

# Wybrane problemy projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne współczesnych betonowych nawierzchni lotniskowych

Adam Poświata, Mariusz Wesołowski

*Współczesne statki powietrzne poruszające się z dużymi prędkościami i generujące odpowiednio wysokie obciążenia wymagają nawierzchni lotniskowych dobrze zaprojektowanych, prawidłowo wybudowanych i eksploatowanych. Czynniki te mają na celu zapewnić bezpieczeństwo przemieszczających się po nich statków powietrznych. Podstawowym rodzajem nawierzchni lotniskowych są nawierzchnie z betonu cementowego, które obecnie i w dalszej perspektywie czasowej będą podlegać dalszym modyfikacjom i zabiegom utrzymaniowym.*

*W niniejszym referacie przedstawiono metody diagnozowania stanu technicznego nawierzchni lotniskowych, w tym m.in. sposób zbierania informacji o uszkodzeniach wraz z prezentacją uzyskanych wyników. Omówiono zagadnienie odporności betonów na działanie mrozu oraz chemicznych środków odladzających. Mrozoodporność jest jednym z istotnych parametrów decydujących o trwałości nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego. Przedstawiono także mechanizmy działania wybranych preparatów do hydrofobizacji betonu oraz zbadano ich skuteczność w stosunku do betonów nawierzchniowych o różnym składzie.*



dr inż. Adam Poświata  
Instytut Techniczny Wojsk  
Lotniczych  
adam.poswiata@itwl.pl



dr inż.  
Mariusz Wesołowski  
Instytut Techniczny Wojsk  
Lotniczych  
mariusz.wesolowski@itwl.pl

Lotniskowa nawierzchnia betonowa stanowi naziemną część pola manewrowego przeznaczonego do ruchu, postojów i obsługi statków powietrznych. Zadaniem jej jest bezpieczne przeniesienie obciążeń użytkowych od poruszających się lub stojących na niej statków powietrznych oraz neutralizowanie termicznych obciążeń naturalnych i wymuszonych oraz przekazywanie tych sumarycznych obciążeń na podłoże gruntowe. Złożony proces oddziaływania statków powietrznych na nawierzchnię wymaga dostosowania jej do ww. skomplikowanych zadań. 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 opracowanym i znajdującym się w ostatnim etapie ustanowienia projekcie takiej normy (prNO-17-A204:2013 *Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego*) [2], położono nacisk na: stosowanie lepszych materiałów, w tym głów-

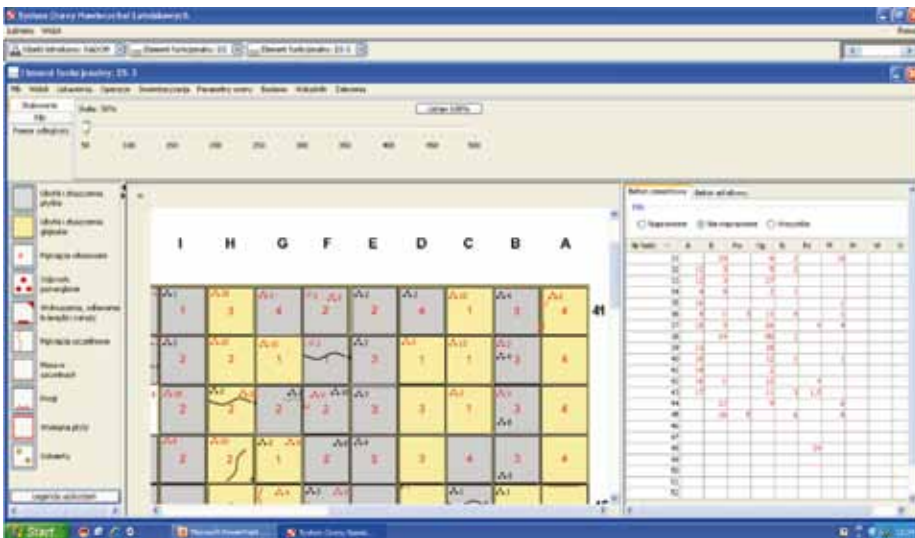
nie kruszyw, cementów oraz dodatków do betonu i jego modyfikatorów. Do konstrukcji warstwy jezdnej nawierzchni lotniskowych wymaga się stosowania najlepszych gatunków cementów tzn. cementy portlandzkie, czystoklinkierowe CEM I o wytrzymałości najczęściej od 32,5 MPa do 52,5 MPa. Do wytworzenia betonu nawierzchniowego wymaga się stosowania kruszyw granitowych. Kruszywa wysokiej jakości, których właściwości określono w ww. projekcie normy, mogą nie być dostępne w dostatecznej ilości. Dlatego realizatorzy robót poszukują kruszyw pochodzących z innych skał, których stosowanie powinno być poprzedzone kompleksowym cyklem badań normowych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na warunki eksploatacji nawierzchni. Coraz częściej wykonawcy stosują kruszywa pochodzące z krajów sąsiednich, między innymi ze Szwecji, Niemiec lub Ukrainy.

