

Hydrofobizacja nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego

1. Wstęp

W procesie użytkowania sztywnych nawierzchni lotniskowych, w betonie cementowym zachodzą procesy destrukcyjne, spowodowane nie tylko obciążeniami eksploatacyjnymi, w tym termicznym oddziaływaniem silników lotniczych, ale również czynnikami środowiskowymi. Oddziaływanie środowiska to przede wszystkim narażenie betonu na cykliczne zamrażanie-odmrażanie oraz na działanie chemicznych środków odladzających. Procesy te ujawniają się w postaci uszkodzeń nawierzchni (złuszczenia, odpryski, pęknięcia, wykruszenia), które bezpośrednio wpływają na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych (np. istnieje możliwość zasysania ciał obcych przez silniki odrzutowe).

W celu zapewnienia odporności betonu na działanie mrozu i środków odladzających, do budowy nawierzchni lotniskowych stosuje się wyłącznie, wykonane ze sprawdzonych materiałów (cement portlandzki CEM I 42,5, preferowane kruszywo granitowe) betony napowietrzone klasy od C30/37 do C45/55, zgodnie z projektem normy obronnej prNO-17-A204, [1]. Minimalna zawartość powietrza w mieszance betonowej, wg ww. projektu normy oraz według dotychczas obowiązującej normy (w trakcie procesu unieważnienia) PN-V-83002:1999, [2], wynosi 4,5 %. Biorąc pod uwagę odporność betonu na powierzchniowe złuszczenie, z uwzględnieniem postanowień normy PN-EN 206-1 [3], ze względu na agresywne oddziaływanie zamrażania/rozmarzania ze środkami odladzającymi, betony nawierzchniowe klasyfikuje się do klasy ekspozycji XF4.

Podjęmowane są działania, mające na celu odpowiednie zabezpieczenie nawierzchni przed destrukcyjnym oddziaływaniem ww. czynników, prowadzące do ograniczenia ilości uszkodzeń nawierzchni w czasie jej eksploatacji. Stosowane zabiegi wpływają jednocześnie na zwiększenie trwałości nawierzchni betonowych i ograniczenie potrzeby wykonywania prac remontowych. Jednym z podstawowych środków zaradczych może być stosowanie preparatów do hydrofobizacji betonu cementowego. Istotne jest, aby preparaty te ograniczały też chłonność wody przez materiały już zastosowane lub przewidziane do wykonania napraw. Okresowo wykonuje się inwentaryzację nawierzchni lotniskowych, w wyniku której zbierane są informacje, dotyczące powstałych uszkodzeń. Zebrane dane pozwalają na obserwację zachodzących zmian w czasie.

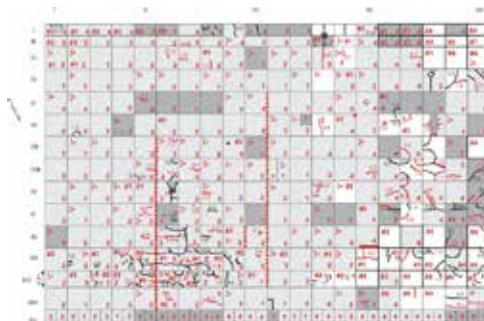
2. Inwentaryzacja uszkodzeń nawierzchni lotniskowej z betonu cementowego

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. Wszelkiego rodzaju uszkodzenia płyt stwarzają zagrożenie dla bezpieczeństwa poruszających się statków powietrznych. Sposób opisu stwierdzonych uszkodzeń i oceny stanu technicznego nawierzchni można znaleźć np. w dokumentach, wydanych przez międzynarodowe organizacje lotnicze oraz w dokumentach normatywnych [4, 5].

