badań wykonano również pomiary ugięć sprężystych na środku płyty betonowej przed wykonaniem iniekcji (stan odniesienia) i po wykonaniu zabiegu, zgodnie z normą NO-17-A500:2016 i NO-17-A204:2015 [13, 14]. Następnie w wyniku przeprowadzonej analizy porównano wartości pomierzonych ugięć sprężystych i wartości modułów zastępczych konstrukcji (tab. 3). Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że współpraca między płytami przed wykonaniem iniekcji była ograniczona i średnia wartość współczynnika przenoszenia obciążeń wynosiła 66,1%. Po wykonaniu iniekcji wartość średnia współczynnika przenoszenia obciążeń wyniosła 83,4%, co oznacza dobrą współpracę płyt. Biorąc pod uwagę powyższe, należy stwierdzić, że badana technologia wpływa na poprawę współpracy płyt przy przenoszeniu obciążenia. Wyniki pomiarów ugięć sprężystych wskazują, że wykonana iniekcja przyczyniła się do zwiększenia ugięć sprężystych nawierzchni (1075,4 μm) o 34,3% względem stanu sprzed wykonania zabiegu (800,8 μm). Średnia wartość obliczonego modułu zastępczego konstrukcji nawierzchni po wykonaniu iniekcji (515,1 MPa) zmniejszyła się o 25,4% względem stanu odniesienia (690,6 MPa).

Podsumowanie

Ze względu na zachodzące procesy destrukcyjne w betonie i pojawiające się w związku z tym uszkodzenia betonu, istotne jest wykonywanie okresowych przeglądów stanu technicznego nawierzchni, które pozwalają na monitorowanie zachodzących zmian i jednocześnie planowanie prac utrzymaniowych polegających na wykonywaniu napraw oraz zabiegów zabezpieczających. W przypadku lotnisk wszelkiego rodzaju uszkodzenia

płyt, stwarzają zagrożenie dla bezpieczeństwa poruszających się statków powietrznych.

Technologia iniekcji niskociśnieniowej z wykorzystaniem szybkosprawnych żywic iniekcyjnych (geopolimerów) pozwala na poziomowanie płyt w nawierzchni betonowej bez konieczności rozbiórki obiektu (demontażu płyt) z jednoczesnym przywróceniem wymaganych parametrów nawierzchni odnośnie do równości. W wyniku iniekcji następuje też dogęszczenie, konsolidacja rozluźnionych mas gruntu, wypełnienie pustych przestrzeni, wypełnienie warstw wodonośnych.

Na lotniskach w Polsce brak jest doświadczenia w stosowaniu technologii iniekcji geotechnicznych do usuwania progów między krawędziami sąsiednich płyt betonowych. Z tego względu wykonany odcinek doświadczalny będzie przedmiotem obserwacji i dalszych badań, dotyczących zmian parametrów konstrukcji w czasie. ◀

Materiały źródłowe

- Artykuły

- [1] Poteraj-Oleksiak A.: Wzmacnianie podłoża gruntowego i podbudowy dróg betonowych przy pomocy iniekcji geopolimerowych. II Suwalskie Forum Drogowe, Suwałki, 16.03.2018 r.
- [2] Wesołowski M., Pietruszewski P., Poświata A., Kowalska D. Ocena równości nawierzchni lotniskowych w aspekcie obowiązujących dokumentów normatywnych. Przegląd komunikacyjny, 2018, R. 73 nr 12, 24-29.
- [3] Wesołowski M., Blacha K., Rumak A. Influence of the load bearing capacity a concrete airfield pavement constructions on the safety of air operations. Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference, 2019, nr DOI: 10.3850/978-981-11-2724-3-0500-cd.
- [4] Wesołowski M., Iwanowski P.: APCI Evaluation Method for Cement

- Concrete Airport Pavements in the Scope of Air Operation Safety and Air Transport Participants Life, Int. J. Environ. Res. Public Health, 17(5), 1663, 2020.
- Książki
- [5] P. Nita: Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, 2008.
- [6] M. Y. Shahin: Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. Springer, 2006.
- [7] A. Szydło: Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Polski Cement, 2004.
- [8] M. Wesołowski: Kompleksowa ocena stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, 2020.
- Dokumenty elektroniczne

- [9] www.covertechnologies.com, 23.09.2021.

- Opracowania techniczne lub inne
- [10] Norma PN-EN 12715:2021-05 Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych. Iniekcja
- [11] Norma PN-EN 12390-13:2014-02 Badania betonu. Część 13. Wyznaczanie siecznego modułu sprężystości przy ściskaniu.
- [12] Norma obronna NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości.
- [13] Norma obronna NO-17-A500:2016 Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badanie nośności.
- [14] Norma obronna NO-17-A204:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań.

Tab. 2. Wyniki badania współpracy płyt betonowych przed wykonaniem iniekcji (stan odniesienia) i po wykonaniu iniekcji

Punkt pomiarowy	Naprężenie pod płytą	Siła zrzutu	Ugięcie czujnika nr 2	Ugięcie czujnika nr 3	J
	[kPa]	[kN]	[μm]	[μm]	[%]
Badania przed iniekcją					
1	1277,00	203,02	1580,20	967,80	61,2
2	1233,00	196,07	1051,00	694,20	66,1
3	1253,00	199,28	2009,30	1387,50	69,1
4	1226,00	194,95	1177,10	766,30	65,1
5	1243,00	197,66	1355,50	864,20	63,8
6	1232,00	195,91	1132,70	808,10	71,3
Wartość średnia:					66,1
Badania po iniekcji					
1	1251,00	198,88	977,90	727,90	74,4
2	1224,00	194,59	798,10	726,10	91,0
3	1217,00	193,48	1055,60	828,20	78,5
4	1235,00	196,34	1089,60	858,70	78,8
5	1245,00	198,01	879,10	736,60	83,8
6	1248,00	198,45	751,10	705,00	93,9
Wartość średnia:					83,4

Tab. 3. Wyniki pomiarów ugięć sprężystych

Stan nawierzchni w trakcie pomiaru	Naprężenie pod płytą	Siła zrzutu	Ugięcie	Moduł zastępczy
	[kPa]	[kN]	[μm]	[MPa]
Przed wykonaniem iniekcji (stan odniesienia)	1229,00	195,51	800,80	690,6
Po wykonaniu iniekcji	1231,00	195,83	1075,40	515,1