

## **Szybkie technologie odtwarzania stanu technicznego uszkodzonych nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego**

RAPID RESTORATION TECHNOLOGIES OF THE TECHNICAL CONDITION OF DAMAGED CEMENT CONCRETE AIRPORT PAVEMENTS

### **Streszczenie**

Transport lotniczy to jeden z najbardziej dynamicznie rozwijających się rodzajów transportu w Polsce, o czym świadczą statystyki z ostatnich lat w ruchu pasażerskim oraz cargo krajowych Portów Lotniczych. Wzrost ruchu lotniczego to także zwiększone oddziaływanie statków powietrznych na nawierzchnie lotniskowe. Podstawowym rodzajem nawierzchni lotniskowych, który dobrze sprawdza się w naszych warunkach klimatycznych są nawierzchnie z betonu cementowego. Potwierdza to ich wysoka odporność mrozowa, odporność na działanie środków odladzających stosowanych w okresie zimowym, wysoka wytrzymałość na ściskanie i zginanie, a także dobra przyczepność kół statków powietrznych do nawierzchni. Właściwie zaprojektowana i przede wszystkim prawidłowo wykonana nawierzchnia lotniskowa z betonu cementowego charakteryzuje się znacznie dłuższą trwałością, którą aktualnie ocenia się nawet na więcej niż 30 lat. Obecnie w procesie eksploatacji są nawierzchnie betonowe, których wiek znacznie przekracza ww. okres użytkowania. Należy jednak zaznaczyć, że nawierzchnie te posiadają już typowe oznaki uszkodzeń, które są charakterystyczne dla nawierzchni betonowych. Bardzo długi, złożony i intensywny okres eksploatacji płyt betonowych, poddawanych coraz większym oddziaływaniom obciążeń od współczesnych statków powietrznych, wymusił poszukiwanie skutecznych technologii do szybkiej odbudowy zniszczonych płyt lotniskowych.

W niniejszym referacie przedstawiono wybrane technologie szybkiej odbudowy uszkodzonych nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego, których dalsza eksploatacja w sposób bezpośredni zagraża bezpieczeństwu wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Technologie odtworzenia stanu technicznego pojedynczych płyt betonowych

nawierzchni lotniskowych, wykorzystujące elementy prefabrykowane oraz beton wałowany, zostały szczegółowo sprawdzone w warunkach laboratoryjnych i terenowych oraz praktycznie zweryfikowane kilkuletnim procesem intensywnej eksploatacji ruchem lotniczym w wybranych, krajowych Portach Lotniczych. Omówiono wpływ zastosowanych technologii na odtworzenie wymaganego stanu nośności wymienianych płyt lotniskowych, z uwagi na typy i rodzaje statków powietrznych operujących na polskich lotniskach. Ponadto, zwrócono uwagę na bardzo krótki czas zastosowania przedmiotowych technologii, który nie przekracza 4-5 godzin i jest uzależniony od przerw w ruchu lotniczym pomiędzy realizowanymi operacjami lotniczymi w warunkach nocnych.

## Abstract

Air transport has been one of the most dynamically developing means of transport in Poland, as evidenced by the statistics of passenger traffic and cargo of national Airports in recent years. The air traffic growth also means an increased impact of aircraft on airport pavements. The primary type of the airport pavement, which works well in our climatic conditions, includes cement concrete pavements. It is confirmed by their high resistance to frost and de-icing agents used in the winter, as well as high compressive and bending strength, and a good grip of the aircraft wheels. The properly designed, and in particular, correctly constructed cement concrete airport pavement is characterized by significantly longer durability, which is currently estimated at even more than 30 years. The currently used concrete pavements' age considerably exceeds the above-mentioned life. However, it should be noted that these pavements have typical signs of damage, which are characteristic of concrete pavements. A very long, complex and intense operation period of concrete slabs, subjected to steadily growing load effects of modern aircraft, forced the search for effective technologies aimed at the rapid restoration of damaged airport pavements.

This paper presents selected technologies for the rapid restoration of damaged cement concrete airport pavements, the further operation of which directly poses a threat to the safety of air operations. The restoration technologies of the technical condition of the individual airport pavement concrete slabs, with precast units and roller-compacted concrete, were thoroughly tested in the laboratory and terrain conditions and practically verified by a multi-year process of the intense air traffic operation in the selected national Airports. Furthermore, the impact of the applied technologies on restoration of the required load capacity of replaced airport pavements, due to the types and kinds of aircraft operating at the Polish airports was discussed. In addition, attention was paid to a very short time period of using these technologies, which does not exceed 4-5 hours and is dependent on the air traffic interruption between the air operations carried out at night.

