

Polimocznik – materiał o wielostronnym zastosowaniu w ochronie antykorozyjnej i poprawiający parametry wytrzymałościowe elementów konstrukcyjnych



Dr hab. inż. Jacek Szafran, mgr inż. Artur Matusiak – doktorant, Katedra Mechaniki Konstrukcji, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej

1. Wprowadzenie

Zmiany środowiska naturalnego, które następują wskutek uprzemysłowienia i nieprawidłowego gospodarowania zasobami naturalnymi, powodują niekorzystne oddziaływanie środowiska na konstrukcje budowlane. Zmiany te wraz z niewłaściwą eksploatacją budowli powodują pogorszenie przydatności obiektu, niejednokrotnie zmniejszając bezpieczeństwo użytkowania konstrukcji. Zagadnienia obejmujące użytkowanie obiektu, uszkodzenia mechaniczne i korozyjne oraz starzenie się materiału są ściśle powiązane. Niewłaściwe użytkowanie obiektu i/lub nieodpowiednie zabezpieczenie antykorozyjne konstrukcji powoduje konieczność przeprowadzania częstych napraw, remontów, renowacji itp. [1, 2].

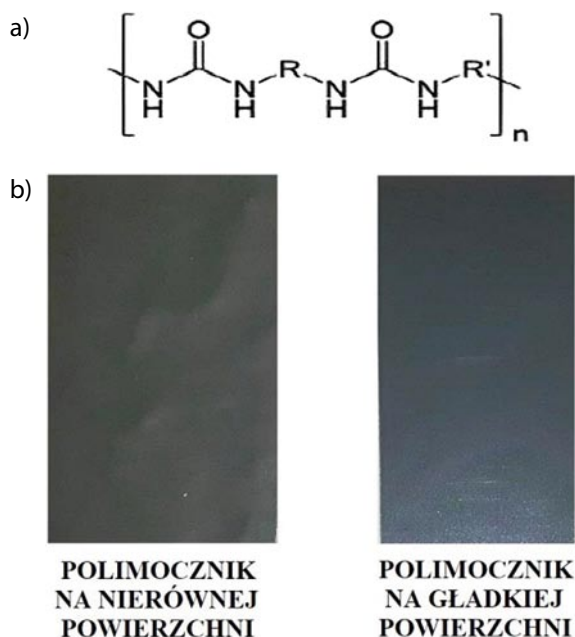
Proces korozji zgodnie z definicją to degradacja materiałów (np. betonu, żelbetu czy stali) pod wpływem chemicznej lub elektrochemicznej reakcji z otaczającym środowiskiem. Korozja powodująca zniszczenia konstrukcji wpływa również na dodatkowe nakłady finansowe podczas użytkowania obiektów. Problem ten jest zagadnieniem globalnym, którego natężenie zależy od środowiska zewnętrznego, strefy klimatycznej jak i jakości samych materiałów. Biorąc powyższe pod uwagę, oczywiste jest stwierdzenie o konieczności stosowania odpowiedniej ochrony przed korozją. Kluczowe do zachowania odpowiedniej odporności korozyjnej i trwałości obiektów budowlanych jest prawidłowe dobranie materiałów do budowy konstrukcji. W przypadkach silnej agresywności konieczne jest stosowanie dodatkowej ochrony elementów konstrukcyjnych poprzez stosowanie materiałów powierzchniowych. Przydatność produktów, które są stosowane jako powłoki ochronne, jest oceniana na podstawie odpowiednich ich cech technicznych: głównie odporności chemicznej, współdziałania z konstrukcją, szczelności, a przede wszystkim przyczepności. Powszechnie rekomenduje się stosowanie materiałów pozwalających na poprawę

kilku walorów konstrukcji jednocześnie. Do takich materiałów można zaliczyć polimocznik [1–5].

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano zastosowanie powłok polimocznikowych jako szczególne materiały zwiększające odporność korozyjną elementów budowlanych. Skoncentrowano się głównie na zaprezentowaniu membran polimocznikowych jako funkcjonalnych powłok antykorozyjnych. Celem takiego zestawienia jest wykazanie dość istotnego faktu w kontekście nakładów finansowych prac izolacyjnych – jednoczesne uzyskanie skutecznej powłoki antykorozyjnej wraz z poprawą innych parametrów pracy konstrukcji, np. zwiększenia cech wytrzymałościowych jej elementów.