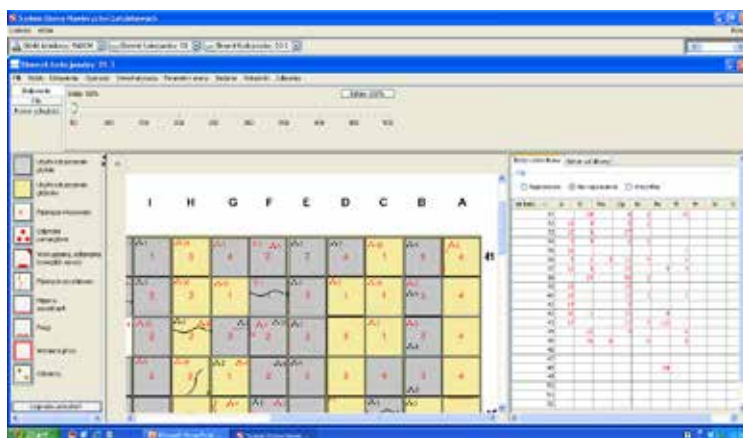
W Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych opracowano zasady wykonywania inwentaryzacji uszkodzeń. Inwentaryzację uszkodzeń wykonuje się na znormalizowanych podkładach, w systemie „płytowym”, tzn. inwentaryzuje się każdą płytę na lotnisku (zazwyczaj o wymiarach 5 x 5 m). Położenie każdej płyty oznacza się za pomocą liczb, które przyjmuje się zgodnie z naniesionymi na poszczególnych arkuszach składowych oznaczeniami cyfrowymi. 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 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),



Rys. 1. Przykład inwentaryzacji wykonanej przez ITWL (kolorem czarnym zaznaczono uszkodzenia naprawione, kolorem czerwonym – uszkodzenia nienaprawione)

Rys. 2. Moduł inwentaryzacji w Systemie Oceny Nawierzchni Lotniskowych.



uszkodzenia punktowe (np. odpryski, odłamania naroży) oraz uszkodzenia liniowe (np. pęknięcia szczelinowe, ubytki masy zalewowej w szczelinach dylatacyjnych). Każdemu rodzajowi uszkodzeń przyporządkowano odpowiednie kody literowe. Przykład zapisu danych z przeprowadzonej inwentaryzacji przedstawiono na rys. 1.

Istnieje możliwość wdrożenia opracowanego w ITWL programu „System oceny nawierzchni lotniskowych” służącego do inwentaryzacji uszkodzeń nawierzchni lotniskowych. Na rys. 2 pokazano Moduł INWENTARYZACJI, umożliwiający graficzne przedstawienie uszkodzeń na poszczególnych płytach oraz zliczanie występujących uszkodzeń i określanie wskaźników degradacji nawierzchni lotniskowej.

3. Hydrofobizacja nawierzchni

W większości procesów, prowadzących do uszkodzeń betonu, czynnikiem decydującym jest wilgoć. Przy nieobecności wilgoci procesy destrukcyjne nie zachodzą lub są spowolnione. Dlatego, poprzez ograniczenie możliwości transportu wilgoci w głąb betonu, możliwe jest zwiększenie trwałości już istniejących konstrukcji betonowych i ochrona powierzchniowa nowych betonów.

W normie PN-EN 1504-2 [6], 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 powleczone preparatem. Nie powstaje ciągła warstewka preparatu na powierzchni betonu, a jego wygląd zewnętrzny pozostaje niezmienny 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 [7]. 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 [7].

Środki stosowane do hydrofobizacji nawierzchni lotniskowych to najczęściej preparaty jednoskładnikowe w postaci ciekłej, które zawierają w swoim składzie związki krzemooorganiczne. Czasami stosowane są preparaty hydrofilowe [8].

Środki do hydrofobizacji mogą zawierać następujące związki krzemooorganiczne o różnej masie cząsteczkowej [9]: silikoniany ($M=100-200$), żywice silikonowe ($M>2000$), silany ($M=100-200$), siloksany ($M=400-600$).

Silikoniany są stosowane w postaci roztworów wodnych lub alkoholowych. Po naniesieniu na beton, reagują z dwutlenkiem węgla z powietrza, w wyniku czego powstają nierozpuszczalne hydrofobowe żywice silikonowe [durability]. Produkt uboczny reakcji K_2CO_3 może powodować tworzenie się nalców solnych na powierzchniach hydrofobizowanych, które stopniowo są zmywane wodą deszczową [7].

Najstarsze i nadal stosowane są roztwory wodne metylosilikonianów sodu lub potasu. Produkt handlowy jest silnie alkalicznym roztworem wodnym, zawierającym ok. 20% tych silikonianów. Do zabiegu hydrofobizacji roztwór rozcieńcza się wodą ok. 4-6 razy. Stosowanie wodnych roztworów metylosilikonianów na nawierzchniach lotniskowych wymaga sprawdzenia szorstkości nawierzchni po wykonanym zabiegu, ze względu na możliwość powodowania „śliskości”, wynikającej z dużej ilości naniesionego środka lub niewłaściwego rozcieńczenia koncentratu.

