

Hydrofobizacja nawierzchni lotniskowych

z betonu cementowego

**mgr inż. Danuta Kowalska,
dr inż. Mariusz Wesołowski**
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

W artykule omówiono problemem związanym ze spękaniami i uszkodzeniem betonowych nawierzchni lotniskowych. Autorzy zwrócili szczególną uwagę na wykorzystywanie zabezpieczeń preparatami do hydrofobizacji betonu.

Uszkodzenia nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego pojawiają się mimo stosowania sprawdzonego składu betonu oraz wysokiej jakości materiałów użytych do wyrobu mieszanki betonowej. Przyczyną zachodzących procesów destrukcyjnych to między innymi działanie mrozu oraz stosowanie w okresie zimowym chemicznych środków odładzających, co wynika z konieczności zapewnienia ciągłej gotowości eksploatacyjnej nawierzchni lotniskowych. W celu zapewnienia odporności betonu na działanie ww. czynników do budowy nawierzchni lotniskowych stosuje się wyłącznie betony napowietrzane klasy od C30/37 do C45/55, zgodnie z projektem normy obronnej pr NO-17-A204 (1). Minimalna zawartość powietrza w mieszance betonowej wg wymienionego projektu normy oraz według dotychczas obowiązującej normy PN-V-83002:1999 (2) wynosi 4,5 %. Do wytwarzania mieszanki betonowej stosuje się (3) kruszywo łamane (jako kruszywo grube najczęściej grysy granitowe frakcji 2-8 mm, 8-16 mm oraz 16-22 mm, jako drobne – piasek frakcji 0÷2 mm) oraz cement portlandzki CEM I 42,5 (zawartość cementu: od 380 do 410 kg/m³), o oznaczonej zawartości alkaliów (maks. 0,6 % w przeliczeniu na Na₂O). Wskaźnik wodno-cementowy nie powinien przekraczać wartości 0,40. Biorąc pod uwagę odporność betonu na powierzchniowe łuszczenie z uwzględnieniem postanowień normy PN-EN 206-1 (4) ze względu na agresywne oddziaływanie zamrażania/rozmarzania ze środkami odładzającymi, betony nawierzchniowe klasyfikuje się do klasy ekspozycji XF4. Zapewnienie właściwego stanu technicznego nawierzchni lotniskowych jest ważnym czynnikiem związanym z bezpieczeństwem startów i lądowań statków powietrznych, wynikającym z zagrożenia zasysania ciał obcych. Na stan techniczny wpływa przede wszystkim jakość warstwy jezdnej, tj. wielkość i liczba uszkodzeń, jak np. pęknięcia, złuszczenia, odpryski czy wykruszenia. Przykład uszkodzenia w postaci siatki spękań przedstawiono na rys. 1, złuszczenie głębokie w warstwie przypowierzchniowej nawierzchni lotniskowej – na rys. 2.

Zabezpieczanie preparatami do hydrofobizacji betonu

Podjęmowane są działania mające na celu odpowiednie zabezpieczenie nawierzchni przed destrukcyjnym oddziaływaniem mrozu i środków odładzających oraz płynów eksploatacyjnych, prowadzące do ograniczenia liczby 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. Są to najczęściej preparaty jednoskładnikowe w postaci

ciekłej, które zawierają w swoim składzie związki krzemorganiczne (silikoniany, żywice silikonowe, silany, siloksany) (5). Oferowane są również preparaty hydrofilowe. Zgodnie z normą PN-EN 1504-2 (6), impregnacja hydrofobizująca to obróbka betonu nadająca jego powierzchni własności hydrofobowe, tj. zdolność odpychania wody. Hydrofobizację przeprowadza się w celu zapobiegania wnikaniu wody w głąb struktury betonu, a tym samym poprawy jego mrozoodporności. Podczas hydrofobizacji pory i kapilary nie zostają wypełnione, a jedynie ich ścianki zostają powleczone preparatem. Na powierzchni nie powstaje ciągła warstewka preparatu, a wygląd zewnętrzny powierzchni betonu pozostaje niezmienny. Częsteczki większości silikonowych środków hydrofobizujących mają zdolność odpowiedniej orientacji przestrzennej, polegającej na układaniu się atomów tlenu na powierzchni hydrofilowej sieci siloksanowej (np. mineralnej), a z drugiej strony na odwróceniu grup organicznych na zewnątrz w postaci tzw. grzebienia hydrofobowego. 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., a także od rodzaju i właściwości rozcieńczalnika, stężenia środka i techniki hydrofobizacji (7).