2. Powłoki polimocznikowe

Polimocznik jest współczesnym materiałem o nieprzeciętnych właściwościach, który został opracowany w latach 80. XX wieku w Stanach Zjednoczonych. W Europie powłoki polimocznikowe pojawiły się w latach 90. ubiegłego wieku, a rynek zastosowań tej technologii zaczął się dynamicznie rozwijać na świecie na początku XXI wieku. Polimocznik, pod względem materiałowym, jest produktem powstałym w wyniku reakcji izocyjanianu oraz mieszaniny amin, o łańcuchowej budowie składającej się z „n” liczby cząsteczek silnie usieciowanych z sobą (rys. 1). Polimocznik to elastomer otrzymywany w wyniku reakcji chemicznej (poliaddycji) aromatycznego lub alifatycznego izocyjanianu z wielofunkcyjną aminą lub mieszaniną amin. Polimoczniki aromatyczne powstają na bazie diizocyjanianu metylenodifenyłu (MDI), polimoczniki alifatyczne, natomiast na bazie diizocyjanianu heksametylenu (HDI) lub diizocyjanianu izoformonu (IPDI), które stanowią sztywny segment łańcucha. Wybór prepolimeru izocyjanianowego wpływa na znaczące właściwości gotowego produktu końcowego. Wybór odpowiedniego diizocyjanianu powinien się opierać na uzyskaniu optymalnego kompromisu pomiędzy lepkością materiału a reaktywnością



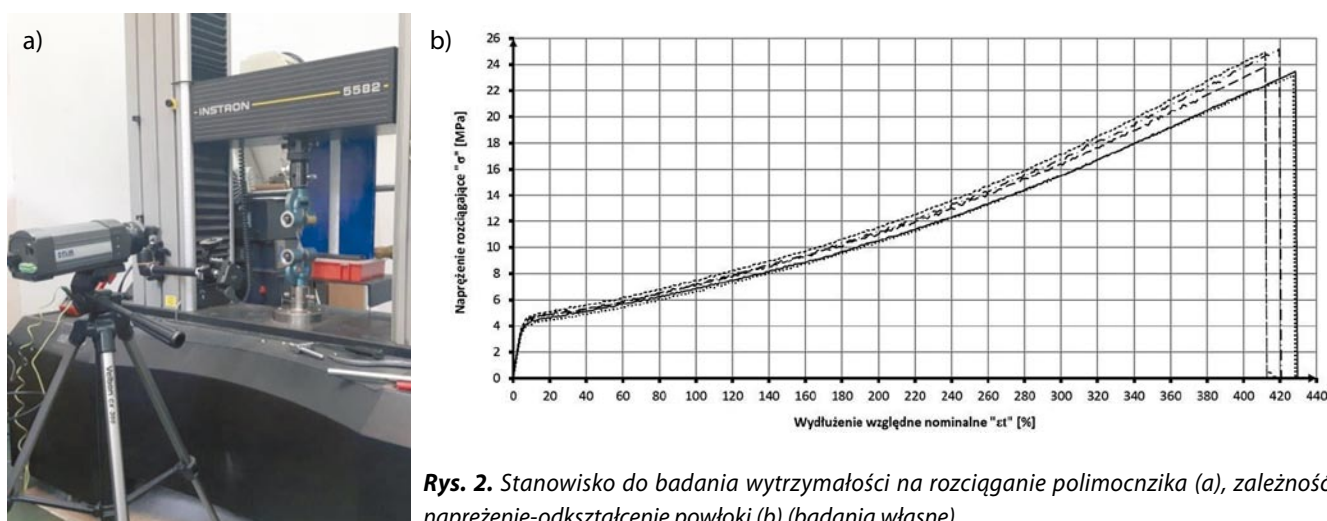
Rys. 1. Łańcuchowa budowa polimocznika (a), próbki z aplikacji powłoki (b) (opracowanie własne [10])