W celu podniesienia walorów konstrukcyjnych nawierzchni, proponuje się korzystanie z nowych, znanych już technologii, np. do wykonania podbudowy pod nawierzchnie lotniskowe można stosować beton wałowany. Technologię tą można

zastosować w różnych warunkach i jest ona jednakowo skuteczna w porównaniu z technologiami tradycyjnymi. Walory konstrukcyjno – użytkowe nowobudowanych nawierzchni lotniskowych proponuje się podnieść także poprzez zwiększenie grubości warstwy mrozochronnej konstrukcji. Jej obecność jest związana z odpowiednimi strefami klimatycznymi występującymi na terenie naszego kraju, z czego wynika głębokość przemarzania gruntu. Płyty betonowe nawierzchni lotniskowych ułożone w najbardziej obciążonych strefach ruchu pola manewrowego lotniska, tj. końcowe odcinki dróg startowych, płyty postojowe, proponuje się wykonywać jako płyty zbrojone lub z włóknem rozproszonym.

## System oceny i kwalifikacji stanów eksploatacyjnych z uwzględnieniem zasad diagnostyki technicznej

W celu oceny stanów eksploatacyjnych betonowych nawierzchni lotniskowych, w Zakładzie Lotniskowym Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (ITWL) opracowano program komputerowy SONL – *System Oceny Nawierzchni Lotniskowych*, który obecnie jest na etapie testowania [3]. Jedną z najważniejszych sekwencji programowych tego systemu jest sposób zbierania informacji o stanie technicznym nawierzchni, polegający na ilościowej i jakościowej ocenie występujących uszkodzeń i zakwalifikowaniu ich do odpowiednich grup oraz wyliczeniu sumarycznych wskaźników zużycia nawierzchni. Na rysunku 1 pokazano moduł *Inwentaryzacji* umożliwiający graficzne



1. Moduł Inwentaryzacji w Systemie Oceny Nawierzchni Lotniskowych – przykład inwentaryzowania uszkodzeń nawierzchni z betonu cementowego

przedstawienie uszkodzeń na poszczególnych płytach oraz zliczanie występujących uszkodzeń i określanie wskaźników zużycia nawierzchni lotniskowej.

Najważniejszym zadaniem SONL jest to, by wyznaczone wskaźniki oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych, pozwoliły na prowadzenie dokładnego i ciągłego monitoringu stanu technicznego nawierzchni. Tworzona w Zakładzie Lotnikowym baza danych pozwoli na określenie obiektywnych wskaźników oceny stanu technicznego nawierzchni lotniskowych i właściwy rozdział środków na ich utrzymanie. Posiadane w zakładzie urządzenia techniczne do oceny stanu technicznego nawierzchni są obecnie na odpowiednio wysokim poziomie i stanowią gwarancję prawidłowej realizacji zadań diagnostycznych w budownictwie lotniskowym.