Silany są rozpuszczalne w rozpuszczalnikach alifatycznych i aromatycznych (roztwory ok. 40%). Silany są związkami reaktywnymi reagującymi z wodą i grupami hydroksylowymi znajdującymi się w matrycy cementowej. Silany łatwo wnikają w pory betonu, gdzie reagują ze znajdującą się tam wodą, tworząc siloksany, a następnie żywice silikonowe. Ich zalety stanowią 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.

Preparat EuroCret HMX

Przykładem środka do hydrofobizacji betonu, który został poddany badaniom w Zakładzie Lotniskowym Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w celu określenia możliwości stosowania do zabezpieczania nawierzchni lotniskowych, jest bezrozpuszczalnikowy preparat EuroCret HMX na bazie silanów, dostarczany w postaci gotowej do użycia przez firmę Hufgard Polska Sp. z o.o. (8). EuroCret HMX, zgodnie z informacjami dostarczonymi przez producenta, jest cieczą o gęstości od 0,83 do 0,91 g/cm³ i lepkości od 10 do 20 mPa·s. Wymieniony preparat jest odporny na promieniowanie UV oraz wpływy atmosferyczne. Chroni beton przed agresywnym działaniem soli, ich roztworów i innych substancji chemicznych.



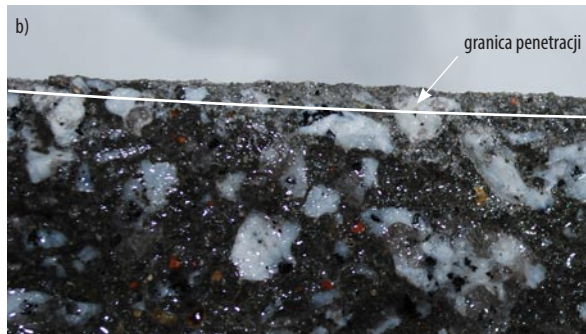
Rys. 1. Siatka spękań na powierzchni płyty lotniskowej



Rys. 2. Złuszczenie głębokie w warstwie przypowierzchniowej nawierzchni lotniskowej



Rys. 3. Efekt działania silanowego impregnatu hydrofobizującego EuroCret HMX naniesionego na nawierzchnię lotniskową: a) efekt perlenia wody, b) fragment przekroju odwiertu rdzeniowego pobranego z zaimpregnowanej nawierzchni

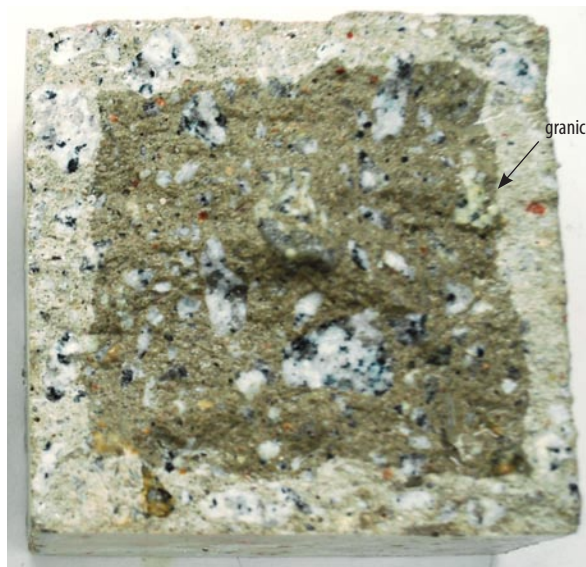


EuroCret HMX można nanosić technikami malarskimi: pędzlem, wałkiem lub metodą natryskową. Powierzchnia przeznaczona do impregnacji powinna być sucha, chłonna, wolna od luźnych frakcji, pyłów, plam oleju, smarów i innych zanieczyszczeń. Zaleca się przeprowadzenie dwukrotnej impregnacji, przy czym drugą warstwę należy wykonywać po wchłonięciu pierwszej warstwy, przeważnie od 30 do 60 min po ułożeniu pierwszej. Średnie zużycie preparatu wynosi od 150 g/m² do 300 g/m² na jedną warstwę.