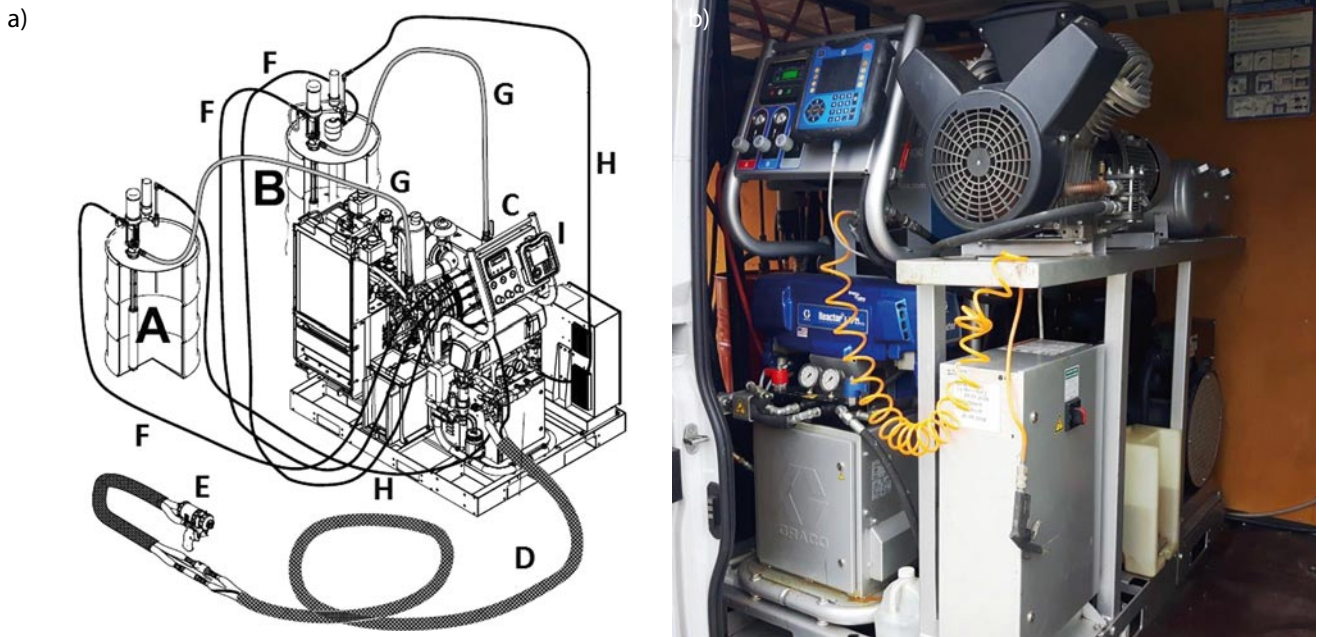
całego układu. Wysoka lepkość wpływa na pogorszenie zdolności mieszania składników, natomiast niższa lepkość ułatwia mieszanie składników, dając lepszą reaktywność i zwiększoną twardość powłoki [6–10].

3. Właściwości polimocznika i sposoby jego aplikacji

Powłoki polimocznikowe, w przeciwieństwie do tradycyjnych materiałów izolacyjnych, uzyskują doskonałe parametry użytkowe oraz właściwości mechaniczne i chemiczne praktycznie niezależnie od warunków ciepłno-wilgotnościowych podczas aplikacji. Parametry materiałowe powłok polimocznikowych, które decydują o ich szerokim zastosowaniu, to [6–10]:

- szybka reaktywność, sieciowanie i wiązanie – cecha ta pozwala ograniczyć do minimum czas niezbędny na wykonanie zabezpieczenia z użyciem polimocznika;
 - sprężystość i elastyczność – odkształcenia produktu końcowego wynikają z prostowania się łańcuchów, powodując nawet wielokrotne wydłużenie materiału podczas rozciągania przy braku uszkodzeń materiału; wydłużenie przy zerwaniu przekracza 400% (rys. 2);
 - wysoka wytrzymałość mechaniczna – badania i praktyczne zastosowania potwierdzają, iż powłoka uzyskuje bardzo dobre parametry wytrzymałości na rozciąganie (> 20 MPa), twardości, wytrzymałości na rozdarcie (> 50 MPa) i odporności na ścieranie (rys. 2);
 - wysoka odporność chemiczna – membrana jest odporna na działanie kwasów organicznych i nieorganicznych, zasady nieorganiczne oraz roztwory soli i amin (amoniak, sole amonowe);
 - zdolność przesklepiania rys – nieprzeciętna sprężystość polimocznika nadaje powłoce możliwość mostkowania rys (kompensowania ruchów podłoża bez uszkodzeń powłoki);
 - odporność na promieniowanie UV – powłoka ta jest odporna na warunki atmosferyczne, pod wpływem promieniowania UV powłoka może się odbarwić, lecz nie zmienia to pozostałych parametrów technicznych;
 - przyczepność do podłoża – polimocznik ma wysoką przyczepność (przy założeniu prawidłowego przygotowania powierzchni przed aplikacją powłoki) do tradycyjnych materiałów budowlanych; prawidłowa przyczepność produktu jest ściśle powiązana z szczelnością całej powłoki;
- Powłoki polimocznikowe (jako izolacje natryskowe) aplikowane są przy użyciu specjalnych urządzeń (agregatów natryskowych), podgrzewających komponenty polimocznika do temperatury 65–80°C, a następnie pod ciśnieniem 80–200 bar przesyłających je do pistoletu natryskowego. Urządzenia natryskowe charakteryzują się złożoną budową, umożliwiającą uzyskanie odpowiednich parametrów aplikowanych komponentów oraz możliwością stałej kontroli





