

Badania Nieniszczące 1 - 4 / 2026 i Diagnostyka

Kwartalnik Naukowo-Techniczny

Nondestructive Testing and Diagnostics

Rok założenia 2016 PLISSN 2451-4462

OCZYŚĆ, PRZEFILTRUJ, POWTÓRZ



**OCZYŚĆ WODĘ PŁUCZĄCĄ. UPROŚĆ UTYLIZACJĘ.
ZAPEWNIJ CIĄGLĄ KONTROLĘ.**

Systemy oczyszczania wody płuczkiej Magnaflux wykorzystują filtrację z użyciem węgla aktywnego do usuwania zanieczyszczeń pochodzących z penetrantu. Ułatwia to utylizację, a jednocześnie powoduje, że badanie nieniszczące (NDT) staje się bardziej czyste i skuteczne.

MAGNAFLUX

NDT *System*

OCZYŚĆ, PRZEFILTRUJ, POWTÓRZ



**OCZYŚĆ WODĘ PŁUCZĄCĄ. UPROŚĆ UTYLIZACJĘ.
ZAPEWNIJ CIĄGLĄ KONTROLĘ.**

Systemy oczyszczania wody płuczającej Magnaflux wykorzystują filtrację z użyciem węgla aktywnego do usuwania zanieczyszczeń pochodzących z penetrantu. Ułatwia to utylizację, a jednocześnie powoduje, że badanie nieniszczące (NDT) staje się bardziej czyste i skuteczne.

KTÓRE ROZWIĄZANIE JEST ODPOWIEDNIE DLA CIEBIE?



S200SA

Rozwiązanie mobilne

Praca półautomatyczna
Wymienny pojemnik z węglem aktywnym
Prosta kontrola po oczyszczeniu
Elastyczne rozwiązanie do różnych zastosowań

S500/S500C

Rozwiązanie stacjonarne

Ciągła filtracja węgla aktywnego
Automatyczna praca pompy
Idealne rozwiązanie do zastosowań o dużym przerobie
Model S500C zawiera filtr koalescencyjny do wody płukania wstępnego



**CZY POTRZEBUJESZ POMOCY W ZNALEZIENIU
ODPOWIEDNIEGO ROZWIĄZANIA?**

Skontaktuj się z przedstawicielem Magnaflux www.ndt-system.com.pl
lub wyślij do nas e-maila kj@ndt-system.com.pl





Badania Nieniszczące i Diagnostyka
Agenda Wydawnicza SIMP
ul. Sabły 11a, 71-341 Szczecin

e-mail: wydawnictwo@ptbnidt.pl
www.bnid.pl

ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL BOARD

REDAKTOR NACZELNY / EDITOR-IN-CHIEF
Tomasz Chady

CZŁONKOWIE REDAKCJI / MEMBERS OF THE BOARD

Jacek Grochowski
Ryszard Łukaszuk

REDAKTORZY DZIAŁOWI / SECTION EDITORS

METODOLOGIA BADAŃ / RESEARCH METHODOLOGY

Sławomir Mackiewicz, Marek Śliwowski

CERTYFIKACJA W BADANIACH / CERTIFICATION IN RESEARCH

Bogdan Piekarczyk

URZĄDZENIA I SYSTEMY BADAŃ

/ EQUIPMENT AND SYSTEMS FOR RESEARCH

Grzegorz Jezierski, Marek Lipnicki

PRAKTYKA PRZEMYSŁOWA BADAŃ

/ PRACTICE OF INDUSTRIAL RESEARCH

Krzysztof Dragan, Darek Wojdała

DIAGNOSTYKA / DIAGNOSTICS

Bogusław Ładecki,

MIĘDZYNARODOWA RADA PROGRAMOWA
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Ryszard Sikora, Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie,
Przewodniczący/President

Prof. Krishnan Balasubramaniam, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India

Prof. Alexander Balitskii, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine

Prof. Gilmar F. Batalha, University of Sao Paulo, Brazil

Prof. Leonard J. Bond, Iowa State University, USA

Dr Pierre Calmon, CEA, France

Prof. Ermanno Cardelli, Università degli Studi di Perugia, Italy

Prof. Zhenmao Chen, Xi'an Jiaotong University, China

Prof. Leszek A. Dobrzański, World Academy of Materials and Manufacturing Eng., Polska

Dr Hubert Drzeniek, AMIL Werkstofftechnologie GmbH, Germany

Prof. Antonio Faba, Università degli Studi di Perugia, Italy

Prof. Nikolaos Gouskos, University of Athens, Greece

Mgr Paweł Grześkowiak, UDT, Polska

Prof. Jerzy Hoła, Politechnika Wrocławska, Polska

Prof. Jolanta Janczak-Rusch, Empa, Switzerland

Mgr Ryszard Jawor, Ryszard Jawor Usługi NDT, Polska

Dr Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska, Polska

Inż. Sławomir Józwiak, NDT Systems, Polska

Mgr Pablo Katchadjian, National Atomic Energy Commission of Argentina, Argentina

Mgr Jacek Kozłowski, TEST PLB, Polska

Prof. Marc Kreutzbruck, University of Stuttgart, Germany

Dr. Jochen Kurz, DB Systemtechnik GmbH, Germany

Mgr Marek Lipnicki, KOLI, Polska

Prof. Leonid M. Lobanow, Paton Welding Institute, Ukraine

Dr Sławomir Mackiewicz, NDT SOFT, Polska

Dr Wojciech Manaj, UDT, Polska

Dr Tadeusz Morawski, Usługi Techniczne i Ekonomiczne "Level", Polska

Prof. Zinovy T. Nazarchuk, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine

Dr Ryszard Nowicki, GE Energy, Polska

Prof. Mohachiro Oka, Oita National College of Technology, Japan

Dr Jolanta Radziszewska-Wolińska, Instytut Kolejnictwa, Polska

Prof. Helena Maria Geirinhas Ramos, Instituto Superior Técnico, Portugal

Prof. Artur Lopes Ribeiro, Instituto Superior Técnico, Portugal

Prof. Maria Helena Robert, University of Campinas, Brazil

Dr hab. Maciej Roskosz, Politechnika Śląska, Polska

Prof. Krzysztof Schabowicz, Politechnika Wrocławska, Polska

Prof. Valentyn R. Skalsky, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine

Prof. Jacek Słania, Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny, Polska

Prof. Jacek Szelażek, IPPT PAN, Polska

Dr Marek Śliwowski, NDTTEST Warszawa, Polska

Prof. Antonello Tamburino, University of Cassino and Southern Lazio, Italia

Prof. Yuji Tsuchida, Oita University, Japan

Prof. Andrzej Tytko, AGH Kraków, Polska

Prof. Lalita Udupa, Michigan State University, USA

Prof. Gábor Vártesy, Hungarian Academy of Sciences, Hungary

Dr Grzegorz Wojaś, UDT, Polska

Prof. Sławomir Wronka, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Polska

Prof. Chunguang Xu, Beijing Institute of Technology, China

Prof. Noritaka Yusa, Tohoku University, Japan

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Nondestructive Testing and Diagnostics

NR 1-4/2026

ISSN 2451-4462 (ONLINE: 2543-7755)

VOLUMEN 12

SPIS TREŚCI

Jan Płowiec, Kinga Kochańska, Anna Dobkowska,

Kompleksowa diagnostyka pęcherzy wodorowych w urządzeniach przemysłu
petrochemicznego z wykorzystaniem metody Emisji Akustycznej oraz oceny Fitness-For-
Service* 6

Oksana Koval

Zarządzanie ryzykiem przy ocenie zdjęcia radiograficznego złącza spawanego.
Czynnik ludzki* 15

Dariusz Mężyk

Główne rurociągi pary – wnioski po wieloletniej eksploatacji* 21

Maciej Matuszewski

Zarządzanie jakością i trwałością lin stalowych z wykorzystaniem metod
probabilistycznych* 28

STRESZCZENIA REFERATÓW z 53. Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących 34

KATALOG WYSTAWCÓW 53. Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących 77

* Artykuł recenzowany

PATRONAT I STAŁA WSPÓŁPRACA
PATRONAGE AND PERMANENT COOPERATION



PTBNiDT





POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ
NIENISZCZĄCYCH I DIAGNOSTYKI
TECHNICZNEJ SIMP
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW
I TECHNIKÓW MECHANIKÓW
POLSKICH



<http://www.kkbn.pl>

53ko@kkbn.pl

Główny Organizator:

Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP

Oddział w Szczecinie

Szanowni Państwo

Tegoroczna Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących (KKBN) odbywa się w roku Jubileuszy. Obchodzimy 100-lecie SIMP (1926-2026) oraz 80-lecie SIMP szczecińskiego Oddziału SIMP. Trochę prywatnie, lecz też historii KKBN. Jestem członkiem SIMP od roku 1974, czyli, jak mawiał klasyk od piłki ręcznej „kupa czasu”. Jubileusz 80-lecia obchodzi również mój Wydział, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, a za tamtych czasów Wydział Budowy Maszyn i Okrętów Politechniki Szczecińskiej.

W ówczesnym Zakładzie Spawalnictwa właśnie w roku 1974 zaczynałem swoją przygodę z badaniami nieniszczącymi (NDT), niszczącymi i kontrolą techniczną. Tam i wtedy zaczęła się moja przygoda z Krajowymi Konferencjami Badań Nieniszczących. Tak pozostało do dzisiaj. W tymże 1974 roku zostałem przez Uczelnię wysłany na moją pierwszą konferencję, 4. w historii KKBN, organizowaną wtedy w Katowicach. W roku 1975 byłem współautorem referatu wygłoszonego podczas 5. KKBN w Koszalinie. Był to pierwszy referat zaprezentowany przez przedstawicieli szczecińskiego środowiska naukowego i simpowskiego. Potem były kolejne, w tym 16. KKBN zorganizowana przez szczecinian, poświęcona, badaniom NDT pod wodą, i tak aż do 27. KKBN w Międzyzdrojach, podczas której ja „rączkowałem” jako Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego powołany do tej funkcji przez szczeciński Oddział PTBNiDT SIMP.

Dzisiaj już jako doświadczeni organizatorzy, Oddział PTBNiDT SIMP i ja, po raz ósmy jako Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego, witamy Państwa podczas otwarcia 53. KKBN.

Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących wraca po dwóch latach do Kołobrzegu i możemy już teraz zaprosić Państwa ponownie za rok. Rozgośćcie się proszę na dłużej, do października 2027, już można rezerwować pokoje, szczególnie te jednoosobowe.

To tradycyjne coroczne wydarzenie zgromadziło w jednym miejscu liczne grono uczestników reprezentujących przemysł, laboratoria, firmy prywatne, towarzystwa nadzoru technicznego i oraz środowisko naukowe, zajmujących się badaniami nieniszczącymi i niszczącymi, a także diagnostyką, jakością i nadzorem technicznym.

Dla Oddziału Szczecińskiego PTBNiDT SIMP oraz członków Komitetu Organizacyjnego i Komitetu Naukowego był to kolejny rok społecznej pracy przy przygotowaniach do tej konferencji. Jak wspomniałem doświadczenie organizacyjne mamy duże. Konferencję organizujemy obecnie po raz ósmy, a w Kołobrzegu, w hotelu Aquarius, gościmy po raz czwarty. Możecie czuć się jak w domu.

Zapraszam do aktywnego udziału w wydarzeniach konferencyjnych: od zdobywania naukowej wiedzy podczas sesji, poprzez jak zwykle, ciekawą wystawę, po atrakcje spotkań towarzyskich.

Dziękuję Wystawcom, Prelegentom, Komitetowi Organizacyjnemu i Naukowemu oraz Redakcji BNiD za wkład w przygotowanie tego wydarzenia, ku zadowoleniu tak liczного grona uczestników. Dla Was działaliśmy. Bez Waszego udziału trud organizatorów nie miałby znaczenia.

Za rok ponownie spotkamy się w Kołobrzegu, z kolejnymi atrakcjami i niespodziankami. Pracujemy nad tym, aby Konferencja się nie zestarzała, mimo kolejnego, coraz wyższego numeru. Niestety, nie dotyczy to organizatorów. Nam przybędzie przysłowiowy krzyżyk.

W imieniu Oddziału PTBNiDT SIMP w Szczecinie, Komitetów Organizacyjnego i Naukowego.

Bogusław Olech

Kołobrzeg, 20.10.2026



POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ NIENISZCZĄCYCH
I DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ SIMP
ODDZIAŁ W SZCZECINIE
ul. Sabły 11a, 71-341 Szczecin
(+48) 91 442 00 07



POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ
NIENISZCZĄCYCH I DIAGNOSTYKI
TECHNICZNEJ SIMP
STOWARZYSZENIE INŻYNIERÓW
I TECHNIKÓW MECHANIKÓW
POLSKICH



Krajowa Konferencja
Badań Nieniszczących
Kołobrzeg, 19-22 października 2026

<http://www.kkbn.pl>

53ko@kkbn.pl

W ramach 53. KKBN Komitety działały w składach

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący

- Bogusław Olech, Prezes PTBNiDT o/Szczecin,

Sekretarz

- Rafał Syc, Członek Zarządu/Sekretarz PTBNiDT o/Szczecin,

Wydawca Materiałów Konferencyjnych

- prof. dr hab. inż. Tomasz Chady, Prezes Zarządu PTBNiDT, Dyrektor BoD EFNDT,
Redaktor Naczelny BNiD,

Komisarz wystawy

- Ryszard Bartz, Członek Zarządu PTBNiDT o/Szczecin,

Biuro Konferencji

- Adam Sajek, Politechnik Sp. z o.o.

KOMITET NAUKOWY

Przewodniczący Komitetu Naukowego

- dr hab. inż. Grzegorz Psuj, prof. ZUT, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w
Szczecinie, Wiceprezes PTBNiDT o/Szczecin,

Zastępca Przewodniczącego Komitetu Naukowego

- dr hab. inż. Dariusz Ulbrich, prof. PP, Politechnika Poznańska,

Sekretarz Komitetu Naukowego

- dr inż. Michał Maciusowicz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,

Członkowie Komitetu Naukowego

- dr hab. inż. Łukasz Ambroziński, prof. AGH, Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
- prof. dr hab. inż. Piotr Bielawski, prof. na emeryturze,
- dr hab. inż. Marcin Chodźko, prof. ZUT, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
- płk dr hab. inż. Krzysztof Dragan, prof. ITWL, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych,
- dr hab. inż. Barbara Grochowalska, prof. ZUT, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
- dr hab. inż. Marian Jóska, prof. PP, Politechnika Poznańska,
- dr hab. inż. Jakub Kowalczyk, Politechnika Poznańska,
- dr hab. inż. Dominik Kukla, Sieć Badawcza Łukasiewicz - Warszawski Instytut Technologiczny
- prof. dr hab. inż. Przemysław Łopato, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
- dr hab. inż. Łukasz Pieczonka, prof. AGH, Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
- inż. Marcin Rasek, Navi Academy sp. z o.o.,
- dr hab. inż. Maciej Roskosz, prof. AGH, Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
- prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz, Politechnika Wrocławska.



POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ NIENISZCZĄCYCH
I DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ SIMP
ODDZIAŁ W SZCZECINIE
ul. Saboty 11a, 71-341 Szczecin
(+48) 91 442 00 07

Jan Płowiec^{1*}, Kinga Kochańska¹, Anna Dobkowska¹

¹ Wydział Inżynierii Materiałowej

Kompleksowa diagnostyka pęcherzy wodorowych w urządzeniach przemysłu petrochemicznego z wykorzystaniem metody Emisji Akustycznej oraz oceny Fitness-For-Service

Comprehensive diagnostics of hydrogen blisters in petrochemical industry equipment using Acoustic Emission Testing and Fitness-For-Service Assessment

STRESZCZENIE

Celem pracy jest przedstawienie kompleksowej metodyki diagnostyki uszkodzeń wodorowych w urządzeniach przemysłu petrochemicznego, z wykorzystaniem badań nieniszczących (NDT) oraz analizy Fitness-For-Service (FFS). W pracy przedstawiono przypadek diagnostyczny, w którym podczas badań emisji akustycznej (AT) wykryto i zlokalizowano na dennicy zbiornika ciśnieniowego bardzo aktywne źródło emisji akustycznej. Na podstawie przyjętych kryteriów oceny źródło zakwalifikowano do klasy III. Wskazanie zostało następnie zweryfikowane i scharakteryzowane z wykorzystaniem uzupełniających metod NDT, obejmujących badania wizualne (VT) oraz badania ultradźwiękowe techniką Phased Array (PA). Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły zidentyfikować wykryte nieciągłości jako pęcherze wodorowe. Kolejny etap prac obejmował określenie rzeczywistej geometrii wykrytych nieciągłości, umożliwiające ocenę ich potencjalnego wpływu na integralność konstrukcji. Analizę przeprowadzono z zastosowaniem kryteriów Fitness-For-Service (FFS) określonych w API 579-1/ASME FFS-1. Połączenie wyników badań NDT, obejmujących wykrycie, lokalizację i ocenę aktywności źródła metodą AT oraz szczegółową charakterystykę nieciągłości za pomocą VT i PA, z analizą FFS umożliwia ocenę wpływu zidentyfikowanych pęcherzy wodorowych na integralność konstrukcji oraz możliwość dalszej bezpiecznej eksploatacji urządzenia.

Słowa kluczowe: pęcherze wodorowe, Emisja Akustyczna, analiza Fitness-For-Service, badania ultradźwiękowe, badania wizualne.

1. Wstęp

Degradacja stali niskostopowych stosowanych w przemyśle petrochemicznym może prowadzić do szeregu niekorzystnych zmian mikro- i makrostrukturalnych, które w konsekwencji mogą powodować powstawanie uszkodzeń oraz istotne ograniczenie trwałości i niezawodności eksploatacyjnej urządzeń. Skutki tych procesów mogą generować znaczne straty, wynikające z konieczności

ABSTRACT

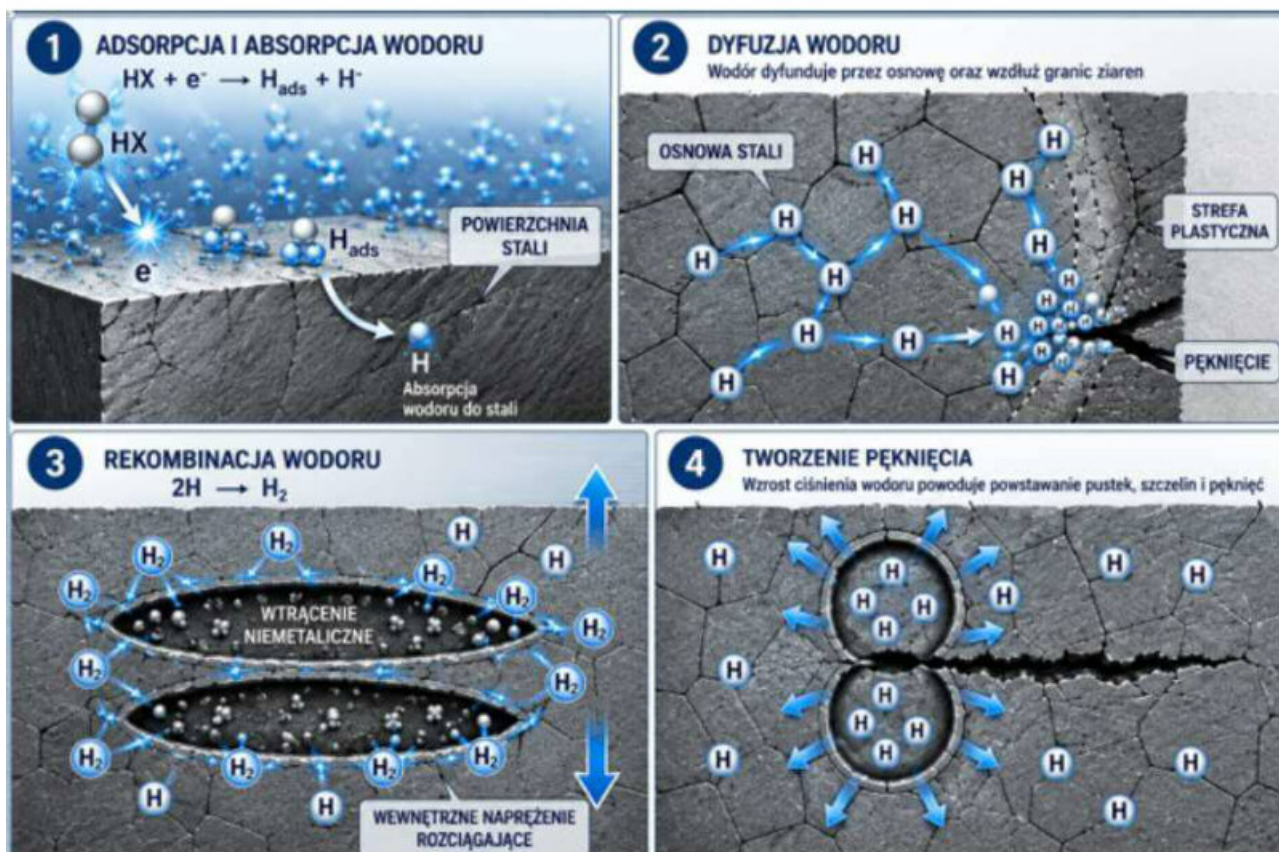
The aim of this study is to present a comprehensive methodology for the diagnosis of hydrogen-induced damage in equipment used in the petrochemical industry, based on complementary non-destructive testing (NDT) methods and Fitness-For-Service (FFS) assessment. The study presents a diagnostic case in which active acoustic emission source was detected via acoustic emission testing (AT) and located on the head of a pressure vessel. Based on the adopted assessment criteria, the source was classified as Class III. The indication was subsequently verified and characterized using complementary NDT methods, including visual testing (VT) and ultrasonic testing using the Phased Array (PA) technique. The detected discontinuities were identified as hydrogen blisters. The next stage of the investigation involved determination of the actual geometry of the detected discontinuities, enabling an assessment of their potential impact on the structural integrity of the vessel. The assessment was performed using the Fitness-For-Service (FFS) criteria specified in API 579-1/ASME FFS-1. The compilation of NDT results, including the detection, localization, and activity assessment of the source using AT, together with the detailed characterization of the discontinuities using VT and PA, and FFS assessment enables the evaluation of the effect of the identified hydrogen blisters on the structural integrity and the possibility of continued safe operation of the equipment. measurement, temperature measurement, and other non-destructive testing methods.

Keywords: Hydrogen blisters, Acoustic Emission, Fitness-For-Service assessment, ultrasonic testing, visual testing.

czasowego wyłączenia urządzeń z eksploatacji, przeprowadzenia remontu, wymiany uszkodzonych elementów lub ograniczenia zdolności produkcyjnych. Jednym z istotnych mechanizmów degradacji stali występujących w przemyśle petrochemicznym jest degradacja wodorowa. W zależności od warunków środowiskowych, rodzaju materiału oraz mechanizmu oddziaływania wodoru może ona prowadzić m.in. do powstawania pęcherzy wodorowych, pęknięć indukowanych wodorem oraz innych form degradacji, wpływających na integralność materiału i bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń. Szczególnie

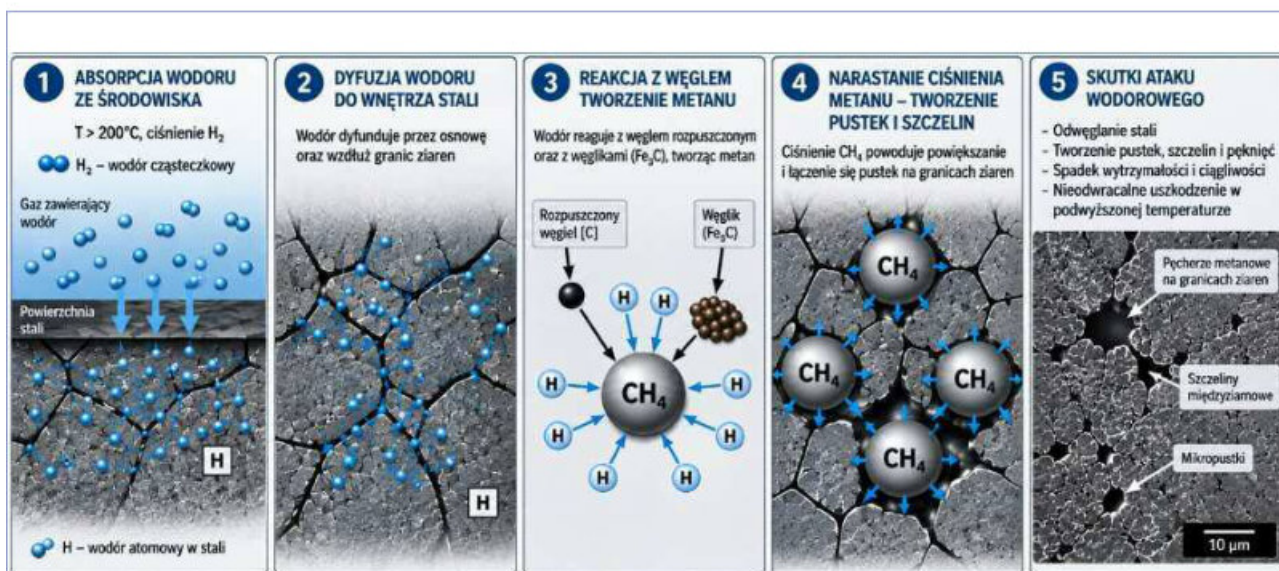
*Autor korespondencyjny.

E-mail: jan.plowiec@pw.edu.pl



Rys. 1. Mechanizm powstawania uszkodzeń wodorowych w stali.

Fig. 1. Mechanisms of Hydrogen-Induced Damage in Steel

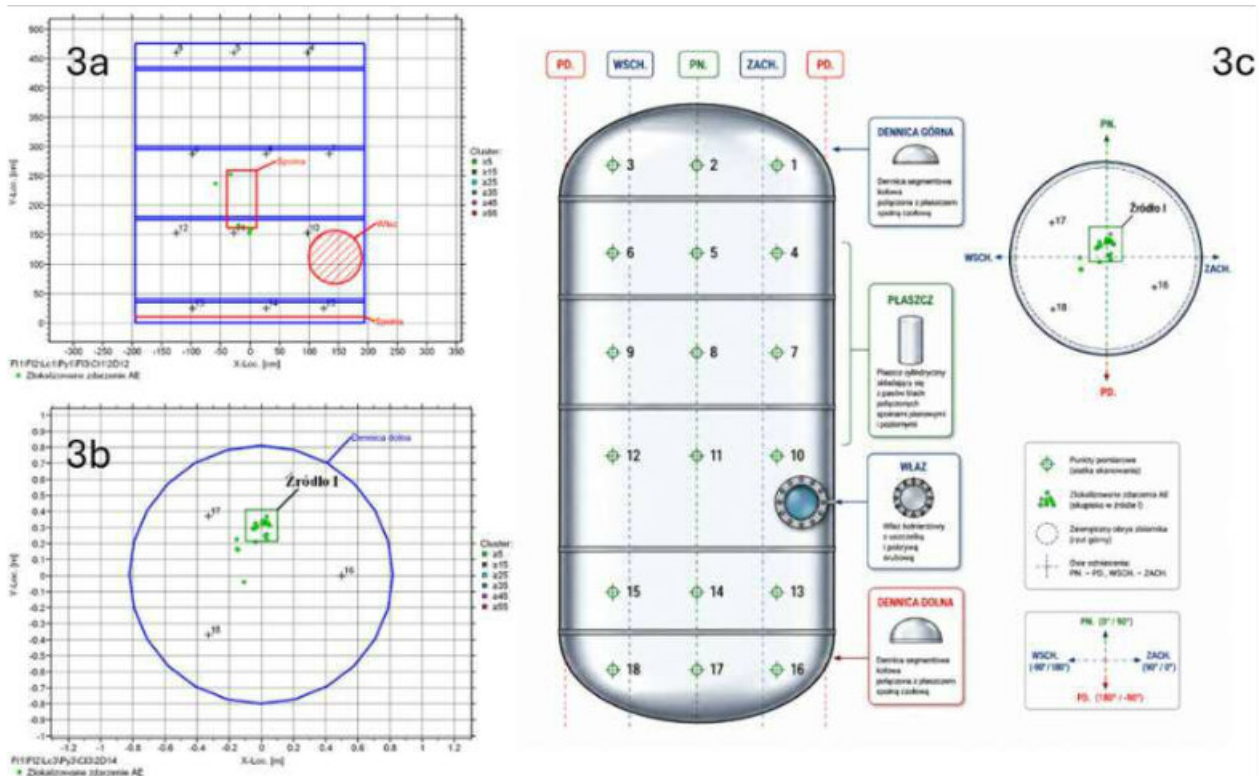


Rys. 2. Wysokotemperaturowy atak wodorowy w stali.

Fig. 2. High-temperature hydrogen attack in steel.

niebezpieczne są procesy zachodzące wewnątrz materiału, ponieważ ich rozwój może przez długi czas pozostawać niewidoczny na powierzchni elementu. Jednym z podziałów korozji ze względu na temperaturę jest podział na korozję wodorową niskotemperaturową oraz wysokotemperaturową. Niskotemperaturowa korozja wodorowa odnosi się do zniszczeń wodorowych, które zachodzą w temperaturach

poniżej $200^\circ C$, w których poruszanie się wodoru w metalu jest wolniejsze, a jego pułapkowanie na defektach strukturalnych jest znaczne. Nawodorowanie stali może zachodzić zarówno w wyniku procesów technologicznych, jak i w wyniku oddziaływania środowiska eksploatacyjnego. Szczególne znaczenie mają procesy elektrochemiczne, podczas których na powierzchni metalu powstaje wodor

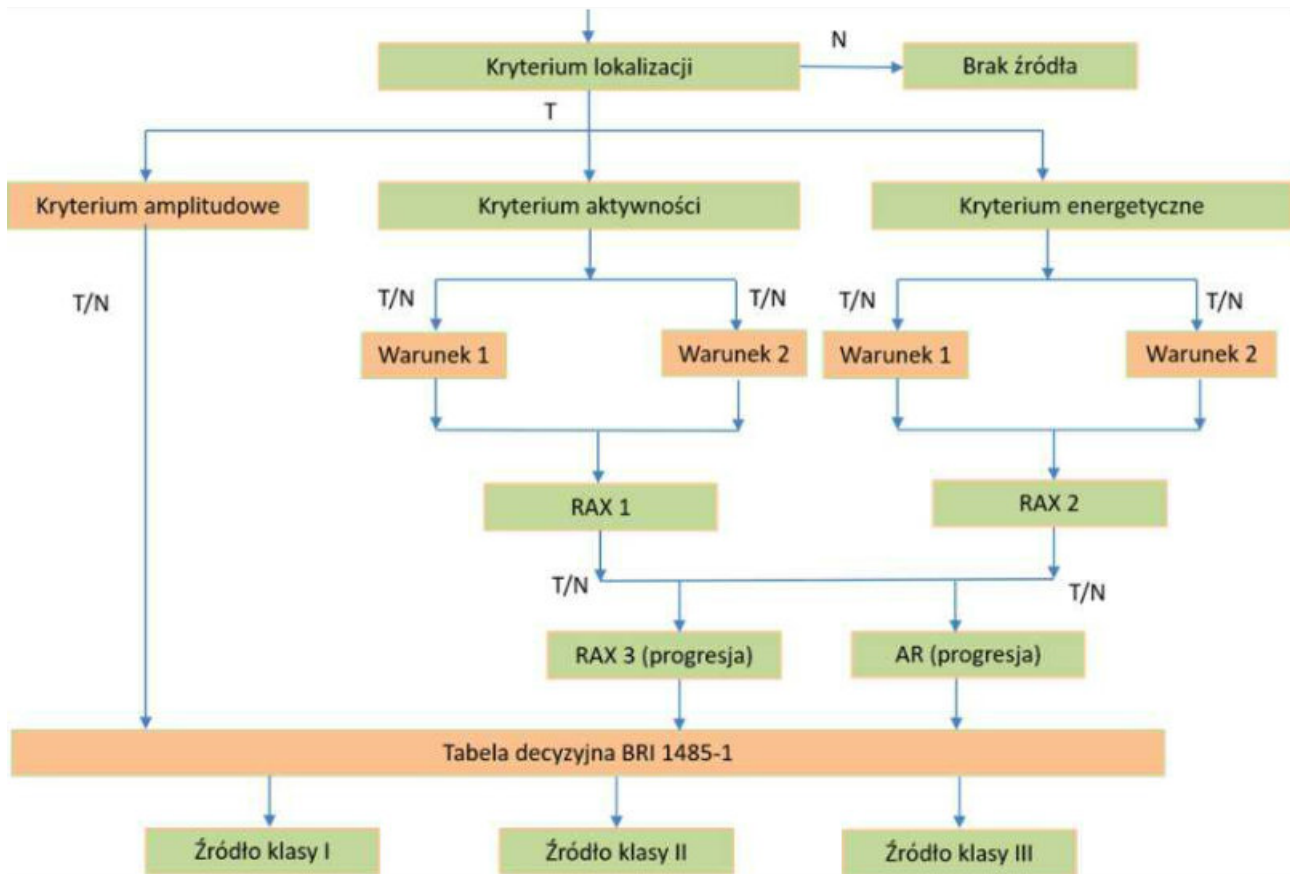


Rys. 3. Wyniki lokalizacji planarnej (a, b) oraz rozmieszczenie czujników na zbiorniku (c).
Fig. 3. Planar localization results (a, b) and sensor placement on the tank (c).

atomowy, którego część może zostać zaabsorbowana przez metal i następnie dyfundować w jego strukturze. Jednym z defektów występujących przy niskotemperaturowym ataku wodorowym są pęcherze wodorowe, występujące w temperaturze pokojowej i głównie w stalach niehartowanych o małej wytrzymałości ($R_m < 550$ MPa). Wodór atomowy wydzielający się na powierzchni w takim środowisku jest adsorbowany przez metal. Dyfundujący w stali zaadsorbowany wodór może się wydelać jako wodór cząsteczkowy w wewnętrznych pustkach lub na granicach wtrąceń – osnowa (szczególnie duże naprężenie spowodowane tworzeniem się wodoru cząsteczkowego powstaje na wierzchołku dużych i mocno wydłużonych wtrąceń np. MnS). Uszkodzenia takie tworzą się na dużych, wydłużonych wtrąceniach i są przyczyną powstawania rozwarstwień w stali. Jeżeli pęknięcia tworzą się tuż pod powierzchnią, to ciśnienie wywierane przez wodór może powodować tworzenie się wybrzuszeń na powierzchni metalu (z ang. blister) [1].

