

dr inż. Dawid Gacki¹⁾
ORCID: 0000-0003-2025-3884
dr inż. Kamil Słowiński^{1)*}
ORCID: 0000-0002-4225-520X

Naprawa wewnętrznego płaszcza stalowego zbiornika podziemnego na paliwo płynne laminatem poliestrowo-szklanym

Repair of the internal steel shell of an underground liquid fuel tank with a polyester-glass laminate

DOI: 10.15199/33.2024.04.02

Streszczenie. W artykule przedstawiono rezultaty analiz numerycznych i badań doświadczalnych, których celem była ocena metody naprawy płaszcza wewnętrznego dwuścianowego zbiornika podziemnego powłoką laminatową, wykonaną z żywicy poliestrowej i maty szklanej. Ocena ta dokonana została w kontekście wpływu powłoki laminatowej na parametry wytrzymałościowe płaszcza wewnętrznego oraz właściwości laminatu przy jego długotrwałym kontakcie z paliwem. Wyniki badań doświadczalnych, obejmujących określenie porowatości, oznaczenie chłonności oraz ocenę palności próbek laminatu wskazały na cechy powłoki laminatowej, istotne w kontekście zagrożenia ogniowego zbiornika. Otrzymane rezultaty wskazały również na potrzebę kontynuacji prac nad rozwojem skutecznych i bezpiecznych technologii naprawy z wykorzystaniem powłok kompozytowych.

Słowa kluczowe: zbiornik paliwowy; laminat; kompozyt; korozja; wytrzymałość; palność; porowatość; analiza MES.

Abstract. The article presents the results of numerical analyses and experimental tests, the aim of which was to evaluate the method of repairing the inner shell of a double-walled underground tank with a laminate coating made of polyester resin and glass mat, in the context of the impact of this coating on the strength parameters of the inner shell as well as the properties of the laminate during its long-term use contact with fuel. The results of experimental tests, including the determination of porosity and absorption, as well as the assessment of flammability of laminate samples, indicated important features of the laminate coating in the context of the fire hazard of the tank. The results obtained also indicated the need to continue work on the development of effective and safe repair technologies using composite coatings.

Keywords: fuel tank; laminate; composite; corrosion; strength; flammability; porosity; FEM analysis.

Pod wejściem w życie wymagań rozporządzeń [1, 2], dotyczących monitoringu przecieków zbiorników przeznaczonych do magazynowania zapalnych materiałów ciekłych, zaistniała konieczność modernizacji lub wymiany części istniejących zbiorników na paliwa płynne. Celem wprowadzonych zmian miało być zminimalizowanie zagrożenia skażenia gleby paliwem wyciekającym ze zbiornika. W wielu przypadkach przyczyną takich wycieków były nieszczelności spowodowane korozją płaszcza zbiornika. Problem ten dotyczył szczególnie stalowych zbiorników podziemnych, powszechnie eksploatowanych na stacjach i w bazach paliw. Rozwiązaniem mającym zagwarantować odpowiedni poziom bezpieczeństwa takich zbiorników

miało być zastosowanie dwóch płaszczy (zamiast jednego), z ciągłym monitoringiem przestrzeni między nimi, pozwalającym na wykrycie nieszczelności płaszcza wewnętrznego. Jak pokazują jednak doświadczenia z eksploatacji takich zbiorników, procesy korozyjne zachodzące na powierzchni obu płaszczy stanowią ciągle poważne zagrożenie mogące skutkować wyciekami paliwa do gruntu.