Rys. 3. Schemat agregatu natryskowego (a), widok przykładowej maszyny (b) (opracowanie własne [10])

właściwości mieszanki (rys. 3). Jest to tym bardziej istotne, ponieważ produkt końcowy jest wytwarzany in situ bezpośrednio na budowie. Membrany polimocznikowe można aplikować na dowolny rodzaj powierzchni. W większości przypadków podłoże należy, za pomocą właściwych zabiegów, odpowiednio przygotować pod aplikację powłoki. Przygotowanie powierzchni oraz aplikacja izolacji natryskowych wymaga ścisłego przestrzegania reżimów technologicznych, które są konieczne dla otrzymania wysokiej jakości izolacji. Szczególną uwagę należy zwrócić na wilgotność i czystość podłoża (obecność oleju, smaru oraz luźnych cząstek). W zdecydowanej większości przypadków aplikacji polimocznika niezbędne jest wcześniejsze piaskowanie lub śrutowanie podłoża, w połączeniu z nałożeniem odpowiednio dobrego podkładu gruntującego lub gruntu szcpego. Polimocznik jest standardowo aplikowany w ilości 2,1–2,5 kg/m², co odpowiada grubości końcowej produktu wynoszącej 2,0–2,3 mm. Przejścia i przebicia powierzchni izolowanej oraz detale wymagają większej grubości pokrycia nawet do 5,0 mm.

Rozwój technologii pozwolił aplikować materiał na praktycznie dowolny rodzaj powierzchni budowlanej. Obecnie jest wykorzystywany do ochrony konstrukcji betonowych, żelbetonowych i stalowych przed negatywnym oddziaływaniem środowisk agresywnych (rys. 4). Stosowany jest w infrastrukturze gospodarki wodnej (obiektów przemysłowych i ogólnych), stanowi także warstwę wykończeniową dachów i parkingów oraz jako zabezpieczenie w obiektach rolniczych. Niejednokrotnie powłoka pozwala na wyeksponowanie walorów estetycznych powierzchni użytkowych [6–10].

4. Zalety i wady powłok polimocznikowych w zastosowaniach antykorozyjnych

Materiały powłokowe z założenia powinny oddzielać konstrukcję od środowiska agresywnego, chroniąc ją przed korozją. Większość powszechnie stosowanych powłok nie zapewnia jednak całkowitego oddzielenia. Tradycyjne produkty powłokowe są często porowate, a niektóre, mimo

Rys. 4. Aplikacja polimocznika na podłoże: a) betonowe, b) stalowe (opracowanie własne)





Rys. 5. Przykłady aplikacji powłoki w zbiornikach stalowych: a) zbiornik walcowy, b) zbiornik prostokątny (opracowanie własne)



Rys. 6. Elementy pokryte powłoką: a) kręgi betonowe, b) belki żelbetowe (opracowanie własne)

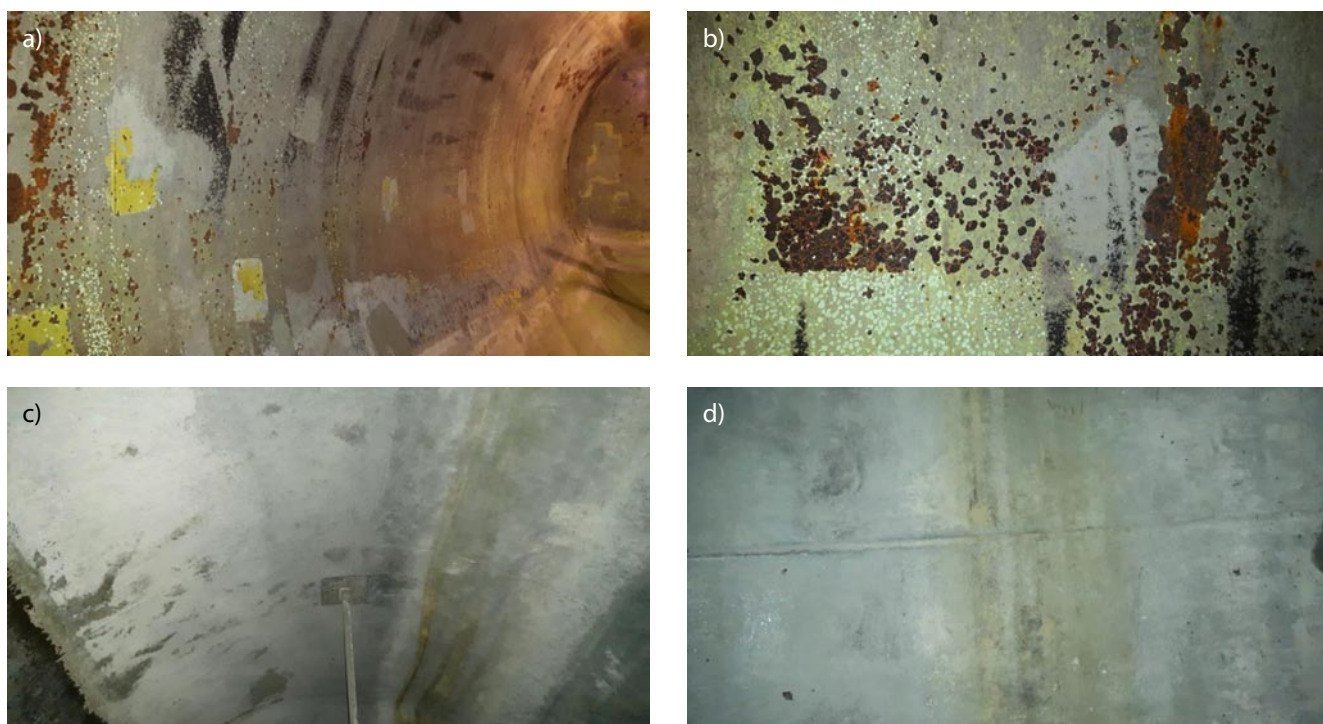
że szczelne, są przepuszczalne dla tlenu i/lub wody. Dobrze dobrana i wykonana powłoka ochronna cechuje się uwzględnieniem efektów działania środowiska na materiał powłoki oraz efektów działania powłoki na izolowane podłoże. Charakterystyka elementu (głównie kształt i rozmiar), przeznaczonego pod zaizolowanie, jest również niezwykle istotna ze względu na jakość i trwałość całej powłoki. Powierzchnie płaskie jest łatwo pokryć powłoką, natomiast wszelkie załamania, otwory i nierówności stanowią poważne wyzwanie dla tradycyjnych materiałów izolacyjnych [1–5].