### Oddziaływania środków technicznych występujących w procesie eksploatacji i ich wpływ na stan techniczny nawierzchni

Trwałość betonowych nawierzchni lotniskowych rozumiana jest jako jej zdolność do zachowania własności użytkowych w projektowanym okresie eksploatacji przy zachowaniu wysokiego bezpieczeństwa ruchu. Trwałość nawierzchni związana jest z szeregiem czynników dotyczących odpowiednich rozwiązań projektowych, realizacją robót i poziomem technicznego ich utrzymania. Czynniki wpływające na trwałość nawierzchni podczas eksploatacji to: intensywność ruchu wraz ze sposobem przekazywania obciążeń i wielkość tego obciążenia oraz oddziaływanie środowiska (poddawanie konstrukcji zamrażaniu i odmrażaniu),

oddziaływanie środków chemicznych stosowanych do zimowego utrzymania i innych płynów eksploatacyjnych, naprężenia termiczne pochodzące z emisji gorących gazów spalinowych silników lotniczych.

Wieloletnie obserwacje starannie wykonanych betonowych nawierzchni lotniskowych wykazały, że nawet przy intensywnej eksploatacji i racjonalnych systemach utrzymania, normatywny okres użytkowania (30 lat) może być znacznie wydłużony nie zagrażając przy tym bezpieczeństwu ruchu. Występujące w Polsce warunki klimatyczne, charakteryzujące się co najmniej stukilkudziesięcioma przejściami przez 0°C są wyjątkowo niesprzyjające dla trwałości nawierzchni [3]. Do zimowego utrzymania nawierzchni stosuje się różne związki chemiczne. W ostatnim czasie wprowadzono do stosowania na lotniskach środki odladzające na bazie octanów i mrówczanów. Dotychczas podstawowym środkiem do zimowego utrzymania nawierzchni był używany mocznik techniczny. Wpływ środków odladzających w warunkach klimatycznych panujących w Polsce nie jest jeszcze wystarczająco poznany. Istnieje duże zainteresowanie służb lotniskowych cywilnych portów lotniczych oraz wojskowych baz lotniczych stosowaniem bezpiecznych i skutecznych środków do zimowego utrzymania nawierzchni. Zagadnieniem szczególnie ważnym jest wykorzystanie ww. środków do odladzania betonów „młodych”. Przez „betony młode” rozumie się betony, których okres eksploatacji jest krótszy niż 3 lata.

W projekcie normy prNO-17-A204:2013 określono metody badań wytrzymałości betonów i stosowane metody badania skutków oddziaływania cyklicznych zamrażeń i odmrażeń w wodzie i w środkach odladza-

jących. Istota badań polega na określeniu odporności proponowanego do wykonania nawierzchni lotniskowej tworzywa na działanie współczesnych środków chemicznych takich, jak mrówczany sodu i potasu, octany sodu i potasu. W badaniach laboratoryjnych przygotowane wcześniej próbki poddaje się odpowiedniej procedurze zamrażania i odmrażania w wybranych roztworach tych środków, które w przyszłości będą stosowane jako podstawowe medium do zimowego utrzymania nawierzchni. Liczba zamrożeń i odmrożeń jest porównywalna z liczbą przejść przez tzw. zero, właściwe dla terytorium naszego kraju i wynosi 200 cykli. W ww. normie zaproponowano cztery metody badania odporności betonu nawierzchniowego na działanie tych środków. Miarą mrozoodporności betonu i odporności na środki odladzające, w zależności od zastosowanej metody, może być ubytek masy nie przekraczający 5% i ubytek wytrzymałości na ściskanie nie przekraczający 20% w stosunku do próbek porównawczych lub ilość materiału złuszczonego podczas badań.

Pod pojęciem struktury betonu rozumie się zazwyczaj obraz jego budowy wewnętrznej, w tym rozmieszczenie elementów składowych, np. ziaren kruszywa, lepiszcza, porów powietrznych oraz zespół relacji między tymi elementami, charakterystyczny dla tego układu. Stwardniały, w normalnych warunkach beton lub zaprawa zawiera następujące elementy:

- stwardniały zaczyn cementowy, zwany matrycą cementową,
- ziarna kruszywa przeważnie o zróżnicowanym składzie mineralnym i wymiarach,
- pory i pustki powietrzne,
- różnego rodzaju zbrojenie (stalowe lub kompozytowe),
- rysy i pęknięcia spowodowane różnymi przyczynami, na przykład powstałe podczas procesu hydratacji, a także później w trakcie twardnienia i eksploatacji, na przykład na skutek działania zmiennej temperatury i wilgotności otoczenia, wysokiej temperatury, i in.,
- strefy kontaktowe inaczej zwane też warstwami kontaktowymi między ziarnami kruszywa, a zaczynem cementowym, między zbrojeniem a zaczynem cementowym.