Wysokotemperaturowy atak wodorowy jest uszkodzeniem wodorowym wyrobów ze stali niskostopowych narażonych na oddziaływanie środowiska zawierającego wodór w temperaturze powyżej 200 °C. Wodór absorbowany przez stal ze środowiska podczas ataku wodorowego reaguje z węglem w niej zawartym, tworząc metan gazowy. Efektem jest odwęglenie stali, obniżenie jej wytrzymałości oraz

tworzenie się pustek i szczelin. Atak wodorowy tym różni się od kruchości wodorowej, że jest uszkodzeniem nieodwracalnym i zachodzi w podwyższonej temperaturze. Natomiast kruchość wodorowa występuje w temperaturze poniżej 200 °C i często jest odwracalna. Wysokotemperaturowy atak wodorowy wywołuje dwa rodzaje uszkodzeń: odwęglenie powierzchniowe lub odwęglenie wewnętrzne. Wodór dyfundujący w podwyższonej temperaturze do wnętrza wyrobu stalowego lub na jego powierzchni reaguje z węglem rozpuszczonym oraz z węglem zawartym w węglkach, tworząc metan. Uszkodzenie jest zależne od temperatury i ciśnienia wodoru. Stal absorbuje wodór z przepływającego gazu zawierającego wodór lub związki wodoru. W temperaturze powyżej 200 °C wodór reaguje z rozpuszczonym w stali węglem i węglkami, tworząc metan w istniejących mikropustkach, zgodnie z reakcją $2H_2 + Fe_3C \rightarrow CH_4 + 3Fe$. Tworzący się metan gazowy nie migruje w osnowie stali jak wodór atomowy. Ciśnienie metanu może natomiast osiągnąć tak dużą wartość, że powoduje powiększenie i łączenie się pustek znajdujących się zwykle na granicach ziaren, prowadząc do tworzenia się szczelin i pęknięć. Zarówno tworzenie się metanu, jak i odwęglenie powodują zmniejszenie wytrzymałości i ciągliwości stali. Charakterystyczne skutki ataku wodorowego to odwęglenie stali oraz pęcherze, rozwarstwienia, szczeliny i pęknięcia na granicach ziaren.



Rys. 4. Model klasyfikacji źródeł AE na podstawie kryteriów PN-EN 14584.

Fig. 4. Model for classifying AE sources based on PN-EN 14584 criteria.

2. Ocena stanu technicznego zbiornika metodą AT

W trakcie badań emisji akustycznej, realizowanych podczas próby ciśnieniowej, wykryto i zlokalizowano źródło emisji akustycznej, oznaczone jako źródło nr 1 (rysunek 3b). Badanie przeprowadzono zgodnie z opracowaną procedurą badania oraz wymaganiami ASME BPVC Section V:2021 [2].

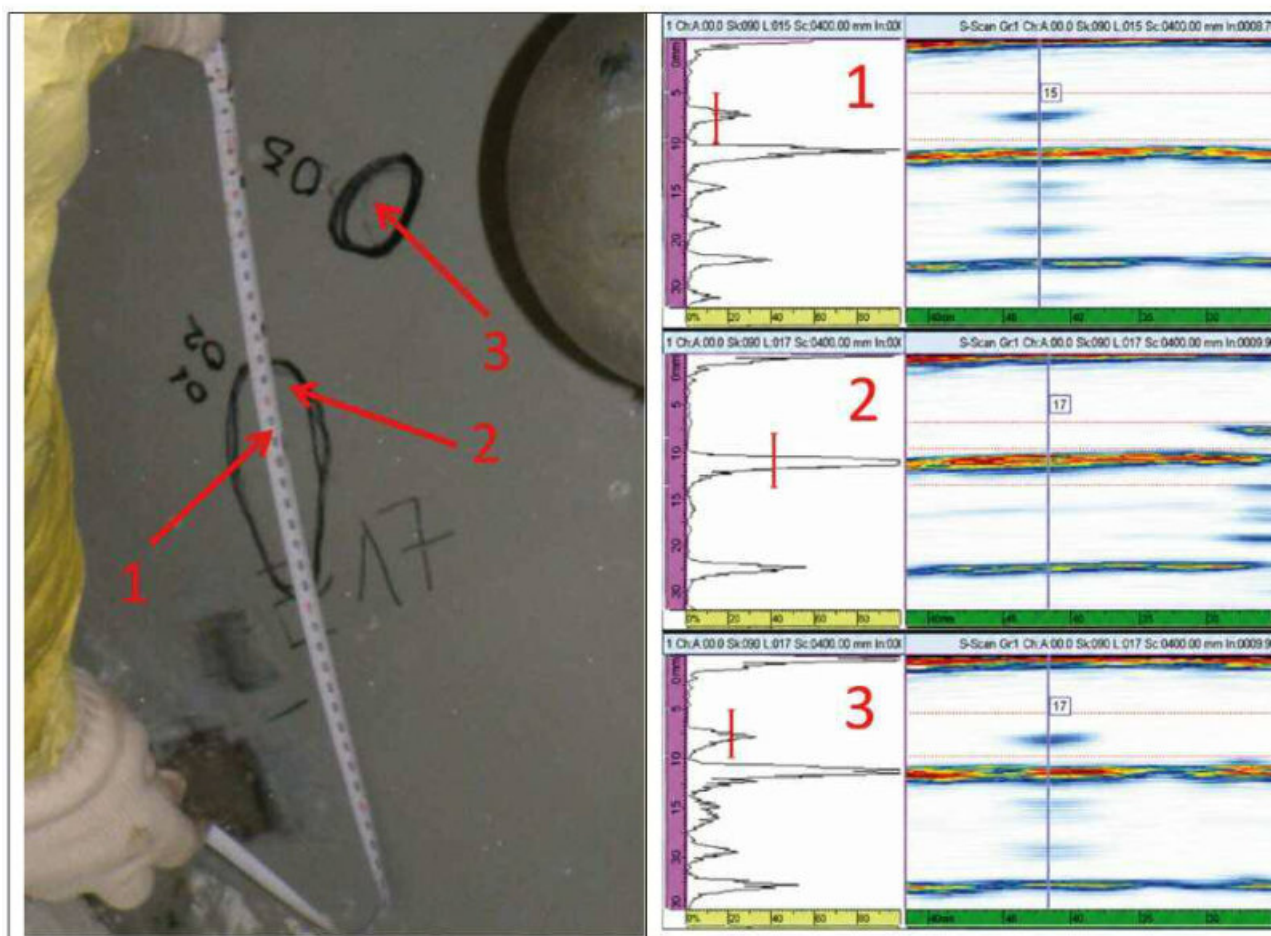
Badanie wykonano z zastosowaniem planarnej lokalizacji źródeł emisji akustycznej, zgodnie z PN-EN 14584:2013 [3]. Rozmieszczenie czujników AT na płaszczy zbiornika przedstawiono na rysunku 3c.

Na podstawie przyjętych kryteriów parametrycznych sygnałów emisji akustycznej, źródło 1 zostało zakwalifikowane do klasy III. Drzewo decyzyjne klasyfikacji źródeł emisji akustycznej na podstawie kryteriów określonych w PN-EN 14584, przedstawiono na rysunku 4. Ocena sygnałów emisji akustycznej została przeprowadzona na podstawie kryterium lokalizacyjnego, amplitudowego i energetycznego.

3. Weryfikacja wskazań AT innymi metodami NDT

Zgodnie z dobrą praktyką inżynierską oraz wytycznymi normy PN-EN 14584 obszar wskazania AT oznaczony jako źródło 1 zostało zweryfikowane badaniami VT. W wyniku przeprowadzonych oględzin ujawniono obszar trzech wyrzuteń. Wyniki oględzin przedstawiono na rysunku 5. Do dalszej weryfikacji ujawnionych wskazań przeprowadzono badania ultradźwiękowe z wykorzystaniem techniki PA przy użyciu defektoskopu ultradźwiękowego OMNISCAN MX. Badania ujawniły obecność pęcherzy w dennicy zbiornika, potwierdzając jednoznacznie wskazania AT. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań PA zobrażeń typu A, B-skan [4].

Procedurę oceny jednego z pęcherzy wodorowych przedstawionych na rysunku 6, przeprowadzono zgodnie z wymaganiami API 579-1/ASME FFS-1:2021, Part 7 – Assessment of Hydrogen Blisters and Hydrogen Damage Associated with HIC and SOHIC. Dane wymagane do przeprowadzenia oceny, uzyskano na podstawie pomiarów przedstawionych na rysunku 6 i zestawionych w tablicy 1.



Rys. 5. Badania wizualne i ultradźwiękowe (ujawnione wybrzuszenia w miejscu źródła).

Fig. 5. Visual and ultrasonic testing (blisters revealed at the location of source 1).

Tab. 1. Wymiary pęcherza wodorowego.

Tab. 1. Dimensions of the hydrogen blister.

S [mm]	C [mm]	L _B [mm]	Kierunek wypukłości	B _p [mm]	t _{mm} [mm]	Obecność pęknięcia	Sc [mm]	L _w [mm]	L _{msd} [mm]	D [mm]	MAWP
79,2	70,5	34,9	Do wewnątrz	4,9	6,1	Pęknięcie na wybrzuszeniu	24	165	560	1215	,065MPa
		69,2									
		48,3									

Zgodnie z API 579 Poziom 1, krok 1, obejmuje zebranie podstawowych danych dotyczących wymiarów oraz położenia pęcherza. Uzyskane dane przedstawiono na rys. 6 i w tablicy 1 [5].

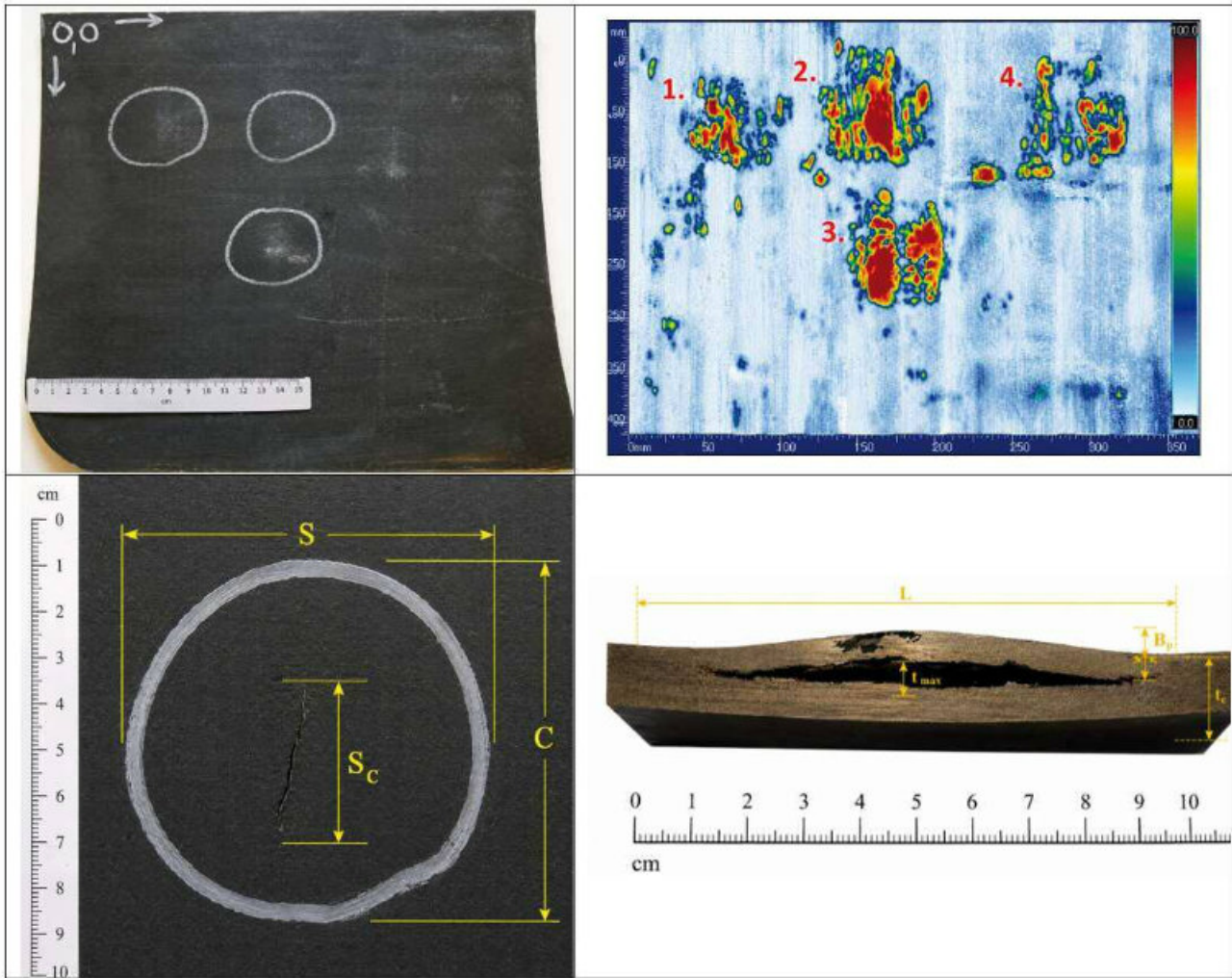
Krok 2 polega na wyznaczeniu rzeczywistej grubości ścianki $t_c = 12,1 - 0,4 - 1,6 = 10,1$ mm

gdzie: $t_{nom} = 12,1$ mm; $LOSS = 0,4$ mm; $FCA = 1,6$ mm; Grubość ścianki t_c wynosi zatem 10,1 mm.

Krok 3 obejmuje w szczególności następujące oceny: sprawdzenie wymiarów pęcherza ($\max(S, C) \leq 50$ mm - warunek nie jest spełniony bo $79,2; 70,5$ mm < 50 mm) i jego wentylowania (pęcherz jest wentylowany i musi być spełniony warunek $-S, C \leq 0,6\sqrt{Dt_c}$ warunek nie spełniony

bo $79,2; 70,5$ mm $> 66,47$ mm), sprawdzenie minimalnej zmierzonej grubości ścianki ($t_{mm} - FCA \geq 0,5 t_c$, gdzie: $t_{mm} = 6,1$ mm - warunek nie spełniony bo $4,5$ mm $< 5,05$ mm), sprawdzenie wysokości projekcji pęcherza ($B_p \leq 0,10 \min[S, C]$ gdzie $B_p = 4,9$ mm - warunek jest spełniony bo $4,9$ mm $\leq 7,05$ mm), sprawdzenie występowania pęknięć na obwodzie pęcherza (ujawniono pęknięcie na wybrzuszeniu - warunek spełniony), sprawdzenie odległości od najbliższej spoiny ($L_w > \max[2t_c, 25 \text{ mm}]$, gdzie $L_w = 165$ mm - warunek spełniony bo 165 mm $> \max(20,2 : 25 \text{ mm})$ oraz odległości od głównej nieciągłości konstrukcyjnej:

$L_{msd} \geq 1,8\sqrt{Dt_c}$, gdzie $L_{msd} = 560$ mm - warunek spełniony bo 560 mm $> 198,5$ mm). Dla analizowanego pęcherza



Rys. 6. Zwymiarowany pęcherz wodorowy – widok z naniesionymi wymiarami.

Fig. 6. Hydrogen blister with dimensions.

wodorowego kryteria poziomu 1 nie są spełnione, dlatego ocenę należy kontynuować na poziomie 2. **Poziom 2, krok 1** polega na zebraniu kolejnych, podstawowych danych o wymiarach pęcherza. **Krok 2** podobnie jak w ocenie na poziomie 1 krok, polega na obliczeniu grubości ścianki t_c $t_c = t_{nom} - LOSS - FCA$, $t_c = 12,1 - 0,4 - 1,6 = 10,1$ mm.

Krok 3 dotyczy sprawdzenia odległości między krawędzią pęcherza a najbliższymi nieciągłościami obiektu $L_{msd} \geq 1,8\sqrt{Dt_c}$, gdzie $L_{msd} = 560$ mm, zatem warunek spełniony, bo $560 \text{ mm} > 198,5 \text{ mm}$). **Krok 4** dotyczy kierunku pęknięcia. Warunek spełniony, bo pęknięcie jest skierowane w kierunku powierzchni wewnętrznej. **Krok 5** dotyczy położenia pęknięcia względem wybruszenia. Pęknięcie znajduje się po tej samej stronie co wybruszenie pęcherza, a to oznacza, że warunek jest spełniony i należy przejść do kroku 9, omijając kroki 6, 7 i 8. Krok 9 sprawdza czy spełniona jest zależność $B_p \leq 0,10 \min[S, C]$. Warunek jest spełniony, bo $4,9 \text{ mm} \leq 0,1(79,2; 70,5 \text{ mm})$, a zatem uznajemy, że pęcherz może być traktowany jako lokalny ubytek materiału. Wyznaczamy parametr długości wzdłużnej wady λ korzystając ze wzoru: $\lambda = \frac{1,285 \cdot S}{\sqrt{Dt_c}} = 0,92$.

Następnie wyznaczamy skuteczny poziom grubości R_t . Stosujemy w tym celu równanie:

$$R_t = \frac{t_{mm} - FCA}{t_c} = 0,45$$

Sprawdzamy kryteria ograniczające wielkość wady. Warunek $R_t \geq 0,2$ jest spełniony, bo $R_t = 0,45$. Spełniony jest także warunek minimalnej pozostałej grubości $t_{mm} - FCA \geq 2,5 \text{ mm}$, ($4,5 \text{ mm} > 2,5 \text{ mm}$) oraz warunek odległości od głównej nieciągłości:

$$L_{msd} \geq 1,8\sqrt{Dt_c}$$

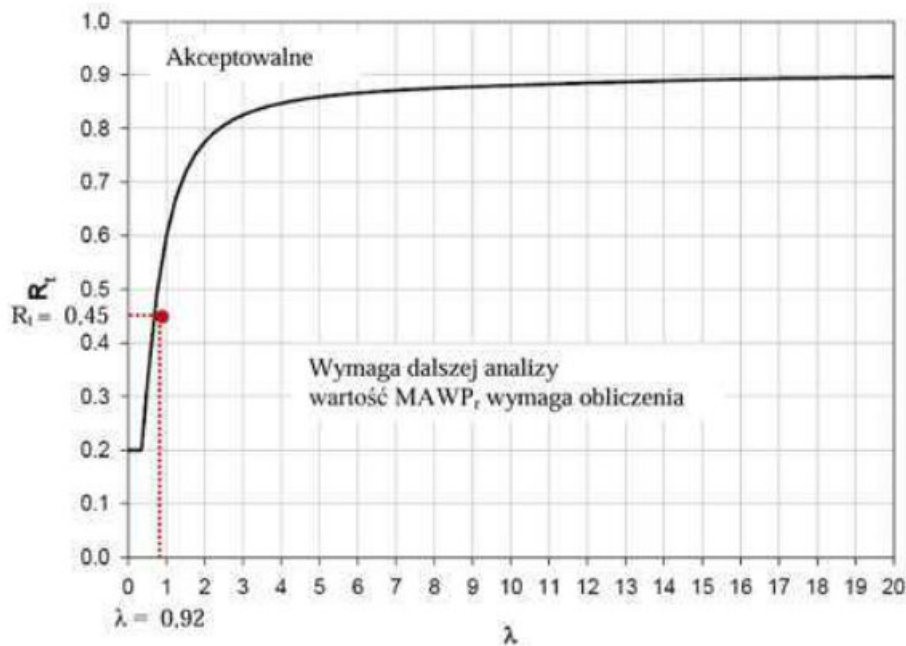
Warunek ten jest spełniony gdyż ($560 \text{ mm} > 198,5 \text{ mm}$).

Sprawdzamy także warunek zasięgu obwodowego dla powłoki cylindrycznej:

$$c \leq 2s \frac{EL}{Ec}$$

Gdzie przy założeniu $EL=EC=1,0$ otrzymujemy $70,5 \text{ mm} \leq 158,4 \text{ mm}$ co skutkuje spełnieniem warunku.

W kolejnym etapie analizy sprawdzamy położenie punktu o współrzędnych wyznaczonych przez wartości R_t i λ na krzywej opracowanej dla zbiorników cylindrycznych przedstawionej na rysunku 7.



Rys. 7. Zależność wartości R_t od λ dla zbiorników cylindrycznych.

Fig. 7. Relationship between R_t and λ for cylindrical vessels

Jeżeli punkt znajduje się na lub powyżej podanej krzywej wtedy można dopuścić wartość MAWP przyjętą z dokumentacji technicznej. W naszym przypadku wartość R_t i λ wyznaczają na wykresie punkt, który znajduje się poniżej krzywej w związku z tym należy obliczyć wartość RSF a następnie MAWP_R. Dla obliczenia RSF korzystamy z równania:

$$RSF = \frac{R_t}{1 - \frac{1}{M_t}(1 - R_t)}$$

Dla $\lambda = 0,92$ po zaokrągleniu przyjmujemy wartość $\lambda=1,0$ i zgodnie z tablicą wartości współczynnika M_t w zależności od λ i rodzaju płaszcza wartość M_t wynosi 1,199 co daje:

$$RSF = \frac{0,45}{1 - \frac{1}{1,199}(1 - 0,45)} = 0,83$$

Wartość dopuszczalna RSF_a wynosi 0,9 zatem warunek $RSF < RSF_a$ jest spełniony. W związku z tym nie można przyjąć bezpośrednio ciśnienia roboczego MAWP = 0,065 MPa. Należy wyznaczyć zredukowane MAWP_R = MAWP(RSF/RSF_a) = 0,065(0,83/0,9) Geometryczne kryteria kroku 9 są spełnione, ale wymaganie dotyczące RSF nie jest spełnione dla pierwotnego MAWP = 0,065 MPa. Po zastosowaniu redukcji otrzymujemy MAWP_R = 0,06 MPa.

4. Podsumowanie wyników

Przedstawione w pracy wyniki badań wskazują, że metoda emisji akustycznej, stosowana podczas prób ciśnieniowych, umożliwia skuteczne wykrywanie i lokalizowanie aktywnych źródeł emisji związanych z występowaniem pęcherzy wodorowych oraz ich klasyfikację na podstawie przyjętych kryteriów oceny. Jednocześnie przedstawiony przykład potwierdza przydatność procedur zawartych w API 579-1/ASME FFS-1, umożliwiających ocenę stanu technicznego urządzeń zawierających różnego rodzaju uszkodzenia, w tym pęcherze wodorowe. Warto podkreślić, że zastosowanie przedstawionych technik pozwala na ocenę stanu technicznego urządzeń na etapie ich eksploatacji, co ma istotne znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji oraz oceny integralności konstrukcji.

5. Literatura

- [1] ASME Handbook Vol.11, Failure Analysis and Prevention, Ninth Edition, PP 247-248.
- [2] ASME BPVC Section V:2021, Article 12 „Acoustic Emission Examination of Metallic Vessels During Pressure Testing
- [3] PN-EN 14584:2013 Emisja akustyczna – Badania emisji akustycznej metalowych urządzeń ciśnieniowych podczas badań odbiorczych – Planarna lokalizacja źródeł.
- [4] Politechnika Warszawska Wydział Inżynierii Materiałowej Prace Niepublikowane.
- [5] API 579-1/ASME FFS-1 Fitness For Service, December 2021



54 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących

Kołobrzeg, 18-21 października 2027

Panie, Panowie, Koleżanki, Koledzy,

w imieniu Komitetu Organizacyjnego i Komitetu Naukowego zapraszamy do udziału w 54. Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących (54. KKBN).

W roku 2027 spotkamy się w terminie od 18 do 21 października w Hotelu Aquarius w Kołobrzegu.

54. KKBN stanowić będzie, ogólnopolskie forum wymiany informacji i doświadczeń w dziedzinie badań nieniszczących. Przedstawione zostaną problemy badań nieniszczących w przemyśle, transporcie i budownictwie, wyniki prac naukowo-badawczych, systemy certyfikacji personelu i akredytacji laboratoriów badawczych i wzorcujących, normalizacja badań, najnowsze urządzenia i aparatura badawcza oraz wyposażenie pomiarowo badawcze. Wszystko podczas sesji plenarnych i plakatowej, warsztatów i oczywiście WYSTAWY.

Hasło przewodnie konferencji to:

„Postęp, innowacje i wymagania jakościowe w badaniach i diagnostyce”

Organizator Główny Konferencji

Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP Oddział w Szczecinie przy udziale:

Ośrodek Szkoleniowy Politechnik, Szczecin

Kontakt z Organizatorami

Przewodniczący Komitetu
Organizacyjnego
Bogusław Olech
mob. 601 795 718
boguslawolech@wp.pl

Przewodniczący
Komitetu Naukowego
plk dr hab. inż. Krzysztof Dragan,
prof. ITWL
krzysztof.dragan@itwl.pl

Komisarz Wystawy
Ryszard Bartz
mob. 604 849 280
lbng@go2.pl

Biuro Konferencji
Adam Sajek
mob. 663 762 639
biuro@politechnik.eu

Patronat honorowy

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich

Patronat medialny (czasopisma Naukowo - Techniczne)

Badania Nieniszczące i Diagnostyka
Przegląd Spawalnictwa
De Gruyter Brill
Wiadomości SIMP



Informacje na dzień 1.10.2026

ZGŁOŚ SIĘ JUŻ DZIŚ I ZOSTAŃ UCZESTNIKIEM, WYSTAWCĄ, PARTNEREM LUB SPONSOREM!

EC TEST SYSTEMS
drgania • akustyka • termowizja • szybkie kamery

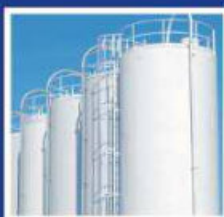


BADANIA NIENISZCZĄCE

BADANIA EMISJI AKUSTYCZNEJ



Testy integralności • Testy korozji • Badania wycieków
Testy wyładowań niepełnych • Monitorowanie stanu wewnętrznego (SHM)
Badania i rozwój



EC TEST SYSTEMS
drgania • akustyka • termowizja • szybkie kamery

EC TEST Systems Sp. z o.o.
ul. Ciepłownicza 28, 31-574 Kraków
tel.: +48 12 627 77 77, e-mail: biuro@ects.pl



www.ects.pl

Oksana Koval^{1*}¹ PUH TEST Sp. z o.o.

Zarządzanie ryzykiem przy ocenie zdjęcia radiograficznego złącza spawanego. Czynniki ludzkie

Risk management in radiographic image evaluation of welded joint. The human factor

STRESZCZENIE

Badanie rentgenowskie jest jednym z najbardziej reprezentatywnych i wiarygodnych badań nieniszczących. Stanowi niezbędny element kontroli jakości spoin, wymagający jednak przestrzegania określonych warunków, odpowiedniej wiedzy, doświadczenia oraz szczególnej koncentracji podczas oceny. Przedstawiony referat jest oparty na danych z rzeczywistych prac, analizie norm oraz literatury branżowej i ma na celu przypomnienie specjalistom o znaczeniu przestrzegania procedur oraz wykonywania oceny w ustalonej kolejności. W referacie podano przykłady oceny radiogramów wraz z omówieniem możliwych błędnych interpretacji, co skutkuje zbędnymi naprawami, czyli stratą czasu i środków, albo z drugiej strony błędną akceptacją wadliwej spoiny, co może skutkować awarią wyrobu.

Słowa kluczowe: zdjęcie rentgenowskie; interpretacja wskazania; procedura oceny

ABSTRACT

X ray testing is one of the most representative and reliable non destructive testing methods. It is an essential element of weld quality control, although it requires compliance with specific conditions, appropriate knowledge, experience, and particular concentration during evaluation. This article is based on data from real industrial work, an analysis of standards, and technical literature, and aims to remind specialists of the importance of following procedures and performing evaluations in a defined sequence. The article presents examples of radiogram evaluation along with a discussion of possible misinterpretations, which may result in unnecessary repairs, leading to a loss of time and resources, or, on the other hand, in the incorrect acceptance of a defective weld, which may lead to product failure.

Keywords: X-ray image; interpretation of indication; evaluation procedure

1. Wstęp

Wiadomo, że laboratorium badawcze narażone jest na ryzyko różnego rodzaju, które może być przyczyną pracy niezgodnej z wymaganiami. Dotyczy to, na przykład, aktualizacji procedur badawczych według nowych norm, właściwego postępowania z wyposażeniem laboratorium. Im więcej metod badawczych oferuje laboratorium, tym trudniej jest uwzględnić całe spektrum potencjalnych zagrożeń związanych między innymi z koniecznością szkolenia personelu, zdobywaniem doświadczenia przez każdego pracownika oraz jego dalszą pracę zgodną z dobrymi praktykami i zasadami etyki. Nie umniejszając wartości ludzkich, warto jednak zauważyć, że ogromna część ryzyka wynika z czynnika ludzkiego, czyli błędów w przeprowadzaniu badań i ocenie indykacji, związanych ze stanem psychicznym kontrolera podczas badań, jego wiedzą i doświadczeniem, a nawet cechami charakteru. W przypadku badań nieniszczących ryzyko jest szczególnie duże, ponieważ takie metody kontroli wyrobów są w znacznym stopniu subiektywne. Jednakże, zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025 [1], właściwe podejście do zarządzania ryzykiem może pomóc istotnie zmniejszyć prawdopodobieństwo błędów lub je wyeliminować.

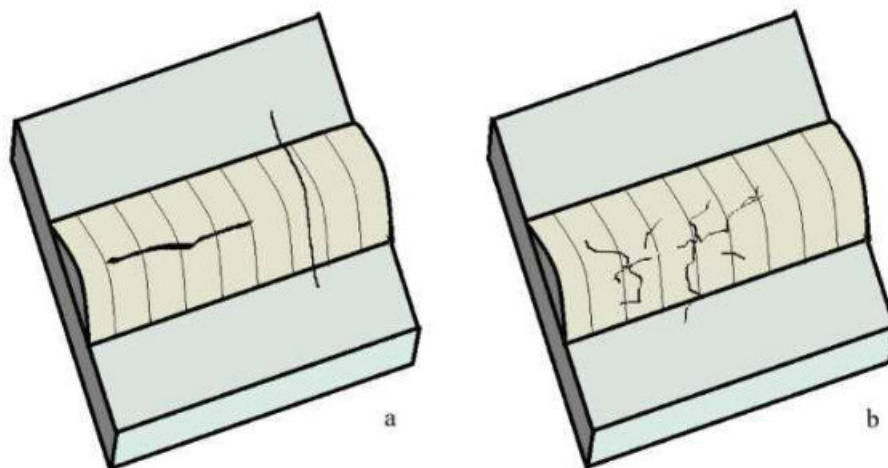
Niniejszy artykuł może posłużyć jako pretekst do określenia ryzyka dla nowych laboratoriów lub skłonić doświadczonych laboratoriów do ponownej jego oceny i głębszej analizy stosowanych procedur.

Badanie RT ma jedną niepodważalną zaletę – uzyskanie zdjęcia rentgenowskiego, które stanowi istotną część dokumentacji i dowód jakości wyrobu, a w szczególności spoiny złączy spawanych. Jednak zgodnie z normami ten poglądowy dokument wiąże się z dodatkowymi wymaganiami dotyczącymi metodologii kontroli. Istnieje szereg trudności i nieścisłości związanych z interpretacją zdjęć, ale rozumiejąc specyfikę procesów spawania i tworzenia obrazu rentgenowskiego, można osiągnąć wysokie wyniki w ocenie stanu wewnętrznego spoiny. Ta wiedza również może być pomocna w udoskonaleniu technologii spawania.