Polimocznik, jako tworzywo sztuczne, posiadający nieprzećiętne właściwości izolacyjne oraz dobrą wytrzymałość mechaniczną i trwałość stanowi obecnie wartościowy materiał antykorozyjny. Systemy polimocznikowe są coraz szerzej stosowane w budownictwie do zabezpieczania elementów budowli przed korozją. Aplikowane jako materiały powłokowe (natryskowe), polepszają równocześnie nierzadko inne parametry użytkowe konstrukcji. Ujemnymi cechami tego rozwiązania, z punktu widzenia izolacji antykorozyjnych, są: skomplikowany i złożony technologicznie proces przygotowania podłoża, wykluczona aplikacja na powierzchniach brudnych, tłustych i źle przygotowanych, a także konieczność stosowania zaawansowanego technologicznie agregatu natryskowego [6–10]. Konstrukcje stalowe powinny być zabezpieczone przed wpływami środowiska w zależności od kategorii korozyjności, dla której dany obiekt został zaprojektowany i wzniesiony. Polimocznik spełnia wszystkie wymagania techniczne (opisane

w pkt. 1), które są wymagane dla powłok chroniących konstrukcje stalowe przed korozją (rys. 5).

Celem prawidłowego zaprojektowania zabezpieczenia antykorozyjnego konstrukcji betonowych (żelbetowych) jest dobranie właściwej ochrony, w zależności od przewidywanego stopnia agresywności środowiska. Systemy polimocznikowe ze względu na swoje nieprzećiętne właściwości izolacyjne mogą być uznane za dobre rozwiązanie na każdy rodzaj izolacji powierzchniowej betonu (lekka, średnia lub chemoodporna). Polimocznik zapewnia szczelną i trwałą ochronę, spełniając wymagania techniczne (opisane w pkt. 1), dla powłok chroniących konstrukcje betonowe przed korozją (rys. 6).

Powłoki polimocznikowe stanowią obecnie grupę wartościowych materiałów antykorozyjnych, co zostało udowodnione na przykładzie realizacji w stalowym zbiorniku podziemnym (rys. 7). W zbiorniku składowane są agresywne ścieki poprodukcyjne (woda amoniakalna), których temperatura osiąga wartości od 50°C do nawet 70°C. Zabezpieczenie antykorozyjne z wykorzystaniem tradycyjnych materiałów izolacyjnych (chemoodpornych), z zastosowaniem materiałów opartych na bazie żywic wysokiej jakości, nie przyniosły oczekiwanych efektów. Produkty żywiczne już po roku eksploatacji wykazywały ślady uszkodzeń ich struktury oraz perforacji powłoki, głównie w newralgicznych obszarach na powierzchni płaszcza zbiornika: spoiny i przejścia instalacji technologicznej. Po dwóch latach



Rys. 7. Stalowy zbiornik na agresywne ścieki poprodukcyjne o temperaturze 60–70°C: a) i b) zbiornik zabezpieczony produktem na bazie żywicy po dwóch latach eksploatacji, c) i d) zbiornik zabezpieczony powłoką z polimocznika po dwóch latach eksploatacji (opracowanie własne)

