

# STRESZCZENIA REFERATÓW

## 49. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących

Kołobrzeg, 17-20 października 2022

### 1. Zautomatyzowane badania systemami PA +TOFD – wdrażanie i zastosowania

**Autorzy:** Marek Śliwowski, NDTEST Sp. z o.o., Warszawa

**Streszczenie:** Celem referatu jest prezentacja prac wdrożeniowych automatycznych systemów ultradźwiękowych PA+TOFD, dedykowanych do badania doczołowych złączy spawanych o zakresie grubości 6 , 40 mm na obiektach ze stali węglowych - płaskich oraz rurociągach w zakresie średnic DN 500 , 1400 mm. Implementacja kombinowanych technik cyfrowych PA (Phase-Array – zastosowanie głowic wieloprzetwornikowych dających informację z całej objętości złącza) oraz TOFD (dyfrakcyjna technika czasu przejścia – komplementarne przeszukiwanie objętości spoiny) pozwala na cyfrowe zobrazowanie oraz cyfrowy zapis pełnych wyników badania w całej długości i objętości złącza spawanego i została znormalizowana, w zakresie badania wyrobów spawanych, oddzielnie w dokumencie PN-EN ISO 13588 dla techniki PA [2] oraz w PN-EN ISO 10863 - dla techniki TOFD [3]. Cyfrowe techniki badawcze pozwalają na łatwe automatyzowanie procesu, przy użyciu skanera prowadzącego głowice, z możliwością ręcznego (badanie pół-automatyczne) lub zmechanizowanego (badanie automatyczne) prowadzenia wzdłuż badanego złącza. Przywołane normy umożliwiają charakteryzowanie i klasyfikację wskazań ech odbitych lub dyfrakcyjnych oraz obwiedni echa uzyskiwanych głowicami PA oraz TOFD dla uzgodnionego poziomu badania (A, B lub C). Skutkuje to w każdym przypadku koniecznością przygotowania pisemnej procedury badania, odpowiednich próbek odniesienia określonych tymi normami oraz przeprowadzenia badań kwalifikacyjnych, a także wykonania badań pilotowych/porównawczych na próbkach o znanych lokalizacji i rozmiarach wad. W referacie przedstawiono doświadczenia z procesu wdrażania systemu PA+TOFD oraz badań dla złączy spawanych z pełnym przetopem w rurociągach.

### 2. Zastosowanie rentgenowskiej metody pomiaru naprężeń w diagnostyce przyczyny pęknięcia elementu spawanego turbiny gazowej

**Autorzy:** Wojciech Szymański, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metali Nieżelaznych Oddział w Skawinie

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono metodykę diagnostyki przyczyn pęknięcia detalu turbiny gazowej w miejscu połączenia spawanego dwóch stopów żarowytrzymałych. Wykonano rozkład naprężeń w okolicy złącza spawanego po wykonaniu elementu, co pozwoliło określić przyczynę pęknięcia. Próby wyżarzania i odprężania wibracyjnego, nie przyniosły spodziewanych efektów. W dalszej części pracy przeprowadzono pomiary naprężeń łączonych spawem

elementów detalu na kolejnych etapach jego wytwarzania, co pozwoliło na określenie, w którym momencie produkcji powstają krytyczne naprężenia będące przyczyną przedwczesnego pęknięcia w czasie pracy turbiny. Poprawa technologii produkcji eliminująca niekorzystny rozkład naprężeń pozwoliła na uzyskanie oczekiwanego czasu pracy turbiny bez awarii.

### 3. Wymagania normy PN-EN ISO 9712 Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących – porównanie wydania z 2012 r. i 2022 r.

**Autorzy:** Magdalena Maj-Sobczak, Krzysztof Rudnicki, Adam Muszyński, Urząd Dozoru Technicznego, Warszawa

**Streszczenie:** Norma PN-EN ISO 9712 Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących jest zbiorem zasad kwalifikacji certyfikacji personelu wykonującego badania NDT. W czerwcu br. Zostanie ogłoszone nowe wydanie niniejszej normy. Niniejszy referat stanowi porównanie wymagań wydania z 2012 r. z wydaniem z 2022 r.

### 4. Szczątkowe pole magnetyczne jako źródło informacji o stanie technicznym lin stalowych

**Autorzy:** Paweł Mazurek, Maciej Roskosz Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

**Streszczenie:** W pracy podjęto badania mające na celu analizę możliwości wykorzystania szczątkowego pola magnetycznego, będącego wynikiem lokalnych zmian właściwości elektromagnetycznych materiału liny, do identyfikacji stanu technicznego liny stalowej. Pod wpływem cyklicznie zmieniających się obciążeń roboczych oraz efektów magnetomechanicznych, zmiany właściwości elektromagnetycznych zachodzą zarówno w drutach, jak i w całej linie. W artykule przedstawiono zastosowanie czujników magnetycznych do określenia zależności między liczbą przegięć liny stalowej a wartością indukcji jej pola magnetycznego. Wiedza ta, odniesiona do lin pracujących na obiektach rzeczywistych, pozwala określić stan naprężeń w nich panujących oraz ich stan techniczny.

## 5. Nowe metody diagnostyki konstrukcji kompozytowych

**Autorzy:** Krzysztof Dragan, Piotr Synaszko, Norbert Pałka, Waldemar Świdzki, Andrzej Żyluk, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Wojskowa Akademia Techniczna, Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia

**Streszczenie:** Badania kompozytowych materiałów polimerowych są coraz częściej wykonywane z wykorzystaniem szerokiego spektrum metod umożliwiających zarówno kontrolę procesów produkcyjnych jak i wykrywania uszkodzeń eksploatacyjnych. Z uwagi na szerokie spektrum uszkodzeń oraz możliwych wad produkcyjnych coraz częściej stosuje się metody bezkontaktowe w tym umożliwiające wykrywanie uszkodzeń z większą rozdzielczością. Do badań wprowadzanych do zastosowań przemysłowych należy spektroskopia terahertzowa lub badania z wykorzystaniem technik mikrofalowych. W artykule przedstawiono podejście do badania takich struktur z wykorzystaniem metody spektroskopii THz, omówione zostaną aplikacje badawcze, ograniczenia i możliwości metody oraz wyniki porównawcze z metodą ultradźwiękową. Ponadto przedstawione zostanie podejście do zautomatyzowanej oceny i klasyfikacji wyników w oparciu o algorytmy przetwarzania sygnałów.

## 6. Problemy w ocenie wyników badań NDT łopaty wirnika nośnego śmigłowców rodziny Mi-8, Mi-24

**Autorzy:** Patryk Ciężak, Piotr Synaszko, Krzysztof Dragan Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych – ITWL, Warszawa

**Streszczenie:** Śmigłowce rodziny Mi są jednymi z najbardziej popularnych wojskowych śmigłowców na świecie. Liczba egzemplarzy poszczególnych modeli przedstawia się następująco: Mi-8 ponad 17000 egzemplarzy powstających od 1961 do dnia dzisiejszego, Mi-14 273 egzemplarzy powstałych w latach 1973–1986 oraz Mi-24 ponad 3000 egzemplarzy powstałych w latach 1970-1989. Łopaty wirnika nośnego są delikatnym, a zarazem krytycznym agregatem występującym na śmigłowcu. Dlatego też podlegają one regularnym przeglądom i sprawdzeniom. W artykule skupiono się na problematyce związanej z oceną wskazań uzyskanych w trakcie badań łopat wirnika nośnego śmigłowców rodziny Mi. Metalowa konstrukcja łopat wirnika nośnego rosyjskich wojskowych śmigłowców predestynuje wybór metod badań nieniszczących, jakimi są: metoda prądów wirowych (ET), metoda ultradźwiękowa (UT), metoda shearography (ST), Pitch-Catch oraz metoda Impedancji Akustycznej (MIA). Przy pomocy badań NDT możemy ocenić stan konstrukcji łopaty i znaleźć w jej elementach uszkodzenia powstałe w trakcie ich eksploatacji. W artykule zostały omówione typy uszkodzeń oraz metody wykorzystywane do ich wykrywania. W trakcie prowadzenia wieloletnich badań określono czynniki wpływające na ocenę uzyskanych wskazań.