Norma dotycząca oceny jakości złączy spawanych metodą RT PN-EN ISO 10675-1 [2], jak i klasyfikacja wad PN-EN ISO 6520-1 [3] przedstawiają je w sposób schematyczny, co czasami nie jest wystarczającym dla prawidłowego rozpoznania nieciągłości i utrudnia ocenę. Dodatkowe materiały szkoleniowe, broszury i plakaty, na przykład katalog firmy Kodak, w przejrzysty sposób przedstawiają niektóre wady bezpośrednio na zdjęciach rentgenowskich, są przydatne w praktyce, jednak nie zawsze są w stanie pomóc początkującemu rentgenologowi, zwłaszcza gdy laboratorium

*Autor korespondencyjny.

E-mail: kovaloksana777@gmail.com



Rys. 1. a – zimne pęknięcie; b – gorące pęknięcie.
Fig. 1. a – cold crack; b – hot crack.

ma do czynienia z kontrolą spoin na obiektach o różnym przeznaczeniu. Według niektórych danych [4] zdolność do wydobycia informacji ze zdjęcia wynosi 30%, a dwóch doświadczonych specjalistów nie osiągnie porozumienia w ponad 95 % przypadków.

Posiadanie certyfikatu NDT nie gwarantuje dobrej jakości oceny, stopień opanowania materiału po kursie i możliwości samokształcenia mogą być różne. Jednak, jak można zauważyć, brak doświadczenia nie zawsze ma negatywny charakter. Czasami początkujący specjalista jest bardziej uważny i dokładny, co kontrastuje z pracą doświadczonego specjalisty, który często stawia na szybkość oceny. Wpływ mogą mieć takie czynniki, jak: różnorodność obowiązków doświadczonego badacza, jego bliższy kontakt z przedstawicielami firm będących stałymi klientami oraz rywalizacja między współpracownikami. Im mniej stałej praktyki, tym bardziej rośnie ryzyko.

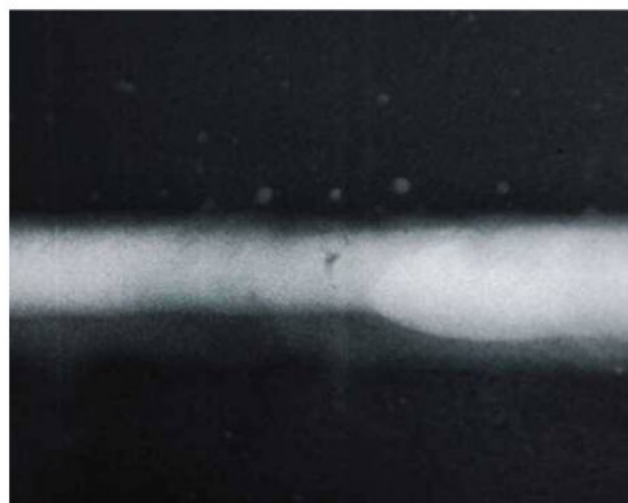
Warto tutaj podkreślić, jak ważne jest posiadanie obowiązujących procedur oceny zdjęć rentgenowskich i kontrolowanie ich wdrażania. Proste zalecenia dotyczące kolejności działań, których powinni przestrzegać rentgenolodzy niezależnie od doświadczenia w interpretacji, mogą uchronić laboratorium przed błędną oceną jakości obiektu. Terminowa aktualizacja procedury wykluczy również błąd w przypadku zmian normy, które modyfikują lub uzupełniają podejście do oceny, co podkreśla rolę systemu jakości..

2. Charakterystyka pęknięć oraz ich wykrywanie

Aby omówić możliwe błędy w interpretacji wskazań, warto przeanalizować dane norm oraz zalecenia opisane w literaturze. Należy opisać najpoważniejszą nieciągłość, która uważa się za nieakceptowalną przy każdej metodzie badawczej złączy spawanych – pęknięcie, 100. Cechą charakterystyczną pęknięcia jest to, że jego krawędzie są ostre nie tylko na poziomie makro, ono zaczyna rosnąć od mikropęknięcia w budowie krystalicznej i bardzo szybko się rozprzestrzenia. Pęknięcie powstaje w wyniku naprężeń wewnętrznych koncentrujących się podczas krzepnięcia

spoiny jeśli spawanie lub materiały nie spełniają niezbędnych wymagań, na przykład wykorzystanie drutu ze stali czarnej dla połączenia elementów ze stali nierdzewnej. Na zdjęciu rentgenowskim pęknięcie może wyglądać jak podłużna lub poprzeczna smuga – zimne pęknięcie, powstające w temperaturze stali poniżej 300°C [5], w obszarze odkształceń sprężystych (Rys. 1a). Wada ta przebiega przez ziarna stwardniałego metalu. Najczęściej jednak w połączeniach spawanych występują pęknięcia gorące, powstające w temperaturach wyższych – 1100-1350°C [5]. Przebiegają one w przestrzeni pomiędzy ziarnami, dlatego często mają formę rozgałęzioną i gwiazdzistą (Rys. 1b).

Mimo że samą wadę trudno pomylić z innymi, jej wykrycie nie zawsze jest tak oczywiste. Pęknięcie może być drobne (Rys. 2) i mieć niewielką szerokość, ale ze względu na to, że ta nieciągłość często wychodzi na powierzchnię, do jej wykrycia zalecana jest kontrola metodą MT lub PT przeprowadzona przed badaniem rentgenowskim. Ponadto pęknięcie proste można łatwo pomylić z kreskami



Rys. 2. Wskazanie, wykryte jako pęknięcie gorące
Fig. 2. Indication detected as a hot crack

utworzonymi w wyniku wywoływania, spowodowanymi zanieczyszczeniem wałków wywoławarki, a pęknięcie zakrzywione – z wyładowaniami elektrostatycznymi. Ślady wyładowania mają wygląd rozgałęziony, kontrastowy i wychodzą z jednego punktu, a zanieczyszczenia błony są widoczne na powierzchni bez użycia negatoskopu. Jeśli jednak specjalista ma wątpliwości, należy powtórzyć ekspozycję [6].

3. Brak przetopu i przyklejenie

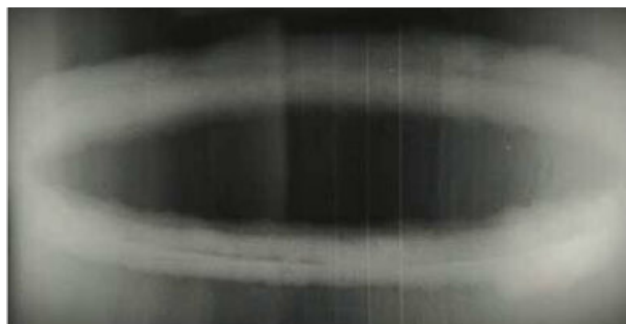
Drugą pod względem niebezpieczeństwa wadą jest brak przetopu, 402, który powstaje, gdy odległość między spawanymi elementami jest zbyt wąska w stosunku do średnicy drutu i stosowanego prądu [6]. Wada ta występuje w grani w przypadku spawania jednostronnego, a w przypadku spawania dwustronnego – między górną a dolną częścią spoiny. Brak przetopu jest niebezpieczny, ponieważ ma ostre krawędzie. Oznacza to, że jest miejscem o wysokim stopniu koncentracji naprężeń. Mimo to, zarówno w normie dotyczącej oceny radiogramów, jak i w normie dotyczącej oceny metodą wizualną, w spoinach o niskich wymaganiach jakościowych brak przetopu jest dopuszczalny. Na radiogramie wykrywa się w prosty sposób – kontrastową linią w środku spoiny (Rys. 3).

Osobliwość polega na tym, że w porównaniu na przykład z przyklejeniem, wskazanie 402 jest proste z obu stron, od góry i od dołu. Należy również zwrócić uwagę na kierunek promieniowania: przy naświetlaniu „na elipsę” wygląd wskazania zmienia się z powodu prześwietlania pod kątem. Ważną cechą świadczącą na korzyść braku przetopu podczas interpretacji jest brak przejścia do niższej gęstości optycznej w grani spoiny, ponieważ nie ma jej wzmocnienia. Należy jednak wziąć pod uwagę, że podczas spawania wielowarstwowego bez wyraźnego wzmocnienia grani jej środkowa część na radiogramie również może być jaśniejsza, jak w przypadku grani. Często brak przetopu powstaje podczas spawania z użyciem podkładki (Rys. 4).

Z powodu zbyt niskiej temperatury lub źle przygotowanych krawędzi w środkowej części spoiny może powstać przyklejenie, 401 (Rys. 5). Jeśli jest ono niewielkie, można je wykryć tylko wtedy, gdy kierunek promieniowania jest zgodny z kątem ukosowania krawędzi. Jednak wada ta jest bardzo popularna zarówno w praktyce – często występuje w spoinie – jak i w teorii – mówią o niej badacze i często mylą ją z innymi wadami liniowymi, a od prawidłowości rozpoznania i oceny podobnych wskazań na zdjęciu zależy akceptacja spoiny.

Na rysunku 5 – przyklejenie i pęcherze. Tego wskazania nie można interpretować jako brak przetopu, ponieważ wada znajduje się w środku spoiny, w tej spoinie jednostronnej widoczne jest przejście do jaśniejszego obszaru gęstości optycznej w środkowej części, co znaczy, że grani jest przetopiona. Właściwą taktyką identyfikacji przyklejenia jest analiza wypełnienia metalem połączenia – w spoinie jednostronnej jednosieczowej z ukosowaniem krawędzi w kształcie litery V wystąpienie przyklejenia na radiogramie w samym środku spoiny jest mało wiarygodne.

Przyklejenie można także pomylić z pasem żużla, jednak



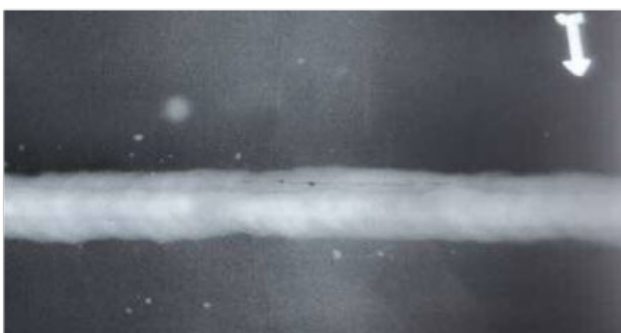
Rys. 3. Brak przetopu w spoinie obwodowej

Fig. 3. Lack of penetration in the pipe weld



Rys. 4. Brak przetopu

Fig. 4. Lack of penetration



Rys. 5. Przyklejenie

Fig. 5. Lack of fusion

podczas gdy pierwsza nieciągłość przy poziomie jakości B jest niedopuszczalna, druga dopuszcza się o długości mniejszej lub równej nominalnej grubości spoiny. Wskazanie przyklejenia jest bardziej równomierne i przebiega wzdłuż krawędzi. Podłużne wtrącenia żużla mają nieregularną szerokość, są częściej szersze i mniej kontrastowe.

W praktyce często spotyka się również opinię, że łańcuch pęcherzy uznaje się za przyklejenie, jednak łańcuch o długości mniejszej lub równej grubości spoiny – podobnie jak żużel – jest dopuszczalny. Przyklejenie, jak i łańcuch pęcherzy, może być przerywane, co stanowi dodatkową trudność przy interpretacji. W takim przypadku, zwracając uwagę na kształt pojedynczego wskazania, na podstawie zaokrąglenia łatwo zidentyfikujemy pęcherz. Można zgodzić się, że przy określonej długości wskazania, gdy spoinę uznaje się za wadliwą, nie ma większego sensu precyzyjne określanie typu wady, ale nie należy również zapominać, że jej

prawidłowe oznaczenie może dostarczyć ważnych informacji dla klienta w celu sprawdzenia zgodności z technologią spawania. A do tego można dodać że badacz powinien umieć odnaleźć każde wskazanie zawarte w normach.

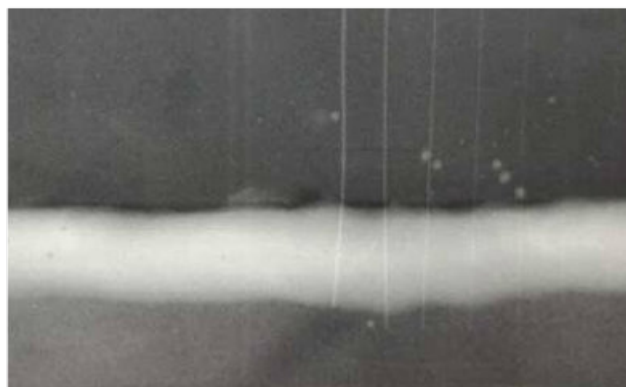
4. Nieciągłości powierzchniowe

Kolejna indykacja liniowa – podtopienie, 5011 i 5012 (Rys. 6). Jest to wada powierzchniowa, którą mogli zaakceptować podczas badań powierzchni. Wskazanie nie jest trudne do zidentyfikowania – podtopienie przebiega wzdłuż krawędzi spoiny. Należy jednak pamiętać, że może ono ukrywać inne wskazanie, na przykład przyklejenie brzegowe. Dlatego doświadczony defektoskopia zwróci również uwagę na kontrast i różnice w zaczernieniu. Nieco bardziej skomplikowana jest sytuacja w przypadku podtopienia w grani, 5013, ponieważ nie zawsze można sprawdzić spoinę od tej strony metodami powierzchniowymi, a wskazanie łatwo pomylić z przyklejeniem. Jeśli jednak wskazanie przebiega wzdłuż krawędzi wzmocnienia grani, jest to najprawdopodobniej podtopienie, które będzie również szersze niż ewentualne przyklejenie. Podobna wada – niezupełne wypełnienie rowka, 511. W porównaniu do podtopienia ocenia się ją bardziej ostro (Rys. 7). Podtopienie jest dopuszczalne, o ile przejście jest płynne.

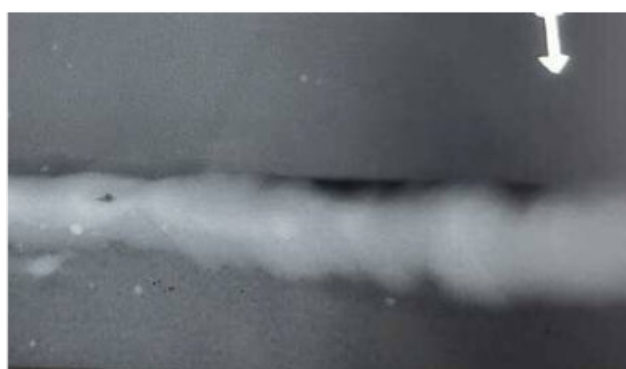
5. Nieciągłości powierzchniowe

Najbardziej jednoznaczną i łatwą do rozpoznania wadą wewnętrzną na zdjęciu rentgenowskim jest pęcherz, 2011 (Rys. 8). Przyczyną powstania jest gaz, który trafia do środka z powodu niskiej jakości materiałów lub nieprawidłowej techniki spawania. Zdarza się, że pęcherz można pomylić z wtrąceniem żużla lub innego metalu, ale z reguły jest on ciemniejszy i ma okrągły kształt. Żużel natomiast może być jaśniejszy i mieć nieregularny, wydłużony kształt. Różnicę między pęcherzem a żużlem widać wyraźnie, jeśli te wskazania występują na tym samym zdjęciu rentgenowskim w jednej spoinie. Wtrącenia metali można zidentyfikować, rozumiejąc specyfikę spawania. Wolfram, 3041, na przykład, trafia do spoiny z przyczyny kontaktu elektrody wolframowej z jeziorkiem spawalniczym. Na radiogramie są to punkty o znacznie wyższym kontraście niż pozostałe obszary spoiny (Rys. 8).

Również łatwo możemy odróżnić podłużny pęcherz, 2015, od kanalikowego, 2016 (Rys. 9). Te ostatnie mogą układać się w kształt choinki, co jest spowodowane użyciem wilgotnych elektrod. Najwięcej wilgoci wydziela się w momencie zajarzenia łuku [6]. Kanalikowe pęcherze mogą być bardzo cienkie, do 0,2 mm. W takim przypadku łatwo je pomylić z krótkim przyklejeniem (Rys. 10). Aby prawidłowo ocenić taki pęcherz, należy zwrócić uwagę na jego położenie względem innych wad. Jeśli wskazania są skierowane w różnych kierunkach wzdłuż szerokości spoiny – są to pęcherze. Jeśli wskazania powtarzają się w linii równoległej do krawędzi spoiny, najprawdopodobniej jest to przyklejenie. W przypadku niektórych rodzajów spawania automatycznego, w wyniku użycia surowego topnika lub nierównomiernej regulacji prądu spawania, mogą pojawić



Rys. 6. Podtopienie
Fig. 6. Undercut



Rys. 7. Niezupełne wypełnienie rowka
Fig. 7. Incompletely filled groove



Rys. 8. Pęcherz oraz wtrącenie wolframu
Fig. 8. Gas pore and tungsten inclusion



Rys. 9. Pęcherze kanalikowe
Fig. 9. Wormholes



Rys. 10. Wąskie pęcherze podłużne
Fig. 10. Narrow elongated cavities

się pory prostopadłe do powierzchni spoiny. Ich projekcja na zdjęciu rentgenowskim wygląda podobnie do zwykłych pęcherzy, z tą różnicą, że są one głębsze. Zgodnie z normą PN-EN ISO 6520-1 pęcherze prostopadłe pojawiają się w spoinie w trakcie krzepnięcia. Zgodnie z normą PN-EN ISO 10675-1 oceniamy to jako 202 – wada niedopuszczalna dla poziomu jakości B.

6. Podsumowanie

Pomocny może się okazać poniższy uproszczony algorytm oceny zdjęcia rentgenowskiego i określenia rodzaju wskazania, który można zmodyfikować lub uzupełnić zgodnie ze specyfiką działania laboratorium, na przykład poziomami akceptacji (Rys. 11).

Podsumowując, jeśli chodzi o technikę oceny – należy opracować systematyczną procedurę identyfikacji wskazań z listą przykładowych zdjęć, a następnie oceny jakości produktu zgodnie z obowiązującymi normami. W ciągu okresowo powtarzalnych czynności laboratorium będzie to szeregiem reguł, kolejnością, wykluczającą zastanawianie się nad prawidłowością oceny. Nie wyklucza to jednak błędów w interpretacji spowodowanych pośpiechem, stanem psychicznym kontrolera oraz obecnością

zewnętrznych czynników rozpraszających i utrudniających pracę. Wszystkie te czynniki można próbować zminimalizować. Dla większych laboratoriów przydatny jest kierownik zmiany, który nadzoruje proces i udziela odpowiedzi. Również rentgenolog powinien pamiętać o samodzielnej kontroli. W celu oceny wątpliwego wskazania warto porównać je z obrazami referencyjnymi w podręcznikach lub – jeśli są dostępne – z materiałami zawartymi w procedurze laboratorium. Pamiętajmy o metodzie double check – można zaangażować drugiego specjalistę do niezależnej oceny, doświadczenie nie zawsze ma decydujące znaczenie, a rozmowa o wątpliwym miejscu na zdjęciu może wywołać dobrą decyzję. Tutaj chciałabym podkreślić, że dobre relacje międzyludzkie i przyjemna atmosfera w pracy mogą przynieść sukces dla całej firmy.

Jeśli jest to uzasadnione, zastosować także można ponowne prześwietlenie lub badanie spoiny innymi metodami kontroli. Nie raz to było pomocne przy identyfikacji małych pęknięć, podczas gdy nie było zrozumiałe, czy nie jest to pozorna indykacja spowodowana ziarnistością filmu.

7. Literatura

- [1] EN ISO/IEC 17025:2018-02 – Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- [2] PN-EN ISO 10675-1:2022-05 – Badania nieniszczące spoin -- Kryteria akceptacji badań radiograficznych -- Część 1: Stal, nikiel, tytan i ich stopy.
- [3] PN-EN ISO 6520-1:2009 – Spawanie i procesy pokrewne -- Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach -- Część 1: Spawanie.
- [4] Справочник. Неразрушающий контроль. / под ред. В. Ключева. Том 1 – Москва Машиностроение, 2003. – 560 с.
- [5] J. Czuchryj, S. Sikora „Niezgody spawalnicze w złączach spawanych z metali i termoplastycznych tworzyw sztucznych. Monografia. Instytut spawalnictwa, Gliwice, 2016.
- [6] Неразрушающие испытания. Справочник / под ред. Р. Мак-Мастера. – Москва/Ленинград: Энергия, 1965. – 504.



Rys. 11. Niezupełne wypełnienie rowka
Fig. 11. Incompletely filled groove



HYPERION

TITAN WŚRÓD LAMP

Nowa lampa UV-A do profesjonalnych badań nieniszczących



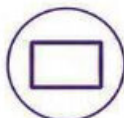
Hyperion to najnowszy produkt w portfolio Labino, opracowany na podstawie wiedzy i doświadczeń naszej globalnej sieci dystrybutorów. Odpowiada na rosnące zapotrzebowanie na oświetlenie dużych powierzchni kontrolnych. Łączy sprawdzoną niezawodność i trwałość lamp Labino z najnowszymi rozwiązaniami technologicznymi. Wyposażony w filtry blokujące światło białe, co zapewnia zgodność z normami badań NDT.

NAJWAŻNIEJSZE CECHY



**Największy
obszar oświetlenia
na rynku**

1,1 m × 1,1 m
>1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
w odległości 1 m



**Prawie prostokątny
profil wiązki**

Równomierny rozkład
natężenia promieniowania
dla powtarzalnych wyników
na całej powierzchni



**Zgodność
z normami NDT**
ASTM E3022-2026



**4 lata
gwarancji**

NDT System

Twój partner w badaniach nieniszczących.

www.ndt-system.com.pl

INSPEKCJA | ZAUFANIE | JAKOŚĆ

Dariusz Mężyk¹*

¹ Instytut Energetyki PIB

Główne rurociągi pary – wnioski po wieloletniej eksploatacji

Main steam pipelines – lessons learned from many years of operation

STRESZCZENIE

Podczas długotrwałej eksploatacji bloków energetycznych materiały konstrukcyjne stosowane w przemyśle energetycznym pracują w warunkach zmiennych pól naprężeń i zmiennych temperatur. Materiały te są narażone na oddziaływanie środowiska gazów i cieczy oraz na działanie obciążeń mechanicznych. Czynniki te powodują w okresie eksploatacji ciągłe zmiany mikrostruktury materiałów i w rezultacie pogorszenie ich własności mechanicznych. Efektem wzrostu wartości i koncentracji naprężeń jest pękanie złączy spawanych i awarie elementów kształtowych instalacji cieplnych i ciśnieniowych obiektów energetycznych.

1. Główne czynniki awaryjności układów rurociągowych

Szczególną opieką diagnostyczną należy objąć rurociągi wysokoprężne z uwagi na ich wyjątkowy charakter. Wysoka temperatura – w zakresie temperatur rzędu 540°C, wartości ciśnienia dochodzące do 20 MPa powodują, że elementy z jakich zbudowana jest instalacja nie zawsze są w stanie przenieść obciążenia i rurociągi mogą ulec zniszczeniu.

Bardzo istotnym problemem występującym podczas eksploatacji urządzeń energetycznych jest wzajemne oddziaływanie układu rurociąg turbina. Mechanizm wzajemnego oddziaływania w/w elementów nie został jednoznacznie określony. Z uwagi na wagę problemu, z którym boryka się większość krajowych elektrowni i elektrociepłowni prowadzone są wielokierunkowe badania zmierzające do określenia wzajemnego oddziaływania wymienionych elementów bloków energetycznych.[1]

Na wytrzymałość materiału elementów ciśnieniowych poza naprężeniami od ciśnienia wewnętrznego i naprężeniami temperaturowymi wpływ mają obciążenia mechaniczne pochodzące od ciężaru rurociągu i zamontowanej na nim armatury oraz pochodzące od ograniczenia swobody dylatacji cieplnej i jakości pracy systemu zamocowań. Ze względu na warunki pracy i związane z nimi obciążenia najistotniejsze znaczenie mają rurociągi pary świeżej, a głównie ich elementy kształtowe (kolana, trójniki, czwórniki, mieszacze pary, zasuwy główne).

Rurociągi pary wtórnie przegrzanej pracują w wysokiej temperaturze, lecz przy znacznie niższych ciśnieniach.

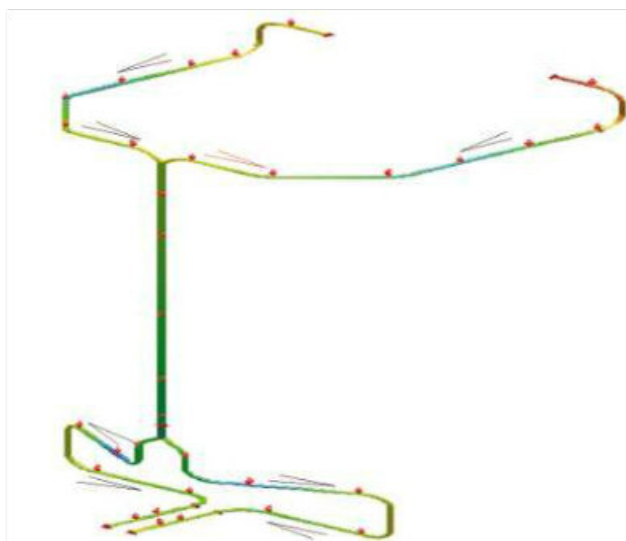
ABSTRACT

During the long-term operation of power units, structural materials used in the power generation industry operate under conditions of varying stress fields and varying temperatures. These materials are exposed to gas and liquid environments and mechanical loads. These factors cause deterioration of their mechanical properties. One method of recognizing the current state of a material is diagnostic testing, both non-destructive and destructive. The paper presents a link in the diagnostic system between the importance of mechanical and thermal loads and changes in the structure of the material, as well as the effect of the service life of high-pressure piping systems on their state of fatigue. The relevance of the knowledge of the initial states of the material in the diagnostic process is demonstrated, especially on predicting the service life and conducting safe, trouble-free operation of power facilities.

Na rurociągach pary wtórnie przegrzanej znajdują się zawory bezpieczeństwa. Ta część rurociągów pracuje w cyklu okresowym, przez co dochodzi do gwałtownych schłodzeń i wzrostów temperatur wpływając na niszczenie niskocyklowe. Z tego powodu tę część rurociągu należy objąć szczególną troską.

2. Diagnostyka stanu technicznego

Zakres badań rurociągów pary do wtórnego przegrzewu obejmuje rurociągi o pracy okresowej, elementy kształtowe, odwodnienia. Pozostałe rurociągi należy objąć diagnostyką



Rys. 1. Spadki na rurociągu.

*Autor korespondencyjny.

E-mail: dariusz.mezyk@ien.com.pl

Tab. 1. Wyniki badań własności mechanicznych kolana po długotrwałej eksploatacji (13HMF).

Oznaczenie badanej próbki	Własności mechaniczne stali 13HMF					
	Kierunek poboru próbek	Re _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]	KCU ₂ [J/cm ²]	HB
					Wyniki (KV) [J]	
wg PN-74/H-47252	poprzeczny	min 355	490-690	min 18	min 60 48 J	135-180
prostka	poprzeczny	321	531	26,0	27,5 20 20 22 16 16	155 155 153
„rozciągana”	poprzeczny	313	524	26,4	17,5 20 17,5 14 16 14	157 155 157

materiałową zgodnie z obowiązującą instrukcją, a wszędzie tam gdzie wystąpią zauważalne zmiany materiału lub kształtu, zwiększyć częstotliwość badań [2].

Istotne znaczenie dla monitoringu położenia przestrzennych rurociągów wysokoprężnych mają pomiary geodezyjne prowadzone w stanach zimnych rurociągów, jak i w stanach pełnego obciążenia cieplnego. Wyniki tych pomiarów są podstawą do określenia rozkładu naprężeń temperaturowych wzdłuż trasy rurociągu ze szczególnym uwzględnieniem elementów kształtowych.

Ważnymi elementami węzła technologicznego pod nazwą „główne rurociągi parowe” jest zabudowana na nich armatura. Znajduje się ona głównie pod turbiną, ale zabudowana jest na rurociągach i łącznie z nimi powinna być rozpatrywana.

Armaturę tę stanowią zawory szybkozamykające, główne zasuw parowe i zasuw obejściowe głównych zasuw parowych. Zawory szybkozamykające są istotnym elementem układu gdyż one w sytuacjach awaryjnych odcinają dopływ pary do turbiny. Prawie wszystkie układy automatyki zabezpieczeniowej bloku, zarówno cieplnej, technologicznej jak i elektrycznej w konsekwencji

oddziałują na natychmiastowe zamknięcie zaworów szybkozamykających i odcięcie pary do turbiny. Zawory te sterowane są hydraulicznie i są ściśle powiązane z układem oleju regulacyjnego turbiny. W związku z tym, że ich pełna sprawność techniczna ma zasadnicze znaczenie dla bezpieczeństwa eksploatacji bloku energetycznego winny one być również objęte systemem diagnostycznym.

Bezpieczeństwo eksploatacji obiektu wiąże się z trwałością, którą można włączyć w zakres ogólnie pojętego wytrzymałości materiału.

Pojęcie trwałości wymaga określenia:

- czasu granicznego do zniszczenia
- granicznej liczby cykli do zniszczenia
- liczby operacji technologicznych
- innych wielkości mierzalnych

Wśród czynników wpływających na trwałość elementów urządzeń ciśnieniowych znajdują się:

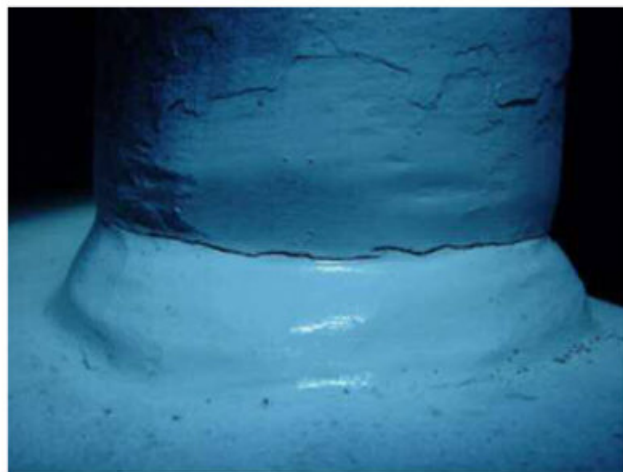
- czynniki związane z wykonaniem elementu
- czynniki związane z montażem
- czynniki związane z eksploatacją

-czynniki związane z eksploatacją, diagnostyką, naprawami i modernizacją.[3]

Aby zapobiec sytuacjom awaryjnym należy kontrolować pracę systemu zamocowań, sprawdzać geodezyjnie położenie rurociągów w stanach zimnych i gorących oraz prowadzić badania diagnostyczne pozwalające określić stan naprężeń, stopień degradacji struktury materiału, a także przeprowadzić obliczenia oparte o rzeczywiste dane uwzględniające przemieszczenia dylatacyjne i położenie rurociągu w stanie zimnym i gorącym. Ze względu na zmienność stanu wytrzymałości materiału obliczenia stopnia wyczerpania trwałości eksploatacyjnej możliwe są w sposób przybliżony. Przeliczenia elastyczności rurociągu prowadzone w oparciu o dane zgromadzone podczas badań rurociągów wraz z armaturą potrafią przybliżyć odpowiedź dotyczącą prawidłowości prowadzonej eksploatacji oraz rozpatrywać symulowane stany przeciążeń i ograniczeń w pracy rurociągów.

3. Uwarunkowania materiałowe eksploatacji rurociągów wysokoprężnych na przykładzie materiału 13HMF (14MoV63)

W eksploatowanych krajowych obiektach energetycznych od wielu lat w instalacjach rurociągów pary pierwotnej stosowano materiał 13HMF (14MoV63) zastępowany



Rys. 2. Widok pęknięcia na trójniku.

obecnie innymi materiałami jak np. P91, P92.

Własności mechaniczne elementów rurociągowych wykonanych ze stali 13HMF określane w temperaturze pokojowej, ze wszystkich stosowanych stali niskostopowych do pracy w podwyższonych temperaturach, charakteryzują się już nawet po eksploatacji w warunkach pełzania powyżej 100 000 godzin niskimi wartościami. Wyniki badań granicy plastyczności czy energii łamania są znacznie niższe niż wymagania minimalne dla stanu wyjściowego tej stali.