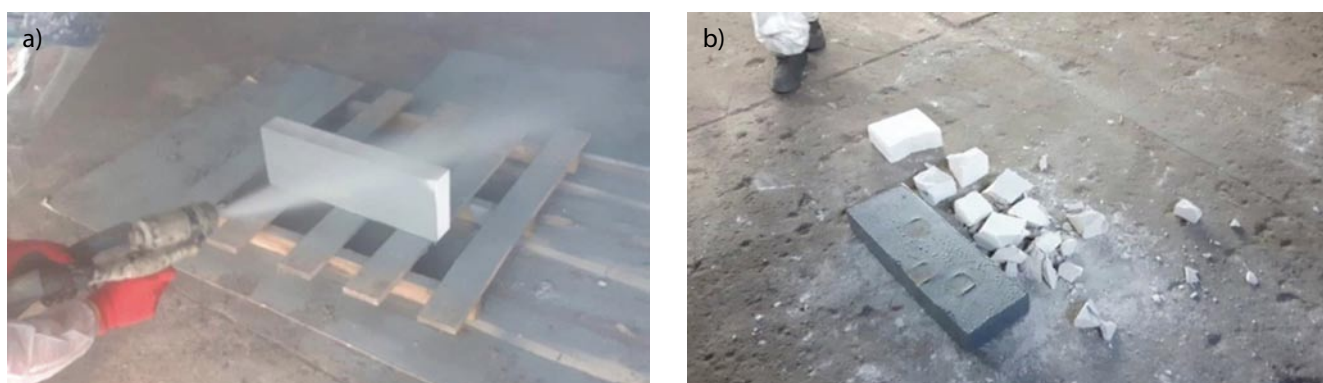
użytkowania następowała całkowita utrata funkcjonalności powłok żywiczych, tworzyły się liczne pęcherze oraz odspojenia od stalowego podłoża (rys. 7a, 7b).

Zastosowanie powłoki z polimocznika pozwoliło przede wszystkim w szybki sposób zabezpieczyć antykorozyjnie istniejący zbiornik – prace izolacyjne wyłączyły zbiornik z użytkowania na 5 dni roboczych. Przeprowadzone przeglądy roczne zbiornika, po roku i dwóch latach eksploatacji (rys. 7c, 7d), potwierdziły prawidłową współpracę polimocznika z podłożem stalowym oraz funkcjonalne zabezpieczenie antykorozyjne zbiornika. Membrana polimocznikowa po tym okresie użytkowania wykazała dobrą odporność chemiczną i termiczną. Zarejestrowano wyłącznie normalne ślady eksploatacji w postaci miejscowych odbarwień oraz niewielkich pęcherzy, pomimo tego powłoka zachowała szczelność i funkcjonalność na całej powierzchni zbiornika (rys. 7c, 7d).

Membrany polimocznikowe, jak zaprezentowano wcześniej, stanowią funkcjonalne powłoki antykorozyjne, a zarazem mogą wydłużyć trwałość konstrukcji betonowej, żelbetowej lub stalowej, np. poprzez zwiększenie odporności na ścieranie oraz zdolność mostkowania rys [11–19]. Stosując jeden produkt, można uzyskać dobrą odporność korozyjną, wydłużając tym samym okres bezpiecznego użytkowania konstrukcji, przy łatwej aplikacji powłoki nawet na skomplikowanych obiektach, np. zbiornikach stalowych, kręgach betonowych i belkach żelbetowych (rys. 5–7).

5. Wpływ powłok polimocznikowych na parametry wytrzymałościowe elementów konstrukcji

Analiza dostępnej literatury wskazuje, iż powłoki polimocznikowe pozytywnie wpływają również na parametry



Rys. 8. Aplikacja powłoki na bloczek z gazobetonu (a), uszkodzenia bloczków po badaniu (b) (badania własne)

wytrzymałościowe konstrukcji. W opracowaniach [11–14] autorzy zaprezentowali wyniki badań przedstawiające korzystny wpływ aplikacji polimocznika na elementy konstrukcji, które (układ: konstrukcja z warstwą polimocznika) zostały poddane oddziaływaniu fali uderzeniowej wybuchu. Zastosowanie powłoki z polimocznika (materiał o zdolności pochłaniania energii i wysokiej elastyczności) pozwoliło na przetrwanie elementów konstrukcji z niewielkimi uszkodzeniami, przy czym elementy bez powłoki zostały doszczętnie zniszczone po przejściu fali uderzeniowej. W publikacjach [15–18] wykazano zdolność polimocznika do poprawy nośności niektórych elementów i węzłów stosowanych w budownictwie (belki żelbetowe, połączenia drewniane oraz szczelność rur wodociągowych).

Jako ilustrację opisanych cech powłoki przeprowadzono prosty eksperyment fizyczny, z wykorzystaniem bloczków z gazobetonu, polegający na zbadaniu ich odporności na uderzenia. W doświadczeniu wykorzystano bloczki z gazobetonu, połowa bloczków została pokryta powłoką, a pozostałe elementy nie zostały zabezpieczone w żaden dodatkowy sposób. Do zbadania wytrzymałości na uderzenia wykorzystano młot 5 kg, którym z wysokości około 1,5 m uderzano w bloczki. Bloczki niepokryte powłoką rozstrzaskiwały się na drobne elementy, próbki pokryte polimocznikiem dopiero po kilku mocnych uderzeniach wykazywały ślady uszkodzeń (rys. 8). Obserwację uszkodzeń elementów wraz z przebiegiem doświadczenia zaprezentowano na filmie:
<https://www.youtube.com/watch?v=otn5JtY2ATk>.