## 7. Zastosowanie metody szerografii do badań konstrukcji lotniczych

**Autorzy:** Piotr Synaszko, Jakub Kotowski, Krzysztof Dragan, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych – ITWL, Warszawa,

**Streszczenie:** Szerografia jest optyczną metodą badań nieniszczących wykorzystującą zjawisko interferencji światła. Wykorzystuje się ją do wykrywania uszkodzeń powierzchniowych i podpowierzchniowych głównie w konstrukcjach kompozytowych i klejonych. Pomimo bardzo wysokiej czułości na zmianę deformacji badanego obiektu jest to metoda stosowana nie tylko w badaniach laboratoryjnych ale również w praktyce przemysłowej i eksploatacyjnej. W artykule przedstawiono krótką charakterystykę tej metody badań nieniszczących wraz z przedstawieniem rozwiązań stosowanych w praktyce badań. Przedstawiono podstawy teoretyczne metody oraz opisano algorytmy wyznaczania map fazowych. Artykuł zawiera wyniki dla typowych lotniczych aplikacji NDT oraz ich porównanie z innymi popularnie stosowanymi metodami.

## 8. Wczesne wykrywanie uszkodzenia stopu Inconel 718 na podstawie instrumentowanego pomiaru twardości

**Autorzy:** Maciej Malicki, Grzegorz Socha, Józef Krzysztofik Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Lotnictwa, Warszawa

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono metodę umożliwiającą wczesne wykrycie uszkodzenia materiału na podstawie instrumentowanego pomiaru twardości. Materiałem do badań i oceny stopnia degradacji był stop Inconel 718. Użyto próbek o zmiennym polu przekroju części pomiarowej pozwalających na uzyskanie ciągłego rozkładu odkształceń plastycznych w tej części próbki. Do określenia stopnia uszkodzenia D materiału przyjęto miarę zdefiniowaną przez G. R. Johnsona. Jako wskaźniki uszkodzenia wybrano wielkości uzyskane podczas instrumentowanego pomiaru twardości - twardość, energię odkształcenia plastycznego i instrumentowany moduł elastyczności. Uszkodzenia próbek wprowadzono poprzez statyczną próbę rozciągania oraz próby zmęczeniowe nisko- i wysokocykliczne. Na ich podstawie określono tzw. referencyjny parametr uszkodzenia  $D_{\epsilon}$  bazujący na wartościach odkształceń plastycznych w określonych przekrojach próbek. Powierzchnie próbek oraz ich przełomy poddano badaniom fraktograficznym. Określono prędkość rozwoju rozdzielczych pęknięć zmęczeniowych i procentową liczbę cykli zmęczeniowych przypadających na obszar zarodkowania dominującego pęknięcia zmęczeniowego. Instrumentowane pomiary twardości wykonano na specjalnie zaprojektowanym i skonstruowanym do tego celu twardościomierzu. Dokonano korelacji pomiędzy wartościami wskaźników uszkodzenia a referencyjnym parametrem uszkodzenia. Stwierdzono, że na relatywnie wczesnym etapie uszkodzenia (dla statycznej próby rozciągania i niskocyklicznej próby zmęczeniowej  $D_{\epsilon} < 0.3$ , a dla próby wysokocyklicznej  $D_{\epsilon} < 0.2$ ) istnieje liniowa zależność między twardością, energią odkształcenia plastycznego i instrumentowanym modułem elastyczności a stopniem uszkodzenia.

### 9. Badania diagnostyczne torowiska jazdy mostów przeładunkowych w systemie zasilania wielkiego pieca

**Autorzy:** Bogusław Ładecki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

**Streszczenie:** Dążenie do neutralności klimatycznej, a co za tym idzie do ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> jest przyczyną znacznego wzrostu kosztu produkcji stali. Wskutek ograniczonych nakładów finansowych na naprawy i modernizacje następuje istotne zużycie infrastruktury przemysłu hutniczego w Polsce. W następstwie powyższego, utrzymanie w zadowalającym stanie technicznych niektórych obiektów technicznych związanych z produkcją stali rodzi szereg problemów eksploatacyjnych. W niniejszej publikacji przedstawiono kompleksowy program badań diagnostycznych, którym poddano torowisko jazdy mostów przeładunkowych w systemie zasilania Wielkiego Pieca zastosowany w jednej z polskich hut. W pracy omówiono wyniki przeprowadzonych kontroli i badań nieniszczących torowisk, belek, oraz podpór wraz z geodezyjnymi pomiarami geometrii torowiska. Uzyskane wyniki badań, w połączeniu z wynikami pomiarów trwałych deformacji torowiska, stanowiły podstawę do zaprojektowania odpowiednich wzmocnień, oraz przeprowadzenia rekonstrukcji rozważanego torowiska jazdy mostów przeładunkowych.

### 10. Nieniszczące badania skał w petrofizyce

**Autorzy:** Rafał Skupio, Benedykt Kubik, Katarzyna Drabik  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, Kraków

**Streszczenie:** Niniejsza praca przedstawia możliwości stosowania badań nieniszczących na skałach pobranych w trakcie realizacji otworów wiertniczych dla przemysłu naftowego oraz wyniki kompleksowej interpretacji krzywych geofizyki otworowej. Materiał skalny, który jest archiwizowany w Centralnym Magazynie Rdzeni, zachowany jest zazwyczaj w formie całych rdzeni wiertniczych lub zwiercin. Badania rdzeni archiwalnych mogą przynieść korzyści w postaci udoskonalenia wyników interpretacji profilowań geofizyki otworowej oraz pozwalają na wyciągnięcie nowych wniosków czy budowę koncepcji dla obszarów, w których planuje się wykonywać nowe otwory wiertnicze. Nieniszczące metody badawcze zastosowane do przeprowadzenia interpretacji dotyczą naturalnej promieniotwórczości gamma, wraz z aplikacją do pomiarów gęstości metodą gamma-gamma, spektrometrii fluorescencji rentgenowskiej XRF oraz tomografii komputerowej CT. Wymienione metody pozwalają na uzyskanie takich informacji jak skład chemiczny i mineralny skał, określenie litologii, wydzielenie warstw na podstawie analizy chemostratygraficznej, oszacowanie zailenia, określenie gęstości i porowatości jak również uzyskanie dokładnego obrazu struktury rdzeni. Badania skał przeprowadzone zostały na materiale reprezentującym utwory o zróżnicowanej litologii takiej jak: łupki, piaskowce, wapień, dolomity, anhydryty, mułowce oraz heterolity. Z uwagi na formę materiału, badania rdzeni wiertniczych lub zwiercin pozwalają uzyskać wyniki w postaci profilowań, które są porównywane z pomiarami geofizyki wiertniczej, niemniej jednak pozbawione wpływu otworu. Badania te mają szczególne znaczenie w przypadku „starych” otworów, w których przeważająca część pomiarów geofizycznych była

wykonywana sondami radzieckimi, a jakość danych często była niska lub niekompletna.