Pogorszenie tych własności spowodowane jest zmianami struktury stali do których zalicza się:

- rozpad obszarów bainit/perlit,
- rozwój procesów wydzieleniowych węglików (przemianami węglików, zmianą morfologii – kształtu, wielkości i rozmieszczeniu faz wtórnych, zubożenie osnowy w dodatki stopowe)

W stali 13HMF po długotrwałej eksploatacji obserwuje się powstawanie nowych węglików wewnątrz jak i na granicach ziarn oraz rozrost już istniejących. Przy założeniu stosunkowo stabilnego poziomu temperatury pracy, wzrost naprężeń może przyczynić się do znacznego wzrostu wydzieleń, rozpadu obszarów perlit/bainit, co w konsekwencji prowadzi do nadmiernej utraty trwałości.

Długotrwała eksploatacja elementów rurociągowych pracujących w warunkach pełzania powoduje degradację materiału poprzez zmiany strukturalne, które w konsekwencji prowadzą do obniżenia odporności na pełzanie oraz do przesunięcia temperatury przejścia w stan kruchy w kierunku wyższej temperatury.

Nie powoduje to jednak jednoznacznej konieczności dokonania wymiany takich elementów na nowe. W większości przypadków elementy te mogą pracować znacznie poza obliczeniowy czas pracy co związane jest z istnieniem trwałości resztkowej.

Wymagane własności mechaniczne stali 13HMF oraz część uzyskanych wyników badań kolana w temperaturze otoczenia przedstawiono w tabeli 1.

Przeprowadzone badanie składu chemicznego próbek potwierdziło zgodność z wymaganiami normy PN-75/H-84024.

Analizując otrzymane wyniki stwierdzić należy, że:

- własności uzyskane podczas statycznej próby rozciągania we wszystkich badanych miejscach potwierdzają zgodność R_m i A_5 z wymaganiami normy PN-74/H-74252,
- umowna granica plastyczności $R_{0,2}$ we wszystkich badanych miejscach jest nieznacznie niższa od wymagań normy PN-74/H-74252,
- energia łamania w temperaturze otoczenia próbek Charpy V pobranych ze wszystkich badanych miejsc kolana jest niska co jest charakterystyczne dla stali 13HMF po długotrwałej eksploatacji i świadczy znacznym postępie w zmianach struktury.

Ponadto badania wykazały, że umowna granica plastyczności $R_{0,2}$ w temperaturze 5000 °C (zawierająca się w granicach 230-242 N/mm²) we wszystkich badanych miejscach jest zgodna z wymaganiami normy PN-74/H-74252 (wartość normatywna 226 N/mm²).

Wstępne badanie progu kruchości prowadzone

w temperaturze około 80 °C na próbkach pobranych z prostki wskazują, że dla tej stali w tym stanie struktury próg kruchości znajduje się w pobliżu 1000 °C. Wyniki badań energii łamania J (próbka KV) mieszczą się w zakresie 25-31 J. Przeprowadzone zostały obserwacje zglądów, wszystkie zglądy posiadały strukturę bez widocznych trwałych uszkodzeń pełzaniowych.

Analiza uzyskanych wyników badań strukturalnych, a także własności mechanicznych prowadzonych w temperaturze otoczenia potwierdza, niekorzystne skłonności stali 13HMF poddanej długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania do niskich energii łamania i niższej granicy plastyczności.

Na podstawie analizy wyników, można stwierdzić, że rozpatrywane kolano mogłoby pracować w instalacji rurociągowej około 30 000 h do następnych badań diagnostycznych. W innych przypadkach długoletnia praca materiału w warunkach eksploatacji w temperaturach rzędu 5400 °C skutkuje szybciej postępującą degradacją materiału rodzimego oraz występowaniem pęknięć złączy spawanych z reguły w strefie wpływu ciepła.

W zależności od stopnia degradacji materiału stosowane są różne technologie napraw, rozszlifowanie, napawanie z obróbką cieplną lub wymiana spoiny. Często przyczyną uszkodzeń jest poziom naprężeń rzeczywistych w stosunku do wynikających z rzeczywistych wymiarów geometrycznych, głównie grubości ścianki oraz występowania złożonego stanu naprężeń w wyniku oddziaływania momentów gnących i skręcających.

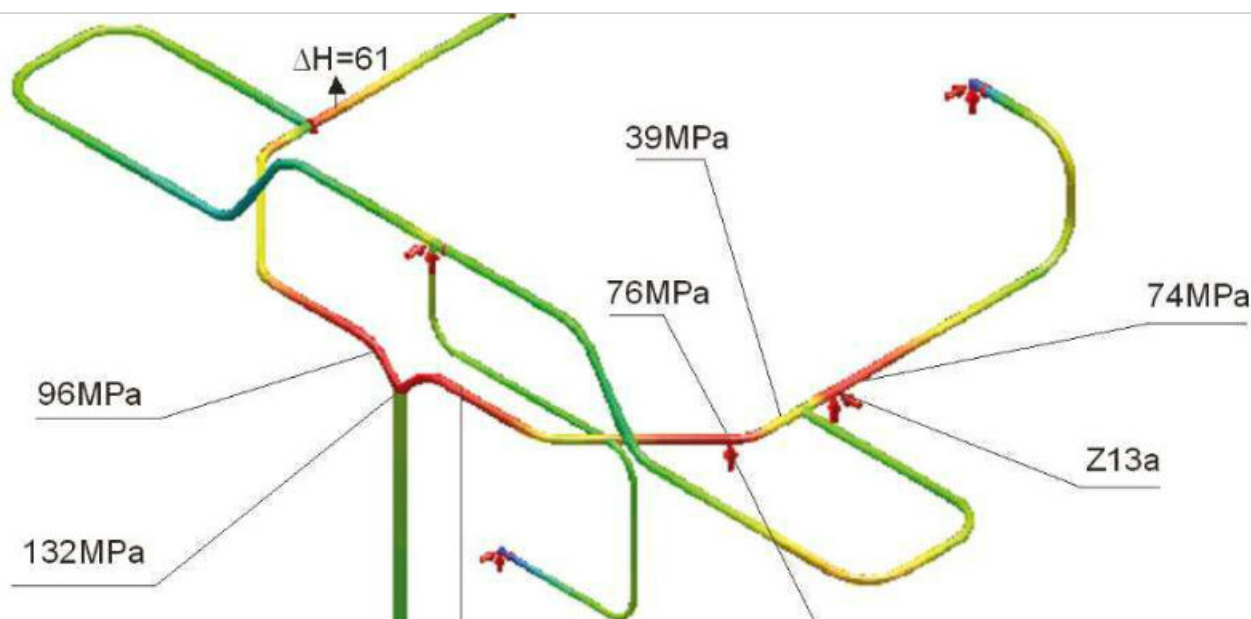
4. Dyskusja awarii rurociągu

W trakcie długoletniej eksploatacji rurociągów pomimo prowadzonych procesów diagnostycznych mających na celu zapewnienie bezawaryjnej pracy instalacji rurociągowych spotyka się co jakiś czas sytuacje awaryjne wynikające z przyczyn konstrukcyjnych, eksploatacyjnych i materiałowych

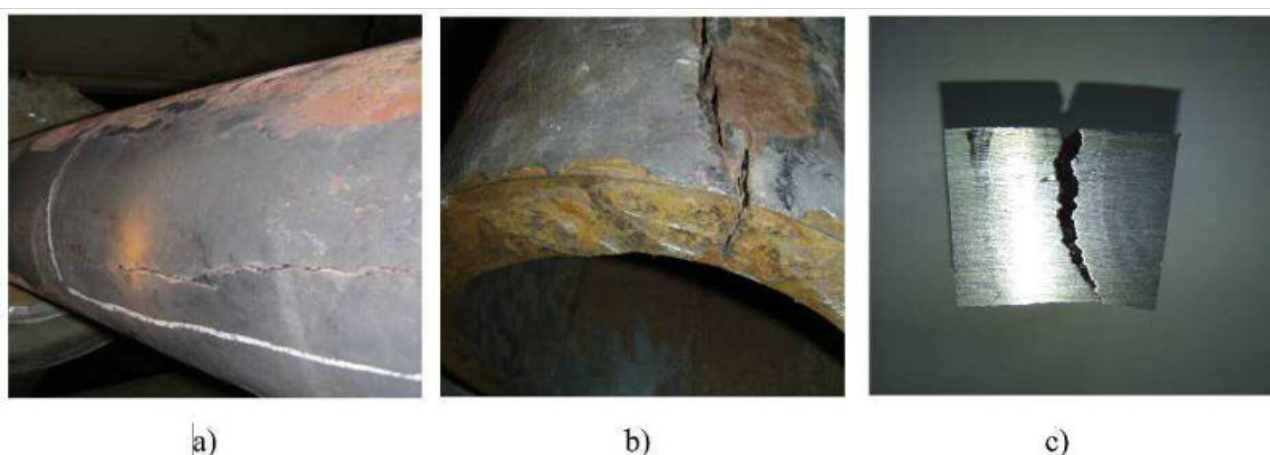
Poniżej przedstawiony przykład ilustruje zaobserwowaną awarię rurociągu wysokoprężnego – pęknięcie kolana w trakcie eksploatacji (ponad 150.000 h) obiektu energetycznego. Przedstawiony przypadek awarii kolana (pęknięcie wzdłużne w wyniku procesów pełzaniowych) jest pierwszym w skali polskich obiektów energetycznych. Pęknięcia wzdłużne jednego z głównych rurociągowych elementów kształtowych pary świeżej stanowi bardzo poważną awarię mogącą pociągnąć za sobą katastrofalne skutki.

Rozkład naprężeń obliczony na podstawie pomiarów dyatacji cieplnej przy założeniu nieprawidłowej pracy zamocowania Z13a i Z12a ujawnia wzrost naprężeń na trójkąniku widlastym (duże przekroczenie naprężeń dopuszczalnych) oraz wzrost naprężeń na kolanie w rejonie zamocowania Z12a i trójkąnika przy zamocowaniu Z13a.

Obliczenia prowadzone przy założeniu obciążeń projektowych oraz poprawności działania zamocowań, nie wykazały przekroczeń naprężeń zredukowanych w kolanie które uległo zniszczeniu. Wytyżenie w tym kolanie (stosunek naprężeń od temperatury do naprężeń dopuszczalnych) nie przekraczało wskaźnika 0,5.



Rys. 3. Rozkład naprężeń przy nieprawidłowej pracy zamocowań (Z12a i Z13a).



Rys. 4. a) pęknięcie zlokalizowane na rurociągu, b) fragment materiału pobranego do badań, c) fragment materiału z pęknięciem

Wynik obliczeń w świetle faktu pęknięcia kolana, przy braku wad produkcyjnych jak i niedopuszczalnych zmian pełzaniowych, wyraźnie wskazuje na dodatkowe inne przyczyny. Stwierdzone szybkie zmiany pełzaniowe w badanym kolanie musiały być spowodowane nieprzewidywalnym lokalnym wzrostem obciążeń.

W rejonie pękniętego kolana stwierdzono niesprawność w pracy układu zamocowań powodującą wzrost naprężeń w materiale rurociągu podczas eksploatacji w zmiennych warunkach cieplnych przez ograniczenie możliwości dylatacyjnych rurociągu. Badania składu chemicznego próbek potwierdziło zgodność ze składem materiału 13HMF.

Wartości wyjściowe stali 13HMF zawiera Tabela 1. Wyniki uzyskane podczas statycznej próby rozciągania w części giętej kolana, po długim czasie eksploatacji są praktycznie zgodne z wymaganiami normy PN-74/H-74252. Wymienione wyżej własności w prostych częściach kolana są znacznie gorsze od wymagań normy PN-74/H-74252. Energia łamania w temperaturze otoczenia próbek Charpy V pobranych

z odcinków kolana jest bardzo niska, świadczy o poważnych, niekorzystnych zmianach struktury (umowny próg kruchości –27J). Badania ultradźwiękowe w całej objętości dostarczonych odcinków kolana z wyłączeniem widocznych pęknięć nie wykryły wzdłużnych ani poprzecznych nieciągłości. Podobnie badania magnetyczno-proszkowe na powierzchni zewnętrznej, a także powierzchni wewnętrznej nie ujawniły nieciągłości powierzchniowych i podpowierzchniowych. Wyjątkiem są okolice pęknięcia głównego w których wykryto wiele makro pęknięć o niewielkiej głębokości. Obserwacje przeprowadzone na zglądach ujawniły strukturę ferrytu z obszarami bainitu. Obszary bainityczne po części skoagulowane. Wewnątrz ziaren ferrytu liczne, w większości drobne, równomiernie rozmieszczone wydzielania. Po granicach ziaren liczne znacznej wielkości wydzielania, tworzące łańcuszki. Blisko pęknięcia widoczne liczne nieciągłości mające postaci mikroszczelin [3].

Tab. 2. Wyniki badań współczynników wytrzymałościowych kolana.

Oznaczenie badanej próbki	Własności mechaniczne stali 13HMF po eksploatacji							
	Kierunek poboru próbek	Re _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]	Wyniki (KV) [J]			HB
prostka od strony pęknięcia	poprzeczny	370	470	16	8	8	11	162
„rozciągana”	poprzeczny	319	515	23	34	30	24	163

Wnioski wynikające z zaistniałej awarii są wymienione poniżej. Stwierdzone szybkie zmiany pękania w badanym kolanie musiały być spowodowane nieprzewidywalnym lokalnym wzrostem obciążeń. Wzrost naprężeń, a w szczególności momentów skręcających, obciążając uszkodzony element wraz z wyraźnym obniżeniem wskaźników wytrzymałościowych przyczynił się do pęknięcia materiału rurociągu. Opisany przypadek wskazuje również na niebagatelną rolę układu zamocowań dla bezpieczeństwa eksploatacji energetycznych instalacji rurociągowych.

Należy zaznaczyć, że wady materiałów w postaci nieciągłości bądź nieodpowiednich własności powstają zarówno w czasie eksploatacji, jak i podczas procesów produkcyjnych. Wady powstające w trakcie eksploatacji to przede wszystkim pęknięcia, uszkodzenia korozyjne i degradacja struktury wskutek procesów zmęzeniowych lub pękania, szczególnie w przypadku materiałów pracujących w podwyższonych temperaturach. Problem rozwoju uszkodzeń wywołanych procesami pękania i zmęzeniowymi mającymi bezpośredni wpływ na żywotność materiału, badany jest obecnie niezależnymi metodami [6-9] nieniszczącymi i niszczącymi. Zastosowanie w procesie diagnostycznym odpowiednich metod badawczych stwarza możliwość formułowania trafnych prognoz czasu bezpiecznej eksploatacji ocenianego obiektu lub elementu.

5. Podsumowanie

Rzeczywiste nowoczesne metody badawcze i narzędzia modelowania numerycznego pozwalają monitorować postęp degradacji, a w konsekwencji umożliwiają przewidywać okres żywotności elementu oraz instalacji ciśnieniowych. Wśród metod tych szczególnie użyteczne wydają się metody badań nieniszczących prowadzonych bezpośrednio na obiekcie. Dodatkowo stosuje się procedury oceny z wykorzystaniem maszyn wytrzymałościowych z próbkami wyciętymi z badanych elementów (badania niszczące). Obliczenia MES pozwalają zbudować ogólny model zużycia rozpatrywanych obiektów pracujących powyżej temperatury granicznej z uwzględnieniem czasowego zużycia od pękania oraz zużycia termozmęzeniowego.

Obecnie do oceny wytrzymałości i niezawodności elementów konstrukcyjnych zawierających pęknięcia wdraża się również narzędzia mechaniki pękania z procedury SINTAP i FITNET [4] oraz metody akumulacji zniszczenia zmęzeniowego.

Prowadzenie badań ma na celu kompleksową ocenę materiału z zastosowaniem nowoczesnych technik badawczych, prowadzącą do wczesnego wykrycia ewentualnych zmian mikrostruktury i własności wytrzymałościowych materiału badanych elementów kryterialnych, a w konsekwencji do oceny stopnia zużycia oraz prognozowania żywotności instalacji energetycznych. Pogorszenie własności wytrzymałościowych materiału nie powoduje jednoznacznej konieczności dokonania wymiany eksploatowanych elementów na nowe. W większości przypadków elementy te mogą pracować znacznie poza obliczeniowy czas pracy co związane jest z istnieniem trwałości resztkowej.

Na bezpieczeństwo i niezawodność eksploatacji obiektów energetycznych najistotniejszy wpływ ma stan wytężenia węzłów kryterialnych, co nierozdzielnie łączy się z prawidłowo prowadzoną polityką diagnostyczną.

Generalnie o stanie rurociągów decyduje stan poszczególnych elementów poddanych największym obciążeniom eksploatacyjnym, tzw. elementów kryterialnych. Dla układu rurociągów wysokoprężnych są to elementy kształtowe takie jak kolana, trójniki i czwórniki. Dużym obciążeniom podlegają również obszary zmian średnic i grubości ścianek, co ma miejsce na styku rurociąg – trójnik. Są to obszary koncentracji naprężeń mogących powodować pękanie złączy spawanych. W przypadku dalszej długookresowej eksploatacji rurociągów z zachowaniem dotychczasowych parametrów pracy należy uwzględnić wymianę najbardziej wyeksploatowanych elementów kształtowych.

W praktyce istnieje jeszcze wiele innych zagrożeń, co należy przeanalizować w ścisłych grupach zawodowych. Dla każdej siłowni stopień zagrożenia jest inny, inny dla elektrowni opalanych węglem kamiennym, brunatnym czy paliwem ciekłym lub gazowym.

6. Literatura

- [1] D. Mężyk: Wpływ przebiegu eksploatacji urządzeń ciśnieniowych w energetyce zawodowej na ich bezpieczeństwo i niezawodność pracy, Zagadnienia projektowo-diagnostyczne. Seminarium rozwoju niszczenia materiałów i laserowego modelowania materiałów, Zakopane 2003.
- [2] D. Mężyk: Eksploatacja i diagnostyka rurociągów energetycznych, IX Forum Energetyków 2004
- [3] Sprawozdanie z badań IEn 6/12.
- [4] A. Neimitz: Ocena wytrzymałości elementów konstrukcyjnych zawierających pęknięcia, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [5] Polskie normy: PN-75/H-84024, PN-74/H-74252.
- [6] Z.L. Kowalewski: Degradacja materiałów konstrukcyjnych stymulowana procesem pełzania, Mat. Konf. Seminarium Szkoleniowego „Rozwój niszczenia materiałów i laserowe modyfikowanie materiałów” 2003.
- [7] J. Szelażek: Postępy w ultradźwiękowych badaniach naprężeń, Prace IPPT nr 4/2001
- [8] T. Płociński, W. Manaj, M. Spychalski, K.J. Kurzydłowski: Nieniszczące badania metalograficzne – porównanie technik, Seminarium – Nieniszczące Badania M. 2003.
- [9] Z. L. Kowalewski, S. Mackiewicz, J. Szelażek, J. Deputat: Ocena uszkodzenia stali w wyniku pełzania na podstawie badań materiałów, Mat. Konf. XXI Sympozjum Mechaniki Eksperymentalnej Ciała Stałego. 2004.



drganie • akustyka • termowizja • szybkie kamery





badania nieniszczące



WARSZTATY: TERMOGRAFIA W ZASTOSOWANIACH PRZEMYSŁOWYCH
PRELEGENT: DARIUSZ KNAPEK [CERTYFIKOWANY TERMOGRAFISTA ITC POZIOM 3]
DATA: 21 PAŹDZIERNIKA 2026 | GODZ. 15:30

Zapraszamy do udziału w warsztatach EC TEST Systems „Termografia w zastosowaniach przemysłowych”, organizowanych w ramach 53. Krajowej Konferencji Badania Nieniszczących (53. KKBN).

Warsztaty będą poświęcone wykorzystaniu obrazowania termicznego w diagnostyce, badaniach materiałów i konstrukcji oraz przemysłowych badaniach nieniszczących. Szczególną uwagę poświęcimy **termografii aktywnej (Active Thermography)** – metodzie NDT wykorzystującej kontrolowane wzbudzenie badanego obiektu i analizę jego odpowiedzi cieplnej. Metoda pozwala badać strukturę i połączenia oraz identyfikować nieciągłości niewidoczne podczas standardowej obserwacji termowizyjnej.

Uczestnicy poznają zarówno możliwości, jak i ograniczenia tej techniki, przykłady jej wykorzystania w przemyśle i nauce oraz sposób rejestracji i analizy danych termograficznych. Częścią warsztatów będzie również pokaz praktyczny.

Agenda warsztatów:

- Wprowadzenie do termografii w badaniach przemysłowych – podstawy obrazowania termicznego i obszary zastosowań
- Termografia aktywna jako metoda badań nieniszczących (NDT) – zasada działania, możliwości i ograniczenia metody
- Mobilna termografia aktywna – rozwiązanie umożliwiające prowadzenie badań poza laboratorium
- Badanie struktur i połączeń – możliwości wykrywania wad i nieciągłości na podstawie odpowiedzi termicznej badanego obiektu
- Przykłady zastosowań w przemyśle i nauce – wybrane przypadki wykorzystania termografii aktywnej
- Pokaz praktyczny – rejestracja danych termograficznych, analiza wyników i ich interpretacja

LUCCHINI PL

NDT
CENTRUM SZKOLENIOWE

**SZKOLENIA PERSONELU
BADAŃ NIENISZCZĄCYCH
W SEKTORZE PRZEMYSŁOWYM
UTRZYMANIE RUCHU KOLEI**

Centrum Szkoleniowe NDT Lucchini PL, oferuje szkolenia w następujących metodach:

- Badania wizualne (VT)
- Badania penetracyjne (PT)
- Badania magnetyczno-proszkowe (MT)
- Badania ultradźwiękowe (UT)

Dodatkowo oferujemy:

- Warsztaty doskonalące
- Szkolenia przygotowujące do recertyfikacji
- Odbycie praktyki przemysłowej

Zapraszamy do kontaktu:

Karol Fedorczyk

tel: 533 303 320

e-mail: ndt@lucchini.pl

<https://lucchini.pl/pl/szkoleniandt/>



Maciej Matuszewski^{1*}¹Politechnika Bydgoska, Wydział Zarządzania

Zarządzanie jakością i trwałością lin stalowych z wykorzystaniem metod probabilistycznych

Quality and Durability Management of Steel Ropes Using Probabilistic Methods

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania metod probabilistycznych w ocenie stanu technicznego, jakości eksploatacyjnej oraz trwałości lin stalowych. Analizę przeprowadzono na podstawie wyników magnetycznych badań diagnostycznych, których rezultaty ze względu na losowy charakter procesów zużycia i oddziaływania czynników eksploatacyjnych potraktowano jako realizacje zmiennej losowej. Przeprowadzono analizę statystyczną 326 wartości amplitud sygnałów zarejestrowanych dla wybranych odcinków pomiarowych liny. Rozpatrzono możliwość zastosowania rozkładów gamma i Weibulla, a następnie za pomocą testów zgodności oceniono stopień dopasowania modelu teoretycznego do danych empirycznych. Na podstawie przeprowadzonej analizy przyjęto rozkład gamma jako model najlepiej opisujący badaną populację. Wyznaczono jego parametry metodą największej wiarygodności oraz określono prawdopodobieństwo nieprzekroczenia wybranych wartości progowych symptomu diagnostycznego. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania modeli probabilistycznych w monitorowaniu zmian stanu lin stalowych oraz wspomaganiu decyzji dotyczących ich dalszej eksploatacji. Włączenie wyników diagnostyki do procesu zarządzania jakością pozwala traktować ocenę stanu technicznego jako element systemowego podejścia do ograniczania ryzyka, planowania działań obsługowych i racjonalnego wykorzystania potencjału eksploatacyjnego lin.

Słowa kluczowe: lina stalowa, trwałość, zarządzanie jakością, diagnostyka, metody probabilistyczne.

ABSTRACT

The article presents the potential application of probabilistic methods to the assessment of the technical condition, in-service quality, and durability of steel ropes. The analysis was based on the results of magnetic diagnostic tests. Given the random nature of wear processes and the effects of operating conditions, the test results were treated as realizations of a random variable. A statistical analysis was performed on 326 signal amplitude values recorded for selected measurement sections of the rope. The applicability of gamma and Weibull distributions was examined, and goodness-of-fit tests were used to assess how well the theoretical model fitted the empirical data. Based on the analysis, the gamma distribution was selected as the model that best described the population under investigation. Its parameters were estimated using the maximum likelihood method, and the probabilities of not exceeding selected threshold values of the diagnostic indicator were determined. The results indicate that probabilistic models can be used to monitor changes in the condition of steel ropes and support decisions regarding their continued operation. Incorporating diagnostic results into the quality management process makes it possible to treat technical condition assessment as an integral part of a systematic approach to risk reduction, maintenance planning, and the rational utilization of the ropes' service potential.

Keywords: steel rope, durability, quality management, diagnostics, probabilistic methods.

1. Wstęp

Liny stalowe są elementami konstrukcyjnymi stosowanymi w wielu urządzeniach i mechanizmach, w których ich stan techniczny ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo oraz możliwość prawidłowego wykonywania funkcji użytkowych. W zależności od przeznaczenia lina może być poddawana działaniu zmiennych obciążeń mechanicznych, zginaniu, skręcaniu, oddziaływaniom środowiskowym, procesom korozji oraz innym czynnikom powodującym stopniowe pogarszanie jej właściwości [1, 2].

Proces zużycia liny ma charakter złożony. Ostateczny stan techniczny jest wynikiem współdziałania wielu czynników, których wartości i wzajemne relacje mogą zmieniać się podczas eksploatacji. Z tego względu ocena trwałości liny nie powinna ograniczać się wyłącznie do

jednorazowego stwierdzenia jej aktualnego stanu. Istotne jest również określenie prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnych zmian oraz identyfikacja momentu, w którym dalsza eksploatacja może wiązać się z nadmiernym ryzykiem [6, 8, 9].

W tym ujęciu szczególnego znaczenia nabiera diagnostyka eksploatacyjna. Wyniki badań diagnostycznych dostarczają informacji o rzeczywistym stanie obiektu i mogą stanowić podstawę do podejmowania decyzji dotyczących jego dalszego użytkowania. W przypadku lin stalowych jedną z metod pozwalających na ocenę ich stanu są badania magnetyczne, umożliwiające rejestrację sygnałów związanych z występującymi nieciągłościami i zmianami właściwości liny [2-4].

Wyniki takich badań nie są jednak wielkościami całkowicie deterministycznymi. Ich zmienność wynika zarówno z rzeczywistego zróżnicowania stanu liny, jak i z warunków prowadzenia pomiaru. Dlatego przy ich interpretacji zasadne

*Autor korespondencyjny.

E-mail: jan.plowiec@pw.edu.pl

jest zastosowanie metod statystycznych i probabilistycznych [8, 9].

W pracy przyjęto założenie, że odpowiednio zidentyfikowany model probabilistyczny może być wykorzystany nie tylko do opisu wyników pomiarów, lecz również do określenia prawdopodobieństwa osiągnięcia przez badany obiekt określonego poziomu symptomu diagnostycznego. Takie podejście umożliwia przejście od samego pomiaru do oceny ryzyka eksploatacyjnego [6, 8].

Celem pracy jest przedstawienie możliwości wykorzystania metod probabilistycznych do oceny jakości eksploatacyjnej i trwałości lin stalowych oraz wskazanie miejsca takiej oceny w procesie zarządzania jakością. Szczególną uwagę zwrócono na określenie prawdopodobieństwa osiągnięcia wartości progowej przyjętego symptomu stanu technicznego.

2. Jakość i trwałość lin stalowych w procesie eksploatacji

Jakość liny stalowej można rozpatrywać na różnych etapach jej cyklu życia. W momencie wytworzenia określają ją między innymi cechy materiałowe, konstrukcja liny, dokładność wykonania oraz zgodność z wymaganiami technicznymi. Po rozpoczęciu użytkowania znaczenia nabiera natomiast jakość eksploatacyjna, związana ze zdolnością liny do zachowania wymaganych właściwości w warunkach rzeczywistego użytkowania [5].

Wraz z czasem eksploatacji następuje stopniowa zmiana cech użytkowych liny. Mogą pojawiać się między innymi uszkodzenia drutów, zmiany przekroju, zużycie powierzchniowe, korozja czy lokalne osłabienia. Zmiany te nie muszą przebiegać w sposób równomierny, dlatego ocena stanu całej liny na podstawie pojedynczego parametru może być niewystarczająca.

Z punktu widzenia zarządzania jakością istotne jest zatem stworzenie mechanizmu pozwalającego na:

- systematyczne monitorowanie stanu technicznego;
- identyfikację zmian cech użytkowych;
- określanie poziomu ryzyka związanego z dalszą eksploatacją;
- planowanie badań i działań obsługowych;
- podejmowanie decyzji o ograniczeniu obciążenia lub wycofaniu liny z eksploatacji.

W takim ujęciu diagnostyka nie jest jedynie działaniem kontrolnym. Staje się źródłem informacji wykorzystywanej w procesie zarządzania jakością.

Metody probabilistyczne mogą być pomocne w tym procesie, ponieważ pozwalają uwzględnić naturalną zmienność wyników pomiarów. Zamiast przypisywać określonemu wynikowi pomiaru wyłącznie jednoznacznie ocenę „dobry-zły”, możliwe jest określenie prawdopodobieństwa wystąpienia określonego poziomu symptomu [8, 9].

3. Probabilistyczny model oceny stanu liny

Wyniki badań diagnostycznych lin można traktować jako realizacje zmiennej losowej (x). Przyjęcie takiego modelu wynika z losowego charakteru procesów zachodzących podczas eksploatacji liny oraz zmienności warunków, w których wykonywane są pomiary. Przedmiotową analizę

przeprowadzono na podstawie wyników uzyskanych w badaniach nieniszczących – magnetycznych [2-4]. Z powyższych względów niezbędne jest ich opracowanie statystyczne [8, 9]. Podstawowym zadaniem analizy statystycznej jest określenie rozkładu prawdopodobieństwa, który w odpowiedni sposób opisuje uzyskane wyniki. W analizowanym przypadku rozpatrzono dwa rozkłady prawdopodobieństwa [8, 9]:

- rozkład gamma;
- rozkład Weibulla.

Dla rozkładu gamma funkcję gęstości można zapisać w postaci: gdzie:

$$f(x) = \frac{1}{b^p \Gamma(p)} x^{p-1} e^{-x/b} \quad (1)$$

- $p, b, x > 0$;
- wyrażenie $\Gamma(p)$ jest funkcją gamma o postaci:

$$\Gamma(p) = \int_0^{\infty} x^{p-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

Dla rozkładu Weibulla funkcję gęstości można zapisać w postaci:

$$f(x) = a \cdot b^{-a} \cdot x^{a-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a} \quad (3)$$

W obydwoch przypadkach zmienna należy do przedziału $x \in (0, +\infty)$.

Wartość oczekiwana zmiennej losowej X o rozkładzie gamma ma postać:

$$EX = pb \quad (4)$$

Natomiast wariancja jest wyrażona wzorem:

$$D^2X = pb^2 \quad (5)$$

Wzory (4) i (5) stanowią podstawę do wyznaczenia na podstawie danych empirycznych początkowych wartości parametrów p oraz b . Przez $\bar{X}$ oraz S^2 oznacza się estymatory wartości średniej i wariancji wyznaczane wg poniższych wzorów:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

Jeśli przez $\hat{p}$ i $\hat{b}$ oznacza się estymatory parametrów p oraz b , to równania (4) i (5) dla metody momentów przyjmują postać:

$$\bar{X} = \hat{p} \hat{b} \quad (8)$$

$$S^2 = \hat{p} \hat{b}^2 \quad (9)$$

Z równań (8) i (9) wyznacza się estymatory $\hat{p}$ i $\hat{b}$ parametrów p oraz b rozkładu (1). Estymatory wyrażają się wzorami (10) i (11)

$$\hat{b} = s^2 / \bar{X} \quad (10)$$

$$\hat{p} = s^2 / (\bar{X})^2 \quad (11)$$

Parametr p określa kształt rozkładu i nie zależy od jednostki w jakich jest mierzona zmienna losowa x , natomiast b jest parametrem skali. Parametry rozkładu można wstępnie wyznaczyć na podstawie wartości średniej i wariancji z próby, a następnie dokładniej oszacować metodą największej wiarygodności [9]. W analizowanym przypadku ostatecznie przyjęto rozkład gamma, dla którego metodą największej wiarygodności uzyskano $p = 3,2455$ oraz $b = 1,1960$. Do wyznaczenia wartości tych parametrów skorzystano z oprogramowania Statistica.