Najbardziej wrażliwym składnikiem betonu na zmienne warunki otoczenia, w tym wysoką temperaturę i preparaty chemiczne, powodujące korozję jest zaczyn cementowy. Zmiany w jego składzie i strukturze determinują właściwości mechaniczne betonu. Na podstawie obserwacji zmian struktury betonu po poddaniu próbek badaniom mrozo-

odporności oraz działaniu różnych środków odładzających stosowanych na lotniskach i porównania uzyskanych wyników ze strukturami betonów pobranych z rzeczywistych nawierzchni lotniskowych po różnym okresie eksploatacji np. w pobliżu stwierdzonego uszkodzenia, można podjąć próby oceny trwałości wytypowanego betonu. Badania struktury wykazują, że celowe jest, aby wyniki tych badań dla wybranych betonów nawierzchniowych były powiązane z informacjami podającymi genezę warunków eksploatacji nawierzchni. Pomocne okazać się może stworzenie zbioru w postaci atlasu struktur betonów stosowanych w budowie nawierzchni lotniskowych.

### Propozycje zwiększenia trwałości betonowych nawierzchni lotniskowych w okresie ich eksploatacji

W większości procesów prowadzących do uszkodzeń betonowych nawierzchni lotniskowych, czynnikiem decydującym jest wilgoć. Przy nieobecności wilgoci procesy destrukcyjne nie zachodzą lub są spowolnione. Ograniczając zatem dostęp wilgoci w głąb struktury betonu, możliwe jest zwiększenie trwałości istniejących konstrukcji betonowych, a także zapewnienie ochrony powierzchniowej nowych i wcześniej eksploatowanych betonów. W normie PN-EN 1504-2 [4], podano stosowane trzy metody ochrony powierzchniowej betonu: impregnację hydrofobizującą, impregnację oraz nakładanie powłok.

Impregnacja hydrofobizująca to obróbka betonu nadająca jego powierzchni zdolność odpychania wody. Pory i kapilary nie zostają wypełnione, a jedynie ich ścianki są powle-

czone preparatem. Nie powstaje ciągła warstwa preparatu na powierzchni betonu, a jego wygląd zewnętrzny pozostaje niezmieniony lub zmieniony w niewielkim stopniu.

Hydrofobizacja polega na radykalnym zmniejszeniu zwilżalności wodą powierzchni zewnętrznej betonu i porów przy zachowaniu jednak pełnej przepuszczalności gazu i pary. Środki do hydrofobizacji materiałów budowlanych powinny m.in. dobrze wnikać w głąb zabezpieczanego materiału (dobra penetracja), wytwarzać silnie hydrofobowe, niezwilżalne wodą cienkie filmy na powierzchniach materiałów i porów, zachowywać wieloletnią dobrą odporność na zmienne warunki atmosferyczne, promieniowanie UV, agresywne środki chemiczne. Głębokość wnikania (penetracja) zależy od różnych czynników, a przede wszystkim od nasiąkliwości impregnowanych materiałów, zależnej od porowatości i stopnia wysuszenia, od ilości wprowadzonego środka i jego właściwości, a zwłaszcza od ciężaru cząsteczkowego, struktury, lepkości itp. oraz od rodzaju i właściwości rozcieńczalnika, stężenia środka i techniki hydrofobizacji [5]. Środki stosowane do hydrofobizacji nawierzchni lotniskowych to najczęściej preparaty jednoskładnikowe w postaci ciekłej, które zawierają w swoim składzie związki krzemorganiczne. Czasami stosowane są preparaty hydrofilowe [6]. Środki do hydrofobizacji mogą zawierać następujące związki krzemorganiczne o różnej masie cząsteczkowej, silikoniany ( $M=100-200$ ), żywice silikonowe ( $M>2000$ ), silany ( $M=100-200$ ), siloksany ( $M=400-600$ ).