W celu osiągnięcia dobrego efektu w trakcie aplikacji powierzchnię należy chronić przed wiatrem, który mógłby zabierać i unosić materiał, co w znacznym stopniu ograniczy ilość wchłoniętego materiału. Aplikacji nie należy wykonywać w przypadku oczekiwanego deszczu lub tuż po opadach oraz w przypadku wilgotności względnej powietrza powyżej 80%. Temperatura podłoża do +30°C pozytywnie wpływa na wchłanianie preparatu. Nadmiernie nagrzane podłoże, znacznie powyżej +30°C, powoduje odparowanie preparatu z powierzchni, co w znacznym stopniu ogranicza ilość wchłoniętego materiału. Najodpowiedniejszą temperaturą podłoża i otoczenia podczas impregnowania jest od +5°C do +30°C. Temperatury niższe (od +20°C) i względna wilgotność powietrza większa od 50% opóźniają, natomiast wyższe temperatury i niższa wilgotność przyspieszają przebieg odparowania i czas wchłaniania preparatu.

Badania preparatu EuroCret HMX wykonane w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych

Badania preparatu (8), wykonane w celu określenia własności hydrofobizujących, przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych na kostkach 15 x 15 x 15 cm i 10 x 10 x 10 cm z betonu cementowego kl. C 35/45, na które naniesiono produkt. W celu wykonania badań w skali rzeczywistej wykonano odcinek doświadczalny, nanosząc preparat EuroCret HMX metodą natryskową na nawierzchnię lotniskową z betonu cementowego. Natrysk hydrofobowy wykonano w niesprzyjających warunkach (mgła, temperatura ok. 10°C). Na odcinku doświadczalnym pobrano próbki w postaci odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm.

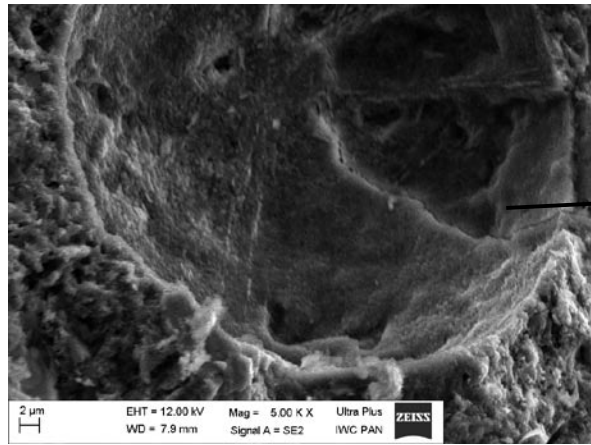


Rys. 4. Głębokość penetracji uzyskana na próbce laboratoryjnej

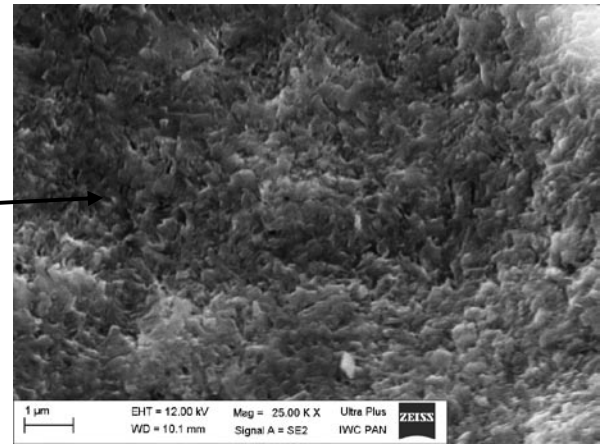
Na nawierzchni zabezpieczonej badanym preparatem obserwowano efekt perlenia wody, co przedstawiono na rys. 3a. Głębokość penetracji preparatu, określona na pobranym odwiertu rdzeniowym, wynosiła ok. 2-3 mm (rys. 3b).

