

Betonowa płyta prefabrykowana jako technologia odtwarzania uszkodzonych, lokalnych powierzchni lotniskowych

A concrete prefabricated slab as a technology for reconstructing damaged, local airfield pavements



Mariusz Wesołowski

Pplk dr inż.

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Lotniskowy

mariusz.wesolowski@itwl.pl



Bartosz Świerzewski

Mgr inż.

Urząd Lotnictwa Cywilnego, Departament Lotnisk

Streszczenie: Wiek obecnie eksploatowanych lotniskowych nawierzchni betonowych w Polsce niejednokrotnie przekracza 30 lat. Tak długi okres użytkowania nawierzchni zobligował do poszukiwania skutecznych i szybkich technologii ich odbudowy. W artykule szczegółowo przedstawiono technologię szybkiej odbudowy lotniskowych płyt betonowych z zastosowaniem płyt prefabrykowanych. Omówiona technologia gwarantuje odtworzenie, a nawet poprawę stanu nośności wymienianych płyt lotniskowych, co zostało potwierdzone podczas badań laboratoryjnych, polowych oraz zweryfikowano praktycznie w procesie rzeczywistej eksploatacji w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Kraków-Balice.

Słowa kluczowe: Nawierzchnie lotniskowe; Beton cementowy; Degradacja nawierzchni betonowych; Nośność nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego; Płyta prefabrykowana

Abstract: The age of currently operated concrete airfield pavements in Poland exceeds 30 years operation period many times. Such a long working life of airfield pavements forced to search for the efficient and fast technologies of their reconstruction. The article described in detail the technologies of fast reconstruction of airfield concrete slabs using prefabricated slabs. The addressed technology guarantees the reconstruction and even the improvement of the condition of load-bearing capacity of mentioned airfield slabs which was confirmed during laboratory tests, field tests and practically verified in the real operation in the International Airport Kraków-Balice.

Keywords: Airfield pavements; Cement concrete; Deterioration of concrete pavements; Load-Bearing capacity of airfield pavements made of cement concrete; Prefabricated slab

W większości krajowych portów lotniczych nawierzchnie lotniskowe wykonane są w technologii betonu cementowego. Ich podstawowym zadaniem jest bezpieczne przeniesienie obciążeń użytkowych od statków powietrznych oraz obciążeń termicznych (naturalnych i wymuszonych) na podłoże gruntowe. Betonowe nawierzchnie lotniskowe eksploatowane w naszym kraju obejmują nawierzchnie nowo budowane i nawierzchnie będące w niedługim czasie przedmiotem remontu. Nawierzchnie eksploatowane oraz te, które przekraczają projektowany wiek użytkowania, wymagają szczególnej uwagi, gdyż można na nich zidentyfikować podstawowe uszkodzenia charakterystyczne dla betonowych nawierzchni lotniskowych.

Zdefiniowano 13 rodzajów uszkodzeń, w tym: uszkodzenia powierzchniowe (np. złuszczenia, pęknięcia włosowate), uszkodzenia punktowe (np. odpryski, odłamania naroży), uszkodzenia liniowe (np. pęknięcia szczelinowe, ubytki masy zalewowej w szczelinach dylatacyjnych). Omówiona w artykule technologia odtworzenia stanu technicznego pojedynczych, lokalnych, zdegradowanych płyt betonowych nawierzchni lotniskowych wykorzystuje płytowe elementy prefabrykowane. Opracowane rozwiązanie zapewnia odbudowę układu konstrukcyjnego o przyjętych własnościach fizycznych i mechanicznych, co potwierdziły uzyskane wyniki badań laboratoryjnych oraz poligonowych. Olbrzymią zaletą prezentowanej tech-

nologii jest bardzo krótki czas wykonania. Skuteczność rozwiązania została potwierdzona w warunkach nocnych podczas przerw operacyjnych w ruchu lotniczym.

Ocena stopnia zdegradowania nawierzchni lotniskowych wykonanych z betonu cementowego

Stan techniczny nawierzchni lotniskowych jest poddawany okresowym przeglądom, tzw. inwentaryzacji uszkodzeń, które obejmują każdy element funkcjonalny lotniska (EFL). Inwentaryzacji podlegają zarówno istniejące uszkodzenia, jak i te, które zostały poddane naprawie, gdyż wpływają one na poziom zdegradowania

nawierzchni EFL. Tak opracowany system inwentaryzacji uszkodzeń pozwala na określenie ich wielkości oraz umożliwia wyznaczenie ogólnego wskaźnika degradacji obiektu. Stopień zdegradowania nawierzchni, określony wskaźnikiem D, szacowany jest na podstawie wyników badań uzyskanych podczas wykonywania metodą wizualną przeglądów powierzchni nawierzchni obiektów lotniskowych. Wskaźnik oceny stopnia zdegradowania nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk oblicza się zgodnie z poniższym wzorem [1]:

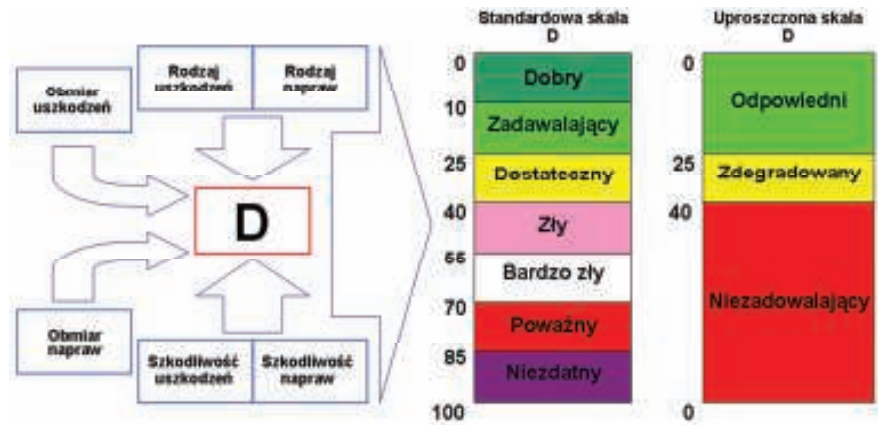
$$D = w_{BC}^U \times W_{BC}^U + w_{BC}^N \times W_{BC}^N \quad (1)$$

gdzie: w_{BC}^U – waga statystyczna ważności uszkodzeń w ocenie degradacji nawierzchni EFL; W_{BC}^U – wskaźnik charakteryzujący uszkodzenia EFL wykonanych z betonu cementowego; w_{BC}^N – waga statystyczna ważności napraw w ocenie degradacji nawierzchni EFL; W_{BC}^N – wskaźnik charakteryzujący naprawy EFL wykonanych z betonu cementowego.

Ocenę stanu płyt wykonanych z betonu cementowego, stanowiących podstawowe elementy nawierzchni lotniskowych wykonuje się w oparciu o wskaźniki charakteryzujące ich uszkodzenia. Wartość średnią arytmetyczną wskaźnika uszkodzeń płyty w_{BC}^U stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych wykonanych z betonu cementowego oblicza się w oparciu o wzór (2) (zamieszczony poniżej) [1]. Średni wskaźnik uszkodzeń płyty jest średnią sumy wskaźników charakteryzujących wszystkie 13 uszkodzeń na płycie wykonanej z betonu cementowego.

Wskaźniki charakteryzujące poszczególne uszkodzenia oblicza się według indywidualnych wzorów. Dla przykładu przedstawiono dwa wzory, które dotyczą złuszczeń płytkich oraz

$$\overline{w_{BC}^U} = \frac{W_{Ap}^U + W_{Bg}^U + W_{Pm}^U + W_{Pw}^U + W_{Op}^U + W_{Now}^U + W_{Ug}^U}{W_{Ps}^U + W_{Psszer}^U + W_M^U + W_{Pr}^U + W_O^U + W_{Wp}^U} \cdot 13 \quad (2)$$



1. Kryteria oceny stopnia zdegradowania nawierzchni EFL [1]

pęknięć szczelinowych.

Wskaźnik charakteryzujący uszkodzenia spowodowane złuszczeniami płytkami:

$$W_{Ap}^U = w_{Ap}^U p_{Ap}^U \frac{Ap^U}{F} \cdot 100 = w_{Ap}^U \frac{Ap^U \times 1}{F} \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie: A_p^U – uszkodzenia w postaci złuszczeń płytkich dla płyty stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych [m^2]; w_{Ap}^U – waga statystyczna ważności uszkodzeń w postaci złuszczeń płytkich w ocenie degradacji nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk; p_{Ap}^U – przelicznik uszkodzeń w postaci złuszczeń płytkich dla płyty stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych na powierzchnię.

Wskaźnik charakteryzujący uszkodzenia spowodowane pęknięciami szczelinowymi:

$$W_{Ps}^U = w_{Ps}^U p_{Ps}^U \frac{Ps^U}{F} \cdot 100 = w_{Ps}^U \frac{Ps^U \times 0,02}{F} \cdot 100 \quad (4)$$

gdzie: P_s^U – uszkodzenia w postaci pęknięć szczelinowych dla płyty stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych [m]; w_{Ps}^U – waga statystyczna ważności uszkodzeń w postaci pęknięć szczelinowych w ocenie degradacji nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk; p_{Ps}^U – przelicznik uszkodzeń w postaci pęknięć

szczelinowych dla płyty stanowiącej element podstawowy nawierzchni lotniskowych na powierzchnię.