### 11. Identyfikacja i ocena przypaleń szlifierskich w stali AISI 9310 metodą prądów wirowych

**Autorzy:** Dominik Kukła; Mateusz Kopeć, Andrzej Gradzik, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk

**Streszczenie:** Praca dotyczy oceny możliwości metody prądów wirowych w zakresie detekcji oraz opisu ilościowego przypaleń szlifierskich w gatunku stali stopowej do nawęglania AISI 9310. Przypalenia szlifierskie, jako defekty wywołane obróbką mechaniczną powodujące lokalne powstawanie tlenków na powierzchni obrabianych detali, wskazują na przekroczenie dopuszczalnych obciążeń w strefie styku detal – narzędzie. Dlatego też istotna jest ich identyfikacja na etapie wytwarzania. Powstawaniu przypaleń towarzyszą lokalne zmiany właściwości w warstwie wierzchniej materiału, których detekcja jest możliwa z wykorzystaniem prądów wirowych indukowanych w materiałach konduktywnych. Jako próbkę odniesienia wykorzystano wałki ze stali AISI 9310 z symulowanymi przypaleniami w postaci defektów wytworzonych poprzez lokalne nagrzewanie laserowe powierzchni. Przypalenia zostały scharakteryzowane pod względem zmian mikrostruktury oraz twardości na powierzchni przypalenia oraz na przekrojach poprzecznych. Na tej podstawie oceniono głębokość strefy ciepła wywołanej obróbką. Defekty uzyskane dla różnych parametrów wiązki laserowej poddano badaniom metodą prądów wirowych, techniką skanowania powierzchni sondą stykową. Dla uzyskanych sygnałów wyznaczono wartości amplitudy i kąta fazowego, a następnie skorelowano z wynikami badań mikrostruktury i mikrotwardości. Na podstawie wartości amplitudy możliwa jest ocena głębokości defektów, z kolei różnice w wartości kąta fazowego sygnału mogą wskazywać na stopień przegrzania próbki w obszarze indukcji prądów wirowych. Jednak zmiany w profilach twardości wykonanych na przekrojach poprzecznych trudno odnieść do wyników uzyskanych z pomocą prądów wirowych z uwagi na trudność oszacowania głębokości ich wnikania w materiał ferromagnetyczny badanych próbek.

### 12. Wpływ obecności warstwy azotowanej na zmiany parametrów fali ultradźwiękowej

**Autorzy:** Ryszard Mańczak, Politechnika Poznańska

**Streszczenie:** W celu polepszenia własności użytkowych powierzchni odpowiedzialnych części maszyn, wytwarza się na nich warstwy azotowane metodą obróbki cieplno-chemicznej. Po wykonaniu procesu azotowania konieczne jest przeprowadzenie oceny grubości wytworzonej warstwy. Na etapie badań laboratoryjnych, ocenę tą przeprowadza się pod mikroskopem na zglądzie metalograficznym. Natomiast w warunkach produkcji przemysłowej konieczne jest zastosowanie nieniszczącej metody oceny grubości warstwy azotowanej. Pewne zastosowanie w tym obszarze znalazła metoda prądów wirowych. Duży potencjał w nieniszczącej ocenie grubości warstwy azotowanej posiada także metoda ultradźwiękowa. Istnieje możliwość wykorzystania fal powierzchniowych lub fal Love'a. W niniejszej pracy podjęto

działania, których celem była ocena możliwości zastosowania fali ultradźwiękowej w ocenie warstwy azotowanej. W części badawczej pracy przygotowano próbki, które poddano procesowi azotowania. Do badanych próbek wprowadzono falę ultradźwiękową za pomocą głowicy ostrzowej o częstotliwości 4 MHz. Fale wprowadzono do próbek zarówno przed procesem azotowania, jaki po jego wykonaniu. Podczas badań wyznaczano wartości trzech parametrów fali ultradźwiękowej tj. czasu przejścia fali  $t$ , dominującej częstotliwości w widmie fali  $f_{max}$  oraz szerokości pasma przenoszenia  $B$ . Uzyskane wyniki cechują się dużą powtarzalnością i wskazują na występowanie istotnych zmian w czasie przejścia fali w próbkach azotowanych i nieazotowanych. Stanowią one zachętę do podjęcia dalszych działań w tym obszarze.

### 13. Diagnostowanie uszkodzeń BVID w materiałach kompozytowych metodą tomografii komputerowej (CT)

**Autorzy:** Adrianna Nidzgorzka, Jerzy Perczyński, Marek Chalimoniuk, Artur Kułaska, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa

**Streszczenie:** Uszkodzenia typu Barely Visible Impact Damage (BVID) pojawiają się w polimerowych materiałach kompozytowych w wyniku oddziaływania na nie dynamicznych obciążeń. Takie obciążenia powstają wskutek oddziaływania np. elementów Foreign Object Damage (FOD) o małych prędkościach i niewielkich energiach. Uszkodzenia BVID są niebezpieczne z punktu widzenia eksploatacji, ponieważ charakteryzują się słabą wykrywalnością wizualną, jednocześnie propagując wewnątrz materiału. Uszkodzenia BVID materiału kompozytowego należą zarówno do uszkodzeń eksploatacyjnych jak i produkcyjnych. Tomografia komputerowa jest rodzajem tomografii rentgenowskiej pozwalającym na uzyskanie obrazów przestrzennych (3D) z prześwietlania badanego obiektu wykonanych z różnych kierunków. Wykorzystanie nowoczesnej techniki diagnostycznej jaką jest tomografia komputerowa pozwala na skuteczną weryfikację uszkodzeń typu BVID. Umożliwia to wykrycie nieciągłości materiału na wczesnym etapie i w znacznym stopniu wpływa na bezpieczeństwo eksploatacji.

### 14. Diagnostyka urządzeń energetycznych z zastosowaniem metod analizy modalnej oraz metod wizyjnych - analiza porównawcza

**Autorzy:** Dariusz Pabian, Marcin Chodźko, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. Oddział Elektrowni Dolna Odra

**Streszczenie:** Bezpieczna eksploatacja systemów energetycznych wymaga nadzorowania ich stanu dynamicznego w trybie on-line lub off-line. W wielu przypadkach, zainstalowane systemy pomiarowe dostarczają informacji diagnostycznej - np. o podwyższonych poziomach drgań. Jednak w wielu przypadkach informacje te są niewystarczające do podjęcia właściwych działań naprawczych. Jest tak np. w przypadku zmiany właściwości struktury systemu wskutek wprowadzonych zmian

konstrukcyjnych, remontów lub wymiany jego elementów składowych. Konieczne w takich przypadkach może być użycie metod pozwalających na identyfikację przyczyny zaistniałego stanu - np. istotnej postaci drgań w zakresie częstotliwości związanej z wymuszeniem eksploatacyjnym lub obecnością tzw. „słabego ogniwa” w systemie.