Ubytki korozyjne na powierzchni płaszcza zewnętrznego zbiorników dwuścianowych są na ogół rezultatem niewłaściwego wykonania zabezpieczenia bitumicznego tego płaszcza, bądź uszkodzenia tego zabezpieczenia podczas wykonywania prac związanych z posadowieniem zbiornika. Tempo korozji stali w gruncie szacuje się na $0,1 \div 0,2$ mm/r, przy czym proces ten może postępować szybciej w przypadku wystąpienia dodatkowych czynników

w postaci prądów błędzących czy mikroorganizmów, np. beztlenowych bakterii redukujących siarczany. Czynniki te nie mają charakteru stałego, a ich intensywność zależy od wielu okoliczności, jak np. poziom wód gruntowych, pora roku czy obecność infrastruktury drogowej w pobliżu zbiornika. Przykładowo, w okresie zimowym do gruntu znajdującego się w otoczeniu zbiorników przedostaje się znaczna ilość chlorków stosowanych do odładzania jezdni (przenoszonych tam na pojazdach samochodowych), które zwiększają przewodnictwo elektryczne gruntu i stymulują rozwój korozji wżerowej [3]. Naprawa płaszcza zewnętrznego, uzgodniona z Urzędem Dozoru Technicznego (UDT), wiąże się zazwyczaj z koniecznością usunięcia naziomu i uszkodzonej warstwy zabezpieczenia bitumicznego, wykonania naprawy spawalniczej płaszcza, a następnie odtworzenia war-

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

^{*}) Adres do korespondencji:
kamil.slowinski@polsl.pl

stwy bitumicznej i naziomu. Problematyczna okazuje się również naprawa płaszczu wewnętrznego, uszkodzonego w wyniku korozji. Ubytki korozyjne dotyczą powierzchni wewnętrznej tego płaszczu i są wynikiem agresywnego oddziaływania zarówno związków chemicznych zawartych w magazynowanym paliwie, jak i kondensatu pary wodnej osadzającej się na wewnętrznej powierzchni płaszczu (fotografia 1). Trzeba przy tym nadmienić, że powierzchnia ta zazwyczaj zabezpieczona jest na etapie budowy zbiornika jedynie przez olejowanie. Taki sposób zabezpieczenia nie zapewnia jednak odpowiednio długiej i skutecznej ochrony płaszczu. Można spodziewać się, że w perspektywie kilku lat stalowa wewnętrzna powierzchnia płaszczu ulegnie procesom korozyjnym. Naprawa płaszczu powinna prowadzić do pełnego lub częściowego przywrócenia jego właściwości mechanicznych, w tym przede wszystkim nośności, a także skutecznie gwarantować zabezpieczenie tego płaszczu przed dalszymi procesami korozyjnymi zachodzącymi na wewnętrznej powierzchni. Wykonanie takiej naprawy pozwala uniknąć dużych kosztów związanych z wymianą starego zbiornika na nowy. Wymiana taka wymaga bowiem zamknięcia stacji paliw na czas wykonywania prac budowlanych oraz wiąże się z możliwością uszkodzenia sieci podziemnych instalacji technologicznych.



Fot. 1. Korozja na powierzchni płaszczu wewnętrznego zbiornika paliwowego
Photo 1. Corrosion on the surface of the inner jacket of the fuel tank

Jedną z metod naprawy polega na zastosowaniu powłoki kompozytowej na wewnętrznej powierzchni płaszczu wewnętrznego, wykonanej z utwardzonych nienasyconych żywic poliestrowych lub epoksydowych oraz

włókna szklanego. W artykule przedstawiono rezultaty analiz numerycznych i badań doświadczalnych, których celem jest ocena tej metody naprawy w kontekście wpływu laminatu na poprawę parametrów wytrzymałościowych dwupłaszczowego stalowego płaszczu wewnętrznego zbiornika podziemnego (fotografia 2), jak i właściwości tego laminatu przy długotrwałym kontakcie z paliwem, istotnych w aspekcie oceny zagrożenia ogniowego zbiornika.