Proces degradacji jest powolny i rozłożony w czasie, polega głównie na obniżeniu właściwości konstrukcji poprzez oddziaływanie czynników zewnętrznych, co powoduje zmiany zachodzące w jej strukturze.

Wpływ rodzajów uszkodzeń i napraw na bezpieczeństwo eksploatacji statków powietrznych uwzględnia się w obliczeniach poprzez przyjęcie wag szacowanych w oparciu o metodę ekspertów.

Standardowa skala oceny stopnia zdegradowania nawierzchni obejmuje siedem poziomów. Można także stosować skalę uproszczoną, trzypoziomową, w której dla każdego poziomu przypisano klasy determinujące stan nawierzchni. Poziom pierwszy – pożądany, obejmuje nawierzchnie nowe, odnowione i eksploatowane, przy założeniu, że w ciągu kolejnych pięciu lat nawierzchnie te nie będą wymagały planowanych prac remontowych. Poziom drugi – ostrzegawczy, identyfikuje stan nawierzchni jako taki, w którym uzasadnione jest wykonanie badań szczegółowych w kierunku przeprowadzenia zabiegów poprawiających stan nawierzchni. Ostatni poziom – krytyczny, determinuje natychmiastowe wykonanie badań techniczno-eksploatacyjnych w celu ustalenia czynności mających za zadanie wprowadzenie zabiegów poprawiających stan nawierzchni lub

wyłączenie obiektu z eksploatacji. Na rys. 1 przedstawiono kryteria oceny stopnia zdegradowania nawierzchni EFL.

Wymagania eksploatacyjne dla technologii wymiany lotniskowych płyt prefabrykowanych

Materiały stosowane do napraw betonowych nawierzchni lotniskowych po-winny charakteryzować się własnościami fizyko-chemicznymi zbliżonymi do ułożonego betonu i zapewnić odtworzenie parametrów eksploatacyjnych. Przede wszystkim powinny gwarantować bezpieczeństwo statkom powietrznym przy wykonywaniu operacji lotniczych [9]. Technologie wymiany całych, zdegradowanych płyt betonowych muszą gwarantować odtworzenie wymaganego stanu nośności, równości i szorstkości.

Wytrzymałość na odrywanie

Wytrzymałość na odrywanie jest jednym z podstawowych kryteriów odbiorczych dla betonowych nawierzchni lotniskowych, zgodnie z normą NO-17-A204:2015 „Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań” [2]. Ocenę wytrzymałości na odrywanie warstwy powierzchniowej lotniskowej nawierzchni betonowej należy wykonywać na podstawie badań poligonowych. Badania te wykonuje się również w warunkach laboratoryjnych i wówczas ich wyniki mogą być podstawą do oceny wstępnej. Pomiar należy przeprowadzić zgodnie z normą PN EN 1542:2000 „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie” [3]. Sprawdzanie wytrzymałości na odrywanie należy wykonywać dla każdego elementu funkcjonalnego lotniska, zgodnie z metodyką podaną w [2].

Szorstkość

Szorstkość to bardzo ważny parametr eksploatacyjny określający liczbową wartość współczynnika tarcia koła statku powietrznego po nawierzchni lotniskowej, który ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Wymagania dotyczące szorstkości nawierzchni lotniskowych wraz z charakterystyką metod pomiaru zostały opisane w normie NO-17-A501:2015 „Nawierzchnie lotnisko-we. Badanie szorstkości” [4]. W warunkach krajowych badanie szorstkości najczęściej wykonywane jest za pomocą testera szorstkości nawierzchni lotniskowych ASFT (Airport Surface Friction Tester). Jest to urządzenie do ciągłego pomiaru współczynnika tarcia, rekomendowane przez ICAO (International Civil Aviation Organization). Pomiar realizowane są na mokrej nawierzchni lotniskowej. Wynikiem badania szorstkości nawierzchni lotniskowych jest średnia wartość zmierzonego współczynnika tarcia.

Równość

Równość nawierzchni decyduje nie tylko o komforcie ruchu, lecz również ma wpływ na wielkość dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię. Uzyskanie wymaganej równości to także warunek skutecznego i szybkiego odprowadzenia wód opadowych z nawierzchni lotniskowych. Nawet na niewielkich nierównościach nawierzchni mogą się tworzyć zastoiska wody, które w okresie zimowym pogarszają warunki bezpieczeństwa ruchu. Ocenę równości nawierzchni lotniskowych przeprowadza się zgodnie z normą NO-17-A502:2015 „Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości” [5]. Pomiar wykonuje się za pomocą zmodernizowanego planografu P-3z w kierunku podłużnym i poprzecznym, z częstotliwością co 10 cm. Ocena stanu równości jest przeprowadzana zgodnie z kryterium wadliwości, opisanym w [5].