Powszechnie stosowanymi metodami, pozwalającymi na osiągnięcie wspomnianego celu, są metody eksperymentalnej analizy modalnej, zarówno w warunkach kontrolowanego wymuszenia, jak i tzw. operacyjna analiza modalna. Jednak, budowa modelu modalnego jest procesem subiektywnym, zależnym od sposobu wyznaczania funkcji przejścia, wyboru rozmieszczenia punktów pomiarowych i parametrów przetwarzania sygnałów pomiarowych, sposobu analizy tzw. diagramu stabilizacyjnego oraz wielu innych. Dlatego też, interesującą metodą walidującą wyniki analizy modalnej stanowią metody wizyjne, wykorzystujące amplifikację ruchu. W systemach tych obraz rejestrowany jest w wysokiej rozdzielczości, a następnie odpowiednio wzmacniany i poddawany filtracji, by zilustrować ruch przy określonej częstotliwości.

W artykule przedstawiono studium przypadku, polegające na ocenie stanu dynamicznego pompy wody zasilającej PZ z zastosowaniem wymienionych metod diagnostycznych. Wykazano zalety oraz ograniczenia związane z ich zastosowaniem. Przeprowadzono również analizę porównawczą uzyskanych rezultatów.

### 15. Zastosowanie metody Impulsowych Prądów Wirowych (PEC - Pulsed Eddy Current) do ujawniania ubytku materiału urządzeń ciśnieniowych

**Autorzy:** Ireneusz Baran, Marek Nowak, Andrzej Wachowicz, Urząd Dozoru Technicznego, Warszawa

**Streszczenie:** Metoda Impulsowych prądów wirowych (PEC - Pulsed Eddy Current) to technologia pozwalająca na ujawnianie ubytków materiału na skutek korozji lub innego zjawiska zwykle ukrytych pod warstwami izolacji. Jest to technologia, która umożliwia pomiar grubości ścianki, bez konieczności bezpośredniego kontaktu sondy z powierzchnią badaną. W innym przypadku metoda ta może być wykorzystywana do ujawniania ubytków materiału na urządzeniach bez izolacji ale, które do standardowych pomiarów wymagałyby większego nakładu na przygotowanie powierzchni do badania. W artykule zostaną przedstawione zweryfikowane przykłady wykorzystania metody do oceny ubytków korozyjnych izolowanego rurociągu gazowego DN 150 oraz przykład badań rur ściany kotła. Badania przedstawione w artykule miały charakter przesiewowy i pozwoliły na wskazanie odcinków / elementów o znacznych ubytkach materiału i zostały potwierdzone standardowymi badaniami UTT. Na podstawie przeprowadzonych badań z wykorzystaniem metody PEC, Użytkownik podjął kroki zaradcze w celu uniknięcia awarii w trakcie eksploatacji urządzeń.

## 16. Wykrywanie wysokotemperaturowej korozji wodorowej (HTHA) technikami ultradźwiękowymi

**Autorzy:** Radosław Hołownia, Michał Targoński, Urząd Dozoru Technicznego, Warszawa

**Streszczenie:** Urządzenia ciśnieniowe przemysłu rafinerijno-petrochemicznego pracujące w środowisku wodoru w wysokiej temperaturze mogą ulegać degradacji w wyniku zjawiska nazywanego wysokotemperaturowym atakiem wodorowym (HTHA) lub korozją wodorową. Oddziaływanie wodoru na stale w wysokiej temperaturze może powodować znaczne osłabienie konstrukcji, co z kolei stwarza niebezpieczeństwo wystąpienia poważnej w skutkach awarii. Analizy mechanizmów degradacji prowadzone przez Urząd Dozoru Technicznego w ramach analiz Risk Based Inspection wskazują na konieczność wykonywania badań takich urządzeń ukierunkowanych pod kątem detekcji HTHA. Degradacja wywołana HTHA najczęściej występuje w urządzeniach instalacji: reformingu katalitycznego, hydrorafinacji, izomeryzacji, wytwarzania amoniaku czy reformingu parowego. Możliwość wykrycia wczesnego etapu wysokotemperaturowego ataku wodorowego (HTHA) zapewnia zastosowanie odpowiednich technik ultradźwiękowych takich jak Phased Array, TOFD, TFM/FMC oraz użycie zoptymalizowanych głowic i układów skanowania. Do przeprowadzenia badania niezmiernie ważne jest także posiadanie odpowiednich próbek odniesienia ze sztucznymi reflektorami (FBH, nacięcie) oraz syntetycznymi próbkami HTHA. Ocena wyników polega na odpowiednim zakwalifikowaniu wskazań ultradźwiękowych noszących znamiona korozji wodorowej oraz określeniu wielkości i stopnia nasilenia względem opracowanych kryteriów ujętych w procedurze badania.

## 17. Możliwości wykrywania braku wtopienia w spoinie pachwinowej metodą MT

**Autorzy:** Karolina Poch<sup>1</sup>, Ryszard Krawczyk<sup>2</sup>, Jacek Słania<sup>3</sup>, <sup>1</sup>PIK SPAW S.C, Częstochowa, <sup>2</sup>Politechnika Częstochowska, <sup>3</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz Instytut Spawalnictwa w Gliwicach

**Streszczenie:** Złącza teowe ze spoiną pachwinową stanowią większość połączeń wykonywanych w elementach konstrukcyjnych. Ich odpowiedzialna rola, zwraca szczególną uwagę w kontekście kontroli dla potwierdzenia właściwego poziomu jakości. Głównym problemem pojawiającym się w złączach teowych ze spoinami pachwinowymi jest występowanie niezgodności typu brak wtopienia w powierzchni elementów łączonych. Złącza ze spoinami pachwinowymi badane są najczęściej metodami powierzchniowymi co znacznie ogranicza ich właściwą ocenę, nie zapewniając wykrywania niezgodności objętościowych. W pracy przeprowadzono ocenę możliwości wykrycia niezgodności o charakterze objętościowym metodą magnetyczno-proszkową. Badania magnetyczno-proszkowe dają szerokie możliwości zastosowania w przypadku oceny elementów konstrukcyjnych w tym złączy spawanych charakteryzujących się trudnością z wykrywaniem powstałych nieciągłości. Biorąc pod uwagę powyższe, na szczególną uwagę zasługują właśnie złącza teowe ze spoiną pachwinową. Przeprowadzona analiza pozwoliła na określenie parametrów oraz warunków badania, umożliwiających wykrycie

niezgodności braku wtopienia. Określono zależności pomiędzy parametrami badania oraz wymiarami analizowanych złączy. Ustalono warunki brzegowe dla wartości natężenia pola magnetycznego, przy których możliwe jest uzyskanie wskazań od zalegającej niezgodności braku przetopu w złączach teowych ze spoiną pachwinową.

## 18. Radiografia w bezpieczeństwie granic - prezentacja wyników projektu pt "CANIS - pierwszy polski skaner rtg do bezinwazyjnej inspekcji ładunków wielkogabarytowych na przejściach granicznych"