Metodą stosowaną najczęściej do hydrofobizacji nawierzchni lotniskowych jest

natryskiwanie aparatami z odpowiednimi dyszami pod ciśnieniem albo za pomocą pędzli lub wałków. Przez producentów podawane są wytyczne wykonania tych zabiegów zapewniające uzyskanie odpowiedniej głębokości penetracji i pożądanego efektu hydrofobowego. Przed przystąpieniem do zabiegu nawierzchnia powinna być sucha i czysta. Zalecana temperatura do impregnowania powinna mieścić się w zakresie od 5 do 30°C. Zaleca się przeprowadzenie dwukrotnej impregnacji w krótkich odstępach czasu. Dobre efekty hydrofobowe udaje się osiągnąć na powierzchniach jednolicie hydrofilowych, dobrze zwilżanych przez wodę. Aby uzyskać dobre efekty hydrofobizacji, zaleca się osiągnięcie maksymalnej głębokości wnikania środków. Dla nawierzchni lotniskowych, które są wykonywane najczęściej z betonu cementowego klasy C35/45 i C40/45 głębokość penetracji wynosi od 3 do 7 mm. W przypadku stosowania niektórych preparatów, zwłaszcza zawierających duże cząsteczki (np. siloksany), efekt hydrofobowy objawia się zwykle w postaci perlenia wody na powierzchni, co przedstawiono na ilustracji 2. Preparaty oparte na silanach nie wykazują takiego efektu. Zaleca się, aby lotniskowy beton nawierzchniowy zabezpieczyć po upływie ok. 3 miesięcy od jego wybudowania, natomiast beton eksploatowany zabezpieczać okresowo, maks. co 5 lat. Głównym celem stosowania ww. zabiegu jest ograniczenie zawartości wody w betonie, a tym samym ograniczenie występowania uszkodzeń powstałych na skutek działania mrozu i środków odładzających (pęknięcia, złuszczenia).