Nośność

Ocenę nośności nawierzchni lotniskowych wykonuje się metodą ACN-PCN (Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number), zgodnie z normą NO-17-A500:2016 „Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności” [6]. Metoda ta służy do wyrażenia związku między oddziaływaniem samolotu na nawierzchnię i reakcją nawierzchni na generowane obciążenia. Do badania nośności nawierzchni lotniskowych stosuje się ciężki ugięciomierz udarowy typu HWD (Heavy Weight Deflectometer). W ramach badań wykonuje się pomiary ugięć sprężystych nawierzchni, na podstawie których wyznacza się wartość wskaźnika nośności PCN i/ lub dopuszczalną liczbę operacji lotniczych dla przyjętego typu samolotu obliczeniowego.

Odtworzenie stanu technicznego uszkodzonej, betonowej nawierzchni lotniskowej z wykorzystaniem płyty prefabrykowanej

Technologia remontu (naprawy, wymiany) zniszczonych, lokalnych płyt lotniskowych z wykorzystaniem lotniskowych płyt prefabrykowanych zakłada odbudowę bardzo zdegradowanych płyt betonowych i doprowadzenie ich do takiego stanu technicznego, który nie będzie zagrażał bezpieczeństwu statków powietrznych podczas wykonywania operacji lotniczych.

Opis technologii

Technologia wymiany uszkodzonych płyt lotniskowych z wykorzystaniem płyt prefabrykowanych obejmuje posadowienie płyty na odpowiednio przygotowanej podbudowie nawierzchni lotniskowej. Płytę prefabrykowaną należy ułożyć na odpowiednio przygotowanym podlewie z zaprawy bezskurczowej [9]. Warstwa

Tab. 1. Wyniki badania nasiąkliwości betonu

| Numer próbki | Masa próbki [g] | | Nasiąkliwość [%] |
|-----------------|-----------------|--------|------------------|
| | nasyconej | suchej | |
| 1 | 7828 | 7536 | 3,9 |
| 2 | 7983 | 7693 | 3,8 |
| 3 | 7831 | 7531 | 4,0 |
| 4 | 7834 | 7540 | 3,9 |
| 5 | 7824 | 7539 | 3,8 |
| 6 | 7920 | 7615 | 4,0 |
| Wartość średnia | 7870 | 7576 | 3,9 |

zaprawy musi mieć taką grubość, aby rzędne wysokościowe położonej płyty były zgodne z rzędnymi płyt sąsiadujących. Gdy powierzchnia płyty będzie wystawać ponad istniejącą nawierzchnię, wówczas należy sfrezować jej górną powierzchnię na max. grubość równą 20 mm. Następnie sfrezowaną powierzchnię płyty należy pokryć środkami zabezpieczającymi, które będą chronić naruszoną strukturę płyty w warstwie przypowierzchniowej. Sfrezowana i zabezpieczona powierzchniuowo płyta prefabrykowana musi spełniać wymagania szorstkości dla nawierzchni lotniskowych.

Wymiary prefabrykowanej płyty żelbetowej to: 2,50×5,00 m i grubość 0,21 m. Jest ona wykonana z betonu klasy C35/45 i w swoim przekroju poprzecznym posiada następujące zbrojenie główne ze stali klasy A-III:

- zbrojenie górne w postaci prętów żebrowanych o \varnothing 14 mm w rozstawie 30×30 cm,

Tab. 2. Wyniki badań mrozoodporności betonu

| Numer próbki | Masa próbki [g] | | Ubytek masy ΔG [%] | Wytrzymałość R_f [MPa] | Spadek wytrzymałości ΔR_f [%] |
|--------------|-----------------|------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| | przed badaniem | po badaniu | | | |
| 1 | 7940 | 7925 | 0,22 | 51,9 | 15,3 |
| 2 | 7815 | 7795 | | 46,4 | |
| 3 | 7860 | 7840 | | 49,2 | |
| 4 | 7800 | 7775 | | 45,8 | |
| 5 | 7930 | 7915 | | 52,1 | |
| 6 | 7925 | 7915 | | 52,0 | |
| 7 | próbki-świadki | | | 55,7 | |
| 8 | | | | 60,1 | |
| 9 | | | | 56,2 | |
| 10 | | | | 61,4 | |
| 11 | | | | 58,1 | |
| 12 | | | | 59,7 | |

- zbrojenie dolne w postaci prętów żebrowanych o \varnothing 14 lub 16 mm w rozstawie 15×15 cm.

Lotniskowa płyta prefabrykowana została poddana sprawdzającym badaniom materiałowym, które przeprowadzono w laboratorium Instytutu Materiałów i Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej oraz badaniom poligonowym, które wykonał Zakład Lotniskowy ITWL w miejscu jej wbudowania, czyli na nawierzchni płyty postojowej samolotów w Międzyna-rodowym Porcie Lotniczym Kraków-Balice.