Fot. 2. Analizowany zbiornik podziemny
Photo 2. The analysed underground tank

Technologia naprawy z użyciem powłoki laminatowej

Omawiany sposób naprawy zaliczany jest do tzw. **technik laminacyjnych**, które charakteryzują się łatwością kształtowania powłok laminatu na dużej powierzchni elementów stalowych o obłym kształcie. Warstwa naprawcza aplikowana jest zazwyczaj na całej powierzchni wewnętrznej płaszczu zbiornika. Taki sposób naprawy może stanowić alternatywę dla metod wykorzystujących specjalne pasty, umożliwiającą jednak tylko miejscową naprawę płaszczu, tam gdzie występują największe ubytki korozyjne [5]. Laminat składa się z jednej lub większej liczby warstw maty szklanej w osnowie żywicznej. Warstwy te nakładane są na wewnętrzną powierzchnię płaszczu, oczyszczoną wcześniej metodą obróbki strumieniowo-ciernej. Jako pierwsza na powierzchni stali aplikowana jest warstwa żywicy pełniąca rolę wyrównującą (ze względu na ubytki naprawianej powierzchni) i gruntującą, a także stanowiąca zabezpieczenie przez korozją. Na niej układa się, metodą formowania ręcznego, warstwy włókna szklanego przesączonego żywicą poliestrową z dodatkiem utwardzacza. Po ułożeniu, warstwy te

dociska się wałkiem, co pozwala na równomierne rozprowadzenie żywicy na powierzchni włókien szklanych (fotografia 3). Zadaniem warstwy z włókien szklanych jest poprawa wytrzymałości płaszczu, głównie ze względu na naprężenia rozciągające występujące w kierunku południkowym i obwodowym płaszczu. Na koniec laminat zostaje pomalowany farbą odprowadzającą ładunki elektryczne.



Fot. 3. Nakładanie laminatu poliestrowo-szklanego na wewnętrzną powierzchnię płaszczu zbiornika

Photo 3. Applying a polyester-glass laminate to the inner surface of the tank shell

Analiza numeryczna

W pierwszym etapie badań przeprowadzono analizy numeryczne, których celem była ocena skuteczności wzmocnienia płaszczu wewnętrznego jednokomorowego zbiornika dwupłaszczowego, laminatem poliestrowo-szklanym. Ocena ta przeprowadzona została w kontekście możliwości przywrócenia pierwotnych właściwości mechanicznych płaszczu. Analizę wykonano w programie Ansys Workbench.

Do analizy wybrano podziemny zbiornik dwupłaszczowy do magazynowania materiałów ciekłych, zapalnych, o pojemności nominalnej 20 m³ i średnicy (wewnętrznej) płaszczu wewnętrznego 2500 mm. Grubość ścianek płaszczu wewnętrznego i zewnętrznego takiego zbiornika to odpowiednio 6 i 4 mm. Oba płaszczu wykonane zostały ze stali węglowej S235JR. Stałą odległość między płaszczami zapewniają ufor-

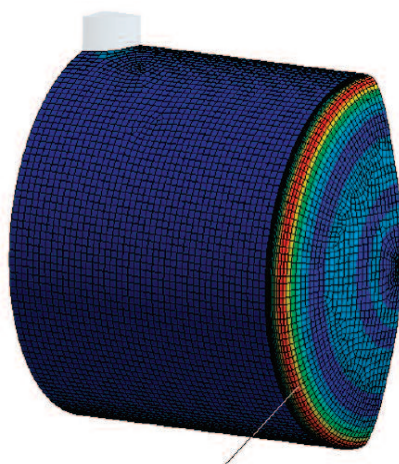
mowane obwodowo pręty rozdzielcze o średnicy 4 mm, w rozstawie co ok. 1500 mm na długości cylindrycznej części zbiornika. Zakłada się przy tym, że obciążenie, którego źródło znajduje się wewnątrz zbiornika, powinno zostać przeniesione wyłącznie przez płaszcz wewnętrzny. Z tego względu do analiz numerycznych wykonano model uwzględniający jedynie płaszcz wewnętrzny i króciec włazu z pokrywą. Płaszcz obciążony został ciężarem własnym oraz ciśnieniem wewnętrznym (nadcisnieniem) wynoszącym 75 kPa. Ciśnienie takie zadawane jest podczas ciśnieniowej próby szczelności, która jest warunkiem koniecznym dopuszczenia zbiornika do użytkowania przez Urząd Dozoru Technicznego (UDT). Ciśnienie 75 kPa stanowi nieco ponad 187% ciśnienia roboczego analizowanego zbiornika i jest najbardziej niekorzystnym przypadkiem obciążenia płaszcza wewnętrznego. Trzeba nadmienić, że obecnie zbiorniki dwusiano-we muszą spełniać wymagania normy PN-EN 12285-1 [4], a ich produkcja odbywa się na podstawie dokumentacji uzgodnionej z UDT.