**Autorzy:** Wojciech Dziewiecki, Barbara Ostrowska, Axel Sańczuk, PID Polska Sp. z o.o, Warszawa

**Streszczenie:** Systemy do skanowania cargo wchodzą w skład zintegrowanego systemu zapewniania bezpieczeństwa granic Polski oraz Unii Europejskiej. Jednym z kluczowych elementów systemu jest skaner rentgenowski, który pozwala na prześwietlenie obiektów przejeżdżających przez granicę. Skaner składa się ze źródła promieniowania (lampy rentgenowskiej lub liniowego akceleratora elektronów bądź betatronu) oraz detektora. W zależności od rodzaju technologii skanowania stosuje się skanowanie transmisyjne bądź odbiciowe. System CANIS został zaprojektowany jako skaner do transmisyjnego skanowania pojazdów na przejazdach granicznych, i występuje w dwóch wersjach: CANIS Rail (kolejowy) oraz CANIS Gantry/Portal (drogowy). Skanowanie transmisyjne następuje poprzez impulsowe wytwarzanie promieniowania wysokoenergetycznego za pomocą akceleratora liniowego, wyposażonego w wolframową tarczę konwersji, formowania wiązki promieniowania, jego transmitancję przez badany obiekt oraz rejestrację uzyskanej dawki promieniowania na detektorze liniowym. Poprzez przesuw obiektu względem skanera uzyskuje się kolejne linie dwuwymiarowego radiogramu, który jest obrabiany, archiwizowany na serwerze oraz prezentowany odbiorcy. Akcelerator liniowy wytwarza promieniowanie o naprzemiennej energii, dzięki czemu tworzone są dwa radiogramy – z zastosowaniem niższej oraz wyższej energii. Zastosowanie dwóch radiogramów o różnych energiach tego samego obiektu umożliwia uzyskanie obrazowania nie tylko transmitancji poszczególnych elementów badanego obiektu, ale i również rodzajów materiałów – np. lekkich (organicznych) i cięższych (nieorganicznych). Powyższe wyniki prac badawczych zostały wsparte finansowo w ramach Osi Priorytetowej I „Wykorzystanie działalności badawczo-rozwojowej w gospodarce”, Działania 1.2 „Działalność badawczo-rozwojowa przedsiębiorstw”, Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, na podstawie Umowy o dofinansowanie nr RPMA.01.02.00-14-9539/17-00, pt. „CANIS - pierwszy polski skaner RTG do bezinwazyjnej inspekcji ładunków wielkogabarytowych na przejściach granicznych”.

### 19. Uszkodzenia przeciwięźarów wałów wykorbionych: przyczyny i symptomy

**Autorzy:** Bielawski Piotr Jan, prof. em. Akademii Morskiej w Szczecinie

**Streszczenie:** Wszystkie wały wykorbione maszyn tłokowych wyposażone są w przeciwięźary równoważące siły bezwładności pierwszego rzędu tłoków i korbowodów. Przeciwięźary z jednej strony bardzo rzadko ulegają uszkodzeniom z drugiej strony uszkodzenie przeciwięźarów skutkuje uszkodzeniem wału wykorbionego i dalej uszkodzeniem całej maszyny. W literaturze brak jest opisów uszkodzeń przeciwięźarów. Przeprowadzono analizę uszkodzeń przeciwięźarów uszkodzonego okrętowego silnika spalinowego. Ustalono mechanizm uszkodzeń przeciwięźarów, przeprowadzono badania nieniszczące uszkodzonych przeciwięźarów i ustalono przyczyny uszkodzeń. Zbudowano model relacji diagnostycznych i wskazano na możliwość identyfikacji potencjału eksploatacyjnego przeciwięźarów niepracującej maszyny oraz wskazano na możliwość wykorzystania drgań wzdłużnych wału w diagnozowaniu przeciwięźarów.

### 20. Wybrane aspekty badań ultradźwiękowych złączy spawanych materiałów różnorodnych

**Autorzy:** Łukasz Rawicki<sup>1</sup>, Jacek Słania<sup>1</sup>, Ryszard Krawczyk<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz Instytut Spawalnictwa w Gliwicach, <sup>2</sup>Politechnika Częstochowska

**Streszczenie:** W budowie maszyn, czy w elementach urządzeń przemysłowych zachodzi często konieczność łączenia metodami spawalniczymi materiałów różniących się znacznie swoimi właściwościami fizycznymi. Połączenia różnorodne znajdują często zastosowanie w urządzeniach energetycznych, instalacjach chemicznych czy reaktorach. Przykładowo w kotłach energetycznych rury na wymienniki ciepła pracujące w bardzo wysokiej temperaturze wykonywane są ze stali austenitycznych i łączone z elementami instalacji wykonanych ze stali ferrytycznych. Stale austenityczno-ferrytyczne oraz stale typu duplex wykorzystywane są przy budowie chemikaliowców. Elementy konstrukcyjne w złączach z elementami zbiorników wykonanych ze stali typu duplex stanowią połączenia różnorodne, na przykład ze stałą węglową o podwyższonej wytrzymałości. W przypadku połączeń różnorodnych problemem w przeprowadzeniu badań ultradźwiękowych są różne właściwości fizyczne poszczególnych stref złącza spawanego związane z warunkami w jakich te badania zostaną wykonane. Przykładowo przy badaniu metodą UT stali austenitycznej problemem jest transformacja fali, ograniczone wykrywanie podpowierzchniowych nieciągłości spawalniczych oraz nieprawidłowe sprzężenie spowodowane nierównością powierzchni. Gruboziarnista struktura powoduje rozpraszanie i tłumienie fali oraz zmianę jej kierunku. Tłumienie wpływa na amplitudę ciśnienia fali rozchodzącej się w materiale, która maleje wraz ze wzrostem odległości od głowicy. W przypadku złączy różnorodnych będą występowały różnice w wartościach mierzonej amplitudy w poszczególnych obszarach tego złącza. Głównymi przyczynami ograniczenia wykrywania nieciągłości są procesy rozpraszania i rozbieżności wiązki, a straty te związane są ze strukturą materiału. Zjawiska te są szczególnie istotne w przypadku badania złączy różnorodnych.

### 21. Personel nadzoru i kontroli przy pracach antykorozyjnych i izolerskich –wybrane aspekty

**Autorzy:** Jerzy Kozłowski, Jakub Kozłowski, SLV-GSI Polska Sp. z o.o., Zabrze

**Streszczenie:** W referacie zwrócono uwagę na potrzebę zapewnienia zdolności użytkowej konstrukcji przez wymagany okres trwałości. Zapewnienie to może być dotrzymane tylko wtedy, gdy w realizację konstrukcji zaangażowany jest kompetentny personel. Wskazano na właściwe stosowanie norm przywołanych w wymaganiach kontraktu oraz na właściwą interpretację konieczności stosowania wymagań zawartych w normach. Odniesiono się do wybranych aspektów związanych kwalifikacjami i kompetencjami personelu w pracach antykorozyjnych i izolerskich. Zwrócono uwagę na pojęcia związane z kwalifikacjami i kompetencjami. Dokonano analizy zapisów norm w odniesieniu do wymagań dla personelu. Stwierdzono, że w wielu przypadkach wymagania te opisane są w normach w sposób bardzo ogólny. Dlatego też właściwym jest określanie w warunkach kontraktu pełnych i zrozumiałych dla wszystkich zainteresowanych stron kontraktu, wymagań odnośnie kwalifikacji i kompetencji personelu. Brak takich uzgodnień może prowadzić do nieporozumień pomiędzy stronami kontraktu. Przedstawiono przykłady szkoleń pozwalających podnieść poziom kompetencji personelu, a także propozycje niezależnych certyfikacji firm z zakresu antykorozji. Pokazano jako przykład, stosowane w Norwegii uregulowania dotyczące wymagań dla personelu antykorozji i izolacji. Zwrócono uwagę na możliwość uzyskania na rynku polskim międzynarodowych certyfikatów personelu i firm FRISO.

### 22. Modelowe rozwiązania skanerów UTPA do badań spawów dla wież wiatrowych, sekcji płaskich oraz konstrukcji wielkogabarytowych on-shore/off-shore

**Autorzy:** Marcin Lewandowski<sup>1</sup>, Jakub Rozbicki<sup>1</sup>, Hanna Smach<sup>1</sup>, Piotr Karwat<sup>1</sup>, Arkadiusz Szczurek<sup>2</sup>, Jolanta Sala<sup>2</sup>, Alicja Bera<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, <sup>2</sup>Baltic Operator Sp. z o.o.