4. Dobór i weryfikacja modelu probabilistycznego

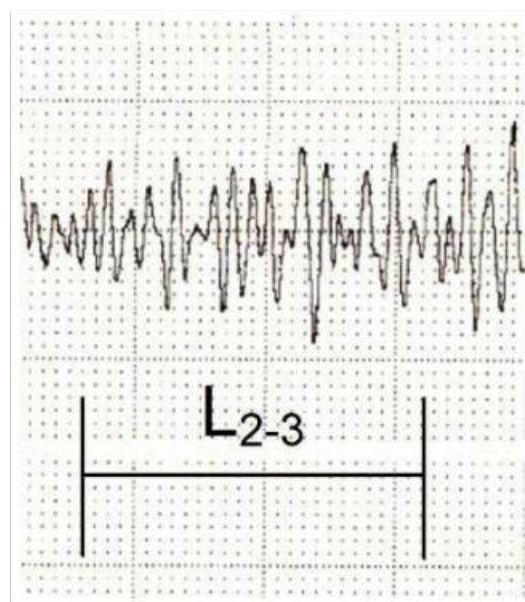
W pierwszym etapie porównano rozkłady gamma i Weibulla. Wstępna analiza wskazała na lepsze dopasowanie rozkładu gamma do wyników empirycznych. Samo podobieństwo graficzne nie jest jednak wystarczającym kryterium wyboru modelu. Dlatego przeprowadzono formalne testy zgodności. W praktyce najczęściej wykorzystywane są dwa z nich: chi-kwadrat (χ^2) oraz λ Kołmogorowa [10].

Pierwszy z nich – test chi-kwadrat stosuje się zarówno do rozkładów ciągłych jak i skokowych. Populacje dzielone są na klasy wartości i dla każdej klasy z założonego rozkładu hipotetycznego oblicza się liczebności teoretyczne, które porównuje się z empirycznymi za pomocą odpowiedniej statystyki (χ^2). Ograniczeniem stosowania tego testu jest liczność populacji. Musi być ona duża gdyż jej elementy dzielimy na klasy wartości, które powinny być dostatecznie liczne. Przyjmuje się, że każda klasa wartości powinna zawierać przynajmniej 8 wyników próby.

W drugim z wymienionych – teście λ Kołmogorowa, porównuje się dystrybuantę empiryczną z hipotetyczną. Jeśli populacja generalna ma rozkład zgodny z hipotezą to wartości dystrybuanty empirycznej i hipotetycznej powinny być we wszystkich badanych punktach zbliżone. Istotnym założeniem ograniczającym stosowalność tego testu jest warunek aby przyjęta w badaniach dystrybuenta hipotetyczna była ciągła.

W wyniku wstępnej analizy uzyskanych wyników badań empirycznych, niezbędnej dla wyboru jednego z powyższych testów, w badaniach analitycznych lin zdecydowano się zastosować testy: chi-kwadrat (χ^2) i λ Kołmogorowa [10]. O takim wyborze zdecydowały przede wszystkim dwa argumenty formalne:

- liczność populacji wynosiła ponad 300 prób, była więc wystarczająca aby zastosować test chi-kwadrat,



Rys. 1. Fragment zapisu wyników badań magnetycznych (opr. własne).

Fig. 1. Fragment of magnetic investigations record

- dystrybuanty przyjętych rozkładów hipotetycznych (gamma i Weibulla) są ciągłe.

Analizę przeprowadzono na podstawie wyników magnetycznych badań lin stalowych. W badaniach zarejestrowano sygnały diagnostyczne, których wartości potraktowano jako zmienną losową. Wyniki badań zapisane są w formie graficznej na taśmie. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy defektogram z badań.

Analizowany zbiór obejmował wyniki z 20 odcinków pomiarowych, co pozwoliło na wyodrębnienie 326 wartości odpowiadających zarejestrowanym pikom sygnału. Odchylenie standardowe analizowanego zbioru wynosiło $s = 2,04$; natomiast współczynnik zmienności $v = 0,51$. Otrzymana wartość współczynnika zmienności wskazuje na znaczące zróżnicowanie wyników. Z punktu widzenia diagnostyki jest to istotna informacja, ponieważ pokazuje, że interpretacja pojedynczego wyniku pomiaru bez uwzględnienia zmienności populacji może prowadzić do nadmiernie uproszczonych wniosków.

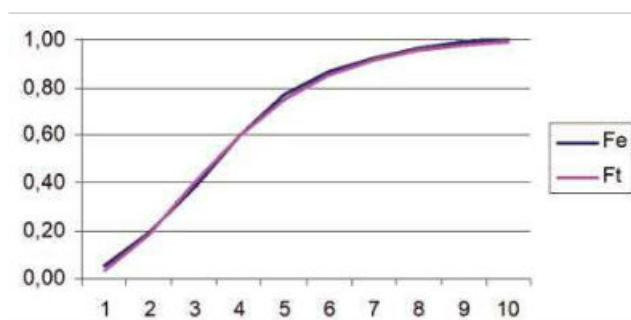
Analiza histogramu oraz wartości liczebności w poszczególnych przedziałach wartości wskazała na asymetryczny charakter badanego rozkładu. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie ilościowe liczebności poszczególnych obserwacji z podziałem na poszczególne klasy wartości zmiennej x .

Największą liczebność, równą 71 obserwacji, uzyskano w przedziale: 3,4). Rozkład nie jest więc symetryczny, a jego

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów – liczebności w klasach (opr. własne)

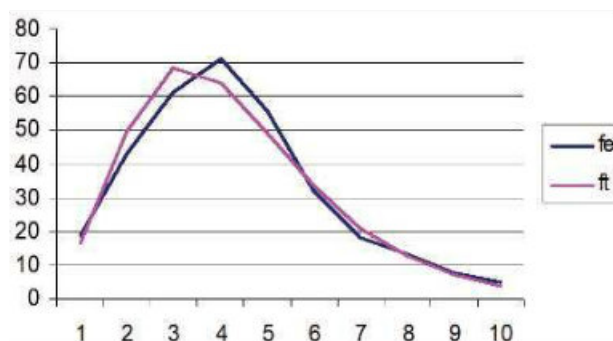
Table 1. Statement of measurements results – power of a set in classes.

$\langle x_i; x_{i+1} \rangle$	$\langle 0; 1 \rangle$	$\langle 1; 2 \rangle$	$\langle 2; 3 \rangle$	$\langle 3; 4 \rangle$	$\langle 4; 5 \rangle$	$\langle 5; 6 \rangle$	$\langle 6; 7 \rangle$	$\langle 7; 8 \rangle$	$\langle 8; 9 \rangle$	$\langle 9; 10 \rangle$
n_i	19	43	61	71	56	32	18	13	8	5



Rys. 2. Wykresy dystrybucji F_e – empirycznej i F_t – teoretycznej (opr. własne)

Fig. 2. Graphs of distribution functions: F_e – empirical, F_t – theoretical



Rys. 3. Wykresy gęstości: f_e – empirycznej i f_t – teoretycznej (opr. własne)

Fig. 3. Graphs of frequency functions: f_e – empirical, f_t – theoretical

średnia, mediana i moda nie pokrywają się. Cecha ta uzasadniała poszukiwanie modelu innego niż klasyczny rozkład normalny.

Dla rozkładu gamma określonego parametrami: $p = 3,2455$, $b = 1,1960$, które zostały uzyskane metodą największej wiarygodności dla danych z pomiarów, otrzymano dla testu chi-kwadrat wartość poziomu prawdopodobieństwa $p = 0,68$, przy przyjętym poziomie istotności: $\alpha = 0,05$. Nie było więc podstaw do odrzucenia hipotezy o zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem gamma. Podobny wniosek wynikał z testu Kolmogorowa. Otrzymana wartość statystyki: λ_{01} wynosi 0,40 i była mniejsza od wartości krytycznej $\lambda_{tab} = 1,36$ odczytanej z tablic statystycznych, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Wyniki obu testów wskazują zatem na dobre dopasowanie rozkładu gamma do analizowanych danych.

Na rysunkach poniżej przedstawiono w formie graficznej rezultaty analiz statystycznych. Wykresy dystrybucji empirycznej i teoretycznej przedstawione na rysunku 2 są bardzo zbliżone, co świadczy o dobrym dopasowaniu wyników badań do przyjętego rozkładu.

Natomiast na rysunku 3 przedstawiono wykresy gęstości prawdopodobieństwa dla obu rozkładów.

Widoczna jest duża zgodność rozkładów gęstości prawdopodobieństwa: empirycznej f_e i teoretycznej f_t . Badane rozkłady różnią się punktami, w których gęstości przyjmują wartość maksymalną. Oznacza to, że mody rozkładów: teoretycznego i empirycznego różnią się nieznacznie. Z punktu widzenia zastosowania praktycznego oznacza to, że model probabilistyczny może zostać wykorzystany do wyznaczania prawdopodobieństwa wystąpienia określonych poziomów badanego symptomu.

5. Ocena prawdopodobieństwa osiągnięcia wartości progowej

Zasadniczym elementem proponowanego podejścia jest określenie prawdopodobieństwa nieprzekroczenia określonej wartości zmiennej diagnostycznej.

W tabeli 2 przedstawiono prawdopodobieństwa nieprzekroczenia wartości zmiennej losowej przyjmowanej jako wartość progowa.

Wartości te wskazują, że prawdopodobieństwo

nieprzekroczenia wartości progowej szybko wzrasta wraz ze zwiększaniem progę. Np. dla wartości progowej równej 11 otrzymano: 0,99256. Odpowiadające temu prawdopodobieństwo przekroczenia wartości progowej wynosi więc: $P(X > 11) = 1 - 0,99256 = 0,00744$. Oznacza to, że w analizowanym modelu prawdopodobieństwo przekroczenia wartości 11 wynosi około 0,74%.

Na tej podstawie można sformułować wniosek praktyczny, że obserwując zapis uzyskany w badaniach magnetycznych można określić jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia osłabienia liny w stopniu przyjętym jako graniczny ze względu na bezpieczeństwo pracy wyciągu linowego. Należy przy tym podkreślić, że prawdopodobieństwo przekroczenia wartości symptomu diagnostycznego nie jest tożsame z prawdopodobieństwem awarii liny. Wartość progowa powinna być powiązana z odpowiednim kryterium oceny stanu technicznego, wymaganiami bezpieczeństwa lub przyjętą procedurą diagnostyczną.

6. Możliwości zastosowania wyników w zarządzaniu jakością

Zastosowanie metod probabilistycznych pozwala rozszerzyć klasyczne podejście do diagnostyki o element związany z zarządzaniem jakością. W tradycyjnym podejściu wynik badania jest często porównywany z wartością dopuszczalną, a następnie klasyfikowany jako mieszczący

Tabela 2. Prawdopodobieństwo nieprzekroczenia wartości progowej (opr. własne)

Table 2. Probability of no-overfulfil boundary value

Wartość progowa	Prawdopodobieństwo	Wartość progowa	Prawdopodobieństwo
8	0,95101	14	0,99901
9	0,97335	15	0,99951
10	0,98580	16	0,99976
11	0,99256	17	0,99988
12	0,99616	18	0,99994
13	0,99804		

się lub niemieszczący w wymaganym zakresie. Podejście probabilistyczne pozwala natomiast określić stopień prawdopodobieństwa wystąpienia niekorzystnego stanu [6, 8, 9]. Jest to szczególnie istotne w przypadku obiektów, których stan techniczny zmienia się stopniowo. W takiej sytuacji nie zawsze występuje jednoznaczny moment przejścia ze stanu poprawnego do stanu nieakceptowalnego.

Wyniki diagnostyczne mogą być zatem wykorzystane w procesie zarządzania jakością do:

- monitorowania stanu technicznego – poprzez systematyczną rejestrację i analizę sygnałów diagnostycznych;
- identyfikowania zmian jakości eksploatacyjnej – poprzez obserwację zmian parametrów charakteryzujących stan liny;
- oceny ryzyka eksploatacyjnego – poprzez określanie prawdopodobieństwa osiągnięcia wartości progowych;
- planowania działań obsługowych – poprzez wcześniejsze rozpoznawanie niekorzystnych tendencji;
- wspomagania decyzji eksploatacyjnych – np. dotyczących dalszej pracy, ograniczenia obciążenia, zwiększenia częstotliwości kontroli lub wycofania liny z użytkowania;
- dokumentowania jakości procesu eksploatacji – poprzez gromadzenie wyników badań i ich okresową analizę.

W takim ujęciu jakość nie jest rozumiana wyłącznie jako zgodność wyrobu z wymaganiami w momencie jego wytworzenia. Obejmuje również zdolność obiektu do zachowania wymaganych właściwości podczas użytkowania. Można zatem przyjąć, że diagnostyka probabilistyczna stanowi jeden z elementów systemu informacji wykorzystywanej w zarządzaniu jakością eksploatacji [7].

7. Diagnostyka jako element procesu decyzyjnego

Wynik badania diagnostycznego powinien prowadzić do odpowiedniej decyzji eksploatacyjnej. W przypadku lin stalowych decyzja taka może zależeć nie tylko od aktualnej wartości symptomu, lecz również od jego zmienności oraz prawdopodobieństwa przekroczenia wartości granicznej.

Można więc przedstawić uproszczony schemat postępowania:

badanie diagnostyczne → rejestracja symptomu → analiza statystyczna → określenie modelu probabilistycznego → ocena prawdopodobieństwa przekroczenia progę → ocena ryzyka → decyzja eksploatacyjna.

Takie podejście jest korzystne z punktu widzenia zarządzania jakością, ponieważ umożliwia powiązanie danych pomiarowych z procesem podejmowania decyzji [6]. Przykładowo, wzrost wartości badanego symptomu może skutkować zwiększeniem częstotliwości kontroli. Dalszy wzrost prawdopodobieństwa przekroczenia przyjętej wartości progowej może natomiast stanowić przesłankę do ograniczenia warunków eksploatacji lub przeprowadzenia dodatkowej kontroli.

W ten sposób wyniki badań diagnostycznych mogą być wykorzystywane nie tylko do stwierdzenia aktualnego stanu liny, ale również do aktywnego zarządzania jej eksploatacją.

Trwałość liny stalowej jest związana ze zdolnością do zachowania wymaganych właściwości użytkowych przez określony okres eksploatacji i w określonych warunkach. Przedstawiona metoda nie pozwala bezpośrednio wyznaczyć czasu pozostałego do awarii. Pozwala jednak określić probabilistyczny charakter badanego symptomu i wskazać, z jakim prawdopodobieństwem zostanie osiągnięta określona wartość progowa. Stanowi to ważny etap w kierunku prognozowania trwałości.

Rozwinięcie przedstawionej metody mogłoby obejmować analizę zmian parametrów rozkładu w kolejnych okresach eksploatacji. W takim przypadku możliwe byłoby badanie nie tylko aktualnego rozkładu wartości symptomu, ale również jego zmian w funkcji czasu lub liczby cykli pracy. Otrzymany model mógłby wówczas stanowić podstawę do budowy procedury prognozowania pozostałego potencjału eksploatacyjnego liny. Z punktu widzenia zarządzania jakością byłoby to szczególnie korzystne, ponieważ pozwalałoby przejść od kontroli stanu do zarządzania procesem degradacji [8, 9].

8. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza potwierdza możliwość wykorzystania metod probabilistycznych do opisu wyników magnetycznych badań lin stalowych. Na podstawie 326 wartości amplitud sygnałów diagnostycznych wykazano, że analizowany zbiór ma charakter niesymetryczny, a rozkład gamma stanowi odpowiedni model probabilistyczny dla badanej populacji. Uzyskane wyniki testów chi-kwadrat i Kołmogorowa potwierdziły zgodność modelu teoretycznego z danymi empirycznymi. Zastosowanie rozkładu gamma umożliwiło wyznaczenie prawdopodobieństwa nieprzekroczenia określonych wartości progowych. Dla wartości progowych większych od 11 uzyskane prawdopodobieństwa przekraczały 0,99.

Przedstawiona metoda może być wykorzystywana jako narzędzie wspomagające diagnostykę eksploataowanych lin stalowych. Jej szczególną zaletą jest możliwość uwzględnienia losowego charakteru wyników pomiarów oraz przedstawienia oceny stanu w kategoriach prawdopodobieństwa [8, 9].

Z punktu widzenia zarządzania jakością istotne jest, że wyniki diagnostyczne mogą zostać wykorzystane jako podstawa do podejmowania decyzji dotyczących dalszej eksploatacji. Systematyczne monitorowanie symptomów stanu, analiza ich zmienności oraz ocena prawdopodobieństwa osiągnięcia wartości progowych mogą wspierać planowanie kontroli, działań obsługowych i decyzji związanych z bezpieczeństwem.

Podejście takie pozwala traktować jakość eksploatacji jako proces podlegający ciągłemu monitorowaniu i doskonaleniu, a nie wyłącznie jako wynik jednorazowej kontroli. Należy jednocześnie podkreślić, że przekroczenie określonej wartości symptomu diagnostycznego nie może być utożsamiane bezpośrednio z wystąpieniem awarii. Wartości progowe powinny wynikać z odpowiednich kryteriów technicznych i bezpieczeństwa oraz być powiązane z rzeczywistym stanem liny.

Dalszy rozwój przedstawionej metody powinien obejmować analizę zmian parametrów probabilistycznych w kolejnych etapach eksploatacji. Pozwoliłoby to na rozszerzenie oceny bieżącego stanu o prognozowanie zmian właściwości użytkowych i pozostałego potencjału eksploatacyjnego liny. W konsekwencji metody probabilistyczne mogą stanowić wartościowe narzędzie wspomagające zarówno ocenę trwałości, jak i zarządzanie jakością eksploatacji lin stalowych.

9. Literatura

- [1] J. Kwaśniewski, Badania magnetyczne lin stalowych – system certyfikacji personelu w metodzie MTR. Kraków: Wydawnictwa AGH, 2010.
- [2] J. Hansel, J. Kwaśniewski, L. Lankosz, A. Tytko, Badania magnetyczne lin stalowych. Kraków: Wydawnictwo AGH, 1990.
- [3] J. Kwaśniewski, S. Molski, T. Krakowski, H. Ruta, „Badania magnetyczne lin dźwigowych instalowanych w szybach górniczych w aspekcie wymagań dozorowych – nowe wyzwanie diagnostyki”, *Dozór Techniczny*, nr 2, s. 20–24, 2016.
- [4] J. Kwaśniewski, M. Roskosz, M. Witoś, S. Molski, „Applications of magnetometric sensors based on amorphous materials in diagnostics of wire ropes”, *Archives of Mining Sciences*, vol. 63, no. 1, pp. 221–227, 2018.
- [5] ISO 4309:2017, Cranes — Wire ropes – Care and maintenance, inspection and discard.
- [6] ISO 31000:2018, Risk management – Guidelines.
- [7] ISO 9001:2026, Quality management systems – Requirements.
- [8] K. C. Kapur and M. Pecht, “Probability and Life Distributions for Reliability Analysis,” in *Reliability Engineering*. Wiley, 2014.
- [9] L. J. Bain and M. Engelhardt, *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models: Theory and Methods*, 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1991.
- [10] National Institute of Standards and Technology (NIST), “Goodness of Fit Tests,” NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. [Online]: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/apr/section2/apr232.htm>

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących

Kołobrzeg

19 - 22 października 2026

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Nieniszcząca ocena uszkodzeń i deformacji z wykorzystaniem skaningu 3D

Non-Destructive Evaluation of Damage and Deformation Using 3D Scanning

Artur Piekarczyk^{1,*}, Jacek Głodkiewicz¹

¹ Instytut Techniki Budowlanej, ul. Filtrowa 1, Warszawa

*autor korespondencyjny: a.pieraczuk@itb.pl

Streszczenie

Diagnostyka zmian geometrycznych w ujęciu nieniszczącym, realizowana metodami tradycyjnymi, napotyka ograniczenia wynikające z punktowego charakteru pomiaru, ograniczonej dostępności powierzchni oraz zależności od konfiguracji pomiarowej i operatora. W obiektach o złożonej geometrii prowadzi to do nieciągłości opisu pola deformacji, konieczności ekstrapolacji oraz wzrostu niepewności interpretacyjnej, szczególnie przy identyfikacji lokalnych anomalii o małej amplitudzie. W referacie zastosowano podejście oparte na pełnopolowej akwizycji danych z wykorzystaniem skaningu 3D, umożliwiające spójny opis powierzchni i analizę zmian w skali globalnej i lokalnej. Analiza obejmuje wyznaczanie map odchyłeń geometrycznych oraz identyfikację lokalnych anomalii powierzchniowych, interpretowanych jako potencjalne obszary degradacji materiału lub koncentracji deformacji. Wykazano, że odpowiednio przetworzona intensywność sygnału, po normalizacji względem parametrów geometrycznych pomiaru, może stanowić dodatkowy wskaźnik zmian stanu powierzchni. Wyniki zestawiono z danymi referencyjnymi, co umożliwiło ocenę zgodności i wiarygodności procedury diagnostycznej.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Magnetycznie przestrajana komplementarna metapowierzchnia terahercowa do regulacji odpowiedzi rezonansowej i zastosowań sensorowych

Magnetically Tunable Complementary Terahertz Metasurface for Resonance Control and Sensing Applications

Michał Herbko^{1,*}, Przemysław Łopato¹, Anil Badisa¹, Marcin Ziolkowski¹, Adam Żywica¹, Pranesh Kondamarri², Julien Petit², Andras Kovacs², Ulrich Mescheder², Volker Bucher²

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, al. Piastów 17, Szczecin

² Furtwangen University

*autor korespondencyjny: michal.herbko@zut.edu.pl

Streszczenie

This work presents a magnetically tunable complementary terahertz metasurface based on complementary split-ring resonators (CSRRs) for active resonance control and sensing applications. Numerical simulations will be performed in COMSOL Multiphysics to investigate magnetically induced mechanical deformation of the metasurface and its influence on the electromagnetic response. The study will analyse the relationship between structural deformation, resonance frequency, and reflection coefficient. Particular attention will be given to determining the achievable tuning range while maintaining a pronounced terahertz resonance. The proposed approach combines mechanical reconfiguration and electromagnetic tuning in a single metasurface platform and may provide a basis for compact, actively controlled terahertz devices for sensing, spectroscopy, and adaptive electromagnetic systems.

Acknowledgement

This work was conducted within the project funded by the National Science Centre (NCN, Poland) grant no. 2022/47/I/ST7/02055 and Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Germany), grant no. ME 2093/9-1, within the OPUS-24 (LAP) project "Investigation of electromagnetic properties of terahertz meta-surfaces tunable using multidirectional magnetic field".

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Badanie połączeń adhezyjnych ultradźwiękową techniką echa

Examination of Adhesive Bonds Using an Ultrasonic Echo Technique

Jakub Kowalczyk^{1,*}

¹ Politechnika Poznańska, ul. Jacka Rychlewskiego 1, Poznań

*autor korespondencyjny: jakub.kowalczyk@put.poznan.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono przegląd zagadnień dotyczących oceny jakości połączeń adhezyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem metody ultradźwiękowej. W pierwszej części scharakteryzowano połączenia adhezyjne oraz ich zastosowanie w pojazdach samochodowych, w tym samochodach osobowych oraz autobusach. Przedstawiono także podział połączeń ze względu na geometrię, sposób przenoszenia obciążeń oraz rodzaj łączonych materiałów. Szczególną uwagę zwrócono na typowe wady, takie jak brak adhezji, niepełne zwilżenie powierzchni, porowatość, pęcherze powietrza, niejednorodna grubość spoiny, pęknięcia kohezyjne oraz miejscowe rozwarstwienia. W dalszej części pracy zestawiono metody stosowane do oceny właściwości i jakości połączeń klejowych. Metody niszczące obejmują przede wszystkim próby rozciągania, ścinania, odrywania, zginania oraz badania zmęczeniowe i pełzania. Umożliwiają one bezpośrednie określenie nośności połączenia, lecz prowadzą do jego trwałego uszkodzenia. Z tego względu w kontroli elementów rzeczywistych szczególne znaczenie mają metody nieniszczące. W pracy omówiono metodę ultradźwiękową w ocenie połączeń adhezyjnych. Przedstawiono również wpływ częstotliwości głowicy, grubości warstwy kleju, rodzaju podłoża na wyniki pomiarów. Wskazano potencjał metod ultradźwiękowych do szybkiej nieniszczącej kontroli jakości połączeń adhezyjnych.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Badania nieniszczące kompozytowego statecznika lotniczego na etapie procesu wytwarzania

Non-Destructive Testing of an Aircraft Composite Stabilizer During the Manufacturing Process

Rafał Szymański^{1,*}

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Lotnictwa, Al. Krakowska 110/114, Warszawa

*autor korespondencyjny: rafal.szymanski@ilot.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie

Prezentacja dotyczy badań nieniszczących (NDT) kompozytowego statecznika lotniczego realizowanych na etapie procesu wytwarzania. Omówiony zostanie rozwój materiałów kompozytowych oraz ich rosnące zastosowanie w konstrukcjach lotniczych wynikające z korzystnego stosunku wytrzymałości do masy. Przedstawione zostaną najważniejsze zalety i ograniczenia kompozytów, a także typowe defekty powstające podczas produkcji, takie jak rozwarstwienia, porowatość, wtrącenia czy nieciągłości sklejeń. W dalszej części zaprezentowane zostaną wybrane metody badań nieniszczących stosowane do kontroli struktur kompozytowych. Szczególną uwagę poświęcono badaniom ultradźwiękowym Phased Array wykorzystanym do kontroli pokryć, dźwigara oraz połączeń klejonych po montażu statecznika. Dodatkowo przedstawione zostaną możliwości termografii aktywnej i kontroli wizualnej w ocenie jakości sklejeń statecznika poziomego. Na przykładzie rzeczywistego elementu lotniczego omówione zostaną etapy badań, uzyskane wyniki oraz skuteczność poszczególnych metod w wykrywaniu wad produkcyjnych. Prezentacja pokazuje znaczenie badań NDT w zapewnieniu jakości, niezawodności i bezpieczeństwa konstrukcji kompozytowych stosowanych w lotnictwie.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Rola diagnostyki technicznej w zapewnieniu bezpiecznej eksploatacji ciśnieniowych instalacji rurociągowych

The role of technical diagnostics in ensuring the safe operation of pressure pipeline installations

Dariusz Mężyk^{1,*}

¹ Instytut Energetyki PIB, ul. Mory 8, Warszawa

*autor korespondencyjny: dariusz.mezyk@ien.pl

Streszczenie

Podczas długotrwałej eksploatacji bloków energetycznych materiały konstrukcyjne stosowane w przemyśle energetycznym pracują w warunkach zmiennych pól naprężeń i zmiennych temperatur. Materiały te są narażone na oddziaływanie środowiska gazów i cieczy oraz na działanie obciążeń mechanicznych. Czynniki te powodują pogorszenie ich własności mechanicznych. Jedną z metod rozpoznania aktualnego stanu materiału są badania diagnostyczne, zarówno nieniszczące, jak i niszczące. W referacie omówiono niektóre aspekty badań kilku elementów długo eksploatowanego kotła energetycznego i problemy związane z oceną ich aktualnego stanu technicznego.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Nieniszcząca ocena własności mechanicznych stali na podstawie parametrów elektromagnetycznych

Non-Destructive Evaluation of the Mechanical Properties of Steel Based on Electromagnetic Parameters

Krzysztof Fryczowski¹, Maciej Roskosz^{2,*}, Tomasz Mucha^{3,2}

¹ Politechnika Śląska, Gliwice

² Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie im. Stanisława Staszica, Al. Mickiewicza 30, Kraków

³ Altrad Babcock Europe S.A.

*autor korespondencyjny: mroskosz@agh.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących nieniszczącej oceny własności mechanicznych stali na podstawie parametrów elektromagnetycznych. Analizy przeprowadzono dla stali ferromagnetycznych S235JR, DC01 i AMS 6414 oraz austenitycznej stali X2CrNi18-9 poddanych odkształceniu plastycznemu, nawęglaniu i hartowaniu. W badaniach wykorzystano pomiary szumu Barkhausena, niskoczęstotliwościowej spektroskopii impedancyjnej, składowych pola magnetycznego rozproszonego oraz parametrów wyznaczanych z sygnałów elektromagnetycznych. Wykazano istnienie silnych zależności pomiędzy własnościami mechanicznymi materiału a parametrami elektromagnetycznymi wynikającymi ze zmian mikrostruktury. Szczególnie wysoką skuteczność diagnostyczną uzyskano dla parametrów szumu Barkhausena, takich jak energia sygnału, wartość skuteczna RMS, parametry obwiedni oraz całkowita liczba zdarzeń. Dla stali ferromagnetycznych opracowane korelacje umożliwiały wyznaczanie twardości z wysokimi wartościami współczynnika determinacji. W przypadku stali X2CrNi18-9 parametry elektromagnetyczne pozwoliły identyfikować zmiany związane z odkształceniem plastycznym oraz przemianą martenzytyczną indukowaną odkształceniem. Wykazano również możliwość wykorzystania pełnych widm impedancyjnych oraz analizy głównych składowych (PCA) do estymacji twardości stali S235JR. Uzyskane wyniki potwierdzają przydatność metod elektromagnetycznych w rozwiązywaniu zagadnień odwrotnych badań nieniszczących, umożliwiając ocenę twardości, stopnia odkształcenia plastycznego oraz zmian mikrostrukturalnych materiałów stalowych bez ingerencji w ich strukturę.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Od materiałów eksploatowanych w ekstremalnych warunkach do zaawansowanych elektromagnetycznych badań nieniszczących: współpraca badawcza w ramach ElyTMaX

From Material under Harsh Conditions to Advanced Electromagnetic NDT: Collaborative Research in the Framework of ElyTMaX

Benjamin Ducharme^{1,2,*}

¹ ElyTMaX IRL3757, CNRS, Univ Lyon, INSA Lyon, Centrale Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Tohoku University, Sendai, Japan

² LGEF, INSA-Lyon, UR682, University Lyon, Villeurbanne, France

*autor korespondencyjny: benjamin.ducharme@insa-lyon.fr

Abstract

Since 2016, ElyTMaX has constituted a joint research facility between French and Japanese researchers, bringing together complementary expertise to study materials and structures under extreme and demanding conditions. Over the years, this collaboration has evolved through a wide range of academic and industrial projects addressing challenges in energy, transportation, and other critical industries. This presentation will first provide a brief overview of the history, activities, and major achievements of ElyTMaX, with selected examples illustrating the benefits of French–Japanese collaboration and its industrial impact. The second part will focus on our group's activities in electromagnetic nondestructive testing (NDT). Various research and industrial projects will be presented, covering electromagnetic and micromagnetic approaches to material characterization, stress and damage assessment, and early degradation detection. Particular attention will be given to Barkhausen noise and other magnetic methods, as well as to the development of advanced NDT instrumentation for practical industrial applications. Finally, current research directions and future opportunities will be discussed in the broader context of maintenance, structural integrity, and predictive maintenance of energy infrastructure.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Ocena degradacji stali A335 P91 pracującej w warunkach pełzania, z wykorzystaniem częstotliwościowej analizy sygnałów ultradźwiękowych PAUT

Frequency-Domain Analysis of Phased Array Ultrasonic Signals for Creep Damage Assessment in A335 P91 Steel

Łukasz Sarniak^{1,*}

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, ul. Wołoska 141, Warszawa

*autor korespondencyjny: lukasz.sarniak@pw.edu.pl

Streszczenie

Informacja częstotliwościowa zawarta w sygnałach ultradźwiękowych jest rzadko wykorzystywana w konwencjonalnych badaniach z zastosowaniem głowic wieloprzetwornikowych, pomimo jej potencjalnej wrażliwości na zmiany mikrostrukturalne materiału. W pracy przedstawiono nową metodę oceny postępu degradacji pełzaniowej stali A335 P91 opartą na analizie częstotliwościowej sygnałów PAUT. Badaniom poddano serię próbek reprezentujących kolejne etapy pełzania. Wykonano pełne skany ultradźwiękowe, a lokalne fragmenty sygnałów A-scan przekształcono do dziedziny częstotliwości z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Dla każdego punktu pomiarowego wyznaczono wybrane cechy widmowe, obejmujące rozkład energii, częstotliwość dominującą oraz środek ciężkości widma. W celu połączenia wielu parametrów częstotliwościowych w jeden wskaźnik degradacji zastosowano analizę głównych składowych (PCA), umożliwiającą generowanie dwuwymiarowych map degradacji materiału. Zaproponowana metodologia pozwala na wizualizację przestrzennych zmian parametrów widmowych oraz ich korelację z postępującym pełzaniem. Wstępne wyniki wskazują, że mapowanie cech częstotliwościowych może charakteryzować się większą czułością na wczesne zmiany mikrostrukturalne niż klasyczne obrazowanie ultradźwiękowe oparte na amplitudzie sygnału. Przedstawione podejście stanowi obiecującą podstawę do ilościowej oceny pełzania oraz dalszego rozwoju metod diagnostyki ultradźwiękowej wspomaganej algorytmami uczenia maszynowego.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Badania nieniszczące grubościennych struktur kompozytowych

Non-destructive testing of thick-walled composite structures

Piotr Synaszko^{1,*}, Krzysztof Dragan¹, Michał Sałaciński¹

¹ ITWL (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych), ul. Ks. Bolesława 6, Warszawa, Polska