Na potrzeby analiz numerycznych zamodelowano jedynie 1/4 płaszcza i króćca, odwzorowując warunki symetrii na ich krawędziach. Analizy dotyczyły trzech wariantów obliczeniowych: S1 – z modelem referencyjnym o płaszczu stalowym o nominalnej grubości 6 mm; S2 – z modelem o stalowym płaszczu grubości 4 mm, odwzorowującym sytuację, w której doszło do redukcji grubości płaszcza wskutek korozji; S3 – z modelem o płaszczu stalowym o grubości 4 mm, wzmocnionym laminatem poliestrowo-szklanym. Laminat ten składa się z dwóch warstw mat szklanych o grubości 1 mm każda, ułożonych na zmianę z trzema warstwami żywicy poliestrowej o grubości 0,5 mm. Do celów analizy wystarczający okazał się liniowy model materiału, zarówno płaszcza stalowego, jak i laminatu. W przypadku stali przyjęto moduł sprężystości i współczynnik Poissona, odpowiednio $E = 210$ GPa i 0,3. Zastosowano następujące wartości współczynników odkształcalności podłużnej i poprzecznej warstw z włókien szklanych (Glass) oraz żywicy poliestrowej (Re-

sin): $E_{\text{Glass}} = 73$ GPa, $\nu_{\text{Glass}} = 0,22$ oraz $E_{\text{Resin}} = 3,78$ GPa, $\nu_{\text{Resin}} = 0,35$.

Ze względu na technologię wykonania warstw z włókien szklanych przyjmuje się, że rozważany laminat to materiał izotropowy. Płaszcz zamodelowano z wykorzystaniem modułu Ansys Composite Pre, umożliwiającego zdefiniowanie laminatu oraz warstw elementu kompozytowego powstałego po wzmocnieniu płaszcza stalowego tym laminatem. Zapewniono spełnienie warunku ciągłości przemieszczeń na powierzchniach styku, zarówno poszczególnych warstw laminatu, jak i płaszcza z laminatem.

Na rysunku 1 przedstawiono typowy (dla każdego z trzech modeli) rozkład naprężeń zredukowanych na zewnętrznej powierzchni płaszcza stalowego, na której zarejestrowano największe wartości naprężeń. W każdym przypadku występowały one na powierzchni dennicy i były zauważalnie mniejsze od granicy plastyczności (235 MPa) stali, z której wykonano płaszcz. W wyniku redukcji grubości płaszcza największe naprężenia zarejestrowane w modelu S2 (z uwzględnieniem ubytków korozyjnych w ścianie płaszcza) stanowiły ok. 163% naprężeń odnotowanych w modelu referencyjnym S1. Zastosowanie laminatu w modelu S3 pozwoliło jednak na redukcję naprężeń do poziomu 127% naprężeń zarejestrowanych



$$\begin{aligned} \sigma_{\text{max},S1} &= 127,89 \text{ MPa} (t_{\text{stal}} = 6 \text{ mm}) \\ \sigma_{\text{max},S2} &= 209,10 \text{ MPa} (t_{\text{stal}} = 4 \text{ mm}) \\ \sigma_{\text{max},S2} &= 162,43 \text{ MPa} (t_{\text{stal}} = 4 \text{ mm} + t_{\text{lam}} = 3,5 \text{ mm}) \end{aligned}$$