Na próbce laboratoryjnej (kostka o długości boku 10 cm) uzyskano natomiast głębokość penetracji wynoszącą od ok. 10 mm do 17 mm (rys. 4).

Na podstawie uzyskanej głębokości penetracji preparatu EuroCret HMX na próbce laboratoryjnej i próbce pobranej z nawierzchni lotniskowej stwierdzono, że głębokość ta może być uzależniona od warunków atmosferycznych podczas zabezpieczania nawierzchni oraz od stanu zawilgocenia powierzchni. Niesprzyjające warunki (duża wilgotność powietrza, niska temperatura) powodują wydłużony czas wchłaniania preparatu EuroCret HMX. Z obszaru kostki o boku 10 cm, w który wpenetrował preparat EuroCret HMX pobrano świeży przełam i poddano obserwacjom w skaningowym mikroskopie elektronowym typu Zeiss-SUPRA firmy Zeiss, stanowiącym wyposażenie Instytutu Wysokich Ciśnień PAN. Obrazy mikroskopowe pora powietrznego oraz matrycy cementowej w obszarze penetracji preparatu EuroCret HMX przy ►

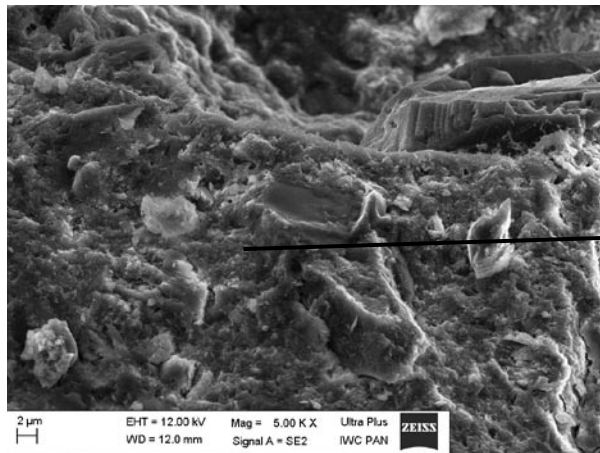


pow. 5 kX

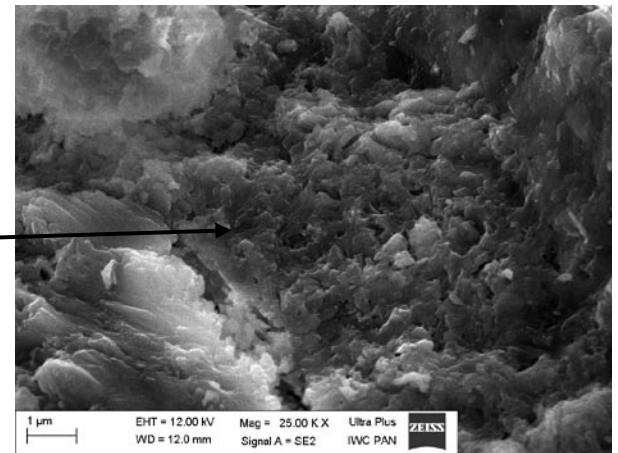


pow. 25 kX

Rys. 5. Obraz mikroskopowy pora powietrznego, w który wpenetrował preparat EuroCret HMX



pow. 5 kX



pow. 25 kX

Rys. 6. Obraz mikroskopowy matrycy cementowej w obszarze penetracji preparatu EuroCret HMX

Piśmiennictwo

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. Nita P., Poświata A., Jasiczak Z., Świerczyński W.: *Nowoczesny beton jako tworzywo do budowy nawierzchni lotniskowej i technicznej infrastruktury lotnisk.* V Konferencja „Dni Betonu – Tradycja i Nowoczesność”, Wisła, październik 2008.
4. PN-EN 206-1 Beton. Część 1: *Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.*
5. Bijen J.: *Durability and Engineering Structures – Design, Repair and Maintenance.* Woodhead Publishing, 2003.

powiększeniu 5000 X i 25 000 X przedstawiono, odpowiednio na rys. 5 i rys. 6.