W ramach badań eksperymentalnych elementów konstrukcji w ich skali naturalnej, przeprowadzono doświadczenie analizujące wpływ powłoki z polimocznika na nośność przy zgniataniu kręgów betonowych. Przeanalizowano także mechanizmy zniszczenia w zależności od sposobu aplikacji powłoki oraz zarysowanie i deformacje poszczególnych typów próbek. Łącznie badaniu wytrzymałości na zgniatanie poddano dziewięć kręgów betonowych (3 typy próbek): I typ – próbki kontrolne, bez powłoki; II typ – kręgi z powłoką na powierzchni zewnętrznej; III typ – kręgi z powłoką na powierzchni zewnętrznej oraz wewnętrznej (rys. 9).

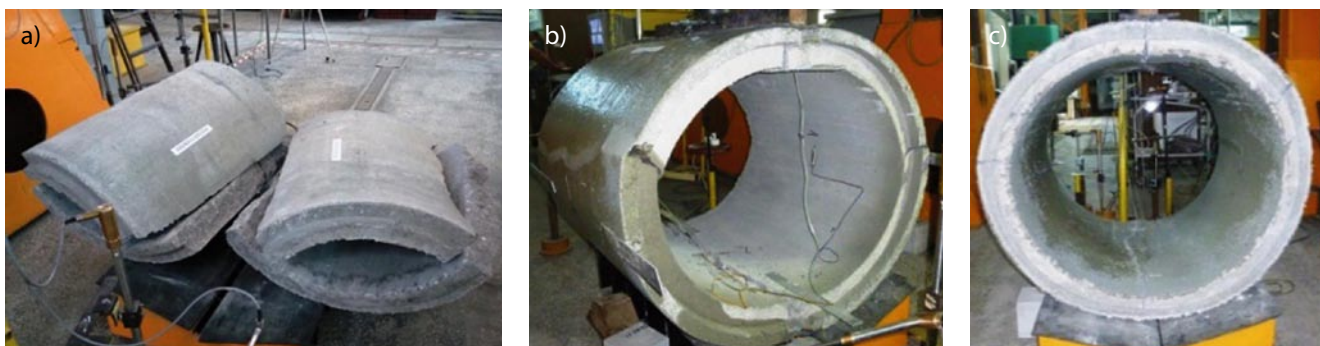
Na podstawie analizy otrzymanych wyników zauważono zdolność powłok polimocznikowych do zapewnienia

dotaddkowego wzmocnienia (wzrost nośności na zgniatanie o ponad 20%) kręgów betonowych pokrytych powłoką na powierzchni zewnętrznej oraz wewnętrznej (III typ próbek). Zaobserwowano także dużą skuteczność powłoki przy przesklepianiu rys, które w przekrojach zarysowanych wynosiło nawet do 10 mm rozwarcia rysy. Membrana polimocznikowa dodatkowo zabezpieczyła elementy przed gwałtownym ich zniszczeniem, kręgi pokryte powłoką sygnalizowały awarię poprzez znaczący przyrost deformacji przekroju. Dopełniającym wnioskiem z eksperymentu był łatwy i szybki sposób aplikacji powłoki nawet na zaokrąglone powierzchnie, które stanowią spore wyzwanie dla tradycyjnych materiałów izolacyjnych [19]. Obserwację mechanizmów zniszczenia poszczególnych typów próbek wraz z przebiegiem eksperymentu zaprezentowano na filmie:
<https://www.youtube.com/watch?v=2RAvB1tjXRA>.

6. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu analizie poddano zastosowanie polimocznika jako powłoki ochronnej, z uwzględnieniem jego właściwości w odniesieniu do wymagań technicznych stawianych rozwiązaniom antykorozyjnym konstrukcji betonowych, żelbetowych i stalowych. Na tej podstawie można stwierdzić, że membrany polimocznikowe są dobrym rozwiązaniem antykorozyjnym omówionych typów konstrukcji budowlanych, przy ich prawidłowej aplikacji od strony środowiska agresywnego. Warto przy tym podkreślić, że prace izolacyjne z wykorzystaniem polimocznika wymagają specjalistycznego sprzętu oraz odpowiednich kwalifikacji, doświadczenia i wiedzy od osób wykonujących aplikację systemu. Powłoki polimocznikowe, ze względu na swoje właściwości, stanowią obecnie nie tylko funkcjonalną powłokę antykorozyjną ale również poprawiają inne parametry użytkowe konstrukcji, np. zwiększają odporność na uderzenia i ścieranie, mostkują rysy, chronią przed gwałtowną awarią oraz znacząco wydłużają trwałość elementów konstrukcji.