Badania laboratoryjne

Zakres badań laboratoryjnych obejmował badania wytrzymałości betonu

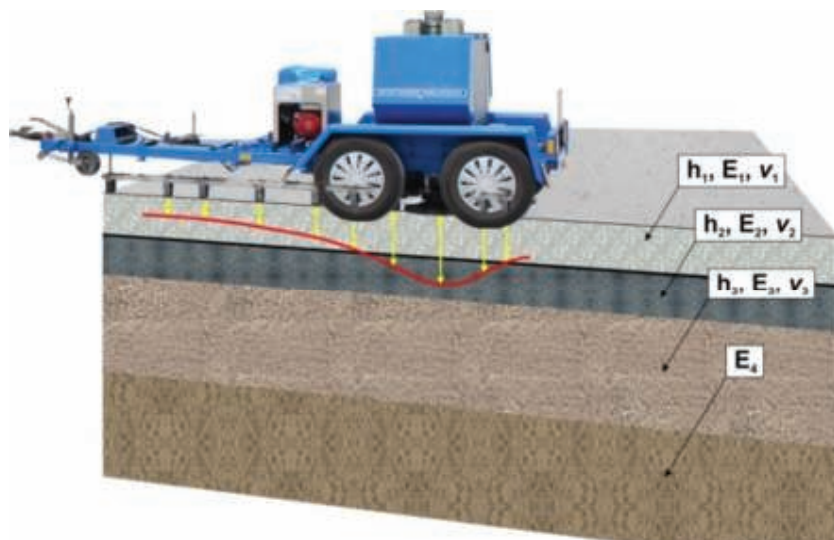
na ściskanie, wykonane zgodnie z normą PN-EN 12390-3 Badania betonu – Część 3: „Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania” [7] oraz badania nasiąkliwości wagowej betonu i badania odporności betonu na działanie mrozu, wykonane zgodnie z normą PN-88/B-06250 „Beton zwykły” [8], pkt 6.4 i 6.5. Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych przedstawiono w kolejnych punktach.

Wytrzymałość na ściskanie

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie (badanie niszczące) przeprowadzono na 12 próbkach (kostkach) sześciennych o wymiarach 15×15×15 cm i uzyskano średnią wartość wytrzymałości na ściskanie równą 50,2 MPa. Otrzymane wyniki potwierdziły, że beton cementowy, z którego wykonano płytę prefabrykowaną spełnił wymagania dla betonu klasy C35/45.

Nasiąkliwość

Badania nasiąkliwości wagowej betonu wykonano na sześciu próbkach sześciennych o wymiarach 15×15×15 cm. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 1. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że badany beton cementowy spełnił wymagania ww. normy, gdyż jego nasiąkliwość nie przekroczyła dopuszczalnej wartości 5%.



2. Schemat pomiaru ugięć sprężystych przy pomocy urządzenia HWD

Mrozoodporność betonu

Badania odporności betonu na działanie mrozu wykonano na 12 próbkach sześciennych o wymiarach 15×15×15 cm. Liczba cykli zamrażania-odmrażania wynosiła 150. Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że badany beton cementowy spełnił wymagania dla stopnia mrozoodporności F150, gdyż ubytek masy próbek po badaniu jest mniejszy niż 5%, a średni spadek wytrzymałości na ściskanie nie przekroczył 20%.

Ocena nośności nawierzchni lotniskowej PPS

Zakres badań poligonowych obejmował ocenę nośności płyty prefabrykowanej wbudowanej w nawierzchnię lotniskową płaszczyzny postoju samolotów na lotnisku Kraków-Balice, którą przeprowadzono na podstawie zarejestrowanych wyników pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni pod obciążeniem udarowym [6]. Badania nawierzchni wykonano ugięciomierzem lotniskowym typu HWD zgodnie z wymaganiami normy obronnej NO-17-A500:2016 [6].

W czasie badań dokonywano zrzutów z siłą około 200 kN (symulacja nacisku koła samolotu typu ciężkiego) na płytę naciskową o średnicy 450 mm spoczywającą na nawierzchni lotniskowej. W czasie pomiarów terenowych ugięcia sprężyste zostały zmierzone w siedmiu punktach pomiarowych na przedmiotowej płycie prefabrykowanej (środek płyty, naroża i krawędzie płyty) oraz na środku płyt betonowych przylegających do badanej płyty prefabrykowanej. Schemat pomiaru ugięć sprężystych przy pomocy urządzenia HWD przedstawiono na rys. 2.