Rys. 1. Rozkład naprężeń zredukowanych Hubera-Misesa na powierzchni płaszcza

Fig. 1. Huber-Mises equivalent stress distribution on the shell surface

w modelu referencyjnym S1. Otrzymane rezultaty wskazują, że zastosowanie wzmocnienia laminatem poliestrowo-szklanym pozwoliło na częściowe odtworzenie pierwotnej nośności płaszcza. Nośność wzmocnionego w ten sposób płaszcza jest jednak wystarczająca do przeniesienia ciśnienia wewnętrznego wywieranego na ten płaszcz zarówno podczas próby szczelności, jak i eksploatacji zbiornika.

Badania doświadczalne laminatu

Istnieją dwa zasadnicze sposoby przenikania substancji płynnych do wnętrza laminatu, tj.: przenikanie osmotyczne, które zależy od molekularnej struktury utwardzonej żywicy oraz infiltracja kapilarna przez mikropręknięcia [6]. Istnieje zatem prawdopodobieństwo, że pęcherze, pustki, pory i szczeliny obecne w laminacie wypełnią się po napełnieniu zbiornika paliwem w wyniku dyfuzji wielopierścieniowymi frakcjami węglowodorów w stanie gazowym, a po dłuższym okresie składowania paliwa – frakcją ciekłą. Z biegiem czasu może to zwiększać zagrożenie ogniowe zbiornika oraz powodować osłabienie struktury laminatu. W celu weryfikacji tej tezy przeprowadzono badania doświadczalne pod kątem porowatości, chłonności i palności laminatu mającego kontakt z paliwami płynnymi.

Badaniom poddano **powłoki laminatowe wykonane z maty szklanej przesyconej żywicą poliestrową**. Laminat przygotowano w warunkach laboratoryjnych, z ścisłym zachowaniem zasad technologii jego wykonania. Do przygotowania próbek laminatu użyto nienasyconej żywicy poliestrowej AROPOL M105 TB o małej emisji styrenu oraz mat szklanych EM 1002 o gramaturach 150 oraz 225 g/m², połączonych lepiszczem. Próbki poddano procesowi starzenia przez sześć miesięcy, bez obecności paliwa, a także w benzynie Pb95 i oleju napędowym ON (fotografia 4).

Badania porowatości

Laminaty wytworzone w zbiornikach paliwowych metodą ręcznego formowania mają w swojej budowie wewnętrznej dużą liczbę pustych przestrzeni o wielkości względnie małej w porów-



Fot. 4. Próbkki laminatu do badań
Photo 4. Laminate samples for testing

naniu z rozmiarem samego laminatu. Przestrzenie takie, niezależnie od ich kształtu i wymiarów, można nazwać porami [7]. Wzajemnie połączone tworzą w laminacie przestrzeń porową, przeważnie wypełnioną powietrzem i parą wodną, które mogą się w niej przemieszczać. Przeprowadzone badania makroskopowe okiem nieuzbrojonym oraz badania mikroskopowe próbek laminatu przygotowanych w warunkach laboratoryjnych potwierdziły istnienie dużej liczby porów o różnym kształcie, mogących magazynować w sobie substancje zawarte w paliwie. Można spodziewać się, że w warunkach formowania laminatu wewnątrz zbiornika, być może znacznie odbiegających od określonych w technologii robót pod względem temperatury, wilgotności czy dokładności dozowania żywicy z utwardzaczami, porowatość będzie jeszcze większa. Porowata struktura laminatu wskazuje na jego skłonność do absorpcji substancji z otoczenia.