Preparaty na bazie żywic silikonowych (zwykle metylosilikonowych) to roztwory najczęściej benzynowe (zwykle ok. 5%). Efekty hydrofobowe występują prawie natychmiast po impregnacji. Mogą być stosowane tylko na suchych powierzchniach o względnie dużych porach, dlatego rzadko są odpowiednie do hydrofobizacji betonu.

Alkiloalkoksylany (silany) są rozpuszczalne w rozpuszczalnikach alifatycznych i aromatycznych (roztwory ok. 40%). Alkiloalkoksylany w obecności wody lub pary wodnej ulegają reakcji prowadzącej do powstania polisiloksanów. Ich zaletę stanowi głęboka penetracja (roztwory o niskiej lepkości) w odróżnieniu od silikonianów oraz małe cząsteczki w porównaniu z żywicami silikonowymi. Wadą silanów jest ich lotność, w związku z czym mogą odparowywać razem z rozpuszczalnikiem, co sprawia, że wyniki impregnacji uzależnione są od warunków pogodowych.

Siloksany (spolimeryzowane w niewielkim stopniu silany) posiadają wszystkie zalety silanów, przy czym są mniej lotne. Siloksany dostępne są w postaci roztworów w rozpuszczalnikach alifatycznych lub w alkoholach. Zawartość składnika aktywnego zawiera się w granicach od 5 do 10% [9]. Po aplikacji zachodzi reakcja prowadząca do powstania żywic silikonowych.

W dążeniu do ograniczenia preparatów zawierających rozpuszczalniki, które odparowują do atmosfery, opracowuje się mikroemulsje silikonowe, dostarczane w postaci stężonych drobnoziarnistych koncentratów (20-60 nm), stanowiących mieszaniny alkilosilanów, siloksanów i emulgatorów, niezawierających rozpuszczalników. Koncentraty po dodaniu wody ulegają łatwemu zemulgowaniu, tworząc gotowe do użycia mikroemulsje [7, 9].

Metodą stosowaną najczęściej do hydrofobizacji nawierzchni lotniskowych jest natryskiwanie aparatami z odpowiednimi dyszami i 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°C do 30°C [8]. 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 osiąganie maksymalnej głębokości wnikania środków [7]. Dla nawierzchni lotniskowych, które są wykonywane najczęściej z betonu cementowego klasy C35/45 i C40/45, głębokość penetracji wynosi od 3 do 7 mm [8].

W przypadku stosowania niektórych preparatów, zwłaszcza zawierających duże cząsteczki (np. siloksany) efekt hydrofobowy objawia się zwykle w postaci perlenia wody na powierzchni (rys.). Preparaty oparte na silanach nie wykazują takiego efektu [10]. Zaleca się, aby lotniskowy beton nawierzchniowy zabezpieczyć po upływie ok. 3 miesięcy od jego wybudowania, natomiast beton już eksploatowany zabezpieczać okresowo, max. co 5-7 lat [8]. 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).

Odporność betonów na działanie środków odładzających jest jednym z parametrów decydujących o trwałości betonu podczas eksploatacji betonów nawierzchniowych. Dotychczas powszechnie stosowany na lotniskach mocznik zastępowany jest obecnie przez środki odładzające (przeciwoblodzeniowe) produkowane na bazie octanu sodu, octanu potasu, mrówczanu sodu oraz mrówczanu potasu. Na niektórych lotniskach, gdzie są one stosowane obserwuje się jednak oznaki przedwczesnego niszczenia (wystąpienie charakterystycznej siatki spękań, odpryski). Podejrzewa się, że środki zawierające alkalia mogą powodować przyspieszenie niekorzystnych reakcji chemicznych w lotniskowych betonach nawierzchniowych, np. reakcji alkalia-krzemionka (ASR) [11]. Jednym z warunków ich przebiegu jest duża wilgotność względna (nie mniejsza niż 85 %) w strukturze porowej betonu lub zaprawy. Ponadto, reakcjom tym sprzyja proces cyklicznego nasączenia-suszenia oraz zamrażania-odmrażania. Dlatego 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 odładzających).



Rys. 3. Odwierty rdzeniowe przygotowane do badań nasiąkliwości

4. Opis przeprowadzonych badań

4.1. Próbkki do badań

Próbki do badań, w postaci odwiertów rdzeniowych, pobrano z warstwy jezdnej nawierzchni lotniskowej z betonu cementowego po różnym okresie eksploatacji. 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. Każdą z dostarczonych 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). Widok przygotowanych plastrów do badań (przykład) przedstawiono na rys. 1.