W wyniku badań wykonanych w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych określono:

- współczynnik szorstkości (tarcia),
- nasiąkliwość w wodzie i w paliwie lotniczym,
- odporność na działanie mrozu (mrozoodporność) i środków odładzających,
- odporność na powierzchniowe łuszczenie,
- odporność na podwyższone temperatury,
- wytrzymałość na odrywanie,
- możliwość nanoszenia oznakowania poziomego,
- odporność mas zalewowych na działanie preparatu EuroCret HMX.

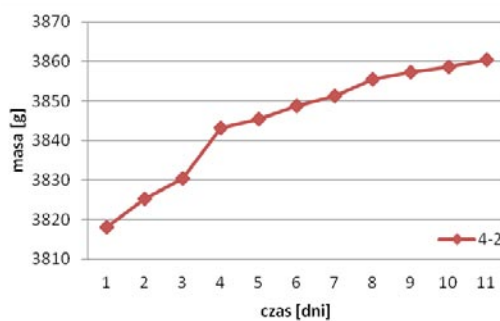
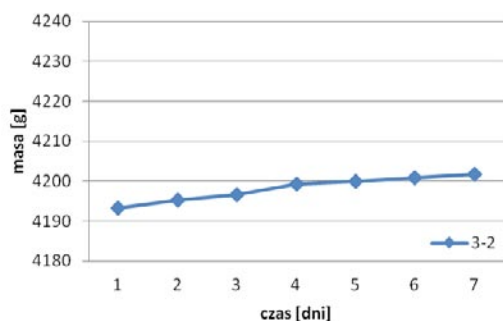
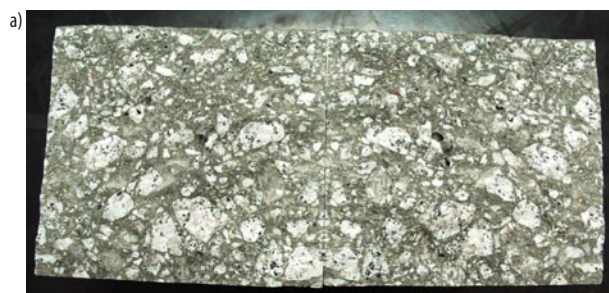
Na podstawie uzyskanych wyników badań terenowych stwierdzono, że nawierzchnia lotniskowa na płaszczyźnie przedhangarowej przed zabezpieczeniem i po zabezpieczeniu spełnia wymagania pod względem szorstkości. Średnie wartości uzyskanych współczynników tarcia potwierdziły, zgodnie z przyjętymi kryteriami, dobrą jej szorstkość po zabezpieczeniu preparatem EuroCret HMX. Zabezpieczenie nawierzchni preparatem EuroCret HMX powoduje obniżenie szorstkości nawierzchni w stosunku do szorstkości nawierzchni przed zabezpieczeniem o wartość nieprzekraczającą 4%.

Nasiąkliwość w wodzie i w paliwie lotniczym określono według procedury badawczej opracowanej na podstawie normy PN-88/B-06250 pkt 6.4 (9), porównując masy próbek o wymiarach 10 x 10 x 10 cm wysuszonych w temperaturze $105 \pm 2^\circ\text{C}$ i nasyconych ww. mediami. Średnia nasiąkliwość w wodzie określona dla próbek betonowych bez zabezpieczenia ich preparatem EuroCret HMX wynosiła 4,80%, (zgodnie z wymaganiami (1, 2) nasiąkliwość betonu nawierzchniowego nie może