**Streszczenie:** W ramach realizowanego projektu wdrożeniowego (akronim: BalTECH, finansowanie NCBR POIR) opracowano modelowe stanowiska skanerów UTPA do badań nieniszczących spawów dla asortymentu produktów wytwarzanych w Baltic Operator sp. z o.o. Skanery zapewniają prowadzenie i sprzężenie dwóch głowic Phased-Array (badanie dwustronne). Do realizacji badań UTPA wykorzystano komercyjny aparat Olympus-OmniScan™ X3, natomiast dla metody UTPA-FMC (Full-Matrix Capture) badawczą platformę ultradźwiękową us4R-lite™ firmy us4us sp. z o.o. Wykonano zestaw ok. 170 próbek testowych spawów z różnymi niezgodnościami dla płyt w zakresie grubości 12–65 mm, które zostały przebadane metodami VT, MT/PT, UT. RT, UTPA. Opracowana procedura badania i wzorce testowe pozwoliły na pełną walidację klasycznej metody UTPA do badania sekcji wież wiatrowych. Eksperymentalne zastosowanie i porównanie metody UTPA-FMC pokazało jej duży potencjał oraz nowe możliwości wizualizacji i oceny wad, w stosunku do klasycznej metody UTPA. Zweryfikowano także możliwość zbierania surowych danych FMC

z prędkością do 100 mm/s. Celem projektu jest wdrożenie nowoczesnych i ekonomicznych rozwiązań badań nieniszczących, które zapewnią ocenę jakości 100% długości spawu.

### 23. Wykrywanie wad w strukturach cienkościennych z wykorzystaniem estymacji lokalnej liczby falowej ultradźwiękowych fal prowadzonych

**Autorzy:** Jakub Spytek, Kajetan Dziedzic, Łukasz Pieczonka, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono nowatorską technikę badań nieniszczących struktur cienkościennych bazującą na estymacji lokalnej liczby falowej ultradźwiękowych fal prowadzonych. Technika bazuje na wzbudzeniu fal ultradźwiękowych w jednej lokalizacji i rejestracji odpowiedzi drganiowych na siatce punktów w obszarze zainteresowania z wykorzystaniem skanującego wibrometru laserowego. Wzbudzenie może być zrealizowane bezkontaktowo za pomocą impulsu lasera, bądź kontaktowo za pomocą przetwornika piezoelektrycznego. Sposób działania i skuteczność metody zilustrowano na przykładzie jednorodnej płyty aluminiowej oraz niejednorodnej warstwowej płyty kompozytowej.

### 24. Określenie stopnia wyczerpania struktury i własności mechanicznych wybranych elementów rurociągów pary w elektrociepłowni

**Autorzy:** Dariusz Mężyk, Bogdan Zając, Grzegorz Olszewski, Marcin Kowal, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock

**Streszczenie:** W artykule omówiono główne czynniki wpływające na awaryjność układów rurociągów bloków energetycznych krajowych elektrowni i elektrociepłowni. Ze względu na warunki pracy i związane z nimi obciążenia najistotniejsze znaczenie mają rurociągi pary, a głównie ich elementy kształtowe (kolana, trójniki, czwórniki, mieszacze pary, zasuwki główne). Wymieniono podstawowe metody oceny stanu technicznego głównych elementów rurociągów zarówno metodami badań nieniszczących jak i niszczących. W artykule skoncentrowano się na wynikach oceny odcinka kolana (prostki)  $\varphi = 508 \times 20$  ze stali 10H2M pobranego z rurociągu pary wtórnie przegrzanej o sumarycznym czasie pracy około  $T = 280\,000$  godzin.

### 25. Przykłady badań nieniszczących w Laboratorium Badań Materiałowych

**Autorzy:** Marcin Kowal, Grzegorz Olszewski, Bogdan Zając, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock

**Streszczenie:** Na plakacie przedstawiono przykłady metod badań nieniszczących zastosowanych w pracach zleconych oraz badaniach naukowych w Pracowni Badań Nieniszczących Laboratorium Badań Materiałowych. Szczególnie interesujące przykłady to zastosowanie metod NDT w ekspertyzach materiałowych oraz w pracach na rzecz Reaktora Maria.

### 26. Badania Nieniszczące w Laboratorium Badań Materiałowych

**Autorzy:** Grzegorz Olszewski, Bogdan Zając, Marcin Kowal, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock

**Streszczenie:** Plakat będzie przedstawiał aktualnie wykorzystywane metody badań nieniszczących w Laboratorium Badań Materiałowych. Metody NDT zostaną streszczone z przedstawieniem ich wad i zalet. Dodatkowo zamieszczone zostaną uprawnienia dla metod akredytowanych oraz zakres uprawnień personelu. Na plakacie zostaną przedstawione zdjęcia posiadanej przez LBM aparatury z opisem możliwości wykonywanych badań.

### 27. Metoda zapisu magnetycznego do badania materiałów ferromagnetycznych

**Autorzy:** Ryszard Łukaszuk, Tomasz Chady, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**Streszczenie:** Stal to szeroko rozpowszechniony materiał konstrukcyjny. Dzięki korzystnym właściwościom (dobra spawalność i obrabialność, wysoka wytrzymałość, prostota i szybkość montażu) znalazł on zastosowanie m.in. w przemyśle stoczniowym, kosmicznym, budowlanym i energetycznym. Jednak stal ma ograniczoną wytrzymałość na naprężenia. Mogą one doprowadzić do uszkodzenia struktury, powstania defektów i w efekcie przyczynić się do awarii katastrofalnej i zagrożenia bezpieczeństwa. Struktura stali może być zaburzona już na etapie produkcji. Dodatkowo, w związku z założeniami porozumień paryskich i konieczności zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, wprowadzono modyfikacje w produkcji stali, polegające na zmniejszeniu grubości lub powierzchni przekroju poprzecznego wyrobów. Z tych powodów należy regularnie wykonywać badania nieniszczące konstrukcji stalowych. W tym celu stosuje się takie techniki jak metoda prądów wirowych, metoda strumienia rozproszenia, metoda obserwacji pętli histerezy, metoda termograficzna. W fazie rozwojowej znajduje się metoda zapisu magnetycznego (magnetic recording method, MRM). MRM polega na wytworzeniu w stalowym komponencie namagnesowania o charakterze zbliżonym do sinusoidy. Następnie wykonuje się pomiar namagnesowania a jego wynik zachowuje się jako odniesienie. W trakcie eksploatacji pomiar namagnesowania się powtarza, a jego zmiany pozwalają na ocenę naprężenia jakiego poddany został element badany. Referat przedstawia wyniki badania stali S355 z wykorzystaniem metody MRM.