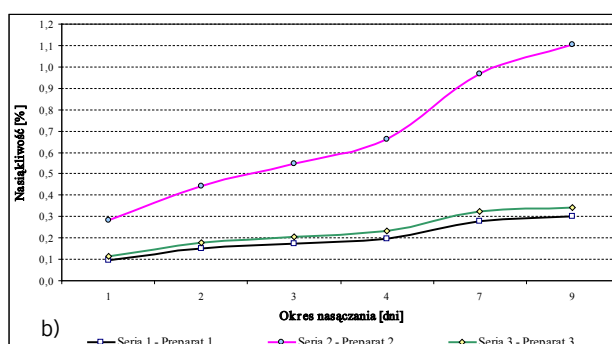
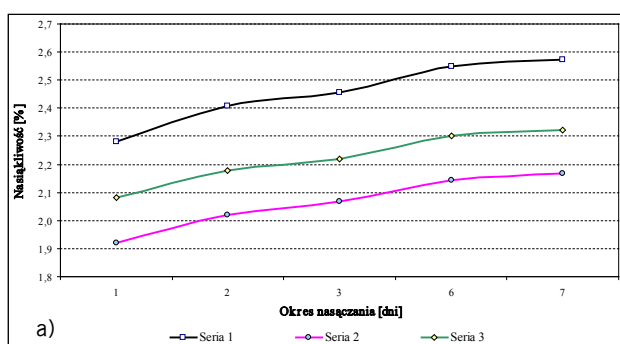
4.2. Opis badań

Badania polegały na określeniu nasiąkliwości w wodzie, zgodnie z normą PN-88/B-06250, próbek przygotowanych w sposób przedstawiony na rys. 3, zabezpieczeniu wysuszonych próbek wybranym preparatem do hydrofobizacji betonu i ponownym określeniu nasiąkliwości w wodzie. Do badań zastosowano cztery preparaty do hydrofobizacji betonu: preparat nr 1 i preparat nr 3 – siloksany w rozpuszczalniku organicznym, preparat 2 – metylosilikonian potasu, preparat nr 4 – mikroemulsja silikonowa. Preparaty nr 2 i 4 przed zastosowaniem rozcieńczono wodą, w stosunku zalecanym przez producenta. W wyniku badań określono zmianę nasiąkliwości betonów w czasie oraz skuteczność zabezpieczania poszczególnych preparatów.

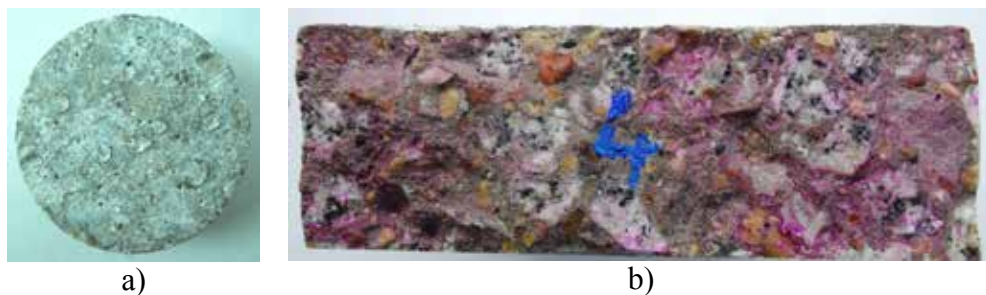
5. Wyniki badań

Na rys. 4 przedstawiono wyniki badań nasiąkliwości w wodzie górnej warstwy nawierzchni przed

Rys. 4. Nasiąkliwość betonu I (górną warstwą z zachowaniem naturalnej faktury nawierzchni) a) przed i b) po zabezpieczeniu preparatami oznaczonymi nr 1, 2 i 3



Rys. 5. Beton I zabezpieczony preparatem nr 2: a) efekt perlenia wody próbki po zabezpieczeniu, b) brak oznak wnikania preparatu w głąb próbki – przełom próbki po 9 dniach nasączenia w wodzie



a)

b)



a)



b)