## 1. Wstęp

Elementy funkcjonalne lotniska, wchodzące w skład pola naziemnego ruchu lotniczego i przeznaczone do kołowania, postoju i obsługi statków powietrznych w większości krajowych Portów Lotniczych posiadają nawierzchnie lotniskowe wykonane w technologii betonu cementowego. Ich podstawowym zadaniem jest bezpieczne przeniesienie obciążeń użytkowych od statków powietrznych oraz obciążeń termicznych (naturalnych i wymuszonych) i przekazanie ich na podłoże gruntowe. Obowiązujące dotychczas Polskie Normy zostały wycofane w związku z wejściem naszego kraju do Unii Europejskiej, dlatego też zaistniała potrzeba opracowania nowej wersji normy, która będzie zsynchronizowana z obowiązującymi aktami prawnymi i będzie uwzględniała postanowienia norm europejskich [1]. W opracowanej i wdrożonej normie NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań* [2], położono nacisk na: stosowanie odpowiednich materiałów, w tym głównie kruszyw, cementów oraz dodatków do betonu i jego modyfikatorów. Do konstrukcji warstwy jezdnej nawierzchni lotniskowych wymaga się stosowania najlepszych gatunków cementów tzn. cementy portlandzkie, czystoklinkierowe CEM I o wytrzymałości najczęściej od 32,5 MPa do 52,5 MPa. Do wytworzenia betonu nawierzchniowego wymaga się stosowania przede wszystkim kruszyw granitowych. Kruszywa wysokiej jakości, których właściwości określono w ww. normie, mogą nie być dostępne w dostatecznej ilości. Dlatego wykonawcy robót poszukują kruszyw pochodzących z innych skał, których stosowanie każdorazowo powinno być poprzedzone kompleksowym cyklem badań normowych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na warunki eksploatacji nawierzchni. Coraz częściej zdarza się, że wykonawcy stosują kruszywa pochodzące z krajów sąsiednich, między innymi z Niemiec, Ukrainy lub Szwecji.

Wzrost operacji lotniczych zarówno w ruchu pasażerskim, jaki i cargo to przede wszystkim zwiększone oddziaływanie statków powietrznych na nawierzchnie lotniskowe. Będące w eksploatacji betonowe nawierzchnie lotniskowe w naszym kraju obejmują bardzo szerokie spectrum, czyli nawierzchnie nowo budowane, użytkowane i nawierzchnie będące przedmiotem remontu. Szczególnej uwagi wymagają nawierzchnie będące w procesie eksploatacji oraz nawierzchnie, których wiek przekracza projektowany okres użytkowania i które są już przedmiotem prac remontowych. Na nawierzchniach tych można zidentyfikować podstawowe typy i rodzaje uszkodzeń charakterystycznych dla betonowych nawierzchni lotniskowych, czyli: złuszczenia powierzchniowe (płytkie i głębokie), pęknięcia włosowate i mrozowe, odpryski pomargłowe, odłamania i wykruszenia krawędzi oraz naroży płyt betonowych, ubytki głębokie, pęknięcia szczelinowe, progi, ubytki masy zalewowej w szczelinach dylatacyjnych oraz coraz częściej spotykane płyty betonowe kwalifikowane do wymiany. Przedstawiony powyżej zakres uszkodzeń betonowych nawierzchni lotniskowych, wymaga posiadania skutecznych i sprawdzonych technologii do szybkiej odbudowy płyt lotniskowych będących w eksploatacji.

W rozdziale 3 i 4 zostaną omówione dwie, wybrane technologie szybkiej odbudowy betonowych płyt lotniskowych, które zostały zakwalifikowane do wymiany ze względu na bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Przedmiotowe technologie odbudowy pojedynczych płyt betonowych zakładają wykorzystanie elementów prefabrykowanych oraz betonu wałowanego do odtworzenia ich stanu technicznego. Prace remontowe mogą być wykonywane tylko w przerwach pomiędzy realizowanymi operacjami lotniczymi (najczęściej w warunkach

nocnych), zaś dopuszczalny czas zastosowania ww. technologii nie może przekraczać 4–5 godzin.