Oznaczenie chłonności

W kolejnym kroku wykonano oznaczenie chłonności wilgoci próbek przygotowanych wg PN-EN ISO 62:2008 [8], metodą w kierunku *przez warstwę grubości tworzyw stałych*, o kształcie płaskim i wygiętym. Przeprowadzono analizę wagową próbek laminatu, przed i po ich starzeniu w paliwie, w celu określenia procentowej różnicy ich masy. Analizie poddano zestaw jedenastu próbek laminatu przygotowanych bez dodatkowej warstwy odprowadzającej ładunki elektrostatyczne. Próbkki zostały najpierw osuszone w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 50°C, a następnie – po ochłodzeniu do temperatury pokojowej w eksykatorze szklanym – ważone na legalizowanej wadze laboratoryjnej Mettler AJ100, z dokładnością

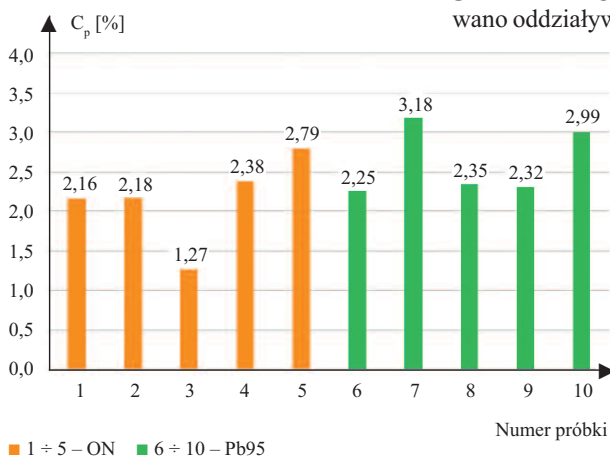
pomiaru 10⁻⁴ g. Próbkki poddano procesowi starzenia przez 6 miesięcy w paliwie, po czym osuszono bibułą laboratoryjną i ponownie zważono. Określono procentową różnicę masy każdej próbki w porównaniu z masą początkową, wg wzoru:

$$C_p = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\%$$

gdzie:

m_1 – masa laminatu przed starzeniem w paliwie, po osuszeniu w suszarce i ochłodzeniu;
 m_2 – masa laminatu po procesie starzenia w paliwie.

Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 2. Wskazują one na chłonność paliw Pb95 i ON przez laminat na poziomie nieprzekraczającym, odpowiednio 2,79 i 3,18%.



Rys. 2. Chłonność laminatów po sześciu miesiącach kondycjonowania w ON i Pb95

Fig. 2. Absorption of laminates after 6 months of conditioning in ON and Pb95

Ocena palności

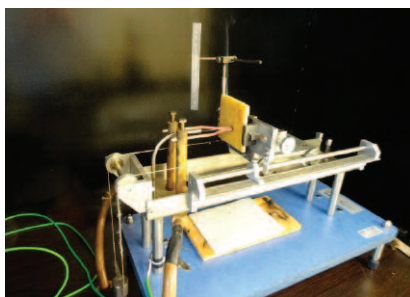
Zdolność przebadanego laminatu do absorpcji paliw płynnych może wskazywać na zwiększającą się jego palność wraz z upływem czasu, a w efekcie na zwiększone zagrożenie ogniowe zbiorników, w których zastosowano rozważany sposób naprawy. W celu weryfikacji

tych przewidywań przeprowadzono ocenę palności laminatu metodą rozżarzonego drutu oraz metodą płomienia palnika igłowego wg norm, odpowiednio PN-EN 60695-2-11:2015 [9] oraz PN-EN 60695-11-5: 2017 [10]. Badaniom poddano próbki laminatu o identycznej budowie jak w przypadku badania chłonności, starzone przez tydzień w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 70°C, a następnie stabilizowane w temperaturze pokojowej przez 48 h. Przygotowano próbki starzone w paliwie, jak i bez udziału paliwa (próbki referencyjne).