Rys. 6. Przełomy próbek betonu I zabezpieczonych preparatami na bazie siloksanów w rozpuszczalnikach organicznych: a) preparatem 1, głębokość penetracji ok. 5 mm, b) preparatem 3 – głębokość penetracji ok. 9 mm

i po zabezpieczeniu preparatem nr 1, nr 2 i nr 3. Stwierdzono, że nasiąkliwość betonu przed zabezpieczeniem po 7 dniach nasączenia wynosi ok. 2,6%, natomiast nasiąkliwość betonu zabezpieczonego preparatem nr 1 i nr 3 po 7 dniach nasączenia w wodzie wynosi ok. 0,3%. Nasiąkliwość betonu I zabezpieczonego preparatem nr 2 zmienia się wyraźnie w czasie i po 7 dniach nasączenia osiąga wartość ok. 1%.

Często stosowaną metodą oceny efektu hydrofobowego jest ocena głębokości penetracji środka w tym materiale – na przekroju zaimpregnowanej i odpowiednio sezonowanej prób-

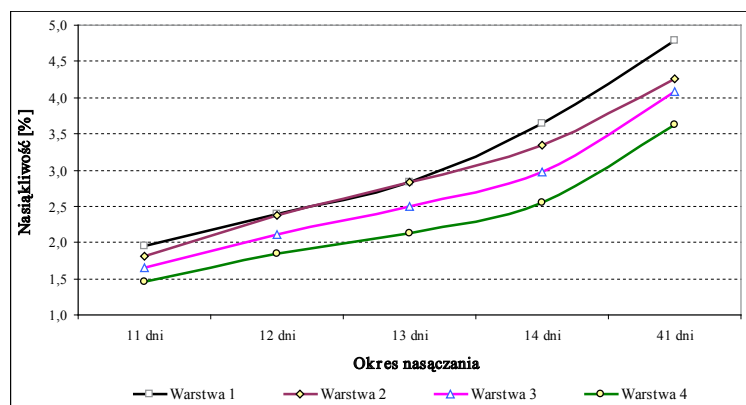
ki zanurzonej następnie w wodzie, ewentualnie z dodatkiem barwnika (rys. 5b, rys. 6). Po zabezpieczeniu próbek betonu I preparatem nr 2 uzyskano efekt perlenia wody (rys. 3a), natomiast po 9 dniach nasączenia w wodzie nie obserwuje się oznak penetracji preparatu w głąb próbki, w odróżnieniu od próbek zabezpieczonych preparatem nr 1 i nr 3 (rys. 6), gdzie na przekrojach próbek blisko ich powierzchni, widoczne są charakterystyczne nienasiąkliwe rejony.

Przeprowadzono również analizę zmian nasiąkliwości betonu w zależności od badanej warstwy odwiertu. Stwierdzono, że nasiąkliwość warstwy jezdnej badanych betonów maleje wraz z głębokością. Na rys.7 zaprezentowano zmianę nasiąkliwości plastrów uzyskanych z odwiertu betonu I zabezpieczonych preparatem nr 2, pomiędzy 11 a 41 dniem nasączenia. Stwierdzono, że nasiąkliwość betonu zabezpieczonego preparatem nr 2 stopniowo rośnie osiągając po 41 dniach nasiąkliwość betonu niezabezpieczonego.

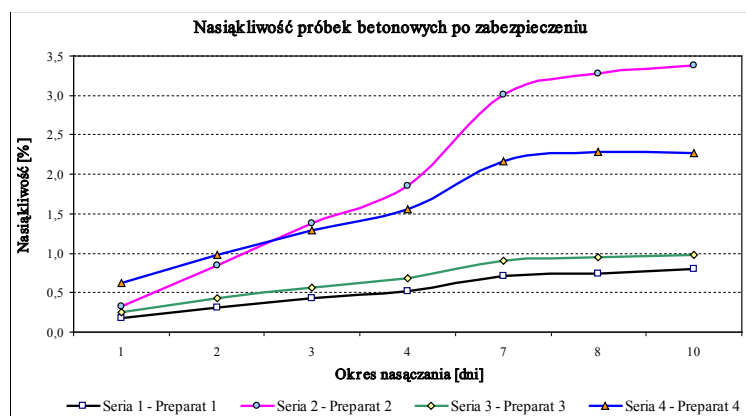
Na rys. 8 przedstawiono wyniki badań nasiąkliwości w wodzie górnej warstwy nawierzchni, wykonanej z betonu II, po zabezpieczeniu wszystkimi wziętymi do badań preparatami.