*autor korespondencyjny: piotr.synaszko@itwl.edu.pl

Streszczenie

Badania kompozytów, ze względu na ich anizotropowe właściwości, wymagają indywidualnego podejścia, które jest ściśle uzależnione od zastosowanej technologii wytwarzania. W przypadku zaawansowanych metod, takich jak technologia autoklawowa czy wytłaczanie pod prasą, kompozyty charakteryzują się minimalną porowatością, co znacząco ułatwia przeprowadzanie badań. Niska porowatość zapewnia bardziej jednorodną strukturę materiału, co przekłada się na lepszą propagację sygnałów w metodzie ultradźwiękowej. Inaczej sytuacja przedstawia się w przypadku tańszych technologii wytwarzania kompozytów. Te metody często prowadzą do powstawania większej porowatości oraz niejednorodności w strukturze materiału, co redukuje możliwości pomiarowe. Autorzy artykułu przedstawiają wyniki swoich doświadczeń, które zostały zebrane podczas badań przeprowadzonych zarówno na próbkach laboratoryjnych, jak i na rzeczywistych elementach wykonanych z kompozytów. Badania te wykonywane były metodami: ultradźwiękową, szerografii i termografii. Artykuł porusza również temat doboru metod badań nieniszczących dla danego przypadku.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Amerykańskie uprawnienia NDT z egzaminem w Polsce w aspekcie budowy elementów polskiej elektrowni nuklearnej

American NDT qualifications with an exam in Poland related to the Polish nuclear power plant project

Piotr Sadowski^{1,*}

¹ Navitest, ul. Ambasadorów 5, Gdańsk

*autor korespondencyjny: piotr.sadowski@navitest.com.pl

Streszczenie

Referat porusza tematykę uprawnień amerykańskich w dziedzinach NDT wykorzystywanych na projekcie pierwszej Polskiej elektrowni nuklearnej. W ramach przedsięwzięcia w Polsce zostały podjęte próby współpracy z wykonawcami we wdrożeniu systemu amerykańskiego uwzględniającego charakterystyczne dla projektu wymagania. Posiadający doświadczenie podmiot Navitest rozwija system umożliwiający spełnienie przepisów norm NDT i certyfikację w ramach systemu wewnętrznej certyfikacji pracodawcy dla projektu AP1000.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Diagnostyka rurociągów ciśnieniowych z wykorzystaniem analizy zjawiska uderzenia hydraulicznego jako metody badań nieniszczących

Diagnostics of pressure pipelines using water hammer analysis as a non-destructive testing method

Kamil Urbanowicz^{1,*}, Armin Alavi¹

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie (ZUT w Szczecinie), al. Piastów 17, Szczecin

*autor korespondencyjny: kamil.urbanowicz@zut.edu.pl

Streszczenie

Rozwój metod diagnostyki technicznej układów rurociągowych zmierza w kierunku rozwiązań umożliwiających ocenę ich stanu bez konieczności wyłączenia z eksploatacji. Jedną z perspektywicznych metod jest analiza zjawiska uderzenia hydraulicznego, której odpowiednia interpretacja pozwala na identyfikację nieciągłości, nieszczelności oraz zmian parametrów eksploatacyjnych przewodów. W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania przebiegów ciśnienia rejestrowanych podczas przepływów nieustalonych jako źródła informacji diagnostycznej wspomagającej badania nieniszczące rurociągów ciśnieniowych. Omówiono rolę modeli numerycznych w analizie propagacji fal ciśnienia oraz wskazano potencjał integracji danych pomiarowych z metodami obliczeniowymi w celu zwiększenia skuteczności wykrywania uszkodzeń. Zwrócono uwagę na możliwość zastosowania proponowanego podejścia w systemach wodociągowych, instalacjach przemysłowych oraz obiektach energetyki wodnej, gdzie ciągłość pracy i wczesna identyfikacja uszkodzeń mają kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacji.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Historia badań ultradźwiękowych w przemyśle

History of Ultrasonic Testing in Industry

Maciej Szeremeta^{1,*}

¹ Navitest, ul. Ambasadorów 5, Gdańsk

*autor korespondencyjny: maciej.szeremeta@navitest.com.pl

Streszczenie

Wystąpienie przedstawia rozwój badań ultradźwiękowych w przemyśle na tle historii akustyki, fizyki fal oraz ewolucji aparatury badawczej. Omówiono najważniejsze odkrycia XIX wieku, w tym badania propagacji dźwięku w wodzie, efekt magnetostrykcji i zjawisko piezoelektryczne, które stworzyły podstawy konstrukcji przetworników ultradźwiękowych. Przedstawiono również rozwój teorii fal akustycznych oraz znaczenie prac Rayleigha i Galtona. Kolejna część poświęcona jest wpływowi katastrofy Titanica, rozwojowi sonarów oraz pracom Siergieja Sokołowa nad zastosowaniem ultradźwięków do wykrywania nieciągłości materiałowych. Szczególną uwagę zwrócono na dynamiczny rozwój przemysłowych badań UT podczas II wojny światowej oraz powojenny wkład firm i naukowców, m.in. Krautkrämerów, Karla Deutscha i polskiego przedsiębiorstwa UNIPAN. Prelekcja pokazuje drogę od pierwszych eksperymentów z falami akustycznymi do współczesnych, cyfrowych systemów badań ultradźwiękowych wykorzystujących głowice wieloprzetwornikowe i zaawansowane techniki obrazowania. Podkreślono, że mimo ogromnego postępu technologicznego podstawy fizyczne metody pozostają niezmiennie.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Detekcja delaminacji posadzek epoksydowych z wykorzystaniem ultradźwięków pracujących w sprzężeniu powietrznym

Air-Coupled Ultrasonic Detection of Delamination in Epoxy Flooring Systems

Sebastian Zagórski¹, Łukasz Ambroziński^{1,*}

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, Kraków

*autor korespondencyjny: ambrozin@agh.edu.pl

Streszczenie

Ultradźwiękowe metody wykorzystujące sprzężenie powietrzne stanowią atrakcyjne rozwiązanie do bezkontaktowej diagnostyki warstwowych struktur inżynierskich, eliminując konieczność stosowania środków sprzęgających oraz bezpośredniego kontaktu z badaną powierzchnią. W artykule oceniono możliwość wykrywania delaminacji na styku podłoża betonowego i posadzki epoksydowej z wykorzystaniem ultradźwięków pracujących w sprzężeniu powietrznym. Badania eksperymentalne przeprowadzono na próbkach posadzek epoksydowych zawierających sztucznie wprowadzone nieciągłości. Szczególną uwagę poświęcono doborowi parametrów wzbudzenia i pomiaru. Zastosowanie szerokopasmowego sygnału typu chirp z modulacją częstotliwości pozwoliło zwiększyć energię sygnału przy jednoczesnym ograniczeniu jego amplitudy szczytowej. Wykazano również, że dokładne wyznaczenie prędkości propagacji fali oraz kąta padania ma kluczowe znaczenie dla prawidłowego wzbudzenia i propagacji fal w badanej strukturze. Zaobserwowano ponadto, że zarówno beton, jak i szczelina powietrzna związana z delaminacją powodują silniejsze tłumienie składowych wysokoczęstotliwościowych. Pomimo trudności związanych z niejednorodnością materiału oraz występowaniem lokalnych wzmocnień sygnału o niejednoznacznym pochodzeniu, proponowana metoda umożliwiła skuteczną identyfikację obszarów odspojenia. Duża różnica impedancji akustycznej pomiędzy betonem, posadzką epoksydową i szczeliną powietrzną sprzyjała wykrywaniu wad. Uzyskane wyniki potwierdzają potencjał bezkontaktowych badań ultradźwiękowych w ocenie stanu technicznego posadzek epoksydowych oraz innych struktur klejonych i warstwowych.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Wpływ geometrii plamki lasera na efektywność wykrywania uszkodzeń metodą termografii laserowej

The Effect of Laser Spot Geometry on the Effectiveness of Defect Detection Using Laser Thermography

Lena Wójcikiewicz^{1,*}, Jakub Roemer¹

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH), Al. Mickiewicza 30, Kraków

*autor korespondencyjny: lenawojcikiewicz0@gmail.com

Streszczenie

Aktywna termografia jest jedną z metod diagnostycznych wykorzystujących zewnętrzne wymuszenie cieplne do wykrywania wad materiałowych. Dzięki analizie rozkładu oraz zmian temperatury badanego obiektu w czasie możliwa jest identyfikacja i ocena charakteru uszkodzeń powierzchniowych i podpowierzchniowych. Termografia laserowa stanowi jedną z technik aktywnej termografii, w której zewnętrznym źródłem wymuszenia cieplnego jest wiązka lasera zapewniająca lokalne i precyzyjnie kontrolowane nagrzewanie badanego materiału. Zastosowanie lasera pozwala na uzyskanie wysokiej gęstości mocy oraz prowadzenie badań elementów o złożonej geometrii i ograniczonej dostępności. W przeciwieństwie do termografii wykorzystującej lampy halogenowe, termografia laserowa wymaga doboru większej liczby parametrów pomiarowych wpływających na jakość uzyskiwanych wyników. Do najważniejszych z nich należą parametry wiązki laserowej, w tym geometria plamki, obejmująca jej rozmiar i kształt. W niniejszej pracy przeprowadzono badania czterech próbek płyt stalowych z otworami wykonanymi metodą elektrodrążenia, symulującymi uszkodzenia typu pęknięcia. Eksperymenty zrealizowano z wykorzystaniem dwóch układów laserowych. Pierwszy z układów generował plamkę o kształcie kołowym z gaussowskim rozkładem intensywności wiązki laserowej, natomiast drugi, wyposażony w światłowód o rdzeniu kwadratowym, wytwarzał plamkę o kształcie zbliżonym do kwadratu z równomiernym (top-hat) rozkładem intensywności. Uzyskane wyniki umożliwiły ocenę wpływu geometrii plamki lasera na skuteczność wykrywania symulowanych uszkodzeń metodą termografii laserowej.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

**Badania nieniszczące kompozytów zbrojonych włóknem krótkim o osnowie polimerowej
z wykorzystaniem rezonansowej spektroskopii ultradźwiękowej**

**Non-destructive testing of short-fiber-reinforced polymer composites using ultrasonic resonance
spectroscopy**

Filip Żelawski¹, Łukasz Pieczonka^{1,*}

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH), Al. Mickiewicza 30, Kraków

*autor korespondencyjny: lukasz.pieczonka@agh.edu.pl

Streszczenie

Rezonansowa spektroskopia ultradźwiękowa (RUS) jest wszechstronną techniką pomiaru własności sprężystych ciał stałych. W niniejszej pracy demonstrujemy jej zastosowanie do badań kompozytów wzmacnianych włóknami krótkimi (SFRC). Analizowane będą dwa zestawy próbek badawczych wykonanych z poliamidu-6 wzmocnionego włóknem szklanym (PA6GF30). Aby uzyskać izotropowe właściwości materiału, pierwszy zestaw próbek przygotowano poprzez frezowanie rdzeni wytłaczanych prętów. Drugi zestaw, mający na celu uzyskanie anizotropowych właściwości materiału, wykonano w procesie wtrysku. Wszystkie próbki przed eksperymentem wysuszono poprzez przechowywanie w atmosferze o wilgotności względnej wynoszącej 6%. Zawartość wody monitorowano za pomocą pomiarów grawimetrycznych. Następnie, po osiągnięciu stanu równowagi, przeprowadzono pomiary RUS dla każdej próbki przy użyciu zbudowanego stanowiska badawczego. Częstotliwości rezonansowe wyodrębniono z wyników pomiarów za pomocą algorytmu wykorzystującego metodę prognozowania liniowego oraz dekompozycję wartości osobliwych (SVD). Zbadano zmiany zarówno częstotliwości rezonansowych jak i współczynników tłumienia. Uzyskane wyniki eksperymentalne są obiecujące i mają znaczny potencjał do praktycznych zastosowań inżynierskich.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Koncepcja wykorzystania cewki Tesli na potrzeby bezkontaktowego wzbudzania fal sprężystych w badaniach nieniszczących

Using a Tesla Coil for Non-Contact Excitation of Elastic Waves in Non-Destructive Testing

Igor Cena¹, Łukasz Ambroziński^{1,*}

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH), Al. Mickiewicza 30, Kraków

*autor korespondencyjny: ambrozin@agh.edu.pl

Streszczenie

Bezkontaktowe wzbudzenie i odbiór fal ultradźwiękowych stanowią pożądany kierunek rozwoju badań nieniszczących (NDT), ponieważ eliminują konieczność stosowania środków sprzęgających i umożliwiają pomiary elementów o ograniczonej dostępności. Chociaż techniki air-coupled oraz systemy laserowe umożliwiają całkowicie bezkontaktową pracę, ich zastosowanie często ograniczają wysoki koszt aparatury, tłumienie sygnału w powietrzu lub wymagające warunki pomiarowe. W pracy przedstawiono ocenę możliwości wykorzystania cewki Tesli jako nisko-kosztowego źródła szerokopasmowego wzbudzenia fal Lamb'a na potrzeby diagnostyki konstrukcji. Opracowano stanowisko badawcze integrujące iskrowe źródło wzbudzenia z laserowym wibrometrem skanującym oraz autorskim środowiskiem przetwarzania sygnałów w MATLAB-ie. Metoda umożliwia rekonstrukcję pola falowego oraz lokalizację uszkodzeń na podstawie map energetycznych RMS. Badania przeprowadzono na próbkach aluminiowych oraz kompozytowych CFRP z wprowadzonymi nieciągłościami. Wyniki potwierdziły możliwość generowania szerokopasmowych fal ultradźwiękowych za pomocą wyładowań iskrowych oraz ich wykorzystania do detekcji uszkodzeń. Dla próbek aluminiowych uzyskano wysoką jakość obrazowania i precyzyjną lokalizację wad. W przypadku kompozytów CFRP obserwowano większy poziom szumów i artefaktów związanych z anizotropią materiału, co utrudniało interpretację wyników. Uzyskane rezultaty wskazują, że cewka Tesli może stanowić obiecującą i ekonomiczną alternatywę dla wybranych metod bezkontaktowego wzbudzania fal w zastosowaniach NDT i SHM.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Prezentacja podsumowania realizacji badań biegłości w zakresie badań nieniszczących organizowanych przez firmę Navitest

Summary of Proficiency Testing Programs in Non-Destructive Testing Organized by Navitest

Katarzyna Kaczmarska^{1,*}

¹ Navitest, ul. Ambasadorów 5, Gdańsk

*autor korespondencyjny: katarzyna.kaczmarska@navitest.com.pl

Streszczenie

Program badań biegłości został uruchomiony w kwietniu 2025 roku. W jego ramach firma Navitest zorganizowała pięć rund badań biegłości złączy spawanych:

- badanie magnetyczno-proszkowe zgodnie z PN-EN ISO 17638:2017-01,
- badanie radiograficzne zgodnie z PN-EN ISO 17636-1:2023-02,
- badanie ultradźwiękowe zgodnie z PN-EN ISO 17640:2019-01,
- badanie penetracyjne zgodnie z PN-EN ISO 3452:2021-12,
- badanie wizualne zgodnie z PN-EN ISO 17637:2017-02.

W każdej rundzie uczestniczyło od 16 do 20 laboratoriów i przedsiębiorstw. Z perspektywy zarządzania jakością szczególnie interesujące okazały się obserwacje dotyczące zróżnicowanego sposobu interpretacji przekazywanych uczestnikom informacji oraz wpływu tego zjawiska na uzyskiwane wyniki. Analiza przebiegu programu wykazała również, że nawet osoby posiadające wieloletnie doświadczenie zawodowe zgłaszały pytania dotyczące podstawowych zagadnień związanych z realizacją badań. Istotnym spostrzeżeniem była obserwowana zmienność uzyskiwanych wyników pomiędzy uczestnikami, wskazująca na potrzebę dalszej analizy źródeł rozbieżności oraz doskonalenia praktyk w obszarze badań nieniszczących. Ponadto analiza dostępnych metod oceny wykazała, że rozwiązania stosowane w innych obszarach badań laboratoryjnych nie mogą być wprost przeniesione do oceny wyników badań nieniszczących złączy spawanych. Opracowanie kryteriów uwzględniających specyfikę tej dziedziny stanowiło jedno z kluczowych wyzwań realizowanego programu. Przedstawione doświadczenia mogą stanowić podstawę do dalszej dyskusji nad metodyką organizacji i oceny badań biegłości oraz doskonaleniem praktyk w zakresie zapewnienia jakości badań nieniszczących.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Zarządzanie ryzykiem przy ocenie zdjęcia radiograficznego złącza spawanego. Czynniki ludzkie

Risk Management in Radiographic Image Evaluation of Welded Joint: The Human Factor

Oksana Koval^{1,*}

¹ PUH TEST Sp. z o.o., Gorzów

*autor korespondencyjny: kovaloksana777@gmail.com

Streszczenie

Badanie rentgenowskie jest jednym z najbardziej reprezentatywnych i wiarygodnych badań nieniszczących. Stanowi niezbędny element kontroli jakości spoin, wymagający jednak przestrzegania określonych warunków, odpowiedniej wiedzy, doświadczenia oraz szczególnej koncentracji podczas oceny. Przedstawiony referat jest oparty na danych z rzeczywistych prac, analizie norm oraz literatury branżowej i ma na celu przypomnienie specjalistom o znaczeniu przestrzegania procedur oraz wykonywania oceny w ustalonej kolejności. W referacie podano przykłady oceny radiogramów wraz z omówieniem możliwych błędnych interpretacji, co skutkuje zbędnymi naprawami, czyli stratą czasu i środków, albo z drugiej strony błędną akceptacją wadliwej spoiny, co może skutkować awarią wyrobu.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Weryfikacja uszkodzeń niskoenergetycznych w kompozytach stal-polimer defektoskopem ultradźwiękowo-optycznym i aktywną termografią

Inspection of low-energy impact damage in steel-polymer composites using an ultrasonic optical flaw detector and active thermography

Karol Bula^{1,*}, Filip Ślaski², Bartosz Korzeniewski¹, Jan Podgórski²

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów, Poznań

² SHIM-POL A.M. Borzymowski E. Borzymowska-Reszka A. Reszka Spółka Jawna, Izabelin

*autor korespondencyjny: karol.bula@put.poznan.pl

Streszczenie

Praca przedstawia badania bezklejowych połączeń stal-polimer, do których wytworzenia wykorzystano stal austenityczną typu 316 oraz inżynierski poliamid 6 zawierający 30% wag. ciętego włókna szklanego. Powierzchnia płytek stalowych o wymiarach 100×100×2 mm została strukturyzowana z wykorzystaniem lasera impulsowego. Złącza bezklejowe wykonano techniką obtryskiwania z jednostronną warstwą polimerową o grubości 2 mm. Płytki dwumateriałowe typu sandwich poddano następnie niskoenergetycznym obciążeniom uderowym (do 20 J). Dokonano nieniszczącej inspekcji stanu złączy z wykorzystaniem urządzenia Shimadzu MIV-X, z użyciem ultradźwiękowego oscylatora wzbudzającego drgania oraz stroboskopowej detekcji laserowej. Urządzenie MIV-X umożliwiło precyzyjne określenie lokalizacji nieciągłości w połączeniu stal-polimer oraz ich wielkości. Ponadto dokonano obserwacji powierzchni kompozytu typu sandwich kamerą termograficzną po uprzednim miejscowym nagrzaniu powierzchni wysokoenergetycznym fleszem z lampy kwarcowej.

Abstract

The study presents investigations on non-adhesive steel-polymer joints, which were produced using 316 austenitic steel and engineering polyamide 6 containing 30% by weight of chopped glass fibres. The surface of the steel plates, with dimensions of 100×100×2 mm, was engraved using a pulsed laser. The non-adhesive joints were fabricated using an overmolding technique with a 2 mm thick polymer layer. The sandwich-type plates were then subjected to low-energy impact loads (less than 20 J). Subsequently, a non-destructive assessment of the sandwich was performed using the innovative Shimadzu MIV-X instrument, which employs an ultrasonic oscillator and stroboscopic laser detection. The MIV-X method enabled precise determination of the location and size of damage in the steel-polymer joint. In addition, the surface of the sandwich composite was observed using a thermographic camera after heating the surface with a high-energy flash from a quartz lamp.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Nieniszcząca ocena zespolenia warstwy przypowierzchniowej w posadzkach betonowych utwardzanych powierzchniowo

Non-destructive evaluation of the bond between the surface layer and the concrete substrate in surface-hardened concrete floors

Mateusz Moj^{1,*}

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, Wrocław

*autor korespondencyjny: mateusz.moj@pwr.edu.pl

Streszczenie

Technologia utwardzania powierzchniowego posadzek betonowych metodą suche na mokre (DST) pozwala podnieść odporność warstwy przypowierzchniowej na działanie czynników zewnętrznych. Sama procedura jest prosta, jednak nie uwzględnia czynników takich jak zmiany temperatury, warunki atmosferyczne czy błędy wykonawcze w fazie kluczowej dla zapewnienia odpowiedniej jakości zespolenia posypki DST z betonem posadzkowym. W związku z tym konieczne jest każdorazowe potwierdzenie jakości poprzez wykonanie szeregu badań niszczących, takich jak ocena jakości zespolenia metodą pull-off. W celu ograniczenia destrukcyjnego wpływu tych badań wykorzystuje się metody nieniszczące (NDT), których dokładność rzadko jest wystarczająca. W pracy wykorzystano bazę 528 zestawów danych obejmujących prędkość fali ultradźwiękowej, powierzchniową rezystywność elektryczną oraz liczbę odbicia. Dane NDT zestawiono z wynikami wytrzymałości na odrywanie określonymi metodą pull-off. Na tej podstawie wytrenowano modele ML oparte na drzewach decyzyjnych. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość predykcji wytrzymałości na odrywanie z wysoką precyzją oraz na potencjał wykorzystania ML do wspomagania oceny jakości zespolenia warstwy wierzchniej.

Finansowanie

Praca ta została zrealizowana dzięki wsparciu Narodowego Centrum Nauki w Polsce w ramach projektu: „Ocena wybranych właściwości użytkowych przemysłowych posadzek betonowych na podstawie badań nieniszczących z wykorzystaniem sztucznej inteligencji (SURFACE AI)”, grant: PRELUDIUM 23 nr 2024/53/N/ST8/00451.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Ocena zmian właściwości stali stopowej w procesie walcowania na podstawie badań mikrostrukturalnych oraz nieniszczących

Evaluation of changes in the properties of alloy steel during the rolling process based on microstructural and non-destructive testing

Dominik Kukła^{1,2,*}

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny (Ł-WIT), ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa

² Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (IPPT PAN), ul. Adolfa Pawińskiego 5B, Warszawa

*autor korespondencyjny: dominik.kukla@wit.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie

Celem badań była ocena zmian mikrostrukturalnych i stanu naprężeń szczątkowych występujących w stali żarowytrzymałej po procesie walcowania na zimno. Określono zmiany orientacji morfologicznej i krystalograficznej zachodzące dla różnych poziomów zgniotu. Dokonano pomiaru gęstości dyslokacji obecnych w materiale przed i po procesie walcowania na zimno na podstawie obrazów uzyskanych z transmisyjnego mikroskopu elektronowego. Zaobserwowane zmiany mikrostruktury skorelowano z wynikami badań nieniszczących metodą prądów wirowych. Pozwoliło to na identyfikację stanu naprężeń mierzonego na różnych powierzchniach walcowanej blachy, równoległej i prostopadłej do kierunku walcowania.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Ocena wybranych właściwości materiałów techniką amplitudowo-częstotliwościową prądów wirowych

Assessment of Selected Material Properties Using the Amplitude-Frequency Eddy Current Technique

Adam Kondej^{1,*}, Piotr Lasota¹, Dominik Kukla^{1, 2}

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny (Łukasiewicz-WIT), ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa

² Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (IPPT PAN), ul. Adolfa Pawińskiego 5B, Warszawa

*autor korespondencyjny: adam.kondej@wit.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie

W referacie przedstawiono wybrane wyniki badań nieniszczących realizowanych na potrzeby branży motoryzacyjnej z wykorzystaniem amplitudowo-częstotliwościowej techniki prądów wirowych. Zaprezentowane prace koncentrują się na ocenie właściwości materiałowych i geometrycznych elementów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo oraz niezawodność podzespołów pojazdów mechanicznych. Do badań zastosowano autorskie urządzenie kontrolno-pomiarowe Wirotest M2. W pracy omówiono metodykę oraz rezultaty nieniszczącej oceny grubości powłok chromowych na stalowych tłoczykach amortyzatorów, wykazując możliwość szybkiego i bezinwazyjnego monitorowania jakości procesu galwanicznego. Przedstawiono również wyniki badań dotyczących wykrywania struktury martenzytycznej na wałkach półosi napędowych, umożliwiające identyfikację zmian mikrostrukturalnych mających istotny wpływ na właściwości eksploatacyjne elementów. Kolejnym zagadnieniem była nieniszcząca ocena twardości krzyżaków po procesie nawęglania. Wykazano korelację pomiędzy parametrami sygnału prądów wirowych a zmianami właściwości warstwy wierzchniej, co stwarza możliwość kontroli jakości wyrobów bez konieczności wykonywania badań niszczących. Ponadto przedstawiono wyniki prac nad oceną głębokości wtopienia w złączach spawanych laserowo. Uzyskane rezultaty wskazują, że Wirotest M2 wykorzystujący technikę amplitudowo-częstotliwościową prądów wirowych stanowi skuteczne narzędzie wspomagające automatyzację kontroli jakości oraz zwiększające efektywność procesów produkcyjnych w przemyśle motoryzacyjnym.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Analiza czasowo-częstotliwościowa sygnału magnetycznego szumu Barkhausena w celu oceny wpływu parametrów wzbudzenia na dynamikę magnesowania i anizotropię magnetyczną blachy elektrotechnicznej o zorientowanym ziarnie poddanej jednoosiowemu rozciąganiu

Time-Frequency Analysis of Magnetic Barkhausen Noise Signals for Evaluating the Influence of Excitation Parameters on Magnetization Dynamics and Magnetic Anisotropy in Grain-Oriented Electrical Steel under Uniaxial Tensile Loading

Michał Maciusowicz^{1,*}

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, al. Piastów 17, Szczecin

*autor korespondencyjny: michal.maciusowicz@zut.edu.pl

Streszczenie

Blacha elektrotechniczna o zorientowanym ułożeniu ziaren wykazuje wyraźną anizotropię magnetyczną wynikającą z zależności między jej teksturą krystalograficzną a strukturą domen magnetycznych. W pracy analizowano wpływ kierunku i wielkości jednoosiowego naprężenia rozciągającego, a także parametrów wzbudzenia, na dynamikę procesu magnesowania materiału oraz zmianę anizotropii magnetycznej w arkuszach blachy elektrotechnicznej o zorientowanym ułożeniu ziaren charakteryzujących się wysoką przenikalnością. W tym celu zarejestrowano sygnały magnetycznego szumu Barkhausena przy różnych częstotliwościach wzbudzenia i poddano je analizie za pomocą krótkoczasowej transformaty Fouriera. Uzyskane spektrogramy czasowo-częstotliwościowe poddano ocenie jakościowej i ilościowej. Trzy rodzaje próbek poddano jednoosiowemu obciążeniu rozciągającemu wzdłuż kierunku walcowania, w kierunku poprzecznym do walcowania oraz w kierunku ukośnym. Dla każdej konfiguracji realizowano pomiary magnetycznego szumu Barkhausena przy różnych kierunkach pola magnesującego. Wyniki badań zostaną przedstawione na plakacie oraz w publikacji.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Ocena stanu technicznego zbiorników magazynowych z zastosowaniem techniki Phased Array

Condition Assessment of Storage Tanks Using Phased Array

Jakub Kokosiński¹, Jacek Grześkowiak^{1,*}

¹ Urząd Dozoru Technicznego (UDT), ul. Szczęśliwiecka 34, Warszawa

*autor korespondencyjny: jacek.grzeskowiak@udt.gov.pl

Streszczenie

Zbiorniki magazynowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych w trakcie swojej eksploatacji poddawane są cyklicznym zmianom ciśnienia hydrostatycznego podczas ich napełniania i opróżniania, a także rozszerzalności termicznej. Powyższe zmiany wprowadzają dodatkowe naprężenia w spoinach pachwinowych pomiędzy płaszczem a pierścieniem obrzeżnym dna zbiornika. Spośród wszystkich elementów zbiornika dno wraz ze strefą krytyczną, pierwsza carga zbiornika oraz dach zbiornika są najbardziej narażonymi elementami. W referacie opisano pomiar strefy krytycznej za pomocą metody Phased Array.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Mikroogniskowe obrazowanie rentgenowskie zmian strukturalnych wywołanych obciążeniami mechanicznymi w próbkach wytwarzanych metodami przyrostowymi

Microfocus X-ray Imaging of Structural Changes Induced by Mechanical Loading in Additively Manufactured Specimens

Tomasz Chady^{1,*}, Ryszard Łukaszuk¹, Krzysztof Gorący², Marek Żwir²

¹ Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

² Katedra Inżynierii Polimerów i Biomateriałów, WTiCh, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

*autor korespondencyjny: tchady@zut.edu.pl

Streszczenie

Obserwowany w ostatnich latach rozwój przyrostowych technologii wytwarzania wyrobów pozwala na tworzenie elementów funkcjonalnych i strukturalnych, przenoszących znaczne obciążenia eksploatacyjne. Szczególnie interesujące perspektywy jawią się tu dla druku 3D z wykorzystaniem polimerów termoplastycznych, które używa się w technikach formowania z grupy FDM, tj. formowania gotowego wytworu z układanego miejscowo wcześniej uplastycznionego polimeru. Procesy wytwarzania mechanicznie odpowiedzialnych części z termoplastów lub kompozytów termoplastycznych technikami FDM dają w efekcie końcowym wytwory zwykle o zadanej geometrii, lecz strukturalnie różne od tych, które uzyskuje się technikami tradycyjnymi. Dla trwałości elementu w warunkach eksploatacji ważne jest zaobserwowanie, zrozumienie i opis wpływu poszczególnych cech mikrostruktury przestrzennej wytworu charakterystycznych dla druku 3D FDM na przenoszenie obciążeń oraz inicjowanie uszkodzeń i ich propagację w objętości wytworu. Kluczowe jest więc opracowanie metody szczegółowego obrazowania wewnętrznej struktury wydruków. W niniejszej pracy do obrazowania zaproponowano zastosowanie radiografii mikroogniskowej, która pozwala na uzyskiwanie wysokiej rozdzielczości przestrzennej. W odróżnieniu od mikrotomografii, badania radiograficzne można wykonać w warunkach przemysłowych, a czas ich wykonania jest nieporównywalnie krótszy. W artykule przeprowadzono obrazowanie dla kilkunastu próbek. Badania były przeprowadzane przed i po ich mechanicznym obciążeniu. Porównanie obrazów pozwoliło na wykrycie zmian strukturalnych i przeprowadzenie oceny wykonania.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Ocena udziału α' -martenzytu indukowanego odkształceniem w austenitycznej stali nierdzewnej na podstawie analizy wieloźródłowych odpowiedzi magnetycznych

Estimation of strain-induced α' -martensite content in austenitic stainless steel from multi-source magnetic responses

Grzegorz Psuj^{1,*}, Michał Maciusowicz¹, Benjamin Ducharme^{2,3}, Yves Armand Tene Deffo Deffo^{2,3}

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, al. Piastów 17, Szczecin

² ELYTMAX IRL3757, CNRS, Univ Lyon, INSA Lyon, Centrale Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Tohoku University, 980-8577 Sendai, Japan

³ LGEF, INSA-Lyon, UR682, University Lyon, 69621 Villeurbanne, France

⁴ Faculty of Engineering and Technology, University of Buea, Buea P.O. Box 63, Cameroon

⁵ Laboratory of Electrical Engineering and Computing (LEEC), University of Buea, Buea P.O. Box 63, Cameroon

*autor korespondencyjny: gpsuj@zut.edu.pl

Abstract

This work investigates the effect of α' -martensite content on the magnetic response of austenitic stainless steels used in hydrogen applications. Magnetic signals acquired during low-frequency magnetization were subjected to multimodal and multi-domain analysis employing time-, frequency-, and time-frequency-domain representations. The extracted features were subsequently used in multivariate data analysis to assess their sensitivity to α' -martensite formation. The results demonstrate that combining magnetic measurements with data-driven approaches provides a robust and quantitative tool for evaluating martensitic transformation, opening new possibilities for intelligent structural health monitoring of hydrogen-compatible steels.