Badanie metodą rozżarzonego drutu. W badaniu tym rejestrowano temperaturę pręta wykonanego ze stopu niklu i chromu, przy której kompozyt żarzył się lub spalał przez czas dłuższy niż 30 s od momentu odsunięcia drutu od próbki. Pomiar czasu następował po kontakcie pręta z laminatem (fotografia 5). Badanie prowadzono przy temperaturze drutu: 500; 650 oraz 800°C. Wyniki badań podano w tabeli 1. Wszystkie próbki starzone w paliwie można uznać za palne przy temperaturze drutu wynoszącej 650°C i wyższej.

Badanie metodą płomienia igłowego. Podczas tego badania próbki poddawano oddziaływaniu płomienia, w określonym czasie (fotografia 6).

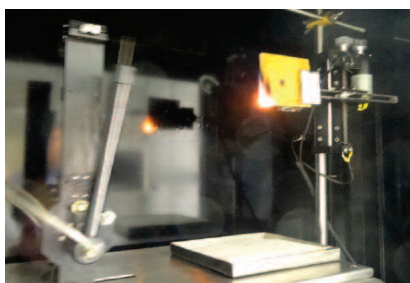
Zgodnie z normą [10], próbkę uznaje się za niepalną, gdy po założonym czasie kontaktu z płomieniem igłowym nie nastąpił jej zapłon lub żarzenie ciągłe, lub gdy płomień wzniesiony na elemencie wygasa samoczynnie w ciągu 30 s od wyłączenia płomienia igłowego. Zastosowano czas ekspozycji na ogień 15 i 30 s, przy krawędziowym oddziaływaniu płomienia na elementy próbne. Wyniki badań zestawiono w tabeli 2. Wszystkie próbki laminatu poddane starzeniu w paliwie nie wykazały oznak samogaśnięcia po upływie 30 s od odstawienia od płomienia, co wskazuje, że badany laminat należy uznać za materiał palny.



Fot. 5. Oznaczenie temperatury zapalenia laminatu metodą rozżarzonego drutu
 Photo 5. Determination of the ignition temperature of the laminate using the glowing wire method

Tabela 1. Wyniki badania palności metodą rozżarzonego drutu
 Table 1. Flammability test results using the glowing wire method

Oznaczenie próbki	Temperatura rozżarzonego drutu [°C]			Uwagi
	500	650	800	
	zapłon lub żarzenie przez 30 s po odstawieniu drutu od próbki, tak/nie			
1 Z	nie	nie	tak	próbki niestarzone w paliwie (próbki referencyjne). Zagłębienie drutu w próbce na ok. 2 mm
2 Z	nie	nie	tak	
1 ON	nie	tak	tak	próbki starzone w ON; zagłębienie drutu w próbce na ok. 2 mm; próbki w temperaturze 650°C żarzą się z wydzielaniem szarego, kopcącego dymu
2 ON	nie	tak	tak	
1 Pb95	nie	tak	tak	próbki starzone w Pb95; zagłębienie drutu w próbce na ok. 2 mm. Próbki w temperaturze 650°C żarzą się z wydzielaniem szarego, kopcącego dymu, a w temperaturze 800°C żarzą się lub spalają z wydzielaniem czarnego dymu
2 Pb95	nie	tak	tak	



Fot. 6. Badanie palności metodą płomienia igłowego
 Photo 6. Flammability test using the needle flame method

Tabela 2. Wyniki badania palności metodą płomienia igłowego
 Table 2. Flammability test results using the needle flame method

Oznaczenie próbki	Czas oddziaływania płomienia	
	15 s	30 s
	zapłon lub żarzenie w czasie 30 s po wygaszeniu płomienia, tak/nie	
1 Z	nie	tak
2 Z	nie	tak
1 ON	tak	tak
2 ON	tak	tak
1 Pb95	tak	tak
2 Pb95	tak	tak

Wnioski

Niewątpliwą zaletą naprawy przy użyciu powłok laminatowych jest ich zdolność do skutecznego zabezpieczenia powierzchni stalowej przed rozwojem korozji, na co wskazują doświadczenia wykonawców tego rodzaju napraw. Może to w znaczny sposób wydłużyć okres eksploatacji zbiorników paliwowych.