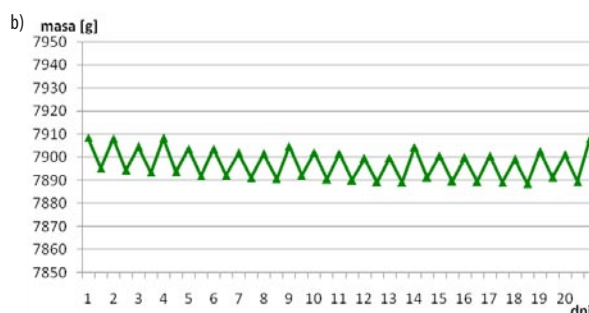
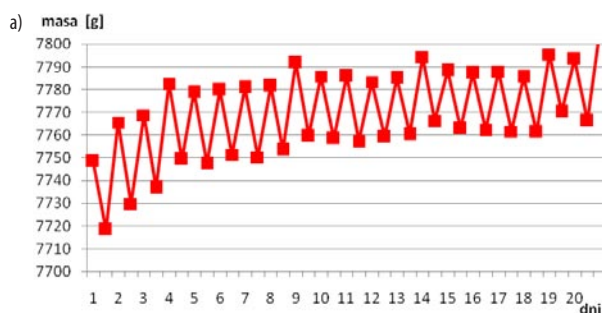
przekraczać 5%). Średnia nasiąkliwość w wodzie betonu zabezpieczonego preparatem EuroCret HMX wynosiła 0,37% (obniżenie nasiąkliwości w stosunku do betonu niezabezpieczonego o 92,3%). Nasiąkliwość próbek 10 x 10 x 10 cm w paliwie lotniczym wynosiła 3,91%. Po zabezpieczeniu próbek preparatem EuroCret HMX nasiąkliwość w paliwie lotniczym wyniosła 1,23% (obniżenie nasiąkliwości o 68,5%).

Zmianę masy odwiertów rdzeniowych pobranych z nawierzchni betonowej w wieku do trzech lat (z kruszywem granitowym) oraz w wieku ponad 30 lat (z kruszywem żwirowym), po zabezpieczeniu ich preparatem EuroCret HMX (wszystkie powierzchnie) przedstawiono na rys. 7. Nasiąkliwość w wodzie wymienionych próbek przed hydrofobizacją wynosiła odpowiednio 3,12% i 3,22%, natomiast po zabezpieczeniu – 0,30% i 1,34%. Badania odporności na podwyższone temperatury polegały na wykonaniu 20 cykli suszenia w temperaturze $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ przez 8 h i nasiąkania w wodzie w temp. $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ przez 16 h, kostek betonowych bez impregnacji i zaimpregnowanych preparatem EuroCret HMX. Zmianę masy próbki bez impregnacji i zaimpregnowanej podczas cykli moczenia w wodzie i suszenia przedstawiono na rys. 8. W przypadku próbek bez impregnacji zaobserwowano ciągły wzrost masy wskazujący na penetrację wody do ich wnętrza, natomiast próbki zaimpregnowane wykazały ciągły spadek masy, wskazujący na ograniczenie ich nasiąkania (większy udział suszenia niż nasycania).

Podczas badań próbek betonowych zabezpieczonych preparatem EuroCret HMX nie stwierdzono zmian własności tych próbek ponad dopuszczalne (np. spadek wytrzymałości na ściskanie, ubytek masy podczas badań mrozoodporności i odporności na środki odładzające –



Rys. 7. Zmiana masy próbek w postaci odwiertów rdzeniowych zabezpieczonych badanym preparatem podczas nasączenia w wodzie: a) odwiert betonowy z kruszywem granitowym pobrany z nawierzchni lotniskowej w wieku do 3 lat, b) odwiert betonowy z kruszywem żwirowym pobrany z nawierzchni w wieku ponad 30 lat