## 2. Wymagania dla technologii remontowych stosowanych na betonowych nawierzchniach lotniskowych

Ze względu na procesy destrukcyjne zachodzące w betonie i pojawiające się w związku z tym uszkodzenia betonu, istotne jest wykonywanie okresowych przeglądów stanu technicznego nawierzchni lotniskowych, tzw. inwentaryzacji uszkodzeń. Wszelkiego rodzaju uszkodzenia płyt, stwarzają zagrożenie dla bezpieczeństwa poruszających się statków powietrznych. Inwentaryzację uszkodzeń nawierzchni lotniskowych wykonuje się bezpośrednio na obiekcie, uaktualniając i rejestrując stan uszkodzeń dla każdego elementu funkcjonalnego lotniska i poszczególnych płyt. Zazwyczaj stosuje się metodę wizualną. Inwentaryzację wykonuje się na znormalizowanych podkładach, w systemie „płytowym”, tzn. inwentaryzuje się każdą płytę na lotnisku (zazwyczaj o wymiarach 5 x 5 m). Inwentaryzuje się zarówno istniejące uszkodzenia, jak i uszkodzenia naprawione. Taka „podwójna” inwentaryzacja pozwala bowiem nie tylko na określenie wielkości uszkodzeń na lotnisku, ale także umożliwia wyznaczenie ogólnego wskaźnika degradacji obiektu. W Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych (ITWL) do oceny nawierzchni lotniskowych wykonanych z betonu cementowego, pod względem stanu technicznego, przyjęto uszkodzenia, które podzielono na trzy grupy: uszkodzenia powierzchniowe (np. złuszczenia, pęknięcia włosowate), uszkodzenia punktowe (np. odpryski, odłamania naroży) oraz uszkodzenia liniowe (np. pęknięcia szczelinowe, ubytki masy zalewowej w szczelinach dylatacyjnych).

Mając powyższe na uwadze, materiały stosowane do napraw betonowych nawierzchni lotniskowych powinny charakteryzować się własnościami fizyko-mechanicznymi zbliżonymi do ułożonego betonu i zapewnić odtworzenie parametrów eksploatacyjnych. Przede wszystkim powinny gwarantować bezpieczeństwo statkom powietrznym podczas wykonywania operacji lotniczych. Jednym z podstawowych, wprowadzonych kryteriów odbiorczych dla betonowych nawierzchni lotniskowych jest sprawdzenie wytrzymałości warstwy powierzchniowej na odrywanie, zgodnie z normą NO-17-A204:2015 [2].

Ocenę wytrzymałości na odrywanie warstwy powierzchniowej lotniskowej nawierzchni betonowej należy wykonać na podstawie badań poligonowych. Wynik badania uzyskany z zastosowaniem próbek laboratoryjnych może być podstawą do oceny wstępnej. Pomiar przeprowadzić należy zgodnie z normą PN-EN 1542:2000 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Metody badań – Pomiar przyczepności przez odrywanie* [3]. Kryteria oceny są następujące:

- średnia wytrzymałość warstwy powierzchniowej nowych (wiek do 10 lat) lotniskowych nawierzchni betonowych powinna wynosić nie mniej niż 2,0 MPa, przy czym uzyskana wartość pojedynczego pomiaru nie powinna być mniejsza niż 1,8 MPa;
- minimalna wytrzymałość warstwy powierzchniowej lotniskowych nawierzchni betonowych eksploatowanych w okresie dłuższym niż 10 lat powinna wynosić nie mniej niż 1,8 MPa, przy czym uzyskana wartość pojedynczego pomiaru nie powinna być mniejsza niż 1,6 MPa.

Sprawdzanie wytrzymałości na odrywanie należy wykonywać dla każdego elementu funkcjonalnego lotniska, zgodnie z metodyką podaną w [2].

Technologie remontu (wymiany) całych, zdegradowanych płyt betonowych muszą spełniać wszystkie wymagania w zakresie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne, czyli gwarantować odtworzenie wymaganego stanu nośności, równości i szorstkości.

## 2.1. 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* [4]. Przedmiotowa metoda wyraża związek 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.

## 2.2. Równość

Stan równości decyduje nie tylko o komforcie ruchu po nawierzchni lotniskowej, 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]. Pomiary 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, podanym w [5].

## 2.3. 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 lotniskowe. Badanie szorstkości* [6]. 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*). Pomiary realizowane są na mokrej nawierzchni lotniskowej. Wynikiem badania szorstkości nawierzchni lotniskowych jest średnia wartość zmierzonego współczynnika tarcia.

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

Technologia remontu (wymiany) zniszczonych płyt lotniskowych z wykorzystaniem prefabrykowanych płyt żelbetonowych została opracowana przez firmę REKMA Sp. z o.o. Zakłada odbudowę bardzo zdegradowanych płyt betonowych i doprowadzenie ich do takiego stanu technicznego, który nie będzie zagrażał bezpieczeństwu statków powietrznych podczas wykonywania operacji lotniczych.