W wyniku badań stwierdzono, że największy przyrost nasiąkliwości w czasie wykazują próbki zabezpieczone preparatami, które przed zastosowaniem rozcieńczonych wodą, mają mniejszą skuteczność uzyskano przy zastosowaniu preparatu nr 2 (rys. 9). Skuteczność hydrofobizacji próbek zabezpieczonych preparatami na bazie siloksanów w rozpuszczalnikach organicznych dostarczonych przez różnych producentów jest podobna.

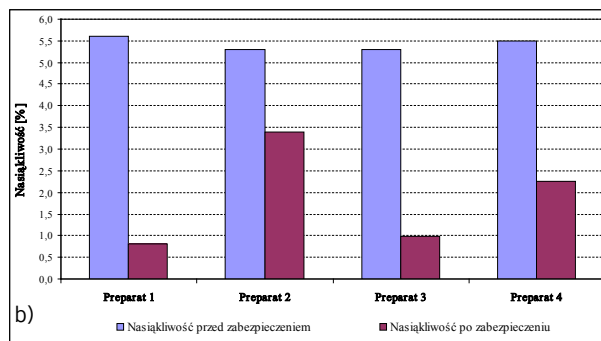
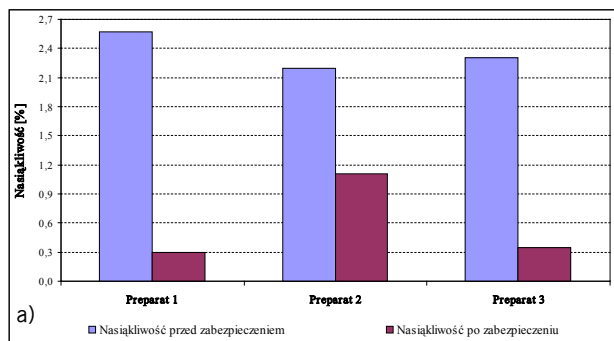
Nasiąkliwość wszystkich badanych betonów nawierzchniowych zabezpieczonych preparatem nr 2 (warstwa górna) przedstawiono na rys.10, natomiast skuteczność zabezpieczenia betonów nawierzchniowych przedstawiono na rys.11. Stwierdzono, że skuteczność zabezpieczenia betonu z kruszywem granitowym i betonu z kruszywem bazaltowym jest podobna (ok. 70 %). Najmniejszą skuteczność uzyskano w przypadku betonu, zawierającego jako kruszywo grube amfibolit (ok. 35%).



Rys. 7. Nasiąkliwość plastrów wyciętych z odwiertu rdzeniowego betonu nawierzchniowego I zabezpieczonych preparatem nr 2



Rys. 8. Zmiana nasiąkliwości górnej warstwy nawierzchni wykonanej z betonu II wyciętych z odwiertu rdzeniowego (beton II) zabezpieczonych preparatem 1, 2, 3 i 4



5. Wnioski

Celem referatu było przedstawienie metody zbierania informacji o uszkodzeniach betonowych nawierzchni lotniskowych i sposobu prezentacji uzyskanych danych, a także przedstawienie wyników badań nasiąkliwości betonów o różnym składzie, pobranych z nawierzchni lotniskowych, przed i po zabezpieczeniu preparatami, ograniczającymi wchłanianie wody (impregnacja hydrofobizująca). Stwierdzono różną efektywność działania zastosowanych preparatów. Przyczyną tego mogły być różne czynniki, w tym: skład betonu, porowatość, masa cząsteczkowa głównego składnika preparatu i związana z tym głębokość penetracji. Podczas zabezpieczania nawierzchni lotniskowych preparatami do hydrofobizacji betonu, należy również brać pod uwagę fakt, że np. w wyniku hydrofobizacji powierzchni poplamionych olejami może wystąpić odwrótne orientacja przestrzenna środków silikonowych, tj. grupami organicznymi do powierzchni, a atomami tlenu szkieletu siloksanowego na zewnątrz, w rezultacie czego zamiast efektu hydrofobowego wystąpi zjawisko dobrej zwilżalności wodą takiej powierzchni [7]. Z danych literaturowych [10] wynika, że po impregnacji istnieją niewielkie obszary, gdzie preparat nie penetruje. Jedną z przyczyn może być lotność środka hydrofobizującego (odparowanie miejscowe podczas aplikacji). Możliwe jest również, że środek spływa po powierzchni i nie dociera do wszystkich miejsc na powierzchni. Inną przyczyną może być też duża wilgotność obiektu. Para wodna z powietrza kondensuje wewnątrz porów i ścianki kapilar powlekają się cienkim filmem wody, co ogranicza wchłanianie środka do hydrofobizacji betonu.