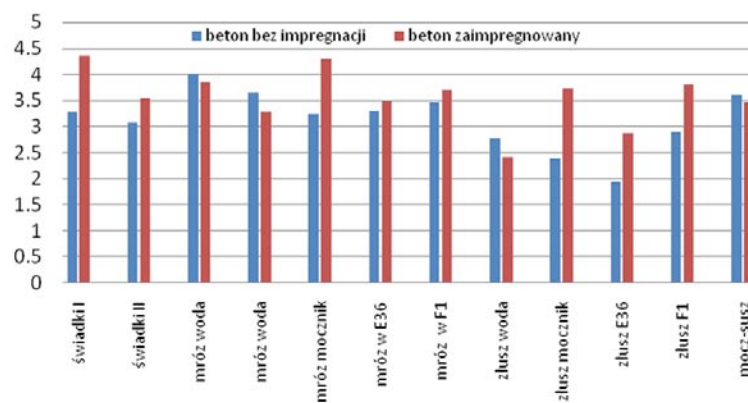
Rys. 8. Zmiana masy próbki bez impregnacji i zaimpregnowanej podczas cykli moczenia w wodzie i suszenia: a) próbka bez impregnacji, b) próbka zabezpieczona preparatem EuroCret HMX

20-proc. roztwór mocznika, Cryotech E36 na bazie octanu potasu, Clearway F1 na bazie mrówczanu potasu. W przypadku nawierzchni lotniskowych najbardziej istotna jest górna warstwa ułożonego betonu (warstwa przypowierzchniowa). Wytrzymałość betonu powierzchniowego na odrywanie (*pull off*) ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczych. Niska wytrzymałość może spowodować zasysanie ciał obcych przez silniki lotnicze w czasie startu lub lądowania samolotu. Wytrzymałość ta również istotna jest przy zabiegach i remontach eksploatacyjnych.

Badania wytrzymałości na odrywanie wykonano zgodnie z normą PN-EN 1542:2000 (10), na próbkach bez impregnacji hydrofobowej i zaimpregnowanych preparatem EuroCret HMX – na świadkach przetrzymywanych w wodzie, próbkach po badaniach mrozoodporności w wodzie (200 cykli), próbkach po nasączeniu w środkach odładzających i 200 cyklach zamrażania – odmrażania oraz po badaniach odporności na powierzchniowe łuszczenie, a także próbkach po badaniach odporności na podwyższone temperatury (cykle moczenie – suszenie). Próbki betonu zabezpieczone preparatem EuroCret® HMX wykazują w większości badań wyższe wytrzymałości na odrywanie w stosunku do betonu niezabezpieczonego. Wyniki badań przedstawiono na rys. 9.

Wyniki badań wskazują na dobrą przyczepność powłoki wykonanej z farby do oznakowania poziomego nałożonej na próbki betonowe zabezpieczone preparatem EuroCret HMX i narażone na oddziaływanie mrozu i środków odładzających. Nie ma również przeciwwskazań odnośnie do stosowania preparatu na wcześniej wykonane oznakowanie poziome.

W wyniku działania preparatu EuroCret HMX na masy zalewowe do szczelin dylatacyjnych stwierdzono oznaki



Rys. 9. Wytrzymałość na odrywanie (w MPa) próbek bez impregnacji i zaimpregnowanych preparatem EuroCret HMX

rozpuszczania mas stosowanych na gorąco, nieodpornych na paliwo lotnicze. W związku z tym podczas aplikacji preparatu EuroCret HMX należy każdorazowo zwrócić uwagę na odpowiednie nanoszenie.

Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych pozytywnych wyników badań preparatu **EuroCret HMX** Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych wydał Orzeczenie nr 2/24/2014 (z dn. 4.02.2014 r.) potwierdzające jego przydatność do zabezpieczania nawierzchni lotniskowych z betonu cementowego. Preparat może być stosowany do impregnacji nawierzchni lotniskowych, przy zachowaniu receptury, technologii produkcji i technologii nakładania zgodnej z kartą technologiczną producenta oraz przy spełnieniu wymogów bezpieczeństwa zawartych w karcie charakterystyki substancji niebezpiecznej **EuroCret HMX**. □

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. Rościszewski P., Zielecka M.: *Silikony. Właściwości i zastosowania.* Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
8. Sprawozdanie ITWL nr 2/24/2014 (zarejestrowane w Bibliotece ITWL pod nr 7678/50).
9. PN-88/B-06250 *Beton zwykły.*
10. PN-EN 1542:2000 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie.*