Acknowledgement

This research was partially supported by the Polish-French PHC Polonium project No. BPN/BFR/2024/1/00014 entitled “Studies on the method of detecting the stress-induced martensitic phase precipitation in stainless steels through the magnetization process observation”, funded by the Polish National Agency for Academic Exchange (NAWA) and the French Ministry for Europe and Foreign Affairs, the Ministry of Higher Education, Research and Innovation, through the Ambassade de France en Pologne – Service de Coopération et d’Action Culturelle.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Opracowanie wysokoczęstotliwościowej metody badań ultradźwiękowych złączy klejonych divertorów reaktorów fuzji jądrowej

Development of High-Frequency Ultrasonic Inspection for Bonded Interfaces in Fusion Reactor Divertors

Noritaka Yusa^{1,*}

¹ Department of Quantum Science and Energy Engineering, Tohoku University, Sendai, Japonia

*autor korespondencyjny: noritaka.yusa.d5@tohoku.ac.jp

Abstract

Fusion energy has gained significant attention in recent years. Magnetically confined deuterium–tritium plasma is currently regarded as one of the most promising approaches to practical fusion power. However, fusion reactors differ fundamentally from conventional power plants, including fission reactors, and many engineering challenges must be resolved before commercial deployment. The divertor, responsible for exhausting plasma particles, is a particularly demanding component that must withstand and remove extreme heat fluxes. Although its final design has not yet been established, one promising concept joins tungsten armor to copper-alloy cooling tubes. Tungsten provides a high melting point, whereas the copper alloy offers high thermal conductivity. However, joining these dissimilar materials is challenging. Bonding defects may impair heat-removal performance and lead to divertor damage. This presentation investigates the feasibility of high-frequency ultrasonic testing for inspection of the bonded interface. Our results suggest that this technique can detect not only small delaminations on the order of several micrometers, but also grain coarsening caused by inappropriate bonding conditions. These findings demonstrate the potential of high-frequency ultrasonic testing to support the reliability assessment of bonded divertor components.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Inspekcja i monitoring infrastruktury krytycznej w morskich operacjach wydobywania ropy naftowej i gazu

Inspection and Monitoring of Critical Infrastructure in Offshore Oil & Gas Operations

Cesar Giron Camerini^{1,*}

¹ Non-Destructive Testing, Corrosion and Welding Laboratory (LNDC), Metallurgical and Materials Engineering Program (PEMM) / COPPEFederal, University of Rio de Janeiro (UFRJ)

*autor korespondencyjny: cgcamerini@metalmat.ufrj.br

Abstract

The presentation explores the challenges and strategies for ensuring the integrity of critical offshore assets. It will discuss about oil pipeline inspection using in-line inspection tools (PIGs) with eddy current probes for weld inspection, subsea ROV based inspection replacing divers in several inspection activities, and structural monitoring technologies for topside pipelines. The presentation also addresses the integration of these technologies with predictive maintenance approaches, highlighting their role in enhancing safety and supporting asset life extension in offshore oil and gas operations in Brazil.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

**Zastosowanie metody FMC–TFM do wykrywania wad w materiałach na bazie aluminium
wytwarzanych techniką druku 3D**

**Defect Detection in Additively Manufactured Aluminum-Based Materials Using Full Matrix Capture
and the Total Focusing Method**

Dariusz Ulbrich^{1,*}, Olivier Fromentin², Konrad Gruber³, Jacek Urbańczyk⁴

¹ Poznań University of Technology, Poznań - 60-965, Poland

² Eddyfi Technologies, Villebon-sur-Yvette - 91141, France

³ Wrocław University of Science and Technology, Wrocław - 50-371, Poland

⁴ Testing, Katowice - 40-748, Poland

*autor korespondencyjny: dariusz.ulbrich@put.poznan.pl

Streszczenie

Wytwarzanie przyrostowe obejmuje technologie, w których elementy powstają poprzez nakładanie kolejnych warstw materiału. Jedną z nich jest technologia Laser Powder Bed Fusion, polegające na selektywnym stapianiu proszku metalowego wiązką lasera. Technologia ta umożliwia wykonywanie części o złożonych kształtach z dużą dokładnością. W artykule przedstawiono wyniki badań ultradźwiękowych próbki wykonanej metodą LPBF z proszku stopu aluminium AlSi7Mg0,6. Celem badań było wykrycie 12 celowo wprowadzonych wad wewnętrznych o średnicach od 0,1 do 1,5 mm, odwzorowujących niezgodności mogące powstawać podczas procesu wytwarzania. Badania przeprowadzono przy użyciu defektoskopu ultradźwiękowego Cypher 64:128-TFM128, wyposażonego w głowicę 64-elementową pracującą z częstotliwością 15 MHz. Uzyskane wyniki potwierdziły możliwość wykrywania wad w materiale wytworzonym przyrostowo. Zidentyfikowano 10 z 12 wprowadzonych wad, których średnice mieściły się w zakresie od 0,3 do 1,5 mm. Przedstawiona metoda może znaleźć zastosowanie w kontroli jakości części produkowanych w zakładach wykorzystujących technologię LPBF.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Diagnostyczny aspekt modeli regresyjnych połączenia powłoki szpachlówkowej z podłożem stalowym

Diagnostic aspect of regression models of the joint between the putty coating and the steel substrate

Ryszard Mańczak^{1,*}

¹ Politechnika Poznańska, ul. Jacka Rychlewskiego 1, Poznań

* autor korespondencyjny: ryszard.manczak@put.poznan.pl

Streszczenie

Proces degradacji połączeń adhezyjnych powłok szpachlówkowych z podłożami stalowymi stosowanymi w procesach napraw nadwozi pojazdów samochodowych przebiega głównie wskutek mechanicznej degradacji tych połączeń. W ramach przeprowadzonych prac wykonano laboratoryjne badania degradacji tych połączeń, poddając je cyklicznym mechanicznym obciążeniom. Zmieniający się stan połączeń monitorowano za pomocą ultradźwiękowej fali powierzchniowej propagującej wzdłuż granicy połączenia oraz za pomocą ultradźwiękowej fali podłużnej odbitej od granicy połączenia. Podczas monitorowania stanu rejestrowano takie parametry fali jak wzmocnienie, moduł ciśnieniowego współczynnika odbicia, dominującą częstotliwość oraz pasmo przenoszenia. Analiza zmian przebiegu zarejestrowanych parametrów stanowi bazę do diagnozowania stanu połączeń na podstawie opracowanych modeli. Przebiegi zmian parametru wzmocnienia fali dobrze obrazują zmiany zachodzące w połączeniach podczas całego procesu degradacji, natomiast zmiany w wartościach parametrów takich jak dominująca częstotliwość oraz pasmo przenoszenia stanowią dodatkową informację do wskazania momentu wystąpienia końcowego etapu degradacji, cechującego się szybkim odspojeniem powłok od podłoża.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Analiza możliwości wykorzystania metod badań nieniszczących do oceny stanu pojazdu samochodowego w warunkach badania technicznego w stacji kontroli pojazdów

An Analysis of the Feasibility of Using Non-Destructive Testing Methods to Assess the Condition of a Motor Vehicle During a Technical Inspection at a Vehicle Inspection Station

Marian Jósko^{1,*}, Jakub Kowalczyk¹

¹ Politechnika Poznańska, ul. Jacka Rychlewskiego 1, Poznań

* autor korespondencyjny: marian.josko@put.poznan.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę możliwości zastosowania metod badań nieniszczących (NDT) w ocenie stanu technicznego pojazdów samochodowych, ze szczególnym uwzględnieniem ich wykorzystania podczas okresowych badań technicznych. Podstawowym celem pracy było wskazanie obszarów, w których zastosowanie metod NDT może rozszerzyć zakres klasycznej diagnostyki pojazdów oraz umożliwić identyfikację uszkodzeń niewykrywalnych lub trudnych do jednoznacznej oceny za pomocą standardowych metod, stosowanych w stacjach kontroli pojazdów. Szczególną uwagę zwrócono na metody umożliwiające wykrywanie pęknięć powierzchniowych i podpowierzchniowych, zmian grubości (np. tarcze hamulcowe – badanie bez demontażu). Przeanalizowano możliwość zastosowania poszczególnych metod NDT do oceny elementów, mających istotny wpływ na bezpieczeństwo użytkowania pojazdu. Analizie poddano także możliwość diagnostyki elementów konstrukcyjnych podwozia i nadwozia. Wskazano, że badania ultradźwiękowe mogą znaleźć zastosowanie w ocenie grubości ścianek elementów narażonych na korozję, natomiast badania magnetyczno-proszkowe mogą być wykorzystane do wykrywania nieciągłości powierzchniowych i podpowierzchniowych w elementach wykonanych z materiałów ferromagnetycznych. W pracy dokonano oceny możliwości implementacji wybranych metod NDT w warunkach stacji kontroli pojazdów. Uwzględniono takie czynniki, jak czas wykonania badania, dostępność elementu bez konieczności jego demontażu, powtarzalność wyników, koszt wyposażenia pomiarowego oraz wymagania dotyczące kwalifikacji personelu. Przeprowadzona analiza wskazuje na istotny potencjał metod NDT w diagnostyce pojazdów samochodowych, szczególnie w odniesieniu do elementów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo czynne i bierne pojazdu. Wyniki pracy mogą stanowić podstawę do opracowania dedykowanych procedur diagnostycznych oraz kryteriów oceny, umożliwiających wykorzystanie wybranych metod badań nieniszczących w procedurach okresowych badań technicznych pojazdów samochodowych.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Mobilne badania powierzchni 3D w inspekcji konstrukcji lotniczych przy użyciu platformy GelSight Mobile. Przykłady zastosowań w Polsce

Mobile 3D surface inspection of aircraft structures using the GelSight Mobile platform: examples of applications in Poland

Piotr Goździcki^{1,*}

¹ Everest Polska Sp. z o.o., Geodetów 176, 05-500 Piaseczno, Polska

* autor korespondencyjny: piotr.gozdzicki@everestvit.pl

Streszczenie

Tradycyjne inspekcje wizualne w lotnictwie charakteryzują się subiektywnością oraz ryzykiem błędu ludzkiego. Zastosowanie technologii kontaktowego pomiaru 3D z mikronową rozdzielczością pozwala na uzyskanie dokładnych i powtarzalnych wyników, eliminując w znacznym stopniu czynnik ludzki. Sercem systemu GelSight jest opatentowana platforma elastomerowa, która dopasowując się do kształtu obiektu, rejestruje jego topografię. Proces ten przebiega niezależnie od warunków oświetleniowych, przezroczystości czy współczynnika odbicia światła materiału. W pracy przedstawiono praktyczne wykorzystanie systemu GelSight Mobile w inspekcji konstrukcji lotniczych. Omówiono korzyści płynące z jego wdrożenia oraz konkretne przykłady użycia, obejmujące detekcję zarysowań, wżerów korozyjnych, pomiary chropowatości powierzchni oraz ocenę średnicy otworów.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Badania biegłości według PN-EN ISO/IEC 17043:2023-10

Proficiency Testing in Accordance with PN-EN ISO/IEC 17043:2023-10

Martyna Domagalska^{1,*}

¹ Urząd Dozoru Technicznego, ul. Szczęśliwicka 34, 02-353 Warszawa, Polska

* autor korespondencyjny: martyna.domagalska@udt.gov.pl

Streszczenie

Badania biegłości stanowią jedno z podstawowych narzędzi potwierdzania kompetencji laboratoriów badawczych oraz zapewnienia wiarygodności uzyskiwanych wyników. W referacie przedstawione zostaną najważniejsze wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17043:2023-10 dotyczącej organizacji badań biegłości, ze szczególnym uwzględnieniem wymagań technicznych i systemowych stawianych organizatorom. Omówione zostaną również zagadnienia związane z akredytacją organizatorów badań biegłości oraz wymagania, które należy spełnić w celu jej uzyskania. W dalszej części zaprezentowane zostaną pilotażowe badania biegłości, które odbyły się w CLDT z zakresu próby rozciągania oraz pomiaru twardości metodą Vickersa. Przedstawiony zostanie przebieg realizacji badań, charakterystyka obiektów badań biegłości, zastosowane podejście do oceny wyników oraz najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Referat zakończy prezentacja planowanych programów badań biegłości w obszarze badań nieniszczących, obejmujących badania magnetyczno-proszkowe (MT) oraz penetracyjne (PT). Przedstawione zostaną założenia organizacyjne oraz zakres przyszłych programów. Wszystkich zainteresowanych serdecznie zapraszamy do udziału w organizowanych badaniach biegłości.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Kompleksowa diagnostyka pęcherzy wodorowych w urządzeniach przemysłu petrochemicznego z wykorzystaniem metody Emisji Akustycznej oraz oceny Fitness-For-Service

Comprehensive diagnostics of hydrogen blisters in petrochemical industry equipment using Acoustic Emission Testing and Fitness-For-Service Assessment

Jan Płowiec^{1,*}, Kinga Kochańska¹, Anna Dobkowska¹

¹ Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, Polska

* autor korespondencyjny: jan.plowiec@pw.edu.pl

Streszczenie

Celem pracy jest przedstawienie kompleksowej metodyki diagnostyki uszkodzeń wodorowych w urządzeniach przemysłu petrochemicznego, z wykorzystaniem badań nieniszczących (NDT) oraz analizy Fitness-For-Service (FFS). W pracy przedstawiono przypadek diagnostyczny, w którym podczas badań emisji akustycznej (AT) wykryto i zlokalizowano na dennicy zbiornika ciśnieniowego bardzo aktywne źródło emisji akustycznej. Na podstawie przyjętych kryteriów oceny źródło zakwalifikowano do klasy III. Wskazanie zostało następnie zweryfikowane i scharakteryzowane z wykorzystaniem uzupełniających metod NDT, obejmujących badania wizualne (VT) oraz badania ultradźwiękowe techniką Phased Array (PA). Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły zidentyfikować wykryte nieciągłości jako pęcherze wodorowe. Kolejny etap prac obejmował określenie rzeczywistej geometrii wykrytych nieciągłości, umożliwiające ocenę ich potencjalnego wpływu na integralność konstrukcji. Analizę przeprowadzono z zastosowaniem kryteriów Fitness-For-Service (FFS) określonych w API 579-1/ASME FFS-1. Połączenie wyników badań NDT, obejmujących wykrycie, lokalizację i ocenę aktywności źródła metodą AT oraz szczegółową charakterystykę nieciągłości za pomocą VT i PA, z analizą FFS umożliwiło ocenę wpływu zidentyfikowanych pęcherzy wodorowych na integralność konstrukcji oraz możliwość dalszej bezpiecznej eksploatacji urządzenia.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Ocena możliwości zastosowania termografii w diagnostyce wtryskiwaczy Common Rail

Assessment of the applicability of thermography for diagnosing the technical condition of common rail injector

Tomasz Osipowicz^{1,*}, Karol Franciszek Abramek¹

¹Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, al. Piastów 17, Szczecin

* autor korespondencyjny: tosipowicz@zut.edu.pl

Streszczenie

Wtryskiwacze układów Common Rail należą do precyzyjnych elementów współczesnych silników o zapłonie samoczynnym, a ich stan techniczny ma istotny wpływ na prawidłowy przebieg procesu wtrysku paliwa. Zużycie elementów współpracujących wtryskiwacza może prowadzić między innymi do zmian dawki wtrysku oraz zwiększenia przepływu przelewowego. Zjawiskom tym towarzyszą procesy hydrauliczne i cieplne, które mogą powodować zmiany temperatury poszczególnych obszarów wtryskiwacza. Celem pracy jest ocena możliwości zastosowania termografii jako metody wspomagającej diagnostykę wtryskiwaczy Common Rail. Badania obejmują pomiary parametrów hydraulicznych wtryskiwaczy na stanowisku probierczym oraz rejestrację rozkładu temperatury ich powierzchni za pomocą kamery termowizyjnej. Analizie poddano zależności pomiędzy dawką wtrysku, przepływem przelewowym oraz temperaturą korpusu wtryskiwacza w określonych warunkach jego pracy. Na podstawie uzyskanych wyników została przeprowadzona ocena zależności pomiędzy zmianami parametrów hydraulicznych a temperaturą badanych wtryskiwaczy. Szczególną uwagę zwrócono na możliwość wykorzystania różnicy temperatur pomiędzy wtryskiwaczem badanym a wtryskiwaczem referencyjnym jako dodatkowego parametru diagnostycznego. Wyniki badań pozwalają określić potencjał oraz ograniczenia zastosowania termografii w diagnostyce stanu technicznego wtryskiwaczy układów Common Rail.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Terahercowy czujnik z metapowierzchnią MEMS wykorzystujący rezonans Fano

A MEMS-Based Terahertz Metasurface Sensor Exploiting Fano Resonance

Przemysław Łopato^{1,*}, Michał Herbko¹, Anil Babu Badisa¹, Marcin Ziółkowski¹, Adam Żywica¹, Pranesh Kondamarri², Julien Petit², Andras Kovacs², Ulrich Mescheder², Volker Bucher²

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, al. Piastów 17, Szczecin

² Furtwangen University

* autor korespondencyjny: plopato@zut.edu.pl

Abstract

Terahertz (THz) metasurfaces have emerged as promising platforms for highly sensitive and compact sensing technologies, owing to their ability to interact strongly with electromagnetic radiation. Their sensitivity to changes in the local dielectric environment makes them attractive for chemical, biological, and material characterization, as well as for the non-destructive evaluation (NDE) of advanced materials and structures. In particular, metasurfaces supporting Fano resonances offer narrow spectral features and high-quality-factor (Q-factor) responses, enabling the detection of small changes in the surrounding medium or in the properties of the investigated object. However, the performance of conventional passive metasurface sensors is generally limited by fixed geometrical parameters and, consequently, a non-tunable resonance response. This work proposes a MEMS-based terahertz metasurface sensor incorporating mechanically tunable elements to actively control its electromagnetic response. The magnetic-field-driven MEMS actuation enables the modification of the effective geometry and field coupling within the metasurface, providing dynamic tuning of the Fano resonance frequency and spectral characteristics. Such reconfigurability can improve sensor adaptability to different measurement conditions and enable the optimization of the resonance for specific sensing tasks. The proposed concept combines the high sensitivity and spectral selectivity of Fano-resonant metasurfaces with the miniaturization and tunability offered by MEMS technology, providing a versatile platform for THz sensing and potential NDT/NDE applications.

Acknowledgement

This work was conducted within the project funded by the National Science Centre (NCN, Poland) grant no. 2022/47/I/ST7/02055 and Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, Germany), grant no. ME 2093/9-1, within the OPUS-24 (LAP) project "Investigation of electromagnetic properties of terahertz meta-surfaces tunable using multidirectional magnetic field".

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Badania konstrukcji lotniczych z wykorzystaniem automatyzacji zbierania i analizy danych

Inspection on Aircraft Structures Using Automated Data Collection and Analysis

Krzysztof Dragan¹, Piotr Synaszkowski¹, Michał Dziendzikowski¹, Patryk Ciężak¹, Jakub Kotowski¹

¹ ITWL (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych), ul. Ks. Bolesława 6, Warszawa, Polska

* autor korespondencyjny: krzysztof.dragan@itwl.pl

Streszczenie

Obrazowanie struktur z wykorzystaniem metod badań nieniszczących coraz częściej oparte jest o wykorzystanie automatyzowanych metod badań nieniszczących. Automatyzacja metod pozwala na rejestrowanie zbiorów danych zawierających dane obrazowe. Analiza takich zbiorów w szczególności dla struktur podlegających eksploatacji wymusza stosowanie metod komparatywnych tzn. wykorzystujących dane historyczne. Badanie takie jest czasochłonne a konieczność określania obszarów uszkodzenia wydłuża znacząco czas oceny. W artykule przedstawione zostanie podejście do automatyzacji wykonywania badań nieniszczących na statkach powietrznych wraz oceną możliwości automatyzacji ich detekcji w oparciu o algorytmy uczenia maszynowego. Artykuł przedstawi podejście i problematykę badań struktur lotniczych. Omówione zostanie wykorzystanie metod: ultradźwiękowej i prądów wirowych.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Ocena porowatości i wad w geometrycznie złożonych strukturach kompozytowych z wykorzystaniem ultradźwiękowej głowicy Matrix-Array i zaawansowanego algorytmu rekonstrukcji

Evaluation of Porosity and Defects in Geometrically Complex Composite Structures Using a Matrix-Array Ultrasonic Probe and an Advanced Reconstruction Algorithm

Krzysztof Dragan¹, Marcin Lewandowski², Piotr Karwat², Piotr Jarosik²

¹ ITWL (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych), ul. Ks. Bolesława 6, Warszawa, Polska

² US4US Sp. z o.o., Polska

* autor korespondencyjny: krzysztof.dragan@itwl.pl

Streszczenie

Rozwój systemów badań nieniszczących (NDE) wymaga programowalnych, wysokowydajnych rozwiązań ultradźwiękowych, umożliwiających przetwarzanie danych w czasie rzeczywistym oraz płynną integrację z metodami sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego (AI/ML). Materiały kompozytowe, szeroko stosowane w przemyśle lotniczym i kosmicznym, stanowią wyjątkowe wyzwanie badawcze ze względu na ich złożoną geometrię, w tym objętościowe tryby uszkodzeń, w szczególności porowatość i rozwarstwienie. Tradycyjne badania ultradźwiękowe lub badania ultradźwiękowe z wykorzystaniem głowic wieloelementowych (Phased Array Ultrasonic Testing, PAUT) borykają się z ograniczeniami możliwości przetwarzania danych wymaganych do szczegółowego obrazowania tomograficznego pozwalającego między innymi na ocenę rozkładu porów i porowatości. W niniejszym artykule przedstawiono podejście do oceny takich struktur obejmujące nowatorski, programowalny wielokanałowy skaner ultradźwiękowy wyposażony we wbudowany wysokowydajny procesor graficzny (GPU) oraz zaawansowane algorytmy analizy sygnałów ultradźwiękowych. W artykule przedstawione zostanie podejście do oceny takich struktur z wykorzystaniem zaawansowanych algorytmów ultradźwiękowej rekonstrukcji tomograficznej w czasie rzeczywistym, specjalnie dostosowanych do diagnozowania wad produkcyjnych, takich jak porowatość w elementach kompozytowych o złożonej geometrii. Ponadto, przedstawione zostanie podejście do oceny rejestrowanych sygnałów diagnostycznych z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Wykorzystanie techniki dronowej (bezzałogowych statków powietrznych BSP) jako metody wspierającej wykonywanie inspekcji i badań technicznych. Możliwości szkoleniowe w BCU SKYPORT Katowice

UAV Technology as a Supporting Tool for Technical Inspections and Assessments: Training Opportunities at BCU SKYPORT Katowice

Marcin Kelm¹

¹ Branżowe Centrum Umiejętności SKYPORT – Zakładu Doskonalenia Zawodowego, 40-019 Katowice, ul. Z. Krasńskiego 2

* autor korespondencyjny: bcu.skyport@zdz.katowice.pl

Streszczenie

Rozwój bezzałogowych statków powietrznych (BSP) oraz ich wyposażenia sensorowego stwarza nowe możliwości wspomagania procesów inspekcji i oceny stanu technicznego infrastruktury. Współczesne platformy mogą integrować kamery RGB z wysokiej klasy zoomem optycznym, sensory termowizyjne oraz dalmierze laserowe, umożliwiając pozyskiwanie danych z miejsc trudno dostępnych oraz ograniczając konieczność prowadzenia części prac w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu. Zebrane dane, posiadające także geolokalizację, mogą być następnie poddawane analizie i wizualizacji w czytelny sposób, umożliwiając podejmowanie decyzji biznesowych opartych na dowodach. W referacie przedstawiono przykłady zastosowania BSP w energetyce, w tym podczas inspekcji instalacji fotowoltaicznych, turbin wiatrowych, ciepłociągów i infrastruktury technicznej, a także w budownictwie – w diagnostyce wizualnej elewacji, dachów, konstrukcji wysokich i innych elementów infrastruktury. Omówiono również znaczenie jakości danych, właściwego doboru parametrów misji oraz procesu analitycznoraportowego. Uzupełnieniem części technicznej jest prezentacja możliwości szkoleniowych BCU SKYPORT Katowice w zakresie praktycznego wykorzystania BSP i danych przestrzennych.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Zarządzanie jakością i trwałością lin stalowych z wykorzystaniem metod probabilistycznych

Quality and Durability Management of Steel Ropes Using Probabilistic Methods

Maciej Matuszewski¹

¹ Politechnika Bydgoska, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

* autor korespondencyjny: matus@pbs.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono podejście do zarządzania jakością i trwałością lin stalowych z wykorzystaniem metod probabilistycznych. Podstawę analizy stanowią wyniki badań diagnostycznych lin, w szczególności sygnały uzyskiwane podczas badań magnetycznych, które ze względu na losowy charakter procesu zużywania poddano analizie statystycznej. W celu określenia charakteru zmienności parametrów diagnostycznych rozpatrzono możliwość zastosowania wybranych rozkładów prawdopodobieństwa, w tym rozkładu gamma i Weibulla. Dobór modelu probabilistycznego przeprowadzono z wykorzystaniem testów zgodności, a następnie określono prawdopodobieństwo osiągnięcia wartości progowych przyjętych jako kryterium pogorszenia się stanu technicznego liny. Przedstawione podejście umożliwia wykorzystanie wyników monitorowania stanu lin do oceny ich jakości eksploatacyjnej, identyfikacji zmian cech użytkowych oraz wspomagania decyzji dotyczących dalszej eksploatacji. Zastosowanie metod probabilistycznych może stanowić element systemu zarządzania jakością, pozwalając na wcześniejsze rozpoznanie niekorzystnych zmian stanu technicznego, ograniczenie ryzyka awarii oraz racjonalne planowanie działań diagnostycznych, obsługowych i eksploatacyjnych. W konsekwencji proponowane podejście może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa użytkowania lin stalowych oraz efektywnego wykorzystania ich potencjału eksploatacyjnego.

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Badania niszczące i nieniszczące konstrukcji uszkodzonej ściany oporowej

Destructive and non-destructive testing of the damaged retaining wall structure

Adam Klimek*, Krzysztof Schabowicz¹,

¹Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Katedra Budownictwa Ogólnego,
Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

*adam.klimek@pwr.edu.pl

Streszczenie

W artykule omówiono przypadek żelbetowej ściany oporowej na składowisku wysłodków z buraka cukrowego, która uległa awarii wskutek błędów projektowych, wykonawczych oraz niewłaściwego użytkowania. Przedstawiono wyniki analizy statyczno-wytrzymałościowej konstrukcji ściany oraz przyczyny awarii. Zaprezentowano wyniki badań wytrzymałości betonu metodami nieniszczącymi oraz metodą niszczącą w prasie do betonu. Omówiono specyfikę przypadku, w którym badania niszczące okazały się niewystarczające do wyznaczenia parametrów wytrzymałościowych betonu, niezbędnych do oceny trwałości konstrukcji w środowisku agresywnym chemicznie i musiały zostać uzupełnione badaniami nieniszczącymi. Przedstawiono koncepcję naprawy uszkodzonej konstrukcji żelbetowej, opracowaną w oparciu o wyniki badań wytrzymałościowych wykonanych trzema metodami.

Słowa kluczowe: beton; metoda nieniszcząca; metoda ultradźwiękowa, metoda sklerometryczna

Abstract

The article discusses the case of a reinforced concrete retaining wall at a sugar beet pulp storage site that suffered a structural failure due to design and construction errors as well as improper use. The results of the structural analysis and the causes of the failure are presented. The findings of concrete strength tests—conducted using both non-destructive methods and destructive testing in a concrete press—are also reported. The article addresses the specific nature of this case, where destructive testing proved insufficient to determine the concrete strength parameters required to assess the structure's durability in a chemically aggressive environment, necessitating supplementary non-destructive testing. Finally, a repair concept for the damaged reinforced concrete structure is presented, developed based on the results of strength tests performed using the three aforementioned methods.

Keywords: concrete; thickness measurement; non-destructive method; ultrasonic method, sclerometric method

STRESZCZENIA REFERATÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Wykrywalność nieciągłości spawalniczych z zastosowaniem radiografii analogowej i cyfrowej – analiza porównawcza

Detectability of welding discontinuities using analog and digital radiography – a comparative analysis

Łukasz Rawicki¹, Łukasz Janczarek^{1*}, Marcin Marszał¹, Dorota Koper¹

¹Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny – Centrum Spawalnictwa, 44-100 Gliwice ul. Błogosławionego Czesława 16-18

*lukasz.janczarek@git.lukasiewicz.gov.pl

Streszczenie

Badania radiograficzne RT należą do nieniszczących metod kontroli jakości złączy spawanych, pozwalających na ujawnienie nieciągłości wewnętrznych niewidocznych podczas badań wizualnych. Rozwój technik cyfrowych z zastosowaniem radiografii pośredniej (CR, ang. Computed Radiography) oraz radiografii cyfrowej bezpośredniej (DR, ang. Digital Radiography) istotnie zmienił praktykę przemysłową i zmienił sposób rejestracji obrazu radiograficznego na błonie radiograficznej np. na detektory cyfrowe. Promieniowanie X lub γ przenika przez badany materiał, ulegając osłabieniu zależnemu od grubości, gęstości i materiału na drodze promieniowania jonizującego. Różnica w zacernieniu (błona radiograficzna) lub sygnale cyfrowym (detektor elektroniczny) interpretowana jest przez operatora jako obraz nieciągłości. Parametry decydujące o wykrywalności nieciągłości to kontrast obrazu, rozdzielczość przestrzenna wpływająca na zdolność rozróżnienia drobnych detali, stosunek sygnału do szumu (SNR), czułość obrazu wyrażana klasą wskaźnika jakości obrazu (IQI). Celem opracowania jest porównanie obu technik pod kątem zdolności do wykrywania typowych nieciągłości spawalniczych jakimi są braki przetopu, pęcherze, wtrącenia żużla czy podtopienia.

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących

Kołobrzeg

19 - 22 października 2026

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

NDT *System*

www.ndt-system.com.pl

Dostawca urządzeń i materiałów do badań nieniszczących dla przemysłu jutra.

Od roku 1991 oferujemy unikalne materiały i urządzenia z zakresu badań nieniszczących.

Nasza firma dostarcza produkty, spełniające najwyższe oczekiwania klientów. Zapewniamy kompleksowe wsparcie i fachową pomoc techniczną oraz serwis techniczny gwarancyjny i pogwarancyjny.

Nasza oferta obejmuje szeroki wybór urządzeń NDT, w tym aparaty rentgenowskie, błony radiograficzne, systemy radiografii cyfrowej, materiały PT i MT, skanery, defektoskopy, stanowiska badawcze, wzorce i próbki odniesienia oraz oprogramowanie specjalistyczne.

Oferujemy uruchomienia, szkolenia z obsługi naszych produktów oraz profesjonalne doradztwo techniczne.



KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

NDTSystem

SPRAWDZONE ROZWIĄZANIA DLA PRZEMYSŁU



MAGNAFLUX

MATERIAŁY DO BADAŃ NIENISZCZĄCYCH

ZA-800

**ZINTEGROWANY SYSTEM
DO BADAŃ PENETRACYJNYCH (PT)**

Magnaflux ZA-800 to nowoczesny, wysokowydajny system modułowy przeznaczony do szybkich i niezawodnych badań penetracyjnych. Zapewnia doskonałą jakość kontroli, powtarzalne wyniki oraz spełnia wymagania współczesnej produkcji przemysłowej.



**WYSOKA WYDAJNOŚĆ
NIEZAWODNA KONTROLA
W KAŻDYM DETALU**



**MODUŁOWA
KONSTRUKCJA**

Łatwe dopasowanie
do potrzeb produkcji



**ELASTYCZNA
KONFIGURACJA**

Linia prosta, układ U lub L
w zależności od dostępnej
przestrzeni



**WYSOKA
WYDAJNOŚĆ**

Szybki i niezawodny
proces kontroli



**ZINTEGROWANY
SYSTEM**

Kompletne rozwiązanie
w jednym procesie



**BEZPIECZEŃSTWO
I EKOLOGIA**

Zgodność
z obowiązującymi
normami

ZASTOSOWANIE



Przemysł lotniczy



Motoryzacja



Przemysł maszynowy



Energetyka



Petrochemia



Przemysł stoczniowy



Konstrukcje stalowe



Ogólne zastosowania przemysłowe

PRZYKŁADOWA KONFIGURACJA LINII ZA-800



**PEWNOŚĆ
W KAŻDYM
DETALU**



MAGNAFLUX

SPRAWDZONE
ROZWIĄZANIA
DLA PRZEMYSŁU

NDT System

Twój partner w badaniach nieniszczących.

www.ndt-system.com.pl

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

NDT System

SPRAWDZONE
ROZWIĄZANIA
DLA PRZEMYSŁU

NDT System

Kompleksowe rozwiązania
w badaniach nieniszczących

NDT System od 1991 roku dostarcza materiały, urządzenia i kompleksowe rozwiązania do badań nieniszczących. Reprezentujemy uznanych producentów, takich jak **Magnaflux** i **Baker Hughes**, oferując szeroką gamę produktów i technologii do metod PT, MT i RT.

W naszej ofercie znajdują się m.in. penetranty, wywoływacze, zmywacze, zawiesziny magnetyczne, lampy UV-A, urządzenia NDT, a także materiały do radiografii przemysłowej, w tym filmy RTG firmy Baker Hughes.

Wspieramy naszych klientów na każdym etapie – od doboru odpowiednich rozwiązań, poprzez doradztwo techniczne, aż po serwis gwarancyjny i pogwarancyjny.