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. Grubość warstwy zaprawy należy tak dobrać, aby rzędne wysokościowe położonej płyty były zgodne z rzędnymi płyt sąsiednich. W przypadku wystawiania powierzchni płyty ponad istniejącą nawierzchnię, 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 powierzchniowo płyta prefabrykowana musi spełniać wymagania szorstkości dla nawierzchni lotniskowych.

Prefabrykowana płyta żelbetowa posiada wymiary: 2,50 x 5,00 m i grubość 0,21 m. Jest 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 x 30 cm,
- zbrojenie dolne w postaci prętów żebrowanych o  $\varnothing$  14 lub 16 mm w rozstawie 15 x 15 cm.

Oceniana, prefabrykowana płyta żelbetowa 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 lotniskowej płaszczyzny postoju samolotów (PPS) w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Kraków-Balice.

#### 3.1. Wytrzymałość na ściskanie

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie wykonano zgodnie z normą PN-EN 12390-3 *Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania* [7]. Badania niszczące przeprowadzono na 12 próbkach (kostkach) sześciennych o wymiarach 15 x 15 x 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.

#### 3.2. Nasiąkliwość

Badania nasiąkliwości wagowej betonu wykonano zgodnie z normą PN-88/B-06250 *Beton zwykły* [8], pkt. 6.4 na 6 próbkach sześciennych o wymiarach 15 x 15 x 15 cm. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki 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

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że przedmiotowy beton cementowy spełnił wymagania ww. normy, gdyż jego nasiąkliwość nie przekroczyła dopuszczalnej wartości 5%.

### 3.3. Mrozoodporność betonu

Badania odporności betonu na działanie mrozu wykonano zgodnie z wymaganiami normy PN-88/B-06250 *Beton zwykły*, pkt. 6.5 na 12 próbkach sześciennych o wymiarach 15 x 15 x 15 cm. Ilość cykli zamrażania-odmrażania wynosiła 150. Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki badań mrozoodporności betonu

Numer próbki	Masa próbki [g]		Ubytek masy $\Delta G$ [%]	Wytrzymałość $R_i$ [MPa]	Spadek wytrzymałości $\Delta R_i$ [%]
	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		

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że przedmiotowy 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%.

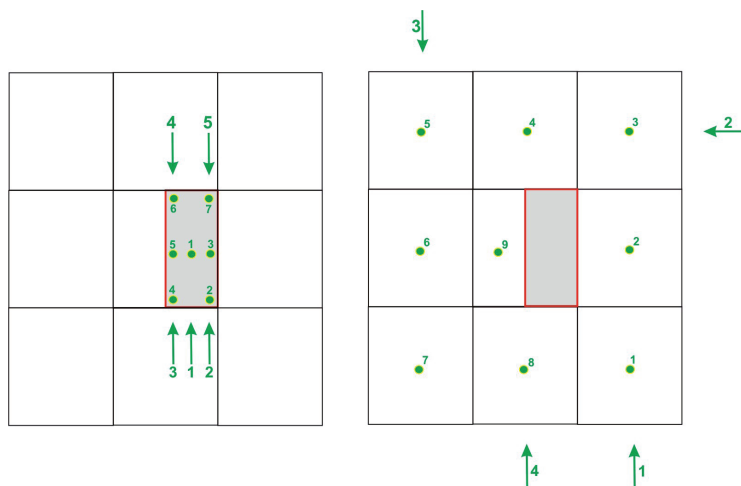
### 3.4. Badanie nośności

Ocenę nośności płyty prefabrykowanej wbudowanej w nawierzchnię lotniskową płaszczyzny postoju samolotów na lotnisku Kraków-Balice przeprowadzono na podstawie zarejestrowanych wyników pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni pod obciążeniem udarowym. Badania nawierzchni wykonano ugięciomierzem lotniskowym typu HWD zgodnie z wymaganiami normy obronnej NO-17-A500:2016 [4].

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 7 punktach pomiarowych na przedmiotowej płycie prefabrykowanej (środek płyty, naroża i krawędzie płyty) oraz na środku płyt betonowych przylegających do badanej płyty prefabrykowanej. Od użytkownika obiektu lotniskowego uzyskano informacje na temat konstrukcji badanego obszaru nawierzchni lotniskowej PPS w rejonie wbudowanej płyty prefabrykowanej. Oceniana nawierzchnia lotniskowa posiadała następujący układ konstrukcyjny:

- warstwa jezdna – beton cementowy 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 rysunku 1.