### 28. Badania nieniszczące kompozytów wzmacnianych włóknami węglowymi metodą prądów wirowych

**Autorzy:** Ryszard Łukaszuk, Tomasz Chady, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**Streszczenie:** Kompozyty należą do dynamicznie rozwijającej się grupy materiałów. Proces ich wytwarzania polega na łączeniu ze sobą materiałów o odmiennych właściwościach fizycznych i chemicznych. Niewątpliwą zaletą struktur kompozytowych jest ich duża wytrzymałość w porównaniu z grubością, odporność na

korozję, stosunkowo niewielki koszt produkcji i duża konfigurowalność właściwości w zależności od zakładanego wykorzystania. Dzięki temu możliwe stało się ich powszechne wykorzystanie nie tylko w różnych sektorach nowoczesnego przemysłu, takich jak energetyka, motoryzacja, budownictwo, przemysł kosmiczny czy stoczniowy, ale także w sektorze usług medycznych (biomedycyna). Wytrzymałość kompozytów jest jednak ograniczona: kompozyty mogą ulec uszkodzeniu zarówno w procesie produkcyjnym, jak i w trakcie późniejszej eksploatacji. Do niejednorodności mogących wystąpić w kompozytach należą: wtrącenia, pęknięcia, delaminacje, nierównomierny rozkład włókien lub przesunięcia między nimi, zawilgocenia, pustki. W celu uniknięcia kosztów wynikających z awarii oraz wyeliminowania ewentualnego zagrożenia zdrowia ludzkiego konieczne jest poddawanie struktur kompozytowych okresowym badaniom nieniszczącym. Z uwagi na anizotropowość kompozytów i ich odmienność od używanej już od wielu lat stali czy stopów aluminiowych, niezbędne jest dostosowanie istniejących technik badań nieniszczących do wymagań kompozytów. Referat prezentuje wykorzystanie metody prądów wirowych do nieniszczącego testowania kompozytów wzmacnianych włóknami węglowymi.

### 29. Analiza porównań biegiłości badania złącza spawanego

**Autorzy:** Marek Śliwowski, NDTEST Sp. z o.o., Warszawa  
**Streszczenie:** Analizę przeprowadzono na podstawie 2 programów badania biegiłości autoryzowanych przez klub POLLAB w ramach sekcji BADAŃ MATERIAŁOWYCH oraz programu badań międzylaboratoryjnych organizowanego przez firmę NDTEST. W roku 2019 zostały zainicjowane programy biegiłości badań nieniszczących takiej samej próbki złącza spawanego: radiograficzną techniką błonową - PT 11/19-20 – RTF [1]; ultradźwiękową techniką ręczną - PT 12/19-20 – UTman. [2]; ultradźwiękową techniką phased-array - ILC 2/19-20 – UT-PA [3]. Programy zrealizowano z udziałem ponad 30 laboratoriów w okresie około 2 lat ze względu na znane ograniczenia obiektywne. Analiza, przeprowadzona na podstawie sprawozdań końcowych dla każdego z programów, dotyczyła wybranych wskazań nieakceptowanych, scharakteryzowanych przez istotne parametry ich lokalizacji i rozmiarów. Badania biegiłości pozwoliły ocenić „odległość” wyników uzyskiwanych różnymi metodami/technikami badawczymi przez poszczególne laboratoria, przywoływane tu w formie losowo przydzielonych kodów. Ocena opierała się na opracowaniach statystycznych, dobrze ugruntowanych w tego typu badaniach biegiłości. Niezależnie porównano również niektóre parametry wad, określane niezależnie dwoma objętościowymi metodami badań nieniszczących. Wnioski trzech programów biegiłości w obszarze badań nieniszczących stanowią bardzo istotny wkład w rozwój laboratoriów badawczych, w kontekście wiarygodności uzyskiwanych wyników badania

### 30. Praktyczne aspekty ultradźwiękowego badania kompozytów wzmacnianych włóknem węglowym w sprzężeniu powietrznym

**Autorzy:** Patrycja Pyzik, Łukasz Ambroziński, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
**Streszczenie:** Badania ultradźwiękowe prowadzone w sprzężeniu powietrznym (ang. Air-coupled ultrasonic testing ACUT) pozwalają na potencjalne rozwiązanie wielu problemów występujących w zautomatyzowanych systemach do skanowania. W tym referacie omówione zostaną praktyczne aspekty implementacji metody ACUT do badania kompozytów wzmacnianych włóknem węglowym w osnowie epoksydowej. Przedstawione zostaną podstawowe ograniczenia tej techniki, a także omówione zostanie jak te ograniczenia przekładają się na wymagania dotyczące przetworników, wzmacniaczy oraz pozostałych komponentów służących do budowy systemów ACUT. Ponadto, omówione zostanie stanowisko wykorzystujące konwencjonalny pulser z przedwzmacniaczem zdolny obrazować wtrącenia we wzorcu kompozytowym.

### 31. Monitorowanie granicy połączenia powłoki adhezyjnej z podłożem stalowym za pomocą ultradźwiękowej fali Rayleigh'a

**Autorzy:** Dariusz Ulbrich, Politechnika Poznańska  
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań monitorowania stanu połączenia powłoki adhezyjnej z podłożem stalowym za pomocą ultradźwiękowej fali powierzchniowej. Stan połączenia był kontrolowany przez cały okres jego istnienia (life cycle), od momentu nałożenia powłoki na blachę karoseryjną, przez proces jej wiązania z podłożem stalowym, aż do całkowitej degradacji rozumianej jako odspojenie powłoki od blachy stalowej. Jako parametry monitorowania stanu zastosowano wzmocnienie impulsu ultradźwiękowej fali powierzchniowej, jak również parametry widma amplitudowo-częstotliwościowego. Zaobserwowano, że wzmocnienie impulsu fali jak również częstotliwość maksymalna korelują ze zmianami na granicy połączenia powłoki adhezyjnej z podłożem stalowym.

### 32. Badania właściwości kleju hybrydowego CX80 z wykorzystaniem ultradźwiękowej metody nieniszczącej

**Autorzy:** Kowalczyk Jakub<sup>1</sup>, Nadera Dariusz<sup>2</sup>  
**1) Politechnika Poznańska, 2) Cx-80 Polska Agata Nadera, Dariusz Nadera Spółka Komandytowa**  
**Streszczenie:** Klejenie to jedna z najstarszych metod łączenia. Znajduje szczególnie szerokie zastosowanie w obszarze budowy środków transportu drogowego (pojazdy samochodowe, naczepy, przyczepy, autobusy). W budowie pojazdów spotyka się kleje o wysokiej wytrzymałości – epoksydowe, kleje odporne na promieniowanie UV – MSPolimery, kleje poliuretanowe – o niższej wytrzymałości. W publikacji przedstawiono wyniki prac w czasie których wykorzystując nieniszczącą metodę ultradźwiękową badano wytrzymałość innowacyjnego kleju hybrydowego firmy CX80 Hybricx 75. Badania prowadzono z wykorzystaniem defektoskopu GE Krautkramer USM35XS a miarą jakości był decybelowy spadek wysokości impulsów z obszaru połączenia



adhezyjnego. Badaniom poddano sklejone krążki stalowe, a w pracach wykorzystano kleje dostarczone przez producenta wykonane wg różnych receptur. Po pełnym związaniu połączenia klejowego było one badane z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej a następnie w sposób niszczący na maszynie wytrzymałościowej. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że połączenie metody ultradźwiękowej oraz wytrzymałościowej jest uzasadnione w przypadku tworzenia nowej receptury kleju, szczególnie w obszarze oceny rozrzutu jakości utworzonego połączenia. Zauważono wyraźny spadek wartości decybelowego spadku impulsów wraz ze wzrostem wytrzymałości połączenia klejowych. Badania sfinansowano w ramach projektu „Opracowanie innowacyjnego produktu - kleju do łączenia elementów naczep oraz przyczep samochodowych Hybricx 75” dofinansowanego z „Działanie 1.2 „Wzmocnienie potencjału innowacyjnego przedsiębiorstw Wielkopolski” Wielkopolski Regionalny Program Operacyjny na lata 2014-2020.