Doświadczenie. Wiedza. Wsparcie.

NDT System – niezawodny partner w zapewnieniu bezpieczeństwa i jakości.

PT

BADANIA
PENETRACYJNE

MT

BADANIA
MAGNETYCZNO-
PROSZKOWE

RT

RADIOGRAFIA
PRZEMYSŁOWA

FILMY RTG
I WYPOSAŻENIE
BAKER HUGHES



SZEROKA OFERTA
PRODUKTÓW



DORADZTWO
TECHNICZNE



WSPARCIE
NA KAŻDYM ETAPIE



SERWIS
GWARANCYJNY
I POGWARANCYJNY

NASI
PARTNERZY



www.ndt-system.com.pl

JAKOŚĆ
BEZ KOMPROMISÓW

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Everest Mentor Flex+ VideoProbe™



 **Waygate Technologies**
a Baker Hughes business

Więcej sond, więcej możliwości

Z tym wytrzymałym sprzętem sprostasz każdemu badaniu i wykonasz każde zadanie.

Wymienne sondy robocze: Sondy o średnicy 4,0 mm i 6,1 mm zapewniają pełną elastyczność, a sonda 6,2 mm z wewnętrznym kanałem roboczym współpracuje z najbardziej kompletnym systemem narzędzi do usuwania ciał obcych.

[Zeskanuj mnie](#)



badania wizualne
Everest
Polska 

Everest Polska Sp. z o.o.
ul. Geodetów 176, 05-500 Piaseczno k. Warszawy
tel. (+48 22) 750 50 83, faks: (+48 22) 750 70 21
email: everestvit@everestvit.pl, www.everestvit.pl

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



**Omnicontrol to doświadczenie
i partnerstwo**



Oferujemy urządzenia do badań nieniszczących NDT i zdalnej inspekcji wizualnej RVI firmy EVIDENT (dawniej Olympus).

Zapraszamy do współpracy: zapytania@omnicontrol.pl



Omnicontrol Sp. z o.o.

ul. Rynek 10, 62-300 Wąszędnia | 61 623 23 88 | biuro@omnicontrol.pl | KRS 000119731 | NIP 7891804582 | REGON 529171775

Sąd Rejonowy Poznań – Nowe Miasto i Wilda w Poznaniu, IX Wydział Gospodarczy.

Rachunek PLN: 8010204115000960202726128 | Rachunek EUR: 7310204115000920202713014

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

PTS
josef solnař

Podstawowe informacje o firmie

Akredytowane Laboratorium kalibracji



Salę wyposażone nowoczesnym sprzętem

Firma PTS Josef Solnař została założona 7 sierpnia 1990.

Cele i działalność:

- Produkcja, naprawa i modernizacja sprzętu, systemów NDT
- Sprzedaż sprzętu, przyrządów i materiałów eksploatacyjnych
- Kalibracja urządzeń do badań nieniszczących dla metod UT, MT, ET, PT, RT

Defektoskop wiroprowodowy DVP-104

To profesjonalne urządzenie produkowane firmą PTS Josef Solnař s.r.o. służące do wykrywania wad materiałów ferromagnetycznych i nieferromagnetycznych, naprz. podłużnie spawanych rur.

Urządzenie wbudowane jest do 19" skrzyni, zawiera LCD przemysłowy komputer z ekranem dotykowym 10".



BADANIA ET

PTS
josef solnař

Tunele demagnetyzacyjne



Cewki demagnetyzacyjne dostosowane wymaganiom klienta.

Urządzenia demagnetyzacyjne DT z przetwornicą częstotliwości wykorzystywane są do demagnetyzacji materiałów, kiedy wszystkie inne metody zawodzą.

DEMAGNETYZACJA

PTS
josef solnař

Defektoskopy magnetyczne serii MAS HD



Defektoskopy przeznaczone do badań metodą magnetyczno proszkową serii MAS.

BADANIA MT

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



TWÓJ PARTNER W BADANIACH



Działalność

Od początku naszej działalności współpracujemy ze światowymi liderami z branży badań niszczących oraz nieniszczących, którzy wytwarzają środki, sprzęt i systemy najwyższej jakości o najlepszych parametrach dla różnych gałęzi przemysłu. Zgodnie ze swoją misją pomagamy polskim producentom, poddostawcom i usługodawcom osiągać ich cele. Współpraca z nami to gwarancja skutecznego i profesjonalnego działania. Dzięki temu oszczędzony zostanie czas, kapitał oraz zasoby, uzyskując jednocześnie gwarancję najwyższej jakości. Stale śledzimy najnowsze trendy technologiczne w dziedzinie badań niszczących i nieniszczących, a następnie wdrażamy je na polskim rynku NDT. Nawiązanie współpracy z naszą firmą będzie dla Państwa inwestycją w najlepsze rozwiązania zapewnienia jakości.

Oferta

Nasza oferta obejmuje produkty niezbędne do wykonywania badań nieniszczących:

- RADIOGRAFIA – tradycyjna (ekspozycja, ciemnia, ocena, ochrona), cyfrowa 2D i 3D, tomografia komputerowa, kabiny live, systemy mobilne i stacjonarne, doradztwo
- ULTRADŹWIĘKI – defektoskopy, głowice, kable, mierniki grubości ścianki i powłoki, wzorce, akcesoria, systemy in-line, Phased Array i TOFD
- MAGNETYCZNO-PROSZKOWE – środki do badań, defektoskopy, generatory pola, lampy UV, wzorce, mierniki, akcesoria, defektoskopy stacjonarne i systemy automatyczne
- PENETRACYJNE – środki do badań, wzorce, rozpylacze, akcesoria, ławy do badań manualnych, systemy automatyczne
- WIZUALNE – mikrobioskopy, boroskopy, fiberoskopy, endoskopy, zestawy inspekcyjne, systemy modułowe, mikroskopy, akcesoria
- WIROPRAŁY – defektoskopy mobilne, systemy stacjonarne

Ponadto oferujemy urządzenia do pomiaru przepływu i szczelności oraz badania głębokości pęknięć, twardości a także sprzęt i środki związane z przygotowaniem próbek do metalografii.

AGFA

Waygate Technologies
Industrial Inspection Solutions

X-RiS
X-RAY IMAGING SOLUTIONS

KARL DEUTSCH

viZaar
Industrial Imaging AG

JME
ADVANCED INSPECTION SYSTEMS

HEITEC

FGB

FOERSTER

Remet

Kemet

SAFARI TECHNOLOGY

ESI **ESI** GmbH

CETA
DIGITAL

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

ndt-net

Sprzęt i akcesoria do badań nieniszczących



NDT-NET to firma z wieloletnim doświadczeniem w dostarczaniu sprzętu i oprogramowania do badań nieniszczących (NDT). Specjalizujemy się w technikach wizualnych (wideoendoskopy, boroskopy, fiberoskopy), radiografii analogowej i cyfrowej (CR i DR), a także ultradźwiękowych.

Nasza oferta obejmuje:

- Szeroką gamę urządzeń NDT renomowanych producentów, takich jak NDTec, 3ENDT,
- Akcesoria do badań NDT,
- Oprogramowanie do analizy i obróbki obrazów radiograficznych,
- Usługi doradztwa w doborze odpowiednich technologii NDT do Twoich potrzeb,
- Szkolenia w zakresie obsługi urządzeń NDT i interpretacji wyników badań.

NDTec Serii R to wszechstronne narzędzie do wymagających badań RVI. Doskonale sprawdza się m.in. w lotnictwie, motoryzacji, energetyce czy przy kontroli infrastruktury i procesów przemysłowych.

- System łatwej wymiany sondy inspekcyjnej
- Dostępne sondy z wieloma kamerami, oraz opcjonalną funkcją pomiaru stereo 3D
- Wytrzymała obudowa odporna na trudne warunki pracy
- Elektroniczna artykulacja 360°
- Dotykowy ekran FullHD 7 cali



KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



Elektronik Instrument Service Rowecki Sp.j.

Oficjalny przedstawiciel Comet Technologies Dania A/S

www.eis.poznan.pl , yxlon@eis.poznan.pl , serwis@eis.poznan.pl

Tel: 61 8681998 Mobile: +48 604 514393 , 602 641328

Przenośne & przewoźne przemysłowe aparaty rentgenowskie produkcji Comet.



Produkty Comet w technologii stałego potencjału na przenośnych aparatach rentgenowskich, zapewniają uzyskiwanie zdjęć o wysokich rozdzielczościach.

Aparaty produkcji Comet Nowej serii EVO & ECO wyróżniają się bardzo intensywnym promieniowaniem, co skraca czas ekspozycji. Głowice RTG posiadają małe ognisko 1,0 mm. lub duże 3,0mm.wg.EN 12543, przy niezmienniej mocy aparatu, dostępne od 160-300kV. Są lżejsze, mają lepsze chłodzenie, 5-cio punktowy laser centrujący oraz wbudowany elektroniczny kalkulator ekspozycji, i wiele innych udogodnień dla użytkownika, jak np. nowy sterownik EVO, może współpracować z starszymi posiadanymi już głowicami SMART. Zaletą jest także intuicyjne oprogramowanie które zapewnia łatwość codziennej obsługi.

Zapraszamy do zapoznania się z naszą ofertą i informacjami technicznymi na stronie www.eis.poznan.pl

EIS Rowecki Sp.j. jesteśmy przedstawicielstwem w Polsce - biurem techniczno-handlowym firmy Comet Technologies Dania A/S .

Zajmujemy się sprzedażą i serwisem technicznym przenośnych i przewoźnych przemysłowych aparatów rentgenowskich produkcji Comet. Zapewniamy oryginalne części zamienne, serwis gwarancyjny, pogwarancyjny oraz doradztwo techniczne. Wykonujemy naprawy oraz okresowe przeglądy i certyfikacje. Posiadamy zezwolenie na uruchamianie aparatury wytwarzającej promieniowanie RTG wydane przez Prezesa PAA, oraz niezbędne szkolenia odbyte u producenta Comet w zakresie napraw i przeglądów technicznych.



Nowa seria ECO- 14kg głowica RTG f-my Comet

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

BIURO TECHNICZNO - HANDLOWE

TESTING

Spółka z o.o.

PRZEDSTAWICIELSTWO FIRM:



Krautkramer

SEIFERT



**K+D
Flux-Technik**

SERVO-ROBOT
SMART COOK VIDEO EXTRACTION SMART KITCHEN



ElektroPhysik

proceq

JWFROEHLICH
Test and Assembly
Solutions for Powertrain

KULZER
INDUSTRIAL GROUP

wilnos

OFERUJEMY:

urządzenia i środki do badań nieniszczących metodami:

- ultradźwiękową
- radiograficzną
- magnetyczno-proszkową
- prądów wirowych
- penetracyjną
- wizualną

oraz aparaturę do pomiarów twardości, grubości powłok i szczelności.

Nasze biuro prowadzi poradnictwo, sprzedaż oraz autoryzowany serwis w zakresie produktów powyższych firm.



40-748 Katowice, ul. Pstrągowa 30B
tel. 32 757 45 97 • e-mail: testing@testing.pl

www.testing.pl

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



POLATOM

Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Ośrodek Radioizotopów POLATOM jest wiodącym polskim producentem i globalnym dostawcą wysokiej jakości preparatów izotopowych dla przemysłu, nauki i medycyny. Wspierany przez bogatą infrastrukturę badawczą, POLATOM specjalizuje się w produkcji zamkniętych źródeł promieniotwórczych przeznaczonych do badań nieniszczących (NDT), a w szczególności przemysłowej radiografii gamma.

Nasza główna oferta produktów dla sektora NDT obejmuje źródła zamknięte o wysokiej aktywności, dostosowane do różnorodnych pomiarów grubości i inspekcji materiałowych:

- **Iryd (Ir-192):** standard przemysłowy do badania stali i stopów o standardowej grubości.
- **Selen (Se-75):** idealny do inspekcji cienkościennych elementów stalowych i rurociągów o małych średnicach.
- **Kobalt (Co-60):** przeznaczony do badań dużych grubości i ciężkich procesów przemysłowych.

Oferujemy również kompleksowe rozwiązania dla sektora badań nieniszczących, w tym zaawansowane defektoskopy z serii **EXERTUS** (m.in. **EXERTUS FORTES**, **EXERTUS DUAL 120**, **EXERTUS NOVUM**, **EXERTUS LIGHT W / DU**, **EXERTUS CIRCA** oraz **EXERTUS VOX 100/400**).

Dzięki wieloletniemu doświadczeniu POLATOM zapewnia rygorystyczne standardy jakości, precyzyjne kalibracje oraz niezawodną logistykę, co czyni nas zaufanym partnerem dla firm inspekcyjnych NDT na całym świecie.

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



ZBM ULTRA

www.ultra.wroclaw.pl

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

Evalon NDT Sp. z o.o.
ul. Hutnicza 59
81-061 Gdynia
NIP: 9581760437
DUNS: 369369826



Evalon NDT Sp. z o.o. jest wyspecjalizowanym dostawcą i dystrybutorem sprzętu, materiałów eksploatacyjnych oraz technologii z zakresu badań nieniszczących (NDT).

Dostarczamy kompleksowe rozwiązania dla przemysłu stoczniowego, energetycznego, paliwowo-gazowego, konstrukcji stalowych oraz laboratoriów badawczych. Współpracujemy z renomowanymi światowymi producentami, oferując nie tylko najwyższej jakości aparaturę, ale także pełne wsparcie inżynieryjne i doradztwo techniczne.

Nasza oferta obejmuje:

- **Radiografię przemysłową (RT):**
 - Mobilne systemy radiografii cyfrowej **Pexraytech**.
 - Przemysłowe aparaty rentgenowskie i kabiny radiograficzne **Balteau NDT**.
 - Defektoskopy gammagraficzne i źródła promieniotwórcze **QSA Global**.
 - Błony, chemię obróbczą **FOMA** oraz pełen osprzęt radiograficzny (IQI, negatoskopy, dozymetrię).
- **Badania powierzchniowe (PT / MT):**
 - Profesjonalne linie do badań penetracyjnych (PT / FPI) i magnetyczno-proszkowych (MT) od uznanego producenta **PROMAG Ltd**.
- **Badania wizualne (VT):**
 - Wideoendoskopy przemysłowe do precyzyjnej inspekcji trudno dostępnych miejsc.
 - Wideoendoskopy i boroskopy UV do kontroli fluorescencyjnej.

Usługi i ochrona radiologiczna:

- Nadzór i wsparcie licencjonowanych **Inspektorów Ochrony Radiologicznej (IOR)**.
- Projektowanie i budowa stacjonarnych bunkrów radiograficznych oraz kabin chroniących przed promieniowaniem jonizującym zgodnie z wymogami Prawa Atomowego.

Zapraszamy do odwiedzenia naszego stoiska i do kontaktu!

 www.evalon-ndt.pl
 office@evalon-ndt.pl
 + 48 721-566-885

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

EC TEST SYSTEMS
drgania • akustyka • termowizja • szybkie kamery



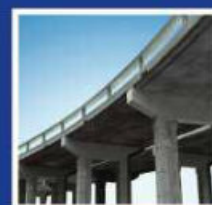
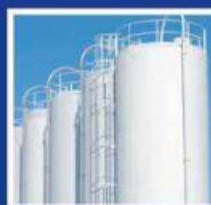
BADANIA NIENISZCZĄCE

BADANIA EMISJI AKUSTYCZNEJ



vallen
systeme

Testy integralności • Testy korozji • Badania wycieków
Testy wyładowań niezupełnych • Monitorowanie stanu wewnętrznego (SHM)
Badania i rozwój



EC TEST SYSTEMS
drgania • akustyka • termowizja • szybkie kamery

EC TEST Systems Sp. z o.o.
ul. Ciepłownicza 28, 31-574 Kraków
tel.: +48 12 627 77 77, e-mail: biuro@ects.pl



www.ects.pl

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

NAVI academy

Firma powstała w oparciu o wieloletnie doświadczenie dydaktyczne i praktyczne personelu firmy Navitest - wiodącego lidera w dziedzinie usług NDT dla różnych gałęzi przemysłu. Jest uznaną jednostką szkoleniową personelu NDT a oferowane szkolenia spełniają wymagania godzinowe oraz programowe normy PN-EN ISO 9712:2022 "Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących."

REALIZUJEMY

Szkolenia w 1., 2., oraz 3. poziomie kwalifikacji wg normy PN-EN ISO 9712:2022, w różnych metodach NDT, oraz w różnych sektorach przemysłowych i wyrobu (multisektor).

METODY

- VT badania wizualne
- PT badania penetracyjne
- MT badania magnetyczne
- UT badania ultradźwiękowe
- UT-PA technika Phased Array
- RT badania radiograficzne



W ramach oferowanego systemu szkoleń istnieje możliwość uzyskania uznania personelu NDT w zakresie Dyrektywy Urzędzeń Ciśnieniowych dla urządzeń kategorii III i IV.
Egzaminy certyfikacyjne wg PN-EN ISO 9712:2022 przeprowadzane są przez akredytowaną Jednostkę Certyfikującą Personel.

OFERUJEMY

Szkolenia w formie otwartej lub zamkniętej, przygotowujące do pierwszej certyfikacji oraz procesu odnowienia lub recertyfikacji dla osób posiadających certyfikaty w różnych jednostkach certyfikujących.
Ponadto realizujemy szkolenia informacyjne, ogólne w zakresie podstaw różnych metod NDT wraz z pokazami, szkolenia dostosowane programowo do indywidualnych potrzeb Klienta.

Zapisz się na szkolenie i egzamin

NAVI academy

+48 535 013 420
www.naviacademy.com.pl
academy@naviacademy.com.pl

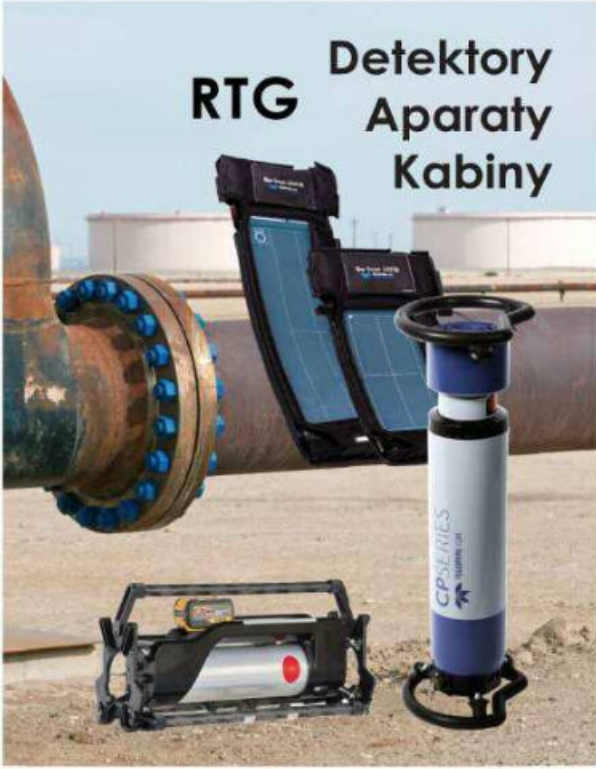
ul. Astronomów 5
80-299 Gdańsk
NIP 5842858737

KATALOG WYSTAWCÓW

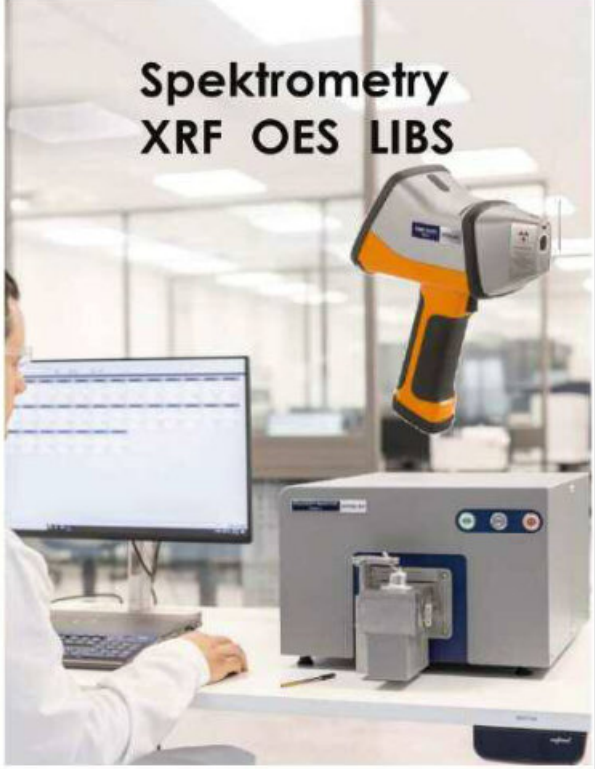
53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026

PCB SERVICE
NDT | SPEKTROMETRY | SERWIS | WZORCOWANIE

**RTG Detektory
Aparaty
Kabiny**



**Spektrometry
XRF OES LIBS**



**Ławy MPI, linie FPI
Jarzma
Chemia
Wzorce**



**Defektoskopy
Grubościomierze**



www.pcb.com.pl, 58 320 11 46, kontakt@pcb.com.pl

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



ODKRYWAMY
NIEWIDOCZNE

Firma DPIDEA posiada ponad 15letnie doświadczenie w sprzedaży urządzeń do badań nieniszczących oraz metalografii.

Urządzenia i materiały przez nas oferowane spełniają najwyższe światowe standardy. Nasze doświadczenie, zaangażowanie i dbałość o każdego klienta pozwala nawiązać długotrwałą i owocną współpracę w zakresie wyposażenia laboratoriów kontroli jakości.

Naszym klientom oferujemy kompleksową pomoc z zakresu obsługi i eksploatacji urządzeń badawczych znajdujących się w asortymencie naszej firmy. DPIDEA jako jedyna firma w Polsce posiada autoryzowane centrum serwisowe wideoendoskopów.

Urządzenia i materiały do badań nieniszczących:

- > Badań radiograficznych
- > Badań ultradźwiękowych
- > Badań magnetyczno-proszkowych oraz penetracyjnych
- > Badań wizualnych
- > Badań szczelności
- > Badań prądami wirowymi



Urządzenia i materiały do metalografii materiałowej

- > Spektrometry przenośne i stacjonarne
- > Urządzenia i materiały do preparatyki zglądów
- > Twardościomierze, ferrytomierze, chropowościomierze

FPI MPI

- > Projekty customowe – spersonalizowane



DPidea Sp. z o.o.
ul. Spokojna 28 • 81-549 Gdynia

+48 58 620 63 34
info@dpidea.pl

dpidea.pl

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



LABORATORIUM WZORCUJĄCE

DPidea Laboratorium Wzorcujące Sp. z o.o.
to niezawodny partner w obszarze
zapewnienia jakości i precyzji pomiarowej.

Świadczymy usługi w zakresie sprawdzeń
okresowych oraz wzorcowania przyrządów
i urządzeń pomiarowych z dziedziny badań
nieniszczących, zgodnie z wymaganiami
normy ISO/IEC 17025:2018-02.

Skutecznie eliminujemy ryzyko błędu
wszędzie tam, gdzie o jakości decydują
detale. Nawiązując z nami współpracę,
zyskujesz stabilne zaplecze metrologiczne
dla swojej firmy.

Usługi wzorcowania i sprawdzenia okresowego przyrządów oraz urządzeń pomiarowych:

- > Defektoskopy ultradźwiękowe
- > Defektoskopy Phased Array
- > Grubościomierze ultradźwiękowe
- > Mierniki natężenia światła białego
- > Mierniki natężenia światła UV
- > Lampy UV
- > Mierniki natężenia pola magnetycznego
- > Negatoskopy
- > Magnes ręczny (jarzma)
- > Pirometry
- > Kamery termowizyjne
- > Spektrometry
- > Wideoendoskopy
- > Twardościomierze przenośne
- > Suwmiarki
- > Głębokościomierze suwmiarkowe
- > Mikrometry
- > Przymiary wstępowe, sztywne
- > Spoinomierze

SKONTAKTUJ SIĘ Z NAMI I POZNAJ PEŁNĄ OFERTĘ NASZEGO LABORATORIUM!

Poza działalnością laboratoryjną prowadzimy również sprzedaż przyrządów
pomiarowych na indywidualne zamówienie klienta.

DPidea Laboratorium
Wzorcujące Sp. z o.o.
ul. Spokojna 28 • 81-549 Gdynia

+48 534 480 677
+48 531007 149
wzorcowanie@dpidea.pl

dpideawzorcowanie.pl



KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



Pracownie RTG, BUNKRY
System osłon DELTA
Wiedza i doświadczenie



Rok założenia Spółki: 1991



Kompletny system osłon DELTA
przeciw promieniowaniu jonizującemu tworzą:

- panele ochronne DELTA z Pb (ścienne i sufitowe),
- drzwi ochronne DELTA jedno i dwuskrzydłowe,
- drzwi ochronne DELTA przesuwne z napędem elektrycznym (również do pom. akceleratorów),
- Parawany DELTA z Pb jezdne i stacjonarne,
- okna ochronne DELTA do inspekcji.



System zabudowy osłon DELTA sprawdzony na wielu budowach gwarantuje **skuteczność i ciągłość ochrony** przed promieniowaniem jonizującym. W ciągu ostatnich dziesięcioleci wykonaliśmy wiele zadań inwestycyjnych, np. dla: WSK "PZL Rzeszów" S.A., Pratt & Whitney w Kaliszu, Pratt & Whitney w Niepołomicach, Pratt & Whitney w Rzeszowie, SOLARIS – Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, HSW - HUTA Stalowa Wola S.A., Centrum Konserwacji Wraków Statków w Tczewie, POLIMEX Infrastruktura w Warszawie - Laboratorium RTG w Jasionce k/Rzeszowa i wiele wiele innych

System osłon DELTA doskonale sprawdził się w:



• przemyśle (Pracownie RTG, Bunkry do izotopów Kobalt Co-60, Iryd Ir-192)



• ośrodkach naukowych (komory linii badawczych)



• jednostkach służby zdrowia (Pracownie hemodynamiki, TK, diagnostyki rtg)



Zakłady Usługowo-Produkcyjne DELTA Sp. z o.o.
Sitaniec 125C, 22-400 Zamość, Polska
Tel. 505 127 021, dziuba@zupdelta.com.pl

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



Endo-Tech Sp. z o.o
ul. Hutnicza 59
81-061 Gdynia
NIP 586-240-59-09
Tel.: 58 380-24-24
Mail: info@endo-tech.pl
Web: www.endo-tech.pl

Firma Endo-Tech Sp. z o.o oferuje najwyższej jakości sprzęt do zdalnej inspekcji wizualnej. Nasze wideo-endoskopy, fiberoskopy czy boroskopy świetnie sprawdzą się tam, gdzie nie sięgnie nasz wzrok. Wysoko wydajne źródło światła zastosowane w naszych endoskopach pozwala doświetlić nawet najciemniejsze obiekty i to zarówno w świetle Białym jak i UV oraz IR.

Endo-Tech Sp. Z o.o. offers the highest quality equipment for Remote Visual Inspection RVI. Our videoscopes, fiberscopes or borescopes go perfectly well where it does not reach our eyes. A high-performance light source used in our endoscopes allows you to illuminate even the darkest objects, in White, UV and IR light.

KATALOG WYSTAWCÓW

53. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Kołobrzeg, 19-22 października 2026



shim-pol®

Shim-Pol od 40 lat wspiera rozwój nauki i przemysłu, oferując nowoczesną aparaturę badawczą, pomiarową oraz zaawansowane rozwiązania technologiczne.

Firma dostarcza wysokiej klasy instrumenty analityczne i laboratoryjne, zapewniając kompleksowe wsparcie zarówno jednostkom naukowym, jak i przedsiębiorstwom z różnych branż, stawiając na innowacyjność, jakość, profesjonalne doradztwo techniczne oraz serwis. Jest oficjalnym przedstawicielem w Polsce renomowanych producentów, takich jak: Shimadzu, Kratos, Dr. Maisch, Biotage, Antec, Romil, Elionix, Semplor, Nittoseiko, e-Prep oraz iX Cameras.

W ofercie firmy znajdują się rozwiązania dedykowane niemal wszystkim sektorom przemysłu. Shim-Pol posiada również własne laboratoria, dzięki którym wspiera klientów w opracowaniu indywidualnych metod badawczych oraz w dostosowaniu analiz do wymagań norm ISO i ASTM.

SHIM-POL A.M. Borzymowski

E. Borzymowska-Reszka A. Reszka Spółka Jawna

ul. Lubomirskiego 5, 05-080 Izabelin

NIP: 118 178 86 00

Nr KRS: 0000279262

REGON: 140 150 633

Siedziba firmy:

ul. Kochanowskiego 49A, 01-864 Warszawa

Tel: +48 22 722 70 48

Fax: + 48 22 722 70 51

E-mail: biuro@shim-pol.pl

Informacje dla Autorów i Czytelników

PROFIL CZASOPISMA

Kwartalnik „Badania Nieniszczące i Diagnostyka” jest czasopismem naukowo-technicznym Wydawanym przez Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników Polskich w Warszawie we współpracy z Towarzystwem Badań Nieniszczących.

Odbiorcami czasopisma są specjaliści, ośrodki naukowe, dydaktyczne i organizacje gospodarcze zainteresowane problematyką określoną w tytule czasopisma. Czasopismo jest wysyłane również do ważnych ośrodków zagranicznych zainteresowanych tą tematyką.

Czasopismo wydawane jest w języku polskim i jest dostępne głównie w wersji elektronicznej w internecie (do roku 2020 ukazywało się również w wersji drukowanej). Artykuły publikowane w języku polskim mają dodatkowo streszczenia oraz opisy rysunków i tabel w języku angielskim. Wybrane artykuły naukowe publikowane są w języku angielskim.

W czasopiśmie „Badania Nieniszczące i Diagnostyka” są publikowane oryginalne komunikaty i artykuły dotyczące:

- metodologii badań,
- certyfikacji w badaniach,
- charakterystyki urządzeń, sprzętu, materiałów i systemów w badaniach nieniszczących,
- diagnostyki,
- szkoleń, przepisów i normalizacji,
- praktyki badań w przemyśle i poradnictwa technicznego,
- wydarzeń, karier zawodowych specjalistów i ich doświadczeń zawodowych.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

Objętość artykułu powinna wynosić do 10 stron, a komunikatu 1 ÷ 4 stron wydruku komputerowego na arkuszu formatu A4 bez tabulatorów i wcięć, czcionka Times New Roman 12, marginesy górny, dolny, lewy i prawy - 2,5 cm.

Rysunki i tablice z ich tytułami winny być umieszczane w tekście. Rysunki, wykresy i fotografie należy nazywać rysunkami (np. Rys. 1), a tablice (np. Tab. 3) i numerować cyframi arabskimi.

Opisy znajdujące się na rysunkach oraz grubość linii powinny mieć wielkość umożliwiającą zmniejszenie rysunku do 30%. Maksymalna szerokość rysunku jednospaltowego wynosi 8,5 cm, natomiast dwuszpaltowego 17,5 cm.

Rysunki wykonane komputerowo winny być w oddzielnych plikach w formacie JPEG min. 300 DPI.

Jednostki - układ SI.

Artykuł powinien zawierać:

- informacje o autorach: stopnie naukowe lub zawodowe, instytucja i zdjęcia (w osobnym pliku);
- imię i nazwisko;
- tytuł artykułu;
- streszczenie (do 0,5 strony) z informacją dotyczącą problematyki artykułu, metodyki badań, obliczeń lub analizy problemu oraz wyniku końcowego;
- tekst wraz z podziałem na zatytułowane rozdziały;
- wnioski końcowe;
- wykaz literatury; pozycje literatury numerowane cyframi arabskimi w kwadratowych nawiasach i w kolejności cytowanej w tekście.

Artykuły w formie pliku Word należy przysłać na adres e-mail: wydawnictwo@ptbnidt.pl wraz z wypełnionym drukiem „Zgłoszenie publikacji” dostępnym na naszej stronie www.bnid.pl.

OGŁOSZENIA I ARTYKUŁY PROMOCYJNE

Ogłoszenia i artykuły promocyjne w kwartalniku „Badania Nieniszczące i Diagnostyka” – czasopiśmie ogólnopolskim dostępnym w formie drukowanej (do 2020r.) i elektronicznej na naszej stronie internetowej docierają do szerokiej grupy specjalistów.

W czasopiśmie zamieszczane są kolorowe i czarno-białe: ogłoszenia reklamowe na okładkach lub wewnątrz numeru oraz wrzutki dostarczane przez zleceniodawcę; artykuły techniczno-informacyjne jak również informacje o wydarzeniach oraz imprezach naukowo-technicznych. Cennik i forma ogłoszeń dostępne są na naszej stronie www.bnid.pl.

PRENUMERATA

Prenumerata realizowana jest przez Redakcję. Kontakt i zamówienia pod adresem mailowym: wydawnictwo@bnid.pl.