mgr inż. Danuta Kowalska
mgr inż. Mariusz Wesolowski
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

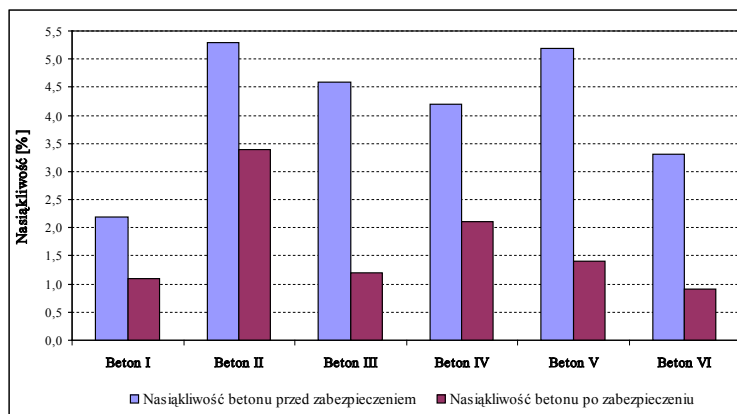
Literatura

- 1 prNO-17-A204 Lotniskowe nawierzchnie betonowe. Wymagania i metody badań nawierzchni z betonu cementowego
- 2 PN-V-83002:1999 Lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania ogólne i metody badań
- 3 PN-EN 206-1 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 4 Advisory Circular: Guidelines and procedures for maintenance of airport pavements: AC 150/5380-6A Federal Aviation Administration. U.S., 2003
- 5 ASTM D 5340, Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Suveys
- 6 PN-EN 1504-2:2006 Wyroby i systemy do ochrony

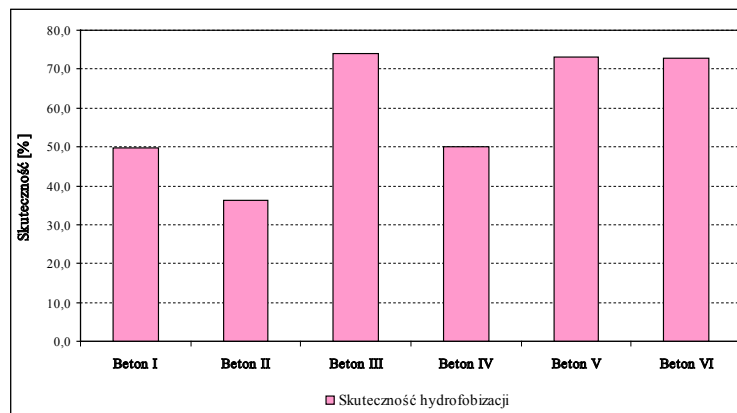
i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu

- 7 P. Rościszewski, M. Zielecka, *Silikony. Właściwości i zastosowania*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002
- 8 P. Nita, A. Poświata, Z. Jasiczak, W. Świerczyński, *Nowoczesny beton jako tworzywo do budowy nawierzchni lotniskowej i technicznej infrastruktury lotnisk*, V Konferencja „Dni Betonu – Tradycja i Nowoczesność”, Wisła, 2008
- 9 J. Bijen, *Durability and Engineering Structures – Design, Repair and Maintenance*, Woodhead Publishing 2003
- 10 *Strategy for maintenance and rehabilitation in concrete structures. EC DG ENTR-C-2 Innovation and SME Programme REHABCON IPS-2000-0063. Annex F: Surface treatments*. Swedish Cement and Concrete Research Institute
- 11 *Handbook for identification of alkali-silica reactivity in airfield pavements. Advisory Circular AC No: 150/5380-8*, 2004

Rys. 9. Nasiąkliwość w wodzie górnej warstwy nawierzchni wykonanej a) z betonu I i b) z betonu II, przed i po zabezpieczeniu różnymi preparatami do hydrofobizacji betonu



Rys. 10. Nasiąkliwość w wodzie betonów przed i po zabezpieczeniu preparatem nr 2



Rys. 11. Skuteczność zabezpieczenia badanych betonów preparatem nr 2