Można zatem sądzić, biorąc pod uwagę uniwersalne właściwości polimocznika, że użycie systemów polimocznikowych w nowoczesnym budownictwie będzie rosło, zwłaszcza jeśli wraz z ich popularnością cena tych usług będzie maleć.



Rys. 9. Kręgi betonowe po zniszczeniu: a) typ I, b) typ II, c) typ III (badania własne)

Niniejszy artykuł został przygotowany na XXI Konferencję Naukowo-Techniczną „Kontra 2020 – Trwałość budowli i ochrona przed korozją” i uzyskał pozytywną opinię Komitetu Naukowego Konferencji. Z powodu sytuacji epidemiologicznej XXI Konferencja KONTRA nie może odbyć się w przewidzianym terminie, pragniemy jednak zaprezentować Państwu jej dorobek publikacyjny.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Badowska H., Danilecki W., Mączyński M., Ochrona budowli przed korozją, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1974
- [2] Baszkiewicz J., Kamiński M., Korozja Materiałów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006
- [3] Bródka J., Przebudowa i utrzymanie konstrukcji stalowych, Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Konstrukcji Metalowych Mostostal, Politechnika Łódzka, Warszawa, Łódź, 1995
- [4] Maaß P. (red.), Peißker P. (red.), Cynkowanie ogniowe, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa, 1998
- [5] Gruener M., Korozja i ochrona betonu, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1983
- [6] Banera J., Maj M., Ubysz A., Powłoki polimocznikowe w budownictwie, DTP: D-CONCEPT, Grupa MD, Poznań, 2017
- [7] Szafran J., Matusiak A., Polyurea coating systems: definition, research, applications, XXII LSCE, Olsztyn, 2016
- [8] Szafran J., Matusiak A., Nowoczesne izolacje natryskowe w budownictwie na przykładzie pianki PUR i polimocznika, III Konferencja Naukowo-Techniczna, Kraków, 2017
- [9] Szafran J., Matusiak A., Piana PUR i polimocznik – innowacyjne izolacje natryskowe, Inżynier budownictwa 4/2018
- [10] Dokumentacja techniczna polimocznika udostępniona przez firmę BASF Polska
- [11] Raman S. N., Jamil M., Ngo T., Mendis P., Pham T., Retrofitting of RC panels subjected to blast effects using elastomeric polymer coatings, Conference Paper, September 2014 Proceedings of Concrete Solutions, 5th International Conference on Concrete Repair, Belfast, Northern Ireland
- [12] Davidson J. S., Porter J. R., Dinan R. J., Hammons M. I., Connell J. D., Explosive Testing of Polymer Retrofit Masonry Walls, Journal of Performance of Constructed Facilities © ASCE/MAY 2004, str. 100–106
- [13] Davidson J. S., Fisher J. W., Hammons M. I., Porter J. R., Dinan R. J., Failure Mechanisms of Polymer-Reinforced Concrete Masonry Walls Subjected to Blast, Journal of Structural Engineering © ASCE/AUGUST 2005, str. 1194–1205
- [14] Goswami A., Adhikary S. D., Retrofitting materials for enhanced blast performance of Structures: Recent advancement and challenges ahead, Construction and Building Materials 204/2019, str. 224–243
- [15] Alldredge D. J., Gilbert J. A., Asce M., Toutanji H. A., Asce F., Lavin T., Balasubramanyam M. S., Uplift Capacity of Polyurea-Coated Light Frame Rafter to Top Plate Connections, Journal of Materials in Civil Engineering © ASCE/SEPTEMBER 2012, str. 1201–1210
- [16] Parniani S., Toutanji H., Monotonic and fatigue performance of RC beams strengthened with a polyurea coating system, Construction and Building Materials 101/2015, str. 22–29
- [17] Marawan A. E., Debaiky A. S., Khalil N. N., Shear and flexural behavior of R. C. beams strengthened with polyurea spray, International Journal of Advance Research in Science and Engineering, tom 4, 11/2015
- [18] Ha S. K., Lee H. K., Kang I. S., Structural behavior and performance of water pipes rehabilitated with a fast-setting polyurea-urethane lining, Tunneling and Underground Space Technology 52/2016, str. 192–201
- [19] Szafran J., Matusiak A., Structural behavior and compressive strength of concrete rings strengthened with a polyurea coating system, XXIII LSCE, Bydgoszcz, 2017

ZAPROŚ EKSPERTA!



Darmowe szkolenia z zakresu projektowania i użytkowania obudów do wykopów

www.kopras.pl

szkolenie@kopras.pl

tel. 612-001-191