Legenda:

- prefabrykowana płyta żelbetowa

● - punkty pomiarowe ugięć nawierzchni urządzeniem HWD

← 1 - trasa przejazdu urządzeniem HWD do pomiaru ugięć nawierzchni

Rys. 1. Plan pomiarów ugięć na ocenianej płycie żelbetowej oraz płytach sąsiadujących



Uzyskane wyniki pomiarów ugięć sprężystych płyt betonowych w wyznaczonym obszarze badań przedstawiono w tabelach 3 i 4. Moduły zastępcze obliczono wg wzoru:

$$E_z = \frac{2qr}{d} \quad (1)$$

gdzie:

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

Tabela 3. Wyniki badań dla badanej, prefabrykowanej płyty żelbetowej

Punkt pomiarowy	Naprężenie pod płytą [kPa]	Siła zrzutu [kN]	Ugięcie [ $\mu\text{m}$ ]	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
<b>Wartość średnia:</b>			<b>348,60</b>	<b>1670,5</b>

Tablica 4. Wyniki badań dla przyległych płyt betonowych z całego obszaru badań

Punkt pomiarowy	Naprężenie pod płytą [kPa]	Siła zrzutu [kN]	Ugięcie [ $\mu\text{m}$ ]	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
<b>Wartość średnia:</b>			<b>408,10</b>	<b>1404,2</b>

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  $\mu\text{m}$ ) 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 1.



Fot. 1. Płyta prefabrykowana na nawierzchni lotniskowej PPS na lotnisku Kraków-Balice

#### **4. Odtworzenie stanu technicznego uszkodzonej, betonowej nawierzchni lotniskowej z wykorzystaniem betonu wałowanego**

Szybka technologia odtworzenia stanu technicznego uszkodzonych płyt betonowych nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem betonu wałowanego została także opracowana przez firmę REKMA Sp. z o.o. Opracowana technologia zakłada szybką wymianę (odbudowę) bardzo zdegradowanych płyt betonowych i doprowadzenie ich do takiego stanu technicznego, który nie będzie zagrażał bezpieczeństwu statków powietrznych podczas wykonywania operacji lotniczych. Przedmiotowa technologia remontu obejmuje między innymi poniżej wymienione czynności:

- usunięcie występujących uszkodzeń na wytypowanej płycie lotniskowej, np. poprzez sfrezowanie na wymaganą głębokość,
- przygotowanie podłoża i wbudowanie mieszanki betonowej, zagęszczanej poprzez wałowanie o grubości min. 10 cm i max. 35 cm,
- skropienie betonu emulsją asfaltową,
- wbudowanie mieszanki mineralno-asfaltowej o grubości ok. 4–6 cm.

Z recepty na mieszankę betonową stosowaną do wykonania podbudowy naprawianej płyty lotniskowej wynika, że należy stosować kruszywo łamane, granitowe o max. uziarnieniu do 16 mm. Wbudowaną mieszankę betonową należy zagęszczać mechanicznie poprzez wałowanie, najlepiej walcem o masie do 2 ton. Następnie na wykonaną podbu-

dowę betonową nanosi się „na zimno” emulsję asfaltową w postaci natrysku pneumatycznego. W górną warstwę naprawianej płyty lotniskowej wbudowuje się mieszankę mineralno-asfaltową o max. temperaturze +150°C. Naprawioną płytę dopuszcza się do eksploatacji, gdy temperatura warstwy ścieralnej spadnie do +60°C. Bardzo istotnym elementem omawianej technologii remontu jest czas wykonania naprawy, który wynosi zaledwie 4 godz. od momentu przystąpienia do prac budowlanych.

Technologia wymiany zdegradowanych płyt betonowych (o wymiarach 5,0 x 5,0 m) nawierzchni lotniskowych z wykorzystaniem betonu wałowanego została szczegółowo przebadana przez Zakład Lotniskowy ITWL i z powodzeniem zastosowana praktycznie na dużą skalę w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Katowice w Pyrzowicach.

Płyty betonowe do wymiany zostały wytypowane na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji uszkodzeń. Przed wykonaniem naprawy, płyty betonowe na całej swojej powierzchni posiadały liczne pęknięcia szczelinowe, które występowały również w rejonie naroży i krawędzi płyt. Rodzaj występujących uszkodzeń na przedmiotowych płytach lotniskowych świadczył o ich złym stanie technicznym oraz obniżonej nośności. Widok płyty betonowej wytypowanej do wymiany przedstawia fotografia 2.



Fot. 2. Płyta betonowa zakwalifikowana do wymiany

Omawiana technologia wymiany płyt betonowych z wykorzystaniem betonu wałowanego została szczegółowo przebadana przez Zakład Lotniskowy ITWL zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i terenowych.