Oceniana nawierzchnia lotniskowa posiadała następujący układ konstrukcyjny:

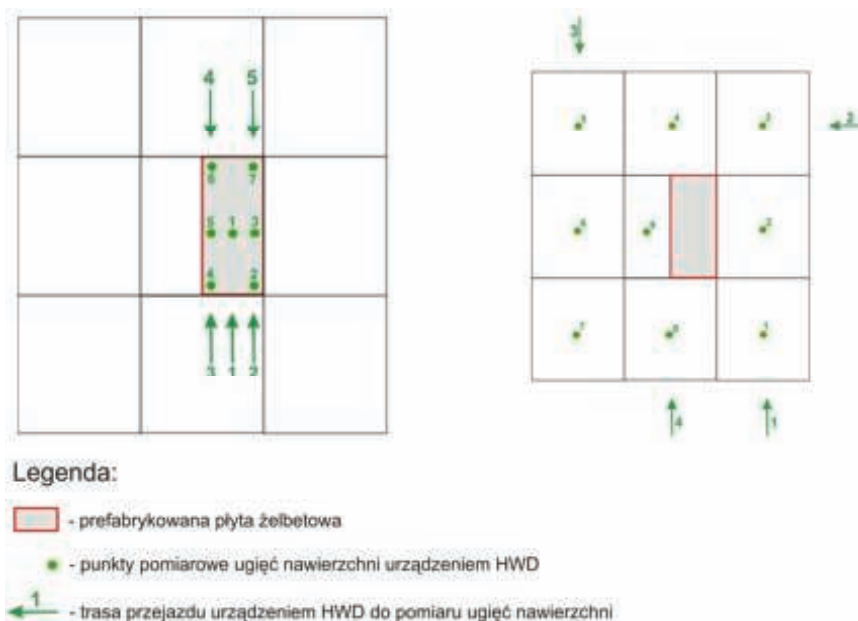
- warstwa jezdna – beton cemento-

Tab. 3. Wyniki badań prefabrykowanej płyty żelbetowej

| Punkt pomiarowy | Naprężenie pod płytą [kPa] | Siła zrzutu [kN] | Ugięcie [μm] | Moduł zastępczy [MPa] |
|-----------------|----------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 1254,00 | 199,41 | 346,20 | 1630,0 |
| 2 | 1302,00 | 207,04 | 334,20 | 1753,1 |
| 3 | 1241,00 | 197,42 | 394,90 | 1414,2 |
| 4 | 1436,00 | 228,31 | 338,40 | 1909,6 |
| 5 | 1238,00 | 196,90 | 377,80 | 1474,6 |
| 6 | 1245,00 | 197,93 | 326,30 | 1717,0 |
| 7 | 1285,00 | 204,37 | 322,10 | 1795,2 |
| Wartość średnia | | | 348,60 | 1670,5 |

Tab. 4. Wyniki badań przyległych płyt betonowych z całego obszaru badań

| Punkt pomiarowy | Naprężenie pod płytą [kPa] | Siła zrzutu [kN] | Ugięcie [μm] | Moduł zastępczy [MPa] |
|-----------------|----------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1 | 1252,00 | 199,17 | 439,10 | 1283,1 |
| 2 | 1228,00 | 195,27 | 471,00 | 1173,2 |
| 3 | 1244,00 | 197,85 | 442,20 | 1265,9 |
| 4 | 1275,00 | 202,70 | 358,60 | 1600,0 |
| 5 | 1278,00 | 203,23 | 335,70 | 1713,1 |
| 6 | 1251,00 | 198,93 | 340,80 | 1651,8 |
| 7 | 1255,00 | 199,57 | 382,20 | 1477,6 |
| 8 | 1234,00 | 196,26 | 463,20 | 1198,8 |
| 9 | 1247,00 | 198,37 | 440,30 | 1274,5 |
| Wartość średnia | | | 408,10 | 1404,2 |



3. Plan pomiarów ugięć na ocenianej płycie żelbetowej oraz płytach sąsiadujących

- wy klasy B-35 o gr. 21 cm,
- warstwa poślizgowa – asfalt piaskowy o gr. 2 cm,
- górna warstwa podbudowy – beton cementowy klasy B-15 o gr. 20 cm,
- dolna warstwa podbudowy – chudy beton klasy B-7,5 o gr. 15 cm,
- warstwa odsączająca – podsypka

- piaskowa o gr. 15 cm,
 - podłoże rodzime.
- Szczegółowe plany obszaru badań z rozstawem punktów pomiarowych, zamieszczono na rys. 3.

Uzyskane wyniki pomiarów ugięć sprężystych płyt betonowych w wyznaczonym obszarze badań przedstawiono w tabelach 3 i 4. Moduły

zastępcze obliczono wg wzoru:

$$E_z = \frac{2qr}{d} \quad (5)$$

gdzie: E_z – moduł zastępczy konstrukcji [MPa], q – naprężenie pod płytą dociskową [kPa], r – promień płyty dociskowej, d – ugięcie w osi płyty.