W Zakładzie Lotniskowym przeprowadzono badania, które polegały na określeniu



2. Widok efektu hydrofobowego na betonowej płycie lotniskowej

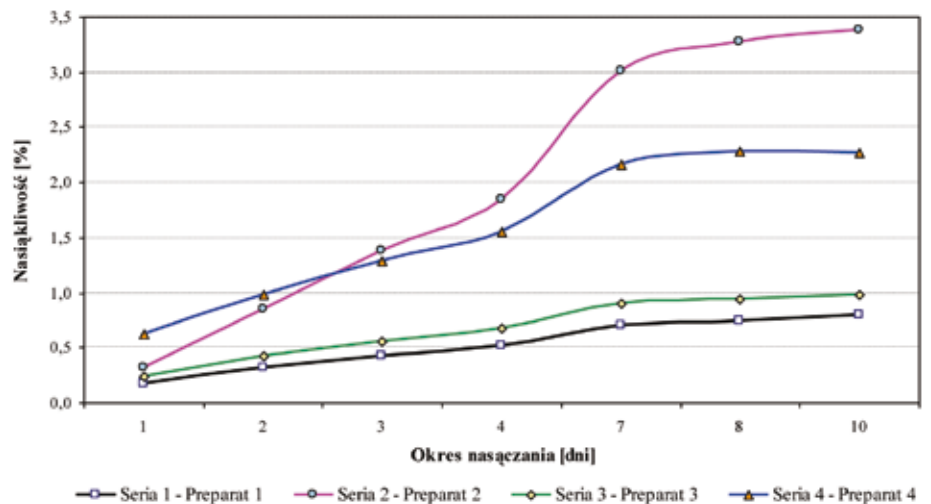


3. Odwierty rdzeniowe przygotowane do badań nasiąkliwości

nasiąkliwości w wodzie zgodnie z normą PN-88/B-06250 próbek pobranych z warstwy jezdnej nawierzchni lotniskowej z betonu cementowego po różnym okresie eksploatacji i przygotowanych w sposób przedstawiony na rysunku 3. Każdą z próbek pocięto w kierunku równoległym do powierzchni nawierzchni, wycinając cztery warstwy: górną z zachowaniem naturalnej faktury nawierzchni o grubości 20 mm (warstwa 1), pozostałe trzy o jednakowej grubości z pozostałej części próbki (warstwa 2, 3 i 4). Jako kruszywo grube poszczególne betony zawierały: beton I – granit, podrzędnie żwir i kruszywo wapienne, beton II – amfibolit, beton III – bazalt, beton IV – żwir, beton V – głównie granit, podrzędnie żwir i bazalt, beton VI – granit. Po określeniu nasiąkliwości w wodzie poszczególnych warstw, próbki zabezpieczono wybranym preparatem do hydrofobizacji betonu i ponownie sprawdzono nasiąkliwość w wodzie. Do badań zastosowano cztery preparaty do hydrofobizacji betonu: preparat nr 1 i preparat nr 3 – siloksany w rozpuszczalniku organicznym, preparat nr 2 – metylosilikonian potasu, preparat nr 4 – mikroemulsja silikonowa. Preparaty nr 2 i nr 4 przed zastosowaniem rozcieńczono wodą, w stosunku zalecanym przez producenta. W wyniku badań określono zmianę nasiąkliwości betonów w czasie oraz skuteczność ich zabezpieczania poszczególnymi preparatami.

Przeprowadzono również analizę zmian nasiąkliwości betonu w zależności od badanej warstwy odwiertu. Stwierdzono, że nasiąkliwość warstwy jezdnej badanych betonów maleje wraz z głębokością. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań nasiąkliwości w wodzie górnej warstwy nawierzchni wykonanej z betonu II po zabezpieczeniu wszystkimi wybranymi do badań preparatami.

W wyniku badań stwierdzono, że największy przyrost nasiąkliwości w czasie wykazują próbki zabezpieczone preparatami, które przed zastosowaniem rozcieńcza się wodą. Spośród preparatów rozcieńczanych wodą mniejszą skuteczność uzyskano przy zastosowaniu preparatu nr 2. Skuteczność hydrofobizacji próbek zabezpieczonych preparatami na bazie siloksanów w rozpuszczalnikach organicznych dostarczonych przez różnych producentów jest podobna. Stwierdzono również, że skuteczność zabezpieczenia betonu z kruszywem granitowym i betonu z kruszywem bazaltowym jest podobna (ok. 70%). Najmniejszą skuteczność uzyskano w przypadku betonu zawierają-



4. Zmiana nasiąkliwości górnej warstwy nawierzchni wykonanej z betonu II zabezpieczonej preparatami nr 1, 2, 3 i 4

cego jako kruszywo grube amfibolit (ok. 35%). Przeprowadzone badania wskazują, że w wyniku zastosowania środków ochrony powierzchniowej istnieje możliwość ograniczenia uszkodzeń wynikających z zachodzących reakcji poprzez ograniczenie dostępu wody do betonu (tym samym istnieje kontrola dostępu chemicznych środków odłudzających).

#### Podsumowanie i wnioski

Osiągnięcie wysokiego poziomu technicznego dla betonowych nawierzchni lotniskowych jest oczywistą koniecznością i musi to być proces ciągły, wykorzystujący współczesne osiągnięcia projektowe i technologiczne. Doskonalenie tego procesu jest zadaniem służb lotniskowych. W proces ten wpisują się zagadnienia trwałości nawierzchni i w związku z tym, prowadzone są prace, których wynikiem są nowe propozycje materiałowe i diagnostyczne metody oceny stanu technicznego. Istotną sprawą dla prawidłowej procedury utrzymania nawierzchni lotniskowych na wysokim i bezpiecznym poziomie technicznym są metody diagnostyki technicznej oraz rozwinięte metody informatycznej bazy danych o nawierzchniach i infrastrukturze lotniskowej. Procesy utrzymania lotnisk wiążą się z odpowiednio wysokimi nakładami na ten cel środków. Ponieważ nawierzchnie lotniskowe i złożone systemy technicznej infrastruktury lotnisk są zasadniczym ogniwem transportu powietrznego, ponoszone koszty są wartością trudno porównywalną z bezpieczeństwem tego rodzaju komunikacji. ◀

#### Materiały źródłowe

- [1] PN-EN 206-1 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [2] prNO-17-A204 Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego.
- [3] Sprawozdanie nr 32/24/12 z działalności statutowej Zakładu Lotniskowego ITWL za rok 2012.
- [4] PN-EN 1504-2:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu.
- [5] Nita P.: Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
- [6] Rościszowski P., Zielecka M.: Silikony. Właściwości i zastosowania, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.