#### **4.1. Sprawdzenie konstrukcji nawierzchni**

Sprawdzenie układu konstrukcyjnego nawierzchni wymienionych płyt lotniskowych przeprowadzono na podstawie wykonanych pięciu odwiertów rdzeniowych o średnicy 100 i 150 mm. Próbkę pobrano zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12504-1:2011 *Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Odwierty rdzeniowe – Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie* [9]. W tabeli 5 przedstawiono poszczególne warstwy układu konstrukcyjnego płyt lotniskowych, zidentyfikowane wykonanymi odwiertami rdzeniowymi.

Tabela 5. Identyfikacja nawierzchni badanej płyty lotniskowej

Rodzaj warstwy	Identyfikacja nawierzchni na podstawie odwiertów rdzeniowych				
	1 [ø 150]	2 [ø 150]	3 [ø 150]	4 [ø 100]	5 [ø 100]
Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego.	4,5 cm	5,5 cm	5,0 cm	5,5 cm	5,0 cm
Beton cementowy wałowany.	9,0 cm	8,0 cm	10,0 cm	9,5 cm	8,5 cm
Beton cementowy starej nawierzchni lotniskowej.	18,5 cm	---	---	---	18,0 cm

Widok nawierzchni płyt lotniskowych po wykonanych odwiertach przedstawia fotografia 3.



Fot. 3. Odwierty rdzeniowe pobrane z badanych płyt lotniskowych

## 4.2. Badania wytrzymałościowe

### 4.2.1. Wytrzymałość na ściskanie

Próbki do badań wytrzymałościowych (niszczących) przygotowano z odwiertów rdzeniowych o średnicy 150 mm, pobranych z obiektu lotniskowego Katowice. Górne i dolne powierzchnie walców wyrównano (poprzez szlifowanie) tak, aby uzyskać gładkie i równoległe płaszczyzny. Wytrzymałość betonu na ściskanie dla próbek pobranych z badanych płyt lotniskowych obliczono wg normy PN-V-83002:1999 *Lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania ogólne i metody badań* [10].

$$R_i = 10 \times \omega \times \xi \times \frac{P}{A} \quad (2)$$

gdzie:

$P$  – siła niszcząca [kN],

$A$  – powierzchnia rzeczywista próbki [ $\text{cm}^2$ ],  
 $\omega$  – współczynnik przeliczeniowy, ze względu na wymiary próbki:  
 $\omega = 1,05 + 2h/300$ ,  
 $h$  – wysokość próbki [ $\text{cm}$ ],  
 $\xi$  – współczynnik przeliczeniowy ze względu na wiek próbki – dla wieku próbek od 28 do 60 dni  $\xi = 0,90$ .

Natomiast zgodnie z normą PN-EN 12504-1:2011 zaleca się, aby stosunek długości do średnicy odwiertu wynosił 2,0, jeśli wynik pomiaru wytrzymałości będzie się odnosił do wytrzymałości badanej na walcach oraz 1,0, jeśli wynik pomiaru będzie się odnosił do wytrzymałości badanej na próbkach sześciennych. Zgodnie z normą PN-EN 13369:2013 *Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu* [11], w celu określenia wartości wytrzymałości walcowej lub kostkowej należy stosować odpowiednie współczynniki przeliczeniowe z uwagi na kształt i wymiary próbek. W ww. normie podano, że wytrzymałość uzyskiwaną na odwiertach rdzeniowych o długości równej średnicy od 100 mm do 150 mm można przyjąć jako równoważną wytrzymałości uzyskiwanej na próbkach sześciennych o boku 150 mm dojrzewających w tych samych warunkach. Zgodnie z załącznikiem H normy PN-EN 13369:2013 wytrzymałość znormalizowaną (walcową) w zależności od wytrzymałości  $f'$  i stosunku  $h/d$ , można wyznaczyć z równania:

$$f^o = f' / \{1,20 - 0,20[1 - e^{-1,7(h/d-1)}]\} \quad (3)$$

gdzie:

$f'$  – wytrzymałość uzyskana z bezpośrednich pomiarów,  
 $d$  – średnica odwiertów powinna spełniać warunek:  $d \geq 50 \text{ mm}$ ,  
 $h$  – wysokość odwiertu,  $h$  nie powinna być mniejsza niż  $0,7d$ .

Zatem wytrzymałość betonu na ściskanie dla przygotowanych próbek obliczono wg normy PN-EN 13369:2013. Otrzymane wyniki potwierdziły, że beton cementowy zagęszczony poprzez wałowanie uzyskał bardzo dobre i zbliżone wartości wytrzymałości na ściskanie. Wynik średniej wytrzymałości na ściskanie wyniósł **56,3 MPa**, co wskazuje że wbudowany beton spełnił wymagania dla żądanej klasy C35/45 a nawet C40/50.