Przedstawione powyżej wyniki potwierdzają, że badana płyta prefabrykowana posiada wyższą nośność w porównaniu do sąsiadujących płyt lotniskowych. Średnia wartość ugięć

zmierzonych na analizowanej płycie prefabrykowanej (348,6 μm) jest o 15% niższa od średniej wartości ugięć pomierzonych na płytach sąsiadujących. Natomiast wartość obliczonego modułu zastępczego konstrukcji nawierzchni z płytą prefabrykowaną (1670,5 MPa) jest o 19% większa od modułu zastępczego dla płyt sąsiadujących. Można zatem stwierdzić, że zastosowana technologia remontu z wykorzystaniem prefabrykowanej płyty żelbetowej przyczyniła się

do poprawy nośności badanych płyt lotniskowych. Widok płyty prefabrykowanej wbudowanej w nawierzchnię lotniskową płaszczyzny postoju samolotów na lotnisku Kraków-Balice przedstawia fotografia (rys. 4).

Ocena nośności nawierzchni lotniskowej drogi startowej

Badania poligonowe obejmujące ocenę i analizę stanu nośności lotniskowych płyt prefabrykowanych wbudowanych w nawierzchnię lotniskową drogi startowej na lotnisku Kraków-Balice wykonano zgodnie z metodyką opisaną powyżej. Badania wykonano w ciągu trzech ostatnich lat na podstawie zarejestrowanych wyników pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni pod obciążeniem udarowym.

Oceniana konstrukcja nawierzchni lotniskowej wykonanej z płyt prefabrykowanych posiada następujący układ konstrukcyjny:

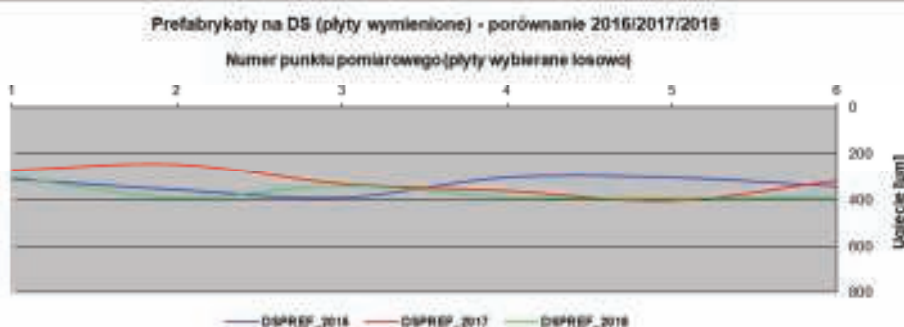
- warstwa jezdna – płyta prefabrykowana z betonu klasy C35/45 o gr. 21 cm,
- warstwa wyrównawcza – beton asfaltowy o gr. 10 cm,
- warstwa podbudowy – beton cementowy klasy B-15 o gr. 21 cm,
- warstwa stabilizacji gruntu cementem o gr. 15 cm,
- podłoże gruntowe.

Uzyskane wyniki w trakcie przeprowadzonych pomiarów ugięć dla wybranych losowo płyt prefabrykowanych przedstawiono w tabeli 5 oraz na rys. 5. Na rys. 6 przedstawiono w postaci graficznej porównanie średnich wartości ugięć sprężystych określonych w latach 2016, 2017, 2018 dla prefabrykatów.

Na podstawie zmierzonych wartości ugięć sprężystych, dla badanych lotniskowych płyt prefabrykowanych wyznaczono czasę ugięć, a następnie naprężenia w nawierzchni lotniskowej. Wyznaczony aktualny wskaźnik nośności PCN na tej podstawie oraz dopuszczalną, całkowitą liczbę operacji lotniczych dla przyjętego samolotu



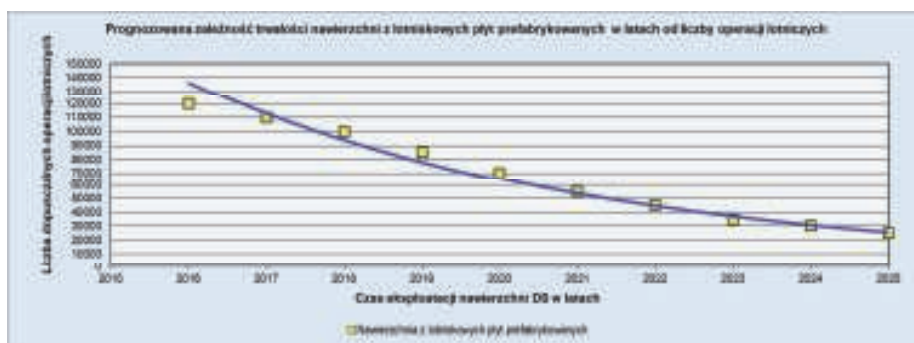
4. Płyta prefabrykowana na nawierzchni lotniskowej PPS na lotnisku Kraków-Balice