Przeprowadzone analizy numeryczne potwierdziły potencjał laminatów poliestrowo-szklanych w zastosowaniu do naprawy skorodowanych płaszczy stalowych dwupłaszczowych zbiorni-

ków podziemnych na paliwa płynne. Jak wykazano, zastosowanie powłoki kompozytowej wpłynęło na poprawę parametrów wytrzymałościowych płaszcza wewnętrznego, osłabionego wskutek korozji.

Wyniki badań doświadczalnych, w ramach których dokonano oceny porowatości i chłonności, wskazały, że powłoka laminatowa wykazuje skłonność do pochłaniania substancji zawartych w paliwie. Ocena palności laminatu dokonana z wykorzystaniem dwóch metod badawczych potwierdziła, że laminat poliestrowo-szklany należy zaliczyć do materiałów palnych, rozprzestrzeniających ogień oraz dym. Ta ostatnia właściwość badanego materiału wiąże się z dużym zagrożeniem ogniowym zbiornika po jego wzmocnieniu. Trzeba przy tym dodać, że otrzymane wyniki dostarczają jedynie informacji na temat palności laminatu. Nie mogą jednak stanowić podstawy do oceny zachowania się wzmocnienia laminatowego w przypadku pożaru zbiornika. Ocena taka wy-

maga przeprowadzenia kolejnych badań powłok laminatowych pod kątem zmiany ich właściwości przy długotrwałym kontakcie z paliwem. Szczególnie cenne mogłyby być rezultaty badania powłok laminatowych pozyskanych ze zbiorników eksploatowanych przez wiele lat. Wyniki takich badań mogłyby również dać odpowiedź na pytanie o zmiany zachodzące w strukturze laminatów, wpływające na parametry mechaniczne wzmocnienia wykonanego z ich użyciem.

Wszystkie rysunki i fotografie: autorzy

Literatura

[1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 18 września 2001 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki bezcisnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych (Dz.U. nr 113, poz. 1211).
 [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne służące do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie (Dz.U. nr 243, poz. 2063).
 [3] Sokółski W. 2015. Aspekty korozyjne stosowanych metod zabezpieczenia gruntu i wód podskórnych przed wyciekami paliw płynnych z nadziemnych i podziemnych zbiorników stalowych. Doroczna IX konferencja naukowo-techniczna Współczesne technologie przeciwkorozyjne.
 [4] PN-EN 12285-1:2018-11 Zbiorniki stalowe wytwarzane fabrycznie – Część 1: Poziome cylindryczne zbiorniki jednopłaszczowe i dwupłaszczowe do podziemnego magazynowania cieczy palnych i niepalnych zanieczyszczających wodę, innych niż służące do ogrzewania i chłodzenia budynków.
 [5] Masek R. Belzona 1212 – nowy kompozyt naprawczy na trudne warunki aplikacji. Ochrona przed korozją. Zeszyt 6. 2016.
 [6] Lietard V. 1998. Study of the separate and coupled effects of a hydrothermal environment and mechanical loading on the long-term deformability and toughness of glass/resin composites. University of Lille.
 [7] Aksielrud GA, Altszuler MA. Ruch masy w ciałach porowatych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa. 1987.
 [8] PN-EN ISO 62:2008 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie absorpcji wody.
 [9] PN-EN 60695-2-11:2015 Badanie zagrożenia ogniowego – Część 2-11: Metody badań oparte na stosowaniu rozżarzonego/gorącego drutu – Metoda badania rozżarzonym drutem palności wyrobów gotowych.
 [10] PN-EN 60695-11-5:2017 Badanie zagrożenia ogniowego – Część 11-5: Płomienie probiercze – Metoda badania płomieniem igłowym – Urządzenie, układ do próby sprawdzającej i wytyczne.

Przyjęto do druku: 15.03.2024 r.