#### 4.2.2. Badanie wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

Badania sprawdzające wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu, tzw. „metodą brazylijską” przeprowadzono na 6 próbkach walcowych o średnicy 150 mm. Badania niszczące wykonano zgodnie z normą PN-EN 12390-6:2011 *Badania betonu. Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badania* [12]. Wyniki obliczono zgodnie z poniższym wzorem i zestawiano w tabeli 6.

$$R = \frac{2F}{\pi L d} \quad (4)$$

gdzie:

$R$  – wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu [MPa],  
 $L$  – długość próbki do badania [mm],  
 $d$  – wymiar przekroju poprzecznego próbki [mm],  
 $F$  – maksymalne obciążenie [kN].

Dla lotniskowych nawierzchni betonowych współczynnik przeliczeniowy stosowany przy przeliczaniu wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu walca na wytrzymałość betonu na rozciąganie przy zginaniu wynosi 1,5.

Tabela 6. Wyniki wytrzymałości betonu wałowanego na rozciąganie przy rozłupywaniu

Identyfikacja badanej próbki	Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa]
1-1/2	4,2	6,3
278-6/2	5,1	7,7
432-5/2	3,7	5,6
311-5/2	4,0	6,0
386-6/2	3,1	4,7
435-5/2	3,3	5,0
<b>Wartość średnia:</b>		<b>5,9</b>

Otrzymane wyniki potwierdziły, że beton cementowy zagęszczony poprzez wałowanie uzyskał dobre wartości wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu. Uzyskana średnia wartość wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu równa **5,9 MPa**, wskazuje że wbudowany beton spełnił wymagania normy NO-17-A204:2015.

### 4.3. Sprawdzenie mrozoodporności w wodzie metodą zwykłą

Badania sprawdzające mrozoodporność betonu wałowanego polegały na poddaniu próbek w postaci odwiertów rdzeniowych o średnicy 150 mm 200 cyklom zamrażania (w temperaturze  $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ ) i odmrażania w wodzie (w temperaturze  $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Badania mrozoodporności w wodzie przeprowadzono zgodnie z procedurą badawczą PB-LL-01 wyd.1 z dn. 01.10.2008 r., opracowaną na podstawie normy PN-88/B-06250 *Beton zwykły* pkt. 6.5. Zakres badań obejmował:

- oględziny zewnętrzne,
- oznaczenie wytrzymałości na ściskanie próbek po 200 cyklach zamrażania-odmrażania oraz próbek świadków przetrzymywanych w wodzie przez cały czas badania odporności na działanie mrozu (określenie obniżenia wytrzymałości), wg PN-EN 12390-3:2011 *Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań* [13],
- oznaczenie ubytku masy.

Podczas trwania cykli zamrażania-odmrażania kontrolowano stan próbek. Po wyjęciu z komory zamrażalniczej nie stwierdzono zmian w wyglądzie próbek. Pomiaru masy wykonano przy użyciu wagi elektronicznej typ WPT 10C/1 (obciążenie maksymalne 10 kg, wartość działki elementarnej 0,1 g). dla próbek nasączonych wodą przed poddaniem ich cyklowi zamrażania w temperaturze  $(-18 \pm 2)^\circ\text{C}$  i odmrażania w temperaturze  $(+18 \pm 2)^\circ\text{C}$  oraz po wyjęciu z komory zamrażalniczej. Obniżenie wytrzymałości na ściskanie określono porównując wytrzymałości otrzymane po badaniach mrozoodporności z wytrzymałością próbek „świadków” przetrzymywanych w wodzie podczas cykli zamrażania-odmrażania.

Otrzymane wyniki potwierdziły, że beton cementowy zagęszczony poprzez wałowanie uzyskał dobre wartości wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności. Uzyskany spadek wytrzymałości na ściskanie próbek po badaniach mrozoodporności w stosunku do próbek świadków, wynoszący **16,8%** (po 200 cyklach zamrażania-odmrażania), wskazuje że wbudowany beton spełnił wymagania normy PN-V-83002:1999.

#### **4.4. Badanie nośności**

Badanie nośności wymienionych płyt lotniskowych w technologii betonu wałowanego zostało wykonane poprzez pomiary ugięć sprężystych płyt betonowych. Ocenę nośności przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów ugięć nawierzchni pod obciążeniem udarowym oraz w oparciu o identyfikację konstrukcji nawierzchni wykonanymi odwiertami rdzeniowymi. Badania nawierzchni wykonywano urządzeniem udarowym typu HWD w wybranych punktach badawczych (fot. 4), zgodnie z normą obronną NO-17-A500:2016. Wykonano dwa niezależne rodzaje pomiarów, tj.: w środku przedmiotowych płyt lotniskowych i na środku płyt betonowych przylegających do badanych płyt lotniskowych.