5. Przebieg ugięć sprężystych dla prefabrykatów – porównanie badań z lat 2016, 2017, 2018



6. Średnie wartości ugięć sprężystych dla prefabrykatów – porównanie badań z lat 2016, 2017, 2018



7. Prognozowana zależność trwałości nawierzchni z lotniskowych płyt prefabrykowanych w latach od liczby operacji lotniczych

obliczeniowego typu Boeing 737-800 przedstawiono poniżej w tabeli 6. Natomiast na rys. 7 zaprezentowano uzyskane wyniki nośności z przeprowadzonych badań terenowych w latach 2016–2018 oraz szacowaną prognozę zależności trwałości nawierzchni z lotniskowych płyt prefabrykowanych od czasu jej przyszłej eksploatacji.

Na podstawie przeprowadzonych badań nośności można stwierdzić, iż technologia wymiany płyt z zastosowaniem elementów prefabrykowanych zapewnia odtworzenie stanu nośności płyt betonowych i jej utrzymanie na poziomie zapewniającym bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Technologia ta znacznie wpływa na poprawę stanu nośności konstrukcji nawierzchni drogi startowej [10].

Podsumowanie

W polskich warunkach klimatycznych najlepiej sprawdzają się nawierzchnie lotniskowe wykonane z betonu cementowego ponieważ mają wysoką odporność mrozową, odporność na działanie środków do odładzania stosowanych w okresie zimowym, wysoką wytrzymałość na ściskanie i zginanie, a także dobrą przyczepność kół statków powietrznych do nawierzchni.

Intensywny i bardzo długi okres eksploatacji nawierzchni lotniskowych, czasami dłuższy niż przewidziany okres użytkowania, wymusił poszukiwanie nowych, skutecznych i szybkich technologii do odbudowy zniszczo-

nych płyt lotniskowych. Odtworzenie stanu nośności pojedynczych, zdegradowanych płyt betonowych z wykorzystaniem technologii lotniskowych płyt prefabrykowanych zostało poddane szczegółowemu sprawdzeniu w warunkach laboratoryjnych i terenowych.

Opisana technologia zapewnia szybkie i skuteczne odtworzenie stanu nośności zdegradowanych, betonowych nawierzchni lotniskowych. Tym samym umożliwia bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych statkom powietrznym.

Szczególną zaletą omawianej technologii jest bardzo krótki czas wykonania, który nie przekracza 4–5 godzin i jest uzależniony od przerw w ruchu lotniczym pomiędzy realizowanymi operacjami lotniczymi. ◀

Materiały źródłowe

[1] Zieja M., Barszcz P., Blacha K., Wesołowski M.: The evaluation method of degradation degree of runway pavement surfaces constructed from cement concrete. Safety and Reliability – Theory and Applications, Čepin, Briš (eds). Taylor & Francis Group, London 2017.

Tab. 5. Wyniki ugięć sprężystych dla prefabrykatorów – porównanie badań z lat 2016, 2017, 2018

| Płyta | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------|--------|--------|--------|
| 1 | 311,60 | 270,30 | 300,80 |
| 2 | 358,40 | 245,10 | 392,30 |
| 3 | 391,80 | 332,80 | 340,50 |
| 4 | 304,90 | 362,90 | 389,50 |
| 5 | 305,60 | 405,00 | 393,70 |
| 6 | 344,10 | 318,90 | 387,50 |

Tab. 6. Wyniki nośności dla wskaźnika PCN 52 – lotniskowe płyty prefabrykowane

| Element Funkcjonalny Lotniska | Wskaźnik nośności PCN | Całkowita liczba operacji lotniczych | | |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------|---------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 |
| DS (lotniskowe płyty prefabrykowane) | 52/R/B/W/T | 120 000 | 110 000 | 100 000 |

- [2] NO-17-A204:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań.
- [3] PN-EN 1542:2000 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie.
- [4] NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie szorstkości.
- [5] NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości.
- [6] NO-17-A500:2016 Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności.
- [7] PN-EN 12390-3 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania.
- [8] PN-88/B-06250 Beton zwykły.
- [9] Wesołowski M., Poświęta A., Jakubek M.: Szybkie technologie odtwarzania stanu technicznego uszkodzonych nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego, IX Konferencja Dni Betonu, Wisła 2016.
- [10] Wesołowski M., Świerzewski B., Kowalewska A., Jakubek M.: Lotniskowa płyta prefabrykowana – skuteczna technologia odtworzenia stanu nośności zdegradowanych nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego. X Konferencja Dni Betonu, Wisła 2018.