### 33. Obserwacja wpływu deformacji cienkich struktur magnetycznych na dynamikę procesu magnesowania

**Autorzy:** Grzegorz Psuj<sup>1</sup>, Michał Maciusowicz<sup>1</sup>, Konrad Kwiatkowski<sup>2</sup>, 1) Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, 2) Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki,

**Streszczenie:** Badanie wpływu naprężeń i odkształceń na właściwości materiałów magnetycznych jest jednym z kluczowych zagadnień współczesnej inżynierii. Jednym ze sposobów badania często złożonych relacji jest obserwacja dynamiki namagnesowania. Na proces ten w materiałach magnetycznych wpływa szereg czynników związanych z ich właściwościami mikro- i makrostrukturalnymi. Z tego powodu obserwacja charakterystyk związanych z procesem magnesowania umożliwia analizę stanu struktur magnetycznych. Istnieje wiele metod obserwacji dynamiki procesu magnesowania. W ujęciu makroskopowym metody te mogą odnosić się m.in. do obserwacji pętli histerezy czy efektu Barkhausena. Natomiast w zakresie charakterystyki w mikroskali znajdują zastosowanie m.in. metody oparte na zjawiskach rezonansowych, a w przypadku materiałów magnetycznych szczególnie na rezonansie ferromagnetycznym FMR. W niniejszym artykule przedstawione zostaną rezultaty obserwacji procesu magnesowania cienkich struktur magnetycznych ze stali niskowęglowej uzyskane w oparciu o wymienione powyżej zjawiska. Badania przeprowadzono dla serii próbek o różnym stopniu odkształcenia. Wykorzystanie wybranych metod badawczych umożliwia obserwację procesu magnesowania w kontekście szerokiego spektrum częstotliwości pola magnetycznego, co może być korzystne dla budowania wiedzy w procesie poznawczym zachodzących zmian w strukturze materiałów. Zaprezentowane w pracy badania zostały częściowo sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu badawczego „Zbadanie wpływu lokalnych odkształceń materiału na zjawisko szerokopasmowego rezonansu ferromagnetycznego w stalach niskowęglowych”, nr grantu 2019/ 03/X/ST7/01634.

### 34. Wpływ cienkiej warstwy dielektrycznej na częstotliwości rezonansowe metapowierzchni terahercowej bazującej na prostokątnym rezonatorze SRR

**Autorzy:** Przemysław Łopato<sup>1</sup>, Michał Herbko<sup>1</sup>, Ulrich Mescheder<sup>2</sup>, Andras Kovacs<sup>2</sup>, Alexander Filbert<sup>2</sup>, 1) Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 2) Furtwangen University, Germany

**Streszczenie:** Fale elektromagnetyczne w zakresie terahercowym znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, w tym w badaniach nieniszczących materiałów dielektrycznych. Jednym ze sposobów pomiarów właściwości bardzo cienkich warstw dielektrycznych jest zastosowanie układów rezonansowych, do których w pewnym sensie zaliczyć można metapowierzchnie (sztuczne, projektowane przez człowieka materiały 2D, których właściwości elektromagnetyczne można zaprojektować). W pracy przebadano metapowierzchnię terahercową bazującą na prostokątnym rozdzielonym rezonatorze pierścieniowym (ang. split ring resonator, SRR), do której zbliżono cienką (rzędu mikrometrów) warstwę dielektryczną (np. taśmę czy folię dielektryczną). Spowodowało to przesunięcie częstotliwości rezonansowych badanej struktury. W pracy zbadano również wpływ odległości warstwy od metapowierzchni, jej grubości oraz przenikalności dielektrycznej na uzyskiwane przesunięcia częstotliwości rezonansowych. Badania przeprowadzone w ramach projektu nr PPN/BDE/2021/1/00012/U/00001 współfinansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej NAWA oraz German Academic Exchange Service (DAAD, Germany).

### 35. Badania nieniszczące dielektrycznych struktur wytwarzanych addytywnie z zastosowaniem elektromagnetycznych metod wysokich częstotliwości i głębokiego uczenia maszynowego

**Autorzy:** Barbara Grochowalska, Grzegorz Psuj, Przemysław Łopato, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**Streszczenie:** Wytwarzanie addytywne (przyrostowe) to obecnie jedna z najszybciej rozwijających się technologii, znajdująca szerokie zastosowanie w wielu obszarach produkcyjnych. Optymalizacja właściwości wytwarzanych nowoczesnych struktur wymaga stosowania metod umożliwiających z jednej strony znaczne skrócenie czasu prototypowania poprzez zmniejszenie złożoności procesów produkcji, a z drugiej strony gwarantujących większą elastyczność w realizacji opracowanych rozwiązań. Tym charakteryzuje się technologia druku przestrzennego, a jej coraz powszechniejsze wdrażanie w wielu obszarach umożliwia znaczne przyśpieszenie przebiegu procesu od koncepcji do realizacji. Z uwagi na stosunkowo łatwą implementację rozwiązań szczególnie rozwinięte są technologie wytwarzania wykorzystujące materiały o właściwościach dielektrycznych. Z uwagi na właściwości elektromagnetyczne, ale i cieplne znakomitej większości stosowanych powszechnie materiałów, potencjalną grupę metod do bieżącej inspekcji tak wytwarzanych struktur stanowią te wykorzystujące pole elektromagnetyczne. W niniejszym artykule

przedstawiamy wyniki inspekcji struktur wytworzonych techniką druku 3D z zastosowaniem glikolu politereftalanu etylenu (PETG) czy terpolimeru akrylonitrylo-butadieno-styrenowego (ABS). Badania przeprowadzono dla serii próbek zawierających sztucznie wykonane defekty przy użyciu wybranych metod elektromagnetycznych wysokich częstotliwości, tj. termografii podczerwonej i obrazowania terahercowego. Techniki te umożliwiają wykorzystanie zarówno właściwości termicznych jak i elektromagnetycznych badanych obiektów do oceny ich struktury wewnętrznej i obrazowania występujących ich niejednorodności. W pracy wykorzystano algorytmy uczenia maszynowego w tym dynamicznie rozwijane techniki głębokiego uczenia do opracowania na bazie wyników numerycznych i eksperymentalnych procedur automatycznego wykrywania niejednorodności.

### **36. Badania ultradźwiękowe połączeń klejowych materiałów wykonywanych w technologii przyrostowe**

**Autorzy:** Jakub Kowalczyk, Daniel Wieczorek, Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

**Streszczenie:** Połączenia klejone znajdują szerokie zastosowanie w budowie maszyn i pojazdów samochodowych. Producenci zastępują klasyczne metody (np. zgrzewanie) połączeniami klejowymi ze względu na brak uszkodzeń struktury materiału w obszarze złącza. Na etapie produkcji coraz częściej stosuje się technologię wytwarzania przyrostowego. Głównym celem badań było określenie korelacji pomiędzy wytrzymałością połączenia adhezyjnego elementów wytworzonych technologią przyrostową a parametrami propagacji fali ultradźwiękowej w obszarze połączenia klejowego. Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych z materiału AlSiMg0,6 oraz kleju strukturalnego. Dodatkowe badania ultradźwiękowe materiałów wykonanych w technologii przyrostowej potwierdziły odmienne właściwości akustyczne w stosunku do aluminium wytwarzanego standardowym procesem odlewania lub wyłaczania. Badania sfinansowano w ramach Projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju DWP/TECHMATSTRATEG-III/136/2020.