Na podstawie uzyskanych wyników ugięć sprężystych badanych płyt betonowych (środek płyt) oraz obliczonych modułów zastępczych konstrukcji nawierzchni stwierdzono, że nawierzchnia lotniskowa w obszarze objętym badaniami posiadała obniżoną nośność. Na uwagę zasługuje fakt, że wszystkie uzyskane wyniki ugięć przewyższają wartość 500  $\mu\text{m}$ , co świadczy o obniżonej nośności płyt lotniskowych. Należy jednak podkreślić, że średnia wartość ugięć zmierzonych na badanych płytach lotniskowych, które poddano remontowi, jest niższa od średniej wartości ugięć pomierzonych na płytach sąsiadujących. Średnia wartość ugięć zmierzonych na badanych płytach lotniskowych jest o **13%** niższa od średniej wartości ugięć pomierzonych na płytach sąsiadujących. Natomiast wartość obliczonego modułu zastępczego konstrukcji nawierzchni jest o **15%** większa od modułu zastępczego dla płyt sąsiadujących. Można zatem stwierdzić, że zastosowana technologia remontu przyczyniła się do poprawy nośności badanych płyt lotniskowych i przedłużenia żywotności nawierzchni na okres co najmniej 5–6 lat.



Fot. 4. Pomiar ugięć sprężystych płyty wymienionej w technologii betonu wałowanego

## 5. Podsumowanie

Od stanu technicznego i eksploatacyjnego nawierzchni lotniskowych wykonanych z betonu cementowego zależy bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. Beton cementowy przeznaczony na warstwę jezdnią nawierzchni lotniskowej musi spełniać szereg wymagań i charakteryzować się wysoką wytrzymałością na zginanie, od której zależy wielkość liczbowa wskaźnika nośności PCN, odpowiednim stanem równości i współczynnikiem tarcia, ograniczoną nasiąkliwością, wysoką odpornością mrozową oraz odpornością na działanie środków odładzających stosowanych w okresie zimowego utrzymania. Ww. parametry muszą spełniać także przedstawione w referacie technologie szybkiej odbudowy uszkodzonych nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego.

Zaprezentowane technologie odtworzenia stanu technicznego pojedynczych płyt betonowych nawierzchni lotniskowych, wykorzystujące elementy prefabrykowane oraz beton wałowany, zostały szczegółowo sprawdzone w warunkach laboratoryjnych i terenowych oraz praktycznie zweryfikowane kilkuletnim procesem intensywnej eksploatacji ruchem lotniczym w dwóch, krajowych Portach Lotniczych, tj.: w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Kraków-Balice (płyty prefabrykowane) oraz w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Katowice (beton wałowany). Szybkie technologie odtwarzania stanu technicznego zdegradowanych, betonowych nawierzchni lotniskowych zostały opracowane przez firmę REKMA Sp. z o.o. i zapewniają odbudowę układu konstrukcyjnego o przyjętych własnościach fizycznych i mechanicznych, co potwierdziły uzyskane wyniki badań laboratoryjnych oraz poligonowych. Zastosowane praktycznie na dużą skalę ww. technologie umożliwiają odtworzenie wymaganego stanu nośności wymienianych płyt lotniskowych oraz pozwalają na bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych podstawowym typom i rodzajom statków powietrznych operujących na polskich lotniskach. Należy podkreślić, że zaprezentowane technologie charakteryzują się bardzo krótkim czasem praktycznego zastosowania, który nie przekracza 4-5 godzin i jest uzależniony od przerw w ruchu lotniczym pomiędzy realizowanymi operacjami lotniczymi, głównie w warunkach nocnych.

## Literatura

- [1] PN-EN 206-1 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [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-A500:2016 Nawierzchnie lotniskowe i drogowo. Badania nośności.
- [5] NO-17-A502:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie równości.
- [6] NO-17-A501:2015 Nawierzchnie lotniskowe. Badanie szorstkości.
- [7] PN-EN 12390-3 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania.
- [8] PN-88/B-06250 Beton zwykły.
- [9] PN-EN 12504-1:2011 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Odwierty rdzeniowe – Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
- [10] PN-V-83002:1999 Lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania ogólne i metody badań.
- [11] PN-EN 13369:2013 Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.
- [12] PN-EN 12390-6:2011 Badania betonu. Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badania.
- [13] PN-EN 12390-3